



PRÉ-TRATAMENTO HIDROTÉRMICO DA PALHA E DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE ETANOL: ESTUDO BIBLIOMÉTRICO E SISTÊMICO

Lucas Vinicius Borges Pereira

Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba
lucas.pereira@cear.ufpb.br

Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes

Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba
pollyana@cear.ufpb.br

Joelda Dantas

Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba
joelda.dantas@cear.ufpb.br

Resumo: Objetivando reduzir a intensa dependência de combustíveis oriundos do petróleo, alternativas renováveis estão sendo discutidas de forma a promover o aproveitamento do potencial tecnológico de resíduos da agroindústria em aplicações como a produção do etanol de segunda geração. Nesse contexto, o setor sucroalcooleiro produz resíduos lignocelulósicos como a palha e o bagaço de cana-de-açúcar que podem ser destinados a produção de etanol de modo a completar a produção convencional. Os carboidratos constituintes desses resíduos podem ser solubilizados por métodos de pré-tratamento, destacando o pré-tratamento hidrotérmico, tornando a estrutura mais susceptível ao processo de hidrólise, visando a liberação de monômeros de açúcar para serem fermentados e destilados. Desta forma, o presente artigo tem por objetivo realização de um estudo bibliométrico e sistêmico para analisar e evidenciar as particularidades de destaque em um portfólio bibliográfico sobre o tema pré-tratamento hidrotérmico da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol. A pesquisa possibilita a compreensão de fatores importantes como tempo ideal para o tratamento e a interação entre os componentes lignocelulósicos desses resíduos. Essa abordagem holística garante que a pesquisa não só avance o conhecimento científico, mas também contribua para um futuro mais sustentável e responsável.

Palavras-chave: Pré-tratamento hidrotérmico, produção de etanol, resíduos agroindustriais, etanol de segunda geração.



1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente levou a criação de diretrizes que estabelecem o uso de fontes renováveis de energia com a finalidade de suprir a demanda da sociedade, como o RenovaBio e o Rota 2030. Nesse contexto, o cenário energético atual causa grande preocupação, pois apenas cerca de 15% da matriz energética é proveniente de fontes ambientalmente corretas. Assim, dentre as alternativas energéticas de desenvolvimento sustentável, como a hidráulica, solar e eólica, os resíduos da agroindústria podem promover um redesenho da cadeia energética e a conexão de novas cadeias produtivas de insumos em detrimento ao seu potencial tecnológico (Silva *et al.*, 2021; EPE, 2023).

Resíduos Agroindustriais, como palha de milho, casca de arroz, palha de trigo, casca de coco, palha e bagaço de cana-de-açúcar, caracterizam-se como matérias-primas lignocelulósicas sustentáveis que podem ser aplicados a produção de biocombustíveis devido à sua disponibilidade em larga escala e baixo custo. A biomassa lignocelulósica é considerada a segunda maior fonte de carbono disponível no planeta e a biomassa mais difundida em aplicações industriais, pois sua produção anual é de aproximadamente 181,5 bilhões de toneladas. O setor sucroalcooleiro produz resíduos lignocelulósicos como bagaço e palha de cana-de-açúcar que podem ser utilizados para a produção de etanol de forma a complementar a produção convencional (Chen *et al.*, 2023).

A palha de cana-de-açúcar é um resíduo proveniente do campo que vem ganhando destaque no setor em função das políticas que buscam a redução gradativa das queimadas e impulsionam a substituição da colheita manual pela mecanizada, devido aos problemas ambientais causados por essa prática. A cana-de-açúcar corresponde a uma planta C4 e absorve carbono na forma de compostos orgânicos para auxiliar seu crescimento, assim, como resultado das queimadas todo carbono absorvido é liberado ocasionando a emissão de produtos químicos nocivos ao meio ambiente, sendo eles: hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxido nitroso, entre outros (Nascimento *et al.*, 2023; Sabadin, 2020).

O bagaço de cana-de-açúcar é obtido na etapa de moagem e pode ser utilizado para produção de energia elétrica abastecendo a demanda da própria usina através da queima nas caldeiras. Brito, Matai e Santos (2024) ressaltam que essa tecnologia robusta já é empregada e difundida, mas a produção de produtos químicos através desse detrito não está bem desenvolvida.

O Brasil é o principal produtor de cana-de-açúcar no mundo, sendo estimada uma produção de aproximadamente 677 milhões de toneladas para a safra 2023/2024 (CONAB, 2023). Além disso salienta-se que para cada tonelada de cana são produzidos 250 kg de bagaço e 204 kg de palha e pontas secas. Consequentemente, essa premissa atrelada ao excedente de desses resíduos no setor sucroalcooleiro, justificam a sua aplicação na produção de etanol de segunda geração, além de entrar em concordância com os princípios estabelecidos nos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e na química verde.

O etanol de segunda geração é obtido através da bioconversão da celulose, presente nos resíduos lignocelulósicos, em açúcares fermentescíveis. No entanto, em razão da forte interação entre os constituintes (40-44% celulose, 30-32% hemicelulose e 22-25% lignina) presentes



nessas biomassas faz-se necessário o pré-tratamento do material para reduzir a cristalinidade do resíduo e facilitar o acesso a celulose (Carvalho *et al.*, 2021).

A literatura evidencia um grande número de pesquisas voltadas ao âmbito tecnológico que abordam os pré-tratamentos químicos, físicos, biológicos ou a combinação destes sobre o mesmo material. O pré-tratamento hidrotérmico destaca-se entre os demais pela eficiência do processo mediante a ausência de produtos químicos, evitando a formação de componentes tóxicos e alta taxa de recuperação de pentoses. Nessa conjuntura, o mecanismo de bibliometria e revisão sistemática propõe a identificação das lacunas presente na literatura a respeito do tema proposto. Além disso, o uso de métodos quantitativos e estatísticos para analisar e construir indicadores sobre a produção e disseminação de conhecimento na produção de etanol celulósico (Sun *et al.*, 2022; Linhares *et al.*, 2019).

Frente a esse contexto, é de fundamental importância buscar a construção de um referencial teórico que permita identificar os aspectos que permeiam a aplicação do pré-tratamento hidrotérmico como ferramenta que auxilie a produção de etanol de segunda geração. Para tanto, buscou-se responder quais são os critérios relevantes em uma revisão de literatura que permitam avaliar, a partir de um portfólio de artigos científicos, os indicadores e os efeitos desse mecanismo frente as biomassas sucroalcooleiras empregadas.

Assim, a presente pesquisa teve por objetivo realização de um estudo bibliométrico e sistêmico para analisar e evidenciar as particularidades de destaque em um portfólio bibliográfico sobre o tema pré-tratamento hidrotérmico da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol.

Esta temática alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e aos princípios de ESG (*Environmental, Social, and Governance*). Contribui diretamente para o ODS 7, promovendo a energia limpa e acessível, e o ODS 12, ao incentivar a produção e o consumo sustentáveis. Do ponto de vista ambiental, a utilização de subprodutos agrícolas para a produção de etanol reduz a dependência de combustíveis fósseis e minimiza o impacto ambiental, refletindo os princípios ESG. Além disso, este estudo potencialmente reflete oportunidades de emprego, consequentemente, melhorando a qualidade de vida nas comunidades envolvidas, destacando a dimensão social do ESG. A transparência e responsabilidade na condução da pesquisa reforçam a governança eficaz, integrando aspectos cruciais para a sustentabilidade e inovação tecnológica.



2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Método de revisão

A bibliometria caracteriza-se como uma ferramenta importante no embasamento quantitativo pertinente a diversas temáticas, autores e instituições, em outras palavras, corresponde a um método de análise de conteúdo científico capaz de gerar considerações relevantes sobre um referido tema (Oliveira, 2020). Essa premissa entra em consonância aos aspectos abordados por Lourenço *et al.* (2022) ao ressaltar a bibliometria no processo de quantificação de conhecimento produzido por um país. Conforme abordado por Ferro (2020) o estudo bibliométrico permeia aspectos como definição do eixo de pesquisa, definição das palavras-chave, seleção das bases de dados, formação e análise do banco de dados de artigos brutos.

A análise sistêmica foi adotada em virtude do seu potencial na obtenção das lacunas presentes na literatura a respeito do tema mediante a análise, classificação e categorização dos conteúdos pertinentes. Muhl e Lacerda (2023) destacam o potencial dessa técnica ao dispor de um panorama confiável e sem inconstâncias no âmbito da pesquisa. Munaro, Munaro e Souza (2024) e Sutton *et al.* (2024) reforçam a importância da revisão sistemática e sua capacidade em resumir o conhecimento existente, apresentar áreas que podem ser estudadas, identificar aspectos relevantes e proporcionar conclusões sobre os dados analisados em relação ao tema abordado.

2.2 Coleta de dados

O processo de coleta de dados foi desenvolvido buscando identificar publicações com relevância científica considerada nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. Assim, essas bases de dados foram adotadas nesta pesquisa mediante ao potencial dessas ferramentas em diversas áreas do conhecimento, como: Ciência, Tecnologia, Medicina, Ciências Sociais e Humanidades (Sánchez; Vázquez; Riba, 2023). Rezende *et al.* (2023) justificam a escolha dessas bases em detrimento a sua abrangência para uma série de artigos com alta relevância, além disso possuem boas ferramentas para o tratamento estatístico de muitos resultados.

Para realizar a busca nas bases de dados, foram definidos dois eixos de pesquisa: (I) Pré-tratamento Hidrotérmico e (II) Tipo de resíduo lignocelulósico sucroalcooleiro. Posteriormente, foram definidas palavras-chave para cada eixo de pesquisa, sendo elas: para o primeiro eixo as palavras-chave utilizadas foram: pré-tratamento hidrotérmico e etanol (*hydrothermal pretreatment, ethanol*); e o eixo pertinente aos resíduos sucroalcooleiros foram aplicados os termos bagaço de cana-de-açúcar e palha de cana-de-açúcar (*sugar cane bagasse, sugar cane straw*). Realizou-se a combinação das palavras-chave estabelecidas nos dois eixos através de indicadores booleanos AND e OR resultando nas seguintes associações: “*hydrothermal pretreatment*” AND “*sugar cane bagasse*” OR “*sugar cane straw*” AND “*ethanol*”.



2.3 Análise de dados

Na etapa de análise de dados foram utilizados os *software's* RStudio e o Bibliometrix. Para tanto, o *software* RStudio foi escolhido em virtude do seu potencial em identificar artigos duplicados nas duas bases de dados escolhidas, bem como sua crescente aplicação no desenvolvimento estatístico em análises bibliométricas no âmbito acadêmico. Conforme Santos *et al.* (2020) o RStudio é um *software* que utiliza a linguagem R para realizar cálculos e gráficos estatísticos objetivando maior compreensão sobre determinada temática. Em síntese, foram identificados 1016 artigos sendo 1010 provenientes da Scopus e 6 da Web of Science. Após a aplicação do RStudio, 7 artigos duplicados foram excluídos e totalizando 1009 publicações que seguiram para análise bibliométrica no *software* Bibliometrix.

O Bibliometrix é uma ferramenta de código aberto frequentemente utilizada na organização de dados quantitativos da literatura científica empregados em bibliometrias e cientometria. Juvêncio, Silva e Freire (2024) descrevem que a análise de dados no bibliometrix é realizada em três etapas, sendo elas: análise descritiva dos dados bibliográficos, criação de rede para acoplamento dos dados (cocitação, colaboração e ocorrência bibliográfica) e normalização desses dados buscando uma medida de similaridade entre eles.

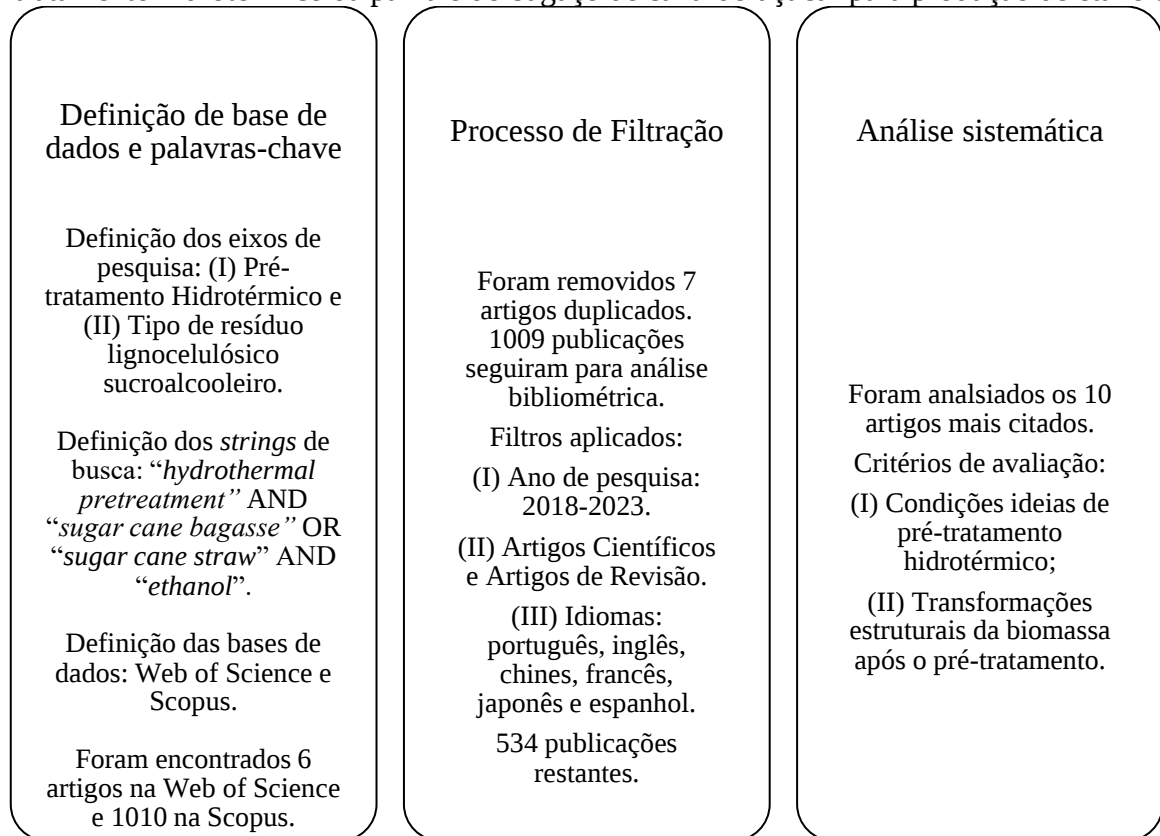
Conforme elencado anteriormente, foram delimitados os critérios de análise dos materiais mais relevantes utilizando o Bibliometrix. Nesse sentido, as 1009 publicações passaram por filtros para obtenção de artigos científicos e artigos de revisão publicados entre os anos de 2018 a 2023 buscando analisar a temática em um período fechado, sendo abordados em diferentes línguas, como: português, inglês, chinês, francês, japonês e espanhol. Vale ressaltar que esses parâmetros foram escolhidos em função da melhor delimitação de artigos científicos no entendimento das premissas que estão sendo discutidas na literatura ao redor do mundo, bem como artigos de revisão dado ao seu potencial em abordar temáticas importantes no âmbito da produção de etanol celulósico, como: fator severidade no pré-tratamento hidrotérmico, tamanho ideal da partícula para as técnicas de pré-tratamento, possíveis produtos tóxicos formados com a aplicação de altas temperaturas em biomassas e suas respectivas técnicas de remoção.

O processo de filtração resultou em 534 artigos voltados ao pré-tratamento da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol. A visualização e interpretação dos dados foi realizada através de gráficos e tabelas gerados no Bibliometrix que foram exportados em arquivo Excel. Assim, foram analisados a produção científica por ano, a produção científica em cada país, relevância dos periódicos, autores mais citados, a ocorrência das palavras-chave e dos autores que trabalham em conjunto sobre o referido tema. Todo o processo metodológico seguido na presente pesquisa está descrito na Figura 1.

No processo de análise sistemática da literatura, foram selecionados os 10 artigos mais citados entre os 534 abordados no estudo. Na sequência, os artigos foram lidos na íntegra e analisados quanto a presença das palavras-chave selecionadas, como também buscou-se constatar parâmetros relevantes quanto ao tema de pré-tratamento hidrotérmico da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol. Por meio da análise sistêmica objetivou-se identificar as condições ideais de temperatura e pressão para aplicação do pré-tratamento hidrotérmico e as transformações estruturais causadas por esse mecanismo na biomassa.



Figura 1. Processo metodológico seguido no estudo bibliométrico e sistemático sobre o pré-tratamento hidrotérmico da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

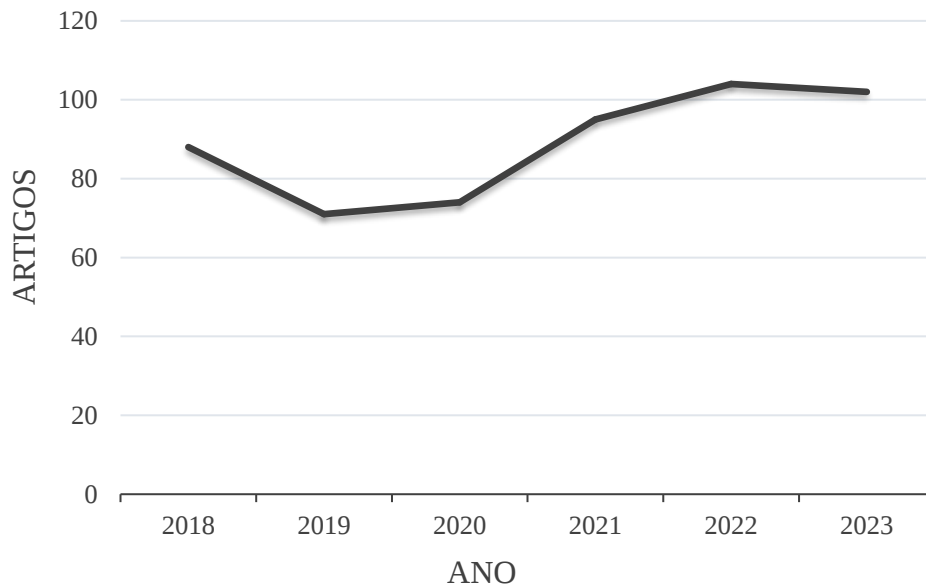
3 ANÁLISE DOS DADOS: RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pesquisas fundamentadas no âmbito tecnológico são embasadas por uma série de documentos de cunho científico que contribuem para a construção do referencial teórico e identificação das lacunas presente na literatura a respeito do tema proposto (Belinsk *et al.*, 2020; Linhares *et al.*, 2019). Nessa conjuntura, através do mecanismo de bibliometria e análise sistemática, foi possível construir conhecimento e extrair maiores conclusões sobre os resultados.

A primeira observação resultante da análise bibliométrica abordando o pré-tratamento hidrotérmico da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol consiste no aspecto temporal das publicações analisadas. Logo, o ano de 2022 apresentou o maior índice de artigos publicados com 104 conforme descrito na Figura 2. Esse fator representa 19,47% em relação ao total de 534 artigos abordados obtidos na etapa de filtragem no Bibliometrix. Entretanto o ano de 2019 demonstrou o menor número de publicações com apenas 71 artigos.



Figura 2. Produção científica entre os anos de 2018-2023 sobre o pré-tratamento hidrotérmico da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol.



Fonte: Elaborado pelos autores com uso do Bibliometrix, 2024.

Quanto aos periódicos de maior relevância, na Tabela 1 estão ilustradas as 10 principais fontes que abordam o tema pré-tratamento hidrotérmico da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol e seus respectivos fatores de impacto. Almeida e Gracio (2020) discorreram a respeito da utilização do fator de impacto como ferramenta de avaliação dos periódicos, visto que corresponde a um dos princípios norteadores das boas práticas de avaliação científica. Nesse contexto, os periódicos *Industrial Crops and Products*, *Bioresource Technology* e *Biomass Conversion and Biorefinery* se destacam por serem frequentemente conhecidos por suas publicações discorrendo a aplicação de plantas cultivadas para aplicações industriais, o pré-tratamento de resíduos biológicos e tecnologias associados a processos de conversão química. Logo, o jornal *Industrial Crops and Products* apresentou o maior número de artigos detendo um fator de impacto 5,9. Dentre as principais fontes expostas, os periódicos *Bioresource Technology* e *Renewable and Sustainable Energy Reviews* apresentam números significativos de publicações e os maiores índices de impacto 11.4 e 16.7 respectivamente.

A próxima etapa da análise bibliométrica corresponde a verificação dos autores principais por quantidade de artigos no período entre 2018-2023, de acordo com a Figura 3. Observa-se que os autores Li Y., Zhang J. e Kumar V. expressam os maiores índices de publicações sendo 15, 13 e 11, respectivamente. Esses autores são reconhecidos por pesquisas relacionadas ao aproveitados de resíduos lignocelulósicos para a produção de etanol de segunda geração.

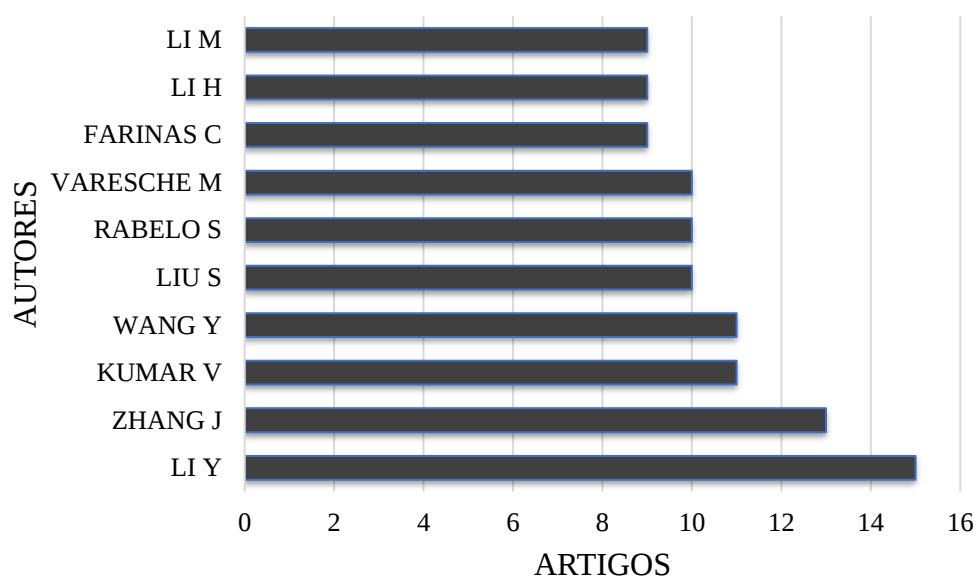


Tabela 1. Relevância dos periódicos e seus respectivos fatores de impacto no estudo do pré-tratamento hidrotérmico da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol.

Periódicos	Artigos	Fator de Impacto
Industrial crops and products	59	5.9
Bioresource technology	54	11.4
Biomass conversion and biorefinery	23	4.0
Renewable energy	18	8.7
Biotechnology for biofuels	15	6.3
Bioenergy research	14	3.6
Biomass and bioenergy	13	5.7
Acs sustainable chemistry and engineering	12	8.4
Fuel	12	7.4
Renewable and sustainable energy reviews	12	16.7

Fonte: Elaborado pelos autores com uso do Bibliometrix, 2024.

Figura 3. Principais autores por quantidade de artigos entre os anos de 2018-2023.



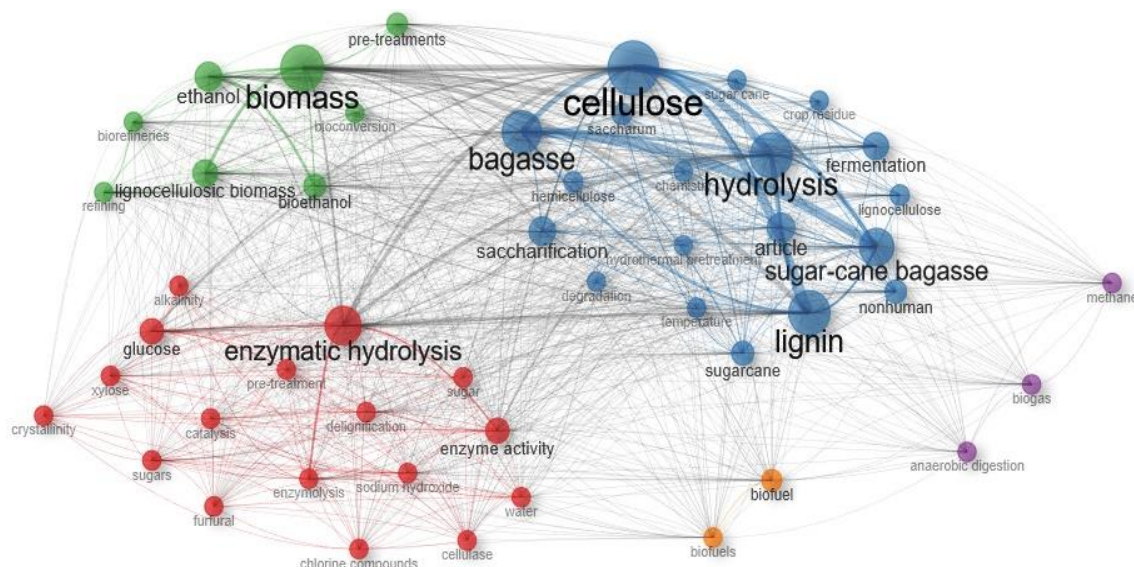
Fonte: Elaborado pelos autores com uso do Bibliometrix, 2024.

Na Figura 4 estão ilustrados os 10 *clusters* (grupos) resultantes da análise de coautoria realizada no Bibliometrix. Observa-se uma relação de coautoria entre os grupos em roxo, marrom, rosa, verde, azul e cinza devido a presença de *links* existentes entre eles indicando que os autores contribuíram entre si como coautores de alguns artigos. Além disso, foi possível inferir a relação existente entre os autores que se destacaram por quantidade de artigos publicados e a relação existente entre eles, visto que Li Y. e Wang Y. destacaram-se com um número significativo de artigos e aparecem correlacionados, como expresso na Figura 4, indicando que colaboraram juntos para a temática de produção do etanol lignocelulósico.



“cellulose”, “bagasse”, “lignin”. Além disso, esses termos são dispostos de forma aproximada devido ao seu uso na construção de estudos focados nesse âmbito, como também são essenciais tratando-se do pré-tratamento de palha e bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol.

Figura 5. Análise de coocorrência das palavras-chave para identificação dos *clusters* com os itens mais citados nos estudos analisados.



Fonte: Elaborado pelos autores com uso do Bibliometrix, 2024.

Na etapa de análise sistemática foram considerados os 10 artigos mais citados presentes no portfólio após o processo de filtração. Assim, aspectos referentes ao pré-tratamento hidrotérmico da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol foram abordados.

A literatura discorre as etapas de pré-tratamento, hidrólise enzimática, fermentação e destilação para produção do etanol lignocelulósico relatando que devido a recalcitrância/ interação presente nos materiais aplicados, geralmente resíduos agroindustriais, a etapa de pré-tratamento é fundamental para reduzir a cristalinidade do resíduo e facilitar o acesso a celulose. Entretanto, outros produtos de valor agregado podem ser obtidos com alterações dos fatores físico-químicos durante o processo. Michelin *et al.* (2018) fazem ressalva a esse aspecto ao relatarem a junção do pré-tratamento hidrotérmico (temperatura de 200°C e tempo de permanência de 30 minutos) e tecnologia *organosolv* utilizando etanol para obtenção de lignina com alta pureza entre 86,7%-93,1%.

Segundo Satari, Karimi e Kumar (2019) o pré-tratamento hidrotérmico caracteriza-se por dispor de uma baixa produção de inibidores biológicos, baixo custo por não utilizar produtos químicos e reatores robustos como nos métodos usando soluções ácidas ou alcalinas. Os autores fazem referência também ao pré-tratamento por explosão a vapor, sendo a biomassa lignocelulósica aquecida com vapor de alta pressão nas faixas entre 160-240°C ocasionando mudanças estruturais na hemicelulose presente nos materiais. Já Zhang *et al.* (2019) também relatou mudanças estruturais quando a temperatura de tratamento atingiu 160°C em seu estudo buscando potencializar a hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. Carvalho *et al.* (2018) também investigaram os efeitos de diferentes condições operacionais na produção de



xilooligossacarídeos por meio da explosão a vapor do bagaço de cana-de-açúcar, concluindo que a temperatura de 190°C a 5 minutos foi ideal para a solubilização de hemiceluloses.

Segundo Kucharska *et al.* (2018) as celuloses e hemiceluloses podem ser convertidas em pseudo-ligninas que são realocadas na superfície dos resíduos de biomassa durante o processamento hidrotérmico. Silva *et al.* (2020) abordam contextos parecidos ao relatarem as restrições e os avanços na hidrólise enzimática de materiais lignocelulósicos, afirmando que monossacarídeos oriundos da hemicelulose podem dificultar a ação de enzimas sobre a celulose. Kim (2018) acrescenta que o pré-tratamento hidrotérmico de resíduos lignocelulósicos solubiliza hemiceluloses e lignina aumentando a acessibilidade da enzima a celulose. Entretanto, o autor acrescenta que controle do pH durante o processo de tratamento pode auxiliar na minimização da formação de compostos inibitórios formados pela decomposição da hemicelulose em aldeídos complexos.

Batista *et al.* (2019) retrataram a influência do fator severidade no pré-tratamento hidrotérmico explicando que baixos valores de fator severidade, menores que 3,39, não promovem alterações estruturais na palha de cana-de-açúcar. No estudo em questão foi identificadas as condições ótimas de 195°C e 10 min. de tratamento ocasionando uma baixa perda de celulose 9,80% e boa remoção de celulose 85,45%. Esses índices (temperatura de 195°C e tempo de permanência de 10 minutos) operacionais de pré-tratamento assemelham-se aos abordados por Pratto *et al.* (2020) que utilizou a palha de cana-de-açúcar tratada como substrato para os experimentos de sacarificação e fermentação simultâneas, visto que condições hidrotermais são promissoras na desconstrução do complexo lignocelulósico.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi abordado uma revisão bibliométrica e sistemática da literatura com relação ao tema pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. Realizou-se uma revisão bibliométrica com base nos artigos obtidos através das palavras-chave utilizadas, analisando aspectos importantes, como: autores e periódicos mais citados, países que mais abordam a temática, ocorrência de relação entre os autores e palavras-chave. Para tanto, também foi realizada uma análise sistêmica do conteúdo dos 10 artigos mais citados buscando a compreensão de fatores como tempo ideal para o tratamento e a interação entre os componentes lignocelulósicos desses resíduos.

O mecanismo de bibliometria mostrou ser importante na identificação de aspectos da produção científica mundial, visto que identificou-se que países como China e Brasil apresentaram o maior número de publicações abordando o pré-tratamento da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol. Além disso, a análise sistemática contribuiu para avaliar que a grande maioria dos autores analisados abordam as faixas de temperatura entre 160–195°C proporcionando resultados favoráveis na desconstrução da matriz celulose, hemicelulose e lignina.

Portanto, este trabalho então alinha-se aos ODS e aos princípios de ESG ao explorar o pré-tratamento hidrotérmico da palha e do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol. A pesquisa contribui diretamente para o ODS 7, promovendo a energia limpa e acessível, e o ODS 12, ao incentivar a produção e o consumo sustentáveis.



REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. C.; GRACIO, M. C. C. O Fator de Impacto e as boas práticas de avaliação científica. *Ciência da Informação em Revista*, v. 7, n. 1, p. 138-152, 2020.

BATISTA, G. *et al.* Effect of severity factor on the hydrothermal pretreatment of sugarcane straw. *Bioresource Technology*, v. 275, p. 321-327, 2019. Disponível em: doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.073. Acesso em: 06 jun. 2024.

BELINSKI, R. *et al.* Organizational learning and Industry 4.0: findings from a systematic literature review and research agenda. *Benchmarking: An International Journal*, v. 27, n. 8, p. 2435-2457, 2020. Disponível em: www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BIJ-04-2020-0158/full/html?utm_campaign=Emerald_Strategy_PPV_November22_RoN. Acesso em: 05 jun. 2024.

BRITO, J. L. R.; MATAI, P. H. L. S.; SANTOS, M. R. Inovação e a produção do etanol de cana-de-açúcar. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 15, n. 3, p. e3537-e3537, 2024. Disponível em: ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/3537. Acesso em: 05 jun. 2024.

CARVALHO, A. F. A. *et al.* The potential of tailoring the conditions of steam explosion to produce xylo-oligosaccharides from sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, v. 250, p. 221-229, 2018. Disponível em: doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.041. Acesso em: 06 jun. 2024.

CARVALHO, N. *et al.* Caracterização física e química de biomassa usada como combustível sólido em uma caldeira. *Química Nova*, v.44, n. 1, p.35-40, 2021.

CHEN, Z. *et al.* Exploitation of lignocellulosic-based biomass biorefinery: A critical review of renewable bioresource, sustainability and economic views. *Biotechnology Advances*, v. 69, 108265, 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, DF, v. 11, n. 3, novembro 2023.

DINIZ, L. C. *et al.* Aspectos gerais de pós-colheita e processamento da cana-de-açúcar. In: *Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso*



Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. 2023. Disponível em: publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/coloquio/article/view/2780. Acesso em: 06 jun. 2024.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Matriz Energética e Elétrica. Rio de Janeiro: 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 04 jun. 2024.

FERRO, W. A. *et al.* Estudo bibliométrico e sistêmico da literatura sobre a integração de métodos quantitativos e qualitativos na previsão de demanda com ajuste de especialistas. *Exacta*, v. 18, n. 2, p. 311-333, 2020. Disponível em: periodicos.uninove.br/exacta/article/view/8739. Acesso em: 05 jun. 2024.

JUVÊNCIO, J. Q.; SILVA, W. N.; FREIRE, F. N. A. Bibliometric Study of Life Cycle Analysis Applied to Motor Vehicles. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 18, n. 3, p. e04502-e04502, 2024. Disponível em: doi.org/10.24857/rgsa.v18n3-042. Acesso em: 06 jun. 2024.

KIM, D. Physico-chemical conversion of lignocellulose: inhibitor effects and detoxification strategies: a mini review. *Molecules*, v. 23, n. 2, p. 309, 2018. Disponível em: doi.org/10.3390/molecules23020309. Acesso em: 06 jun. 2024.

KUCHARSKA, K. *et al.* Pretreatment of lignocellulosic materials as substrates for fermentation processes. *Molecules*, v. 23, n. 11, p. 2937, 2018. Disponível em: doi.org/10.3390/molecules23112937. Acesso em: 06 jun. 2024.

LINHARES, J. E. *et al.* Capacidade para o trabalho e envelhecimento funcional: análise sistêmica da literatura utilizando o proknow-c (knowledge development process - constructivist). *Ciência & Saúde Coletiva*, Paraná, v. 24, n. 1, p. 53-66, jan. 2019.

LOURENÇO, C. S. *et al.* A temática ferrovias na base de dados Web of Science. *Informação em Pauta*, v. 7, p. 7, 2022. Disponível em: dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8740317. Acesso em: 06 jun. 2024.

MICHELIN, M. *et al.* Lignin from an integrated process consisting of liquid hot water and ethanol organosolv: Physicochemical and antioxidant properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 120, p. 159-169, 2018. Disponível em: doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.046. Acesso em: 06 jun. 2024.



MÜHL, S. P. B.; LACERDA, R. T. O. Proknow-C: da seleção de um portfólio de artigos a análise sistêmica sobre políticas públicas e incentivos fiscais voltados a inovação e ao empreendedorismo. *Revista Reuna*, v. 28, n. 2, p. 84-103, 2023. Disponível em: reuna.emnuvens.com.br/reuna/article/view/1439. Acesso em: 06 jun. 2024.

MUNARO, H. L. R.; MUNARO, S. A. P.; SOUZA, A. A. Utilização de bibliometria como método de revisão de literatura: conhecendo o ProKnow-C. *Cenas Educacionais*, v. 7, p. e17037-e17037, 2024. Disponível em: www.revistas.uneb.br/index.php/cenaseducacionais/article/view/17037. Acesso em: 05 jun. 2024.

NASCIMENTO, J. M. *et al.* Geada na cultura da cana-de-açúcar em Rio Brilhante-MS. *Brazilian Journal of Production Engineering*, v. 9, n. 4, p. 34-43, 2023. Disponível em: doi.org/10.47456/bjpe.v9i4.41833. Acesso em: 06 jun. 2024.

OLIVEIRA, M. M. Estudo bibliométrico da Produção sobre a Guerra do Paraguai. *Brazilian Journal of Latin American Studies*, v. 19, n. 36, p. 210-233, 2020. Disponível em: www.revistas.usp.br/prolam/article/view/167072. Acesso em: 06 jun. 2024.

PRATTO, B. *et al.* Experimental optimization and techno-economic analysis of bioethanol production by simultaneous saccharification and fermentation process using sugarcane straw. *Bioresource Technology*, v. 297, p. 122494, 2020. Disponível em: doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122494. Acesso em: 06 jun. 2024.

REZENDE, L. V. R. *et al.* Preservação digital: análise da produção científica na base de dados Web of Science (1992-2022). *Revista Brasileira de Preservação Digital*, v. 4, p. e023014-e023014, 2023. Disponível em: doi.org/10.20396/rebpred.v4i00.18085. Acesso em: 06 jun. 2024.

SABADIN, A. C. "Do Fogo à Fumaça: A Construção Social do Problema Ambiental das Queimadas dos Canaviais Paulistas." *Argumentos* v. 17, n. 1, 2020. 85-104. Disponível em: doi.org/10.32887/issn.2527-2551v17n1p.85-104. Acesso: 01 de abr. 2024.

SÁNCHEZ, J. G. S.; VÁZQUEZ, D. J.; RIBA, S. S. Una revisión sistemática de la importancia del ejercicio físico sobre la autoeficacia y aprendizaje del estudiante. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, n. 48, p. 911-918, 2023.

SANTOS, M. V. G. *et al.* A importância da visualização dos gráficos e tabelas para o complemento do aprendizado. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-*



Sergipe, v. 6, n. 2, p. 11-11, 2020. Disponível em: periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/9157. Acesso em: 06 jun. 2024.

SATARI, B.; KARIMI, K.; KUMAR, R. Cellulose solvent-based pretreatment for enhanced second-generation biofuel production: a review. *Sustainable Energy & Fuels*, v. 3, n. 1, p. 11-62, 2019. Disponível em: doi.org/10.1039/C8SE00287H. Acesso em: 06 jun. 2024.

SILVA, S. P. *et al.* A importância da biomassa na matriz energética brasileira. *Pensar Acadêmico*, v. 19, n. 2, p. 557-583, 2021.

SILVA, A. S. *et al.* Constraints and advances in high-solids enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass: a critical review. *Biotechnology for Biofuels*, v. 13, p. 1-28, 2020. Disponível em: doi.org/10.1186/s13068-020-01697-w. Acesso em: 06 jun. 2020.

SUELA, S. C.; MORETO, E. R.; FREITAS, R. R. de. Bibliometria e seus Métodos de Pesquisa: um estudo nas bases de dados scopus e web of science. *Revista Fsa, Teresina*, v. 18, n. 6, p. 151-168, 1 jun. 2021. DOI 10.12819/2021.18.6.8. Disponível em: unifsa.com.br/revista/index.php/fsa/article/view/2302/491492842. Acesso em: 29 de mai. 2024.

SUN, D. *et al.* Effects of hydrothermal pretreatment on the dissolution and structural evolution of hemicelluloses and lignin: a review. *Carbohydrate Polymers*, v. 281, p. 119050, 2022. Disponível em: doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.119050. Acesso em: 06 jun. 2024.

SUTTON, A. *et al.* Meeting the review family: exploring review types and associated 13 information retrieval requirements. *Health Info Libraries Journal*, v. 36, n. 3, 202–222. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/hir.12276>. Acesso em: 06 jun. 2024.

ZHANG, H. *et al.* Investigation of alkaline hydrogen peroxide pretreatment and Tween 80 to enhance enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse. *Biotechnology for Biofuels*, v. 12, p. 1-9, 2019. Disponível em: doi.org/10.1186/s13068-019-1454-3. Acesso em: 06 jun 2024.