

POTENCIAL DO ETANOL DE RESÍDUOS DE ABACAXI: uma revisão bibliométrica

Jean Dionízio Silva¹

Universidade Federal da Paraíba
jean.dionizio@academico.ufpb.br

Paulo Franklin Tavares Santos²

Universidade Federal da Paraíba
p.franklintavares@gmail.com

Igor Antônio De Oliveira Carvalho³

Universidade Federal da Paraíba
igor.carvalho@ifma.edu.br

José Aprígio Carneiro Neto⁴

Instituto Federal de Sergipe
jose.neto@ifs.edu.br

Carlos Antônio Cabral Dos Santos⁵

Universidade Federal da Paraíba
carloscabraldosantos@yahoo.com.br

Resumo

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a necessidade de reduzir as emissões de carbono têm impulsionado a busca por alternativas renováveis aos combustíveis fósseis tradicionais. Nesse contexto, o etanol produzido a partir de resíduos agroindustriais, especialmente os resíduos de frutas, surge como uma solução promissora para a geração de energia limpa e renovável. Entre essas opções, a biomassa residual de frutas, amplamente disponível em regiões tropicais, se destaca por seu grande potencial de conversão em biocombustíveis, contribuindo significativamente para o desenvolvimento sustentável e a diversificação da matriz energética. Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica da produção científica relacionada à obtenção de etanol a partir de resíduos de abacaxi, com ênfase na identificação de tendências emergentes, lacunas de pesquisa e áreas de maior relevância para o aprimoramento e desenvolvimento dessa tecnologia. A revisão será conduzida com base em dados extraídos da base de dados *Scopus*, abrangendo um total de 57 artigos publicados entre os anos de 2013 e 2023. A análise dos dados será realizada por meio do *software VOSviewer*, com foco em quatro abordagens principais: a análise anual do número de publicações, citações dos autores, coautoria por países e a coocorrência de palavras-chave nos artigos. Os resultados fornecerão uma visão abrangente sobre a pesquisa referente ao etanol de abacaxi, destacando o crescimento expressivo no número de publicações nos últimos anos e apontando caminhos para futuras investigações e aplicações dessa tecnologia no contexto da geração de energia sustentável.

Palavras-chave: Etanol; Abacaxi; Biomassa; Biocombustível; Sustentabilidade; Revisão Bibliométrica.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica Bacharelado pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2024).

² Técnico em Manutenção e Suporte em Informática no Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS) (2016). Graduado em Engenharia Mecânica Bacharelado pela Universidade Federal de Sergipe (UFS), com período sanduíche Département Mécanique et Energétique, Polytech Marseille (site Château Gombert), na França, como bolsista do programa CAPES-Brafitec de agosto de 2021 a setembro de 2022. Mestrando em Engenharia Mecânica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) na UFPB.

³ Bacharelado em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal do Piauí (2012). Professor EBTT na área de Engenharia Mecânica/ Mecânica das Máquinas e Transferência de Calor e Massa no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) - Campus Timon Tem especialização em docência do ensino superior pela IESM (2017), especialização em Eletromecânica pela universidade Cândido Mendes (2017), Mestrado em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Piauí (2020) e é doutorando (2021-) no Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFPB.

⁴ Pós-Doutor em Engenharia e Computação Inteligente pelo Instituto Politécnico do Porto –ISEP/IPP, em Porto, Portugal (2024). Pós-Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Minho – UNIMINHO, em Braga, Portugal (2023). Pós-Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Sergipe-UFS (2022). Doutor em Ciência da Propriedade Intelectual pela Universidade Federal de Sergipe – UFS (2018). Mestre em Engenharia de Software pelo Centro de Estudos e Sistemas Avançados do Recife (2013). Especialista em Tecnologias da Informação, com ênfase em Cliente/Servidor pela Universidade Federal do Ceará–UFC (2001). Graduado em Formação Pedagógica em Informática pelo Centro Universitário Leonardo Da Vinci–UNIASSSELVI (2020). Graduado em Processamento de Dados pela Universidade Estadual do Piauí–UESPI (1997).

⁵ Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (1976), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (1983) e doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1990). Atualmente é professor titular da Universidade Federal da Paraíba.



Esta obra está licenciada sob uma licença

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

P2P & INOVAÇÃO, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 1-21, e-7321, Jan./Jun., 2025.

ETHANOL POTENTIAL FROM PINEAPPLE WASTE: a bibliometric review**Abstract**

Growing concern about sustainability and the need to reduce carbon emissions have driven the search for renewable alternatives to traditional fossil fuels. In this context, ethanol produced from agro-industrial waste, especially fruit waste, has emerged as a promising solution for generating clean, renewable energy. Among these options, fruit waste biomass, which is widely available in tropical regions, stands out for its great potential for conversion into biofuels, contributing significantly to sustainable development and diversification of the energy matrix. The aim of this study is to carry out a bibliometric review of scientific production related to obtaining ethanol from pineapple waste, with an emphasis on identifying emerging trends, research gaps and areas of greatest relevance for the improvement and development of this technology. The review will be based on data extracted from the Scopus database, covering a total of 57 articles published between 2013 and 2023. Data analysis will be carried out using VOSviewer software, focusing on four main approaches: the annual analysis of the number of publications, author citations, co-authorship by country and the co-occurrence of keywords in the articles. The results will provide a comprehensive overview of pineapple ethanol research, highlighting the significant growth in the number of publications in recent years and pointing to avenues for future research and applications of this technology in the context of sustainable energy generation.

Keywords: Ethanol; Pineapple; Biomass; Biofuel; Sustainability; Bibliometric Review.

POTENCIAL DEL ETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE PIÑA: revisión bibliométrica**Resumen**

La creciente preocupación por la sostenibilidad y la necesidad de reducir las emisiones de carbono han impulsado la búsqueda de alternativas renovables a los combustibles fósiles tradicionales. En este contexto, el etanol producido a partir de residuos agroindustriales, especialmente de residuos de frutas, ha surgido como una solución prometedora para generar energía limpia y renovable. Entre estas opciones, la biomasa de residuos frutales, ampliamente disponible en las regiones tropicales, se destaca por su gran potencial de conversión en biocombustibles, contribuyendo significativamente al desarrollo sostenible y a la diversificación de la matriz energética. El objetivo de este estudio es realizar una revisión bibliométrica de la producción científica relacionada con la obtención de etanol a partir de residuos de piña, con énfasis en la identificación de tendencias emergentes, vacíos de investigación y áreas de mayor relevancia para la mejora y desarrollo de esta tecnología. La revisión se basará en datos extraídos de la base de datos Scopus, abarcando un total de 57 artículos publicados entre 2013 y 2023. Los datos se analizarán utilizando el software VOSviewer, centrándose en cuatro enfoques principales: el análisis anual del número de publicaciones, las citas de autores, la coautoría por país y la co-ocurrencia de palabras clave en los artículos. Los resultados proporcionarán una visión global de la investigación sobre el etanol de piña, destacando el importante crecimiento del número de publicaciones en los últimos años y señalando vías para futuras investigaciones y aplicaciones de esta tecnología en el contexto de la generación de energía sostenible.

Palabras clave: Etanol; Piña; Biomasa; Biocombustible; Sostenibilidad; Revisión bibliométrica.

1 INTRODUÇÃO

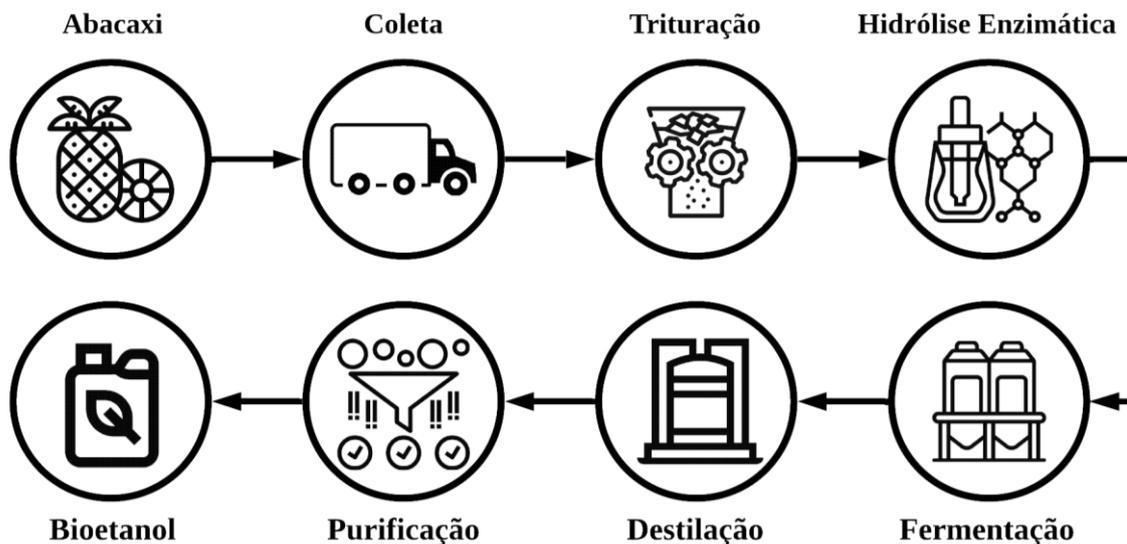
A crescente busca por fontes alternativas de energia tem se tornado essencial diante da crise energética global, impulsionada pela redução dos combustíveis fósseis e suas graves consequências ambientais, como o aquecimento global e a poluição. Nesse contexto, os biocombustíveis surgem como uma solução promissora, por serem sustentáveis e renováveis. Entre as alternativas, destaca-se o bioetanol produzido a partir de resíduos de biomassa, que oferece vantagens como baixo custo e ampla disponibilidade de matéria-prima (Gil; Maupoey, 2018).

O abacaxi (*Ananas comosus*), uma fruta tropical amplamente cultivada, é uma importante fonte de biomassa. Em 2017, o Brasil se destacou como um dos maiores produtores de abacaxi, gerando grandes quantidades de resíduos durante o processamento industrial, como cascas e coroas. Esses resíduos, que muitas vezes são descartados ou mal gerenciados, representam uma oportunidade significativa para a produção de bioetanol, um biocombustível com múltiplas aplicações industriais e ambientais (Casabar *et al.*, 2019).

A utilização de resíduos de abacaxi para a produção de bioetanol apresenta várias vantagens. Esses resíduos são ricos em hemicelulose, celulose e lignina, componentes essenciais para a conversão em bioetanol. Estudos indicam que a casca do abacaxi contém 11,1% de hemicelulose, 22,4% de celulose e 6,5% de lignina, enquanto a polpa possui 28,53% de hemicelulose e 24,53% de celulose (Chintagunta *et al.*, 2017). Além disso, a abundância desses resíduos e seu baixo custo os tornam uma alternativa atraente para a produção de bioetanol.

O processo de produção de bioetanol a partir de resíduos de abacaxi segue etapas semelhantes às empregadas na produção de etanol de primeira e segunda geração. Conforme ilustrado na Figura 1, o processo começa com a coleta e transporte dos resíduos para uma biorrefinaria, onde são triturados para homogeneização, facilitando a ação dos reagentes químicos ou enzimáticos na hidrólise dos polissacarídeos presentes. A hidrólise pode ser realizada com ácidos diluídos, como o ácido sulfúrico, frequentemente preferido por sua eficiência (Carreon *et al.*, 2022). Após a hidrólise, as leveduras fermentam os açúcares liberados, convertendo-os em etanol, um processo influenciado por fatores como o tipo de levedura e o tempo de fermentação (Carreon *et al.*, 2022). Finalmente, o etanol é purificado, geralmente por redistilado, para remover impurezas e aumentar sua concentração, melhorando a qualidade do produto.

Figura 1 – Diagrama de um processo geral de produção de etanol a partir de resíduos do abacaxi.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Neste artigo, será realizada uma revisão bibliométrica da literatura existente sobre a produção de bioetanol, a partir de resíduos de biomassa do abacaxi. A análise abordará os principais métodos utilizados, oferecendo um panorama detalhado e atualizado sobre o uso sustentável desses resíduos na produção de bioetanol.

4

2 METODOLOGIA

2.1 ETAPAS DA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

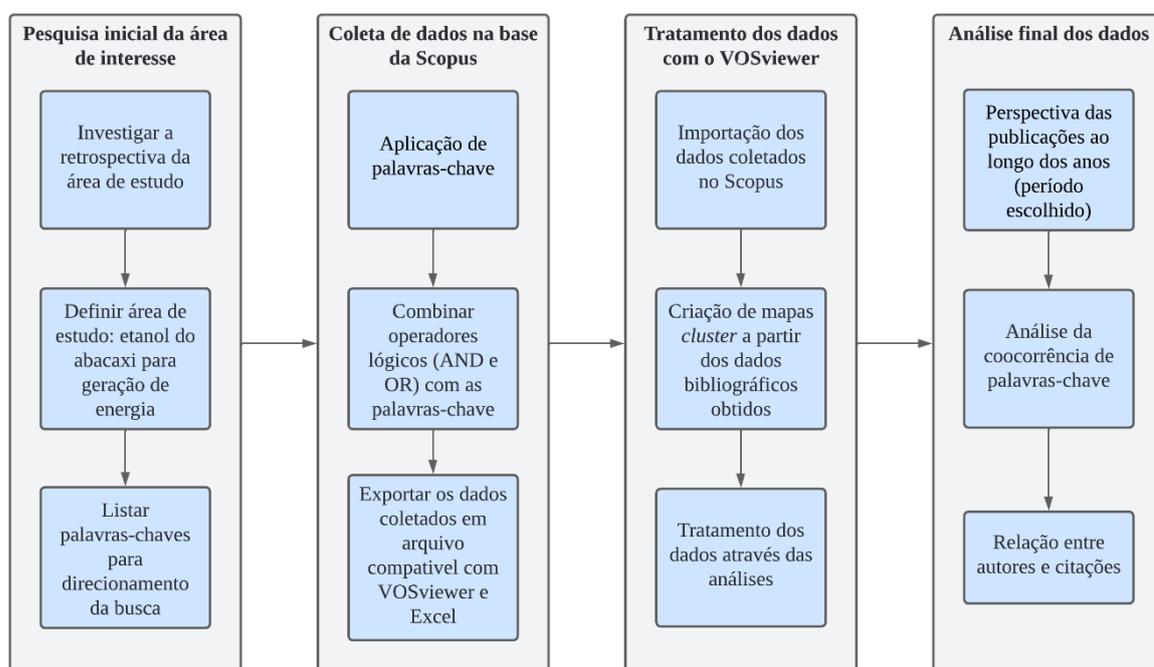
A análise bibliométrica é uma abordagem metodológica exploratória, que oferece uma visão abrangente dos principais resultados das publicações acadêmicas, utilizando grandes bases de dados para identificar tendências emergentes, padrões de colaboração e a estrutura intelectual de campos específicos. Ela se baseia em informações objetivas, como citações e número de publicações, mas também incorpora avaliações qualitativas (Zupic; Čater, 2015). Essa metodologia é eficaz para mapear e compreender o conhecimento científico acumulado e a evolução de campos já estabelecidos.

No presente estudo, foi utilizado um fluxograma de blocos que ilustra as etapas envolvidas na análise de dados sobre a tecnologia de uso ou produção de etanol, a partir do abacaxi, para a geração de energia (ver Figura 2). O fluxograma organiza o processo em quatro etapas principais: 1) Definição dos objetivos da pesquisa, 2) Coleta de dados na base *Scopus*, 3) Tratamento e organização dos dados, e 4) Análise final dos dados.

A primeira etapa consiste em definir os objetivos da revisão e como avaliar a evolução das publicações relacionadas ao uso do abacaxi na produção de etanol. Isso inclui uma análise estatística e interpretativa das publicações, citações, palavras-chave e afiliações dos autores por país.

Na segunda etapa, realiza-se a busca de artigos relevantes, utilizando palavras-chave específicas e operadores lógicos em bases de dados como a *Scopus*, reconhecida mundialmente pela sua qualidade e relevância. Essa busca refinada permite reunir um conjunto de dados para análise posterior.

Figura 2 – Fluxograma de blocos para aquisição de dados bibliométricos.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Após a coleta dos dados, inicia-se o tratamento, que envolve o uso de *softwares*, como o *VOSviewer*. Essa ferramenta de código aberto é utilizada para construir e visualizar redes bibliométricas, facilitando a análise de grandes volumes de dados. O *VOSviewer* permite a visualização de redes complexas de coocorrência, citações, coautorias e acoplamentos, gerando *insights* valiosos sobre o tema (Eck; Waltman, 2017; Zou *et al.*, 2018).

Por fim, a última etapa do processo metodológico assegura uma análise detalhada, avaliando o número de publicações anuais, as relações entre autores e citações, coautoria por país e a coocorrência de palavras-chave. Esse processo proporciona uma compreensão clara do desenvolvimento e do estado atual da pesquisa científica sobre o uso de resíduos de abacaxi para a produção de etanol.

2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

A coleta de dados teve início no dia 05 de setembro de 2024, empregando palavras-chave e combinações de operadores lógicos na base de dados *Scopus*.

Como mostrado na Tabela 1, foi aplicado um filtro para restringir a busca aos últimos 10 anos e limitar os resultados ao formato de publicação do tipo artigo. Utilizou-se o comando "*TITLE-ABS-KEY*" (Título, resumo e palavras-chave) e no campo de título, combinando com o comando lógico "OR", colocou-se tudo que se refere a produção de etanol e, em seguida, cruzando com o termo "*AND*" no campo de título palavras-chave que envolvia o abacaxi, a fim de direcionar o estudo para o uso ou produção de etanol.

Tabela 1 – Linha de comando para pesquisa na base da Scopus.

Comando	Resultado
(TITLE-ABS-KEY (ethanol) OR TITLE-ABS-KEY (bioethanol) AND TITLE-ABS-KEY (pineapple) OR TITLE-ABS-KEY (ananas) AND TITLE-ABS-KEY (production)) AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , "BIOC"))	57

Fonte: Autoria Própria, 2024.

A pesquisa resultou em 57 registros, representando 76% de todos os estudos desde a primeira publicação sobre o tema, sendo essa abordagem adotada para restringir a pesquisa para os artigos que estivessem mais alinhados com o tema de interesse.

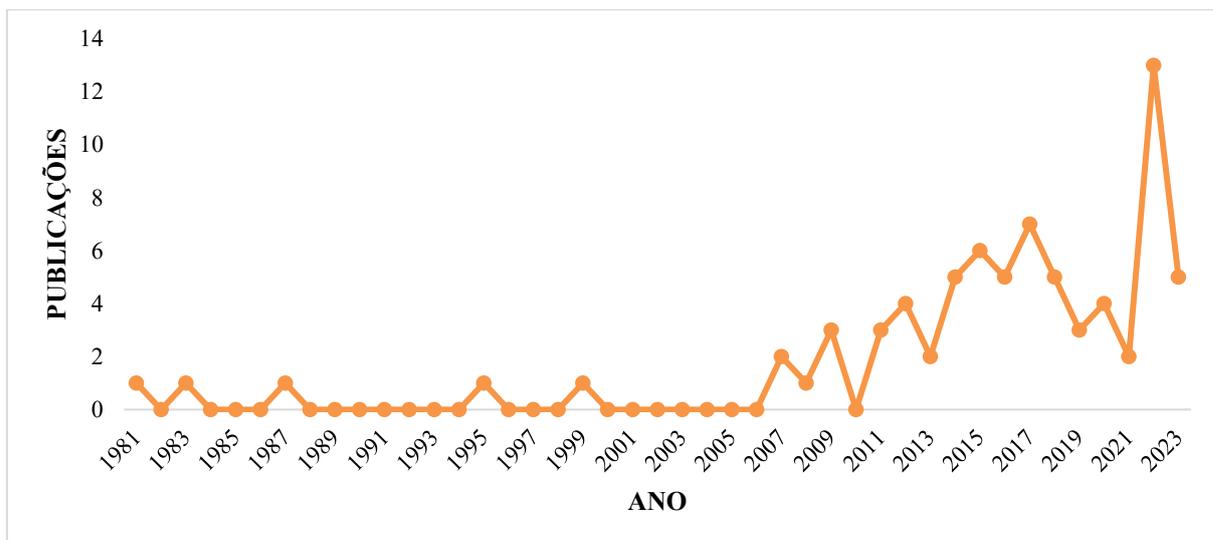
3 RESULTADOS

3.1 AVANÇO DAS PUBLICAÇÕES

Nesta etapa do estudo, realiza-se uma análise por meio de um retrospecto, destacando e evidenciando, de forma clara, a evolução das publicações de artigos científicos ao longo dos anos, dentro de um período específico previamente definido. Esse processo busca identificar tendências, padrões e mudanças significativas na produção científica ao longo do tempo.

Na Figura 3, tem-se um panorama atual das publicações de artigos sobre a produção de etanol do abacaxi no período de 1981, ano da primeira publicação, até 2023. E na Figura 4, observa-se um acumulado desses artigos a cada década no mesmo período.

Figura 3 – Evolução dos artigos relacionados produção de etanol do abacaxi por ano (1981 a 2023).



Fonte: Autoria Própria, 2024.

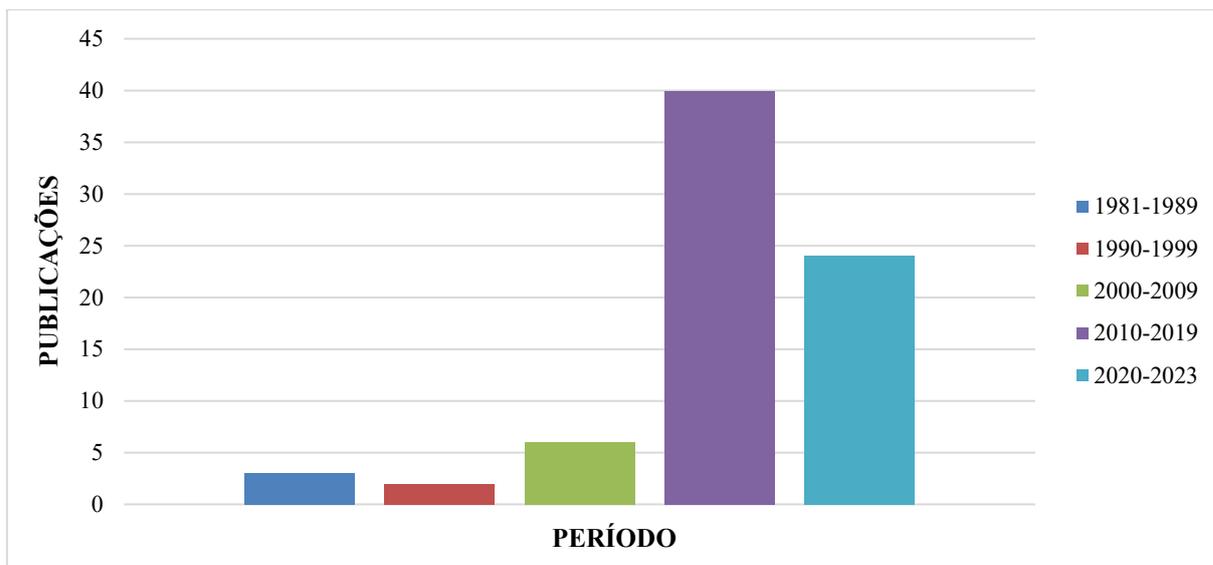
Esses dados referentes aos anos foram obtidos diretamente da ferramenta *Analyze results* (Análise dos Resultados), da base de dados *Scopus* e, em seguida, foram cuidadosamente adaptados e representados graficamente para facilitar a visualização e compreensão da evolução temporal das publicações.

Durante o período total de análise, foram contabilizadas 75 publicações sobre a produção de etanol do abacaxi, o que reflete uma produção científica ainda incipiente nesse campo de estudo. Ao analisar a Figura 4, com o primeiro artigo publicado em 1981, é possível perceber que o número de publicações na década de 1980 foi limitado, onde observa-se que nos anos de 1982, 1984, 1985, 1986 e 1988 não foram realizadas nenhuma publicação sobre o tema na base de dados pesquisada. Com um total de três artigos nessa década, esses artigos representam uma pequena fração, correspondendo a 4% do total da quantidade total de artigos registradas ao longo do período completo de análise.

Na década de 90 a quantidade de publicações foi ainda menor, com um total de 2 (duas) publicações, representando 2,67% das publicações totais, salientando que só houve publicação em 1995 e no último ano da década, em 1999, com mais uma publicação.

Na década seguinte, com um total de 6 publicações, representou 8% das publicações totais, onde nos anos de 2000 a 2007 não foram publicados nenhum artigo referente ao tema. Entretanto, no final dessa década, é perceptível que com o aumento da preocupação acerca das fontes de energia renováveis, houve um crescimento nas publicações acerca do tema, e isso fica mais evidente no período de 2010 a 2019, com 40 publicações, representando 53,33% do total de artigos publicados.

Figura 4 – Acumulado dos artigos relacionados produção de etanol do abacaxi por décadas (1981 a 2023).



Fonte: Autoria Própria, 2024.

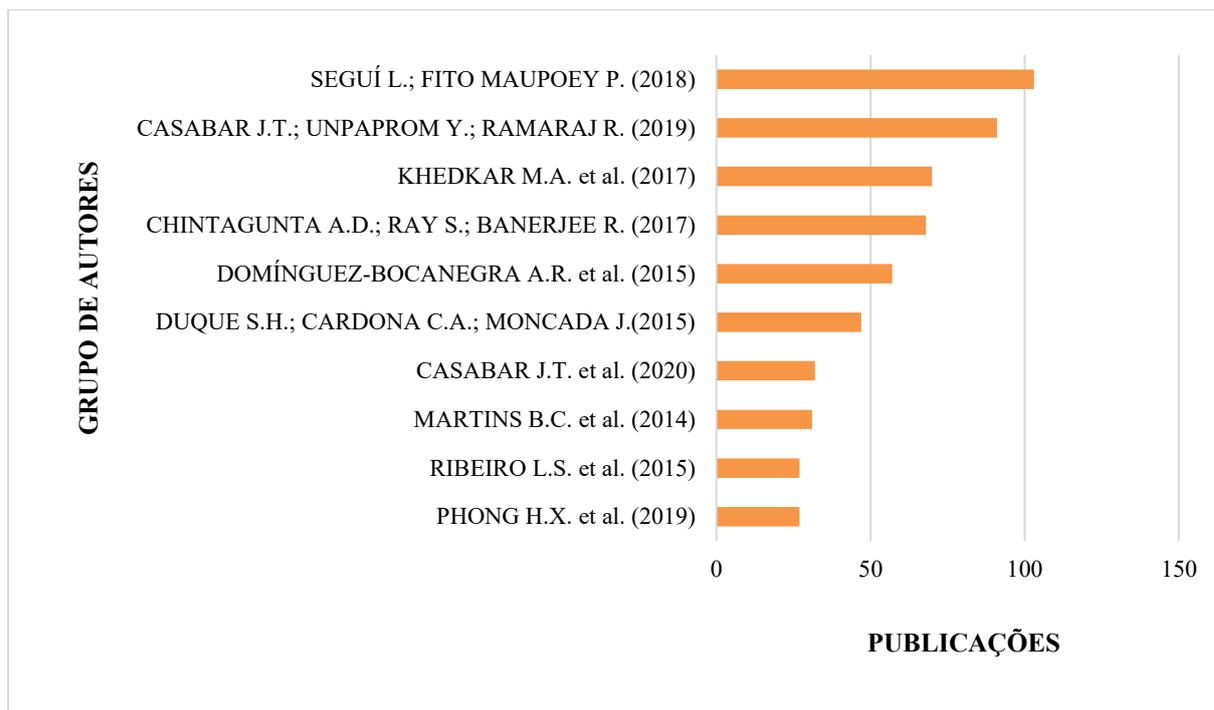
No último período analisado, que compreende os anos de 2020 até 2023, foram identificadas 24 publicações, representando 32% do total, com destaque para o ano de 2022, que apresentou a maior quantidade de publicações relacionadas ao tema, com um total de 13 artigos.

Dessa forma, o aumento da preocupação global com fontes de energia renováveis reflete-se, ainda que incipiente, na crescente quantidade de artigos científicos sobre o tema abordado, destacando a atenção cada vez maior à pesquisa sobre alternativas sustentáveis, como o bioetanol. Este, além de ser ambientalmente mais aceitável pela combustão de forma mais limpa, é biodegradável, contribuindo para o controle da poluição, e apresenta menor toxicidade em comparação aos combustíveis fósseis, além de sua fácil integração ao sistema de combustíveis de transporte existente (Domínguez-Bocanegra *et al.*, 2015).

3.2 CITAÇÕES DOS AUTORES

Utilizando o *software VOSviewer*, deve-se configurar o tipo de análise como "citação" e escolher o método de contagem "por autores", dessa forma é possível fazer uma análise de citação dos autores, permitindo visualizar os grupos de autores mais citados dentro do período especificado dos últimos 10 anos. A Figura 5 mostra os 10 grupos mais citados, juntamente com o número de citações, representando uma parte significativa do total. Esses grupos fornecem uma visão importante sobre os autores com maior impacto no campo de estudo, destacando as principais contribuições na área.

Figura 5 – Quantitativo dos 10 grupos de autores mais citados nos últimos 10 anos.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Com 103 citações, os estudos de Gil e Maupoey (2018) é o grupo mais citado, seu estudo propõe processos integrados para melhorar a produção de bioetanol e bromelina, a partir de resíduos do abacaxi, destacando três métodos de fermentação: direta; sacarificação e fermentação consecutiva; sacarificação e fermentação simultânea, sendo esta última a mais eficiente. A sacarificação e fermentação simultâneas aumentaram a produção de etanol ($5,4 \pm 0,1\%$ v/v) em comparação com a fermentação direta ($4,7 \pm 0,3\%$) e os processos de sacarificação e fermentação dos resíduos sólidos ($4,9 \pm 0,4\%$ v/v).

Em seguida, com 91 citações, tem-se o trabalho de Casabar *et al.* (2019), um estudo que avaliou o efeito do pré-tratamento alcalino e da hidrólise microbiana das cascas de abacaxi, usando *Trichoderma harzianum*. Entre as quatro concentrações testadas, 0% NaOH produziu os maiores teores de açúcares em comparação com as concentrações de 1%, 3% e 5% de NaOH. Amostras tratadas com 0% NaOH submetidas a hidrólise microbiana, aumentando o teor de açúcar fermentável e resultando em um rendimento de bioetanol de 5,98 g/L após 48 horas.

O trabalho de Khedkar *et al.* (2017), com 70 citações, realizou uma linha de estudo com experimentos de secagem da casca de abacaxi na faixa de temperatura de 60–120 °C, e os dados experimentais de secagem foram modelados usando o modelo de controle de difusão de umidade para estudar seu efeito na produção de acetona-butanol-etanol (ABE), com um

rendimento máximo de 5,23 g/L. O uso de cascas secas a 120 °C e a remoção de compostos inibidores como fenólicos e ácido acético foram cruciais para o sucesso do processo.

O estudo de Chintagunta *et al.* (2017), com 68 citações, aborda a utilização de resíduos de folhas de abacaxi para a produção integrada de bioetanol e biocomposto, visando o descarte zero de resíduos. A sacarificação e fermentação simultâneas (SSF) geraram 7,12% (v/v) de bioetanol.

O estudo de Domínguez-Bocanegra *et al.* (2015), com 57 citações, investigou a produção de bioetanol a partir de resíduos agroindustriais usando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. De forma semelhante, Duque *et al.* (2015), que recebeu 47 citações, também explorou, além da *Saccharomyces cerevisiae*, a utilização da levedura *Pichia stipitis*. Entre as fontes testadas, os resíduos de abacaxi se destacaram por resultar em altas concentrações de etanol. O suco de abacaxi, em particular, mostrou-se uma matéria-prima eficiente e viável em comparação com outras fontes.

Na sequência, com 32 citações, o trabalho de Casabar *et al.* (2020) avaliou a produção de bioetanol a partir de cascas de abacaxi sonificadas, utilizando o fungo *Trichoderma harzianum*. A sonificação por 30 minutos, seguida de hidrólise com *Trichoderma harzianum* resultou na produção de 567,6 g/L de açúcares redutores. Após 48 horas de fermentação, o rendimento de bioetanol foi de 197,6 g/L (25% v/v) e a produtividade energética atingiu 126,9 MJ/h. A valorização das cascas de abacaxi não tratadas pode aumentar a produção futura de bioetanol.

O estudo de Martins *et al.* (2014), com 31 citações, focou na recuperação de bromelina de resíduos de abacaxi, através de precipitação fracionada com etanol. Embora o estudo discutido não se concentre na linha específica de pesquisa, eles oferecem abordagens valiosas na implementação de conhecimentos de Bioquímica e suas aplicações industriais. Essas abordagens podem ser aplicadas na melhoria de novos sistemas.

Com um quantitativo de 27 citações, Phong *et al.* (2019), fizeram um estudo identificando leveduras termotolerantes para fermentação de etanol em altas temperaturas. Seis espécies de levedura foram identificadas, incluindo a *Pichia kudriavzevii*, que demonstrou o maior potencial para a produção de etanol a 45 °C, produzindo a maior concentração de etanol (36,91 g/L) e a melhor produtividade volumétrica (4,10 g/L h) usando hidrolisado de resíduos de abacaxi como substrato, indicando seu alto potencial para a produção de bioetanol de segunda geração.

Por fim, Ribeiro *et al.* (2015), avaliaram o potencial das leveduras *Saccharomyces cerevisiae* e *Pichia caribbica*, para produzir uma bebida fermentada de cana-de-açúcar e

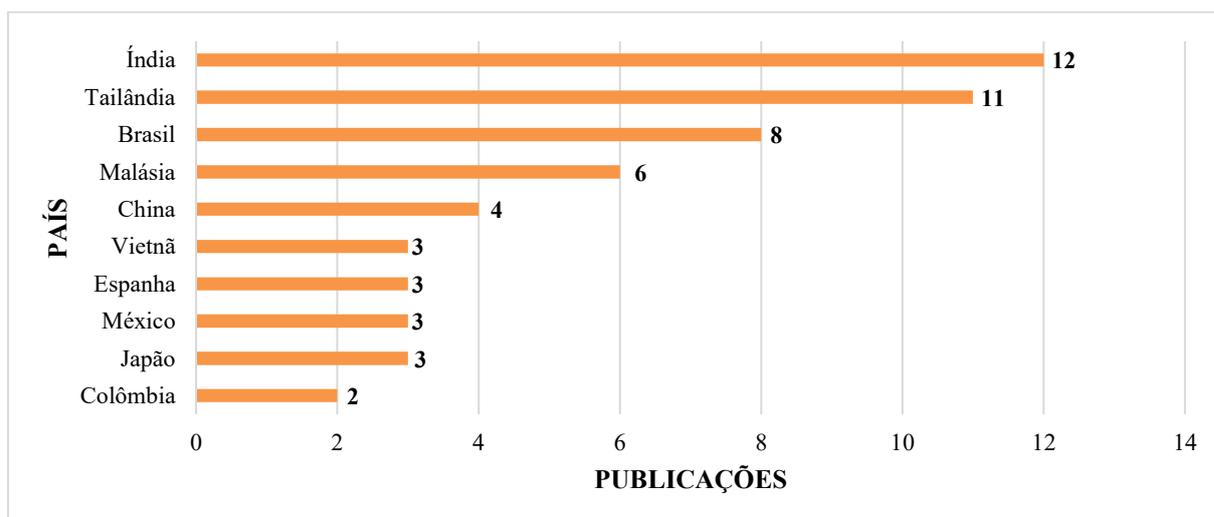
abacaxi. Entre as leveduras testadas, *Pichia caribbica* se destacou ao fermentar a mistura na proporção 60:40, resultando em uma concentração máxima de etanol de 79,78 g/L e uma eficiência de fermentação de 88,22%.

Assim, é evidente que a produção de etanol, a partir de resíduos de abacaxi, possui um grande potencial. No entanto, observa-se que há uma carência de estudos focados na aplicação desse etanol para a produção de biocombustíveis, revelando uma linha de estudo que ainda pode ser mais explorada.

3.3 COAUTORIA POR PAÍS

A Figura 6 mostra um quantitativo de artigos por países, indicando os 10 países com o maior número de publicações relacionadas ao tema, no período compreendido entre os anos de 2013 e 2023, com destaque para as 12 publicações da Índia.

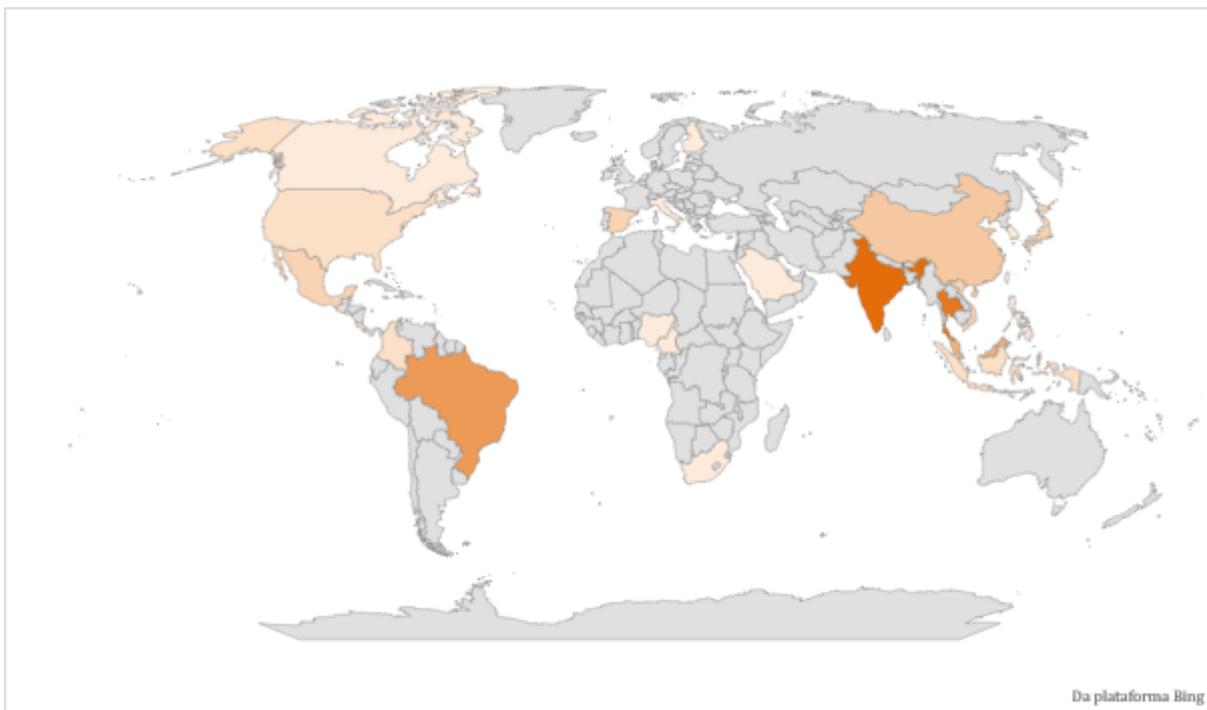
Figura 6 – Países com mais publicações sobre a produção de etanol do abacaxi entre os anos de 2013 e 2023.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Na Figura 7, observa-se um mapa coroplético que ilustra, por meio de diferentes intensidades de laranja, a distribuição geográfica dos países que publicaram artigos sobre a produção de etanol a partir de resíduos de abacaxi. A intensidade do tom varia desde países com apenas uma publicação até aqueles que mais contribuíram para a literatura sobre o tema.

Figura 7 – Países com mais publicações sobre a produção de etanol do abacaxi entre os anos de 2013 e 2023.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

12

Analisando os dados, destacam-se a Índia, Tailândia e Brasil, como os três principais produtores de conhecimento científico nessa área, representando 43,66% do total de publicações no período analisado, com 12, 11 e 8 artigos, respectivamente. Esses países são também grandes produtores de abacaxi (United Nations, 2022), o que reforça sua relevância no estudo da conversão dos resíduos dessa fruta em bioetanol.

O Brasil, por exemplo, possui uma ampla tradição na área de biocombustíveis, tendo desenvolvido, ao longo dos anos, tecnologias avançadas e eficientes para a produção de etanol, principalmente a partir de resíduos provenientes da cana-de-açúcar (Klein *et al.*, 2018).

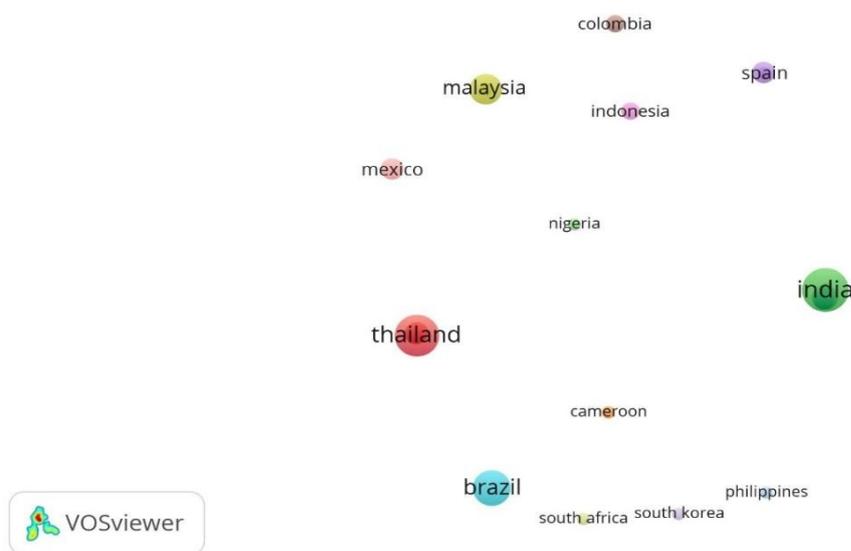
Esse conhecimento consolidado no setor energético é um dos fatores cruciais na exploração de novas fontes de biomassa, como os resíduos do abacaxi, promovendo alternativas viáveis tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. A utilização desses resíduos para a produção de bioetanol reforça o compromisso do país com a sustentabilidade e a inovação tecnológica, abrindo novas oportunidades no campo das energias renováveis.

Também por meio do *VOSviewer*, é possível identificar as relações de coautoria entre os países, ao gerar um agrupamento em *clusters* que exibe cores ou padrões para representar uma proporcionalidade estatística. Alguns fatores podem contribuir para a convergência das pesquisas entre determinados países, sendo os mais relevantes a proximidade geográfica,

parcerias estratégicas motivadas por necessidades energéticas compartilhadas, distribuição de recursos e alinhamentos políticos que visam benefícios mútuos.

Ao selecionar a análise de coautoria com o critério de contagem por países e estabelecendo como requisito mínimo uma publicação por país, foram identificados 23 países no banco de dados referente ao período avaliado. Esse conjunto de países está representado na Figura 8.

Figura 8 – Cluster de coautoria por países.



13

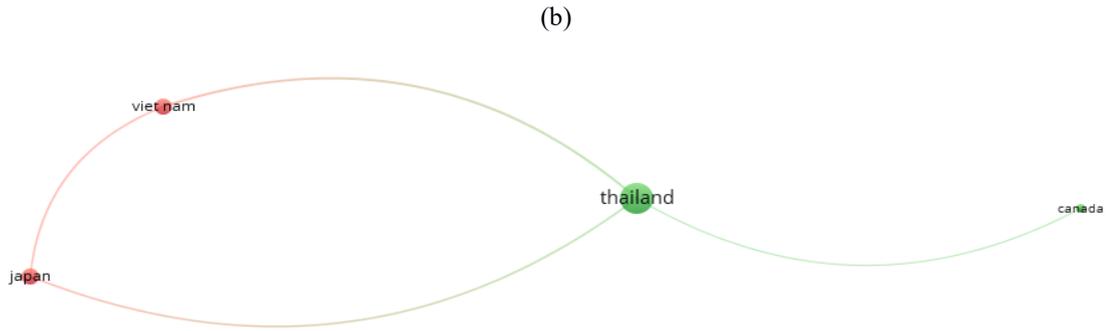
Fonte: Dados adaptados do *VOSviewer* (2024).

Analisando o gráfico acima, percebe-se que as colaborações internacionais em coautoria ainda não apresentam um padrão sólido. Apenas dois grupos de países mostram uma interação significativa em suas pesquisas conjuntas, conforme ilustrado nas Figuras 9.a e 9.b.

Figura 9 – Cluster de coautoria por grupo de países.

(a)





Fonte: Dados adaptados do *VOSviewer*, 2024.

As figuras apresentam dois *clusters* principais, representados pelas cores verde e vermelho, com a Índia liderando o grupo (a) e a Tailândia o grupo (b). Tanto a Índia quanto a Tailândia se destacam não apenas por serem grandes produtores de abacaxi (United Nations, 2022), mas também por suas contribuições significativas para a pesquisa sobre o tema, representando 16,90% e 15,49% das publicações no período analisado, respectivamente. Esse destaque é impulsionado por suas demandas populacionais e industriais, que incentivam estratégias energéticas (Portal Enel Green Power, 2020), bem como a promoção de pesquisas e colaborações internacionais.

No grupo (a) da Figura 09, China, Taiwan e Costa Rica se destacam, enquanto no grupo (b), Vietnã aparece com relevância. Embora sejam grandes produtores de abacaxi, esses países ainda possuem uma participação mais modesta na produção de artigos científicos sobre o tema. No entanto, a Costa Rica, em particular, se sobressai pelo incentivo à produção de energia sustentável, com uma matriz energética quase totalmente renovável (Valverde *et al.*, 2021), embora ainda esteja nos estágios iniciais da produção de energia verde a partir de biomassa (Universidad da Costa Rica, 2023).

Nos grupos (a) e (b), os Estados Unidos e o Japão, respectivamente, não se destacaram nem na pesquisa e nem na produção de abacaxi, mas apresentam uma força de coautoria relativamente alta. Isso se deve, em parte, à notoriedade causada por suas lideranças em pesquisas científicas de uma forma geral, além de uma infraestrutura científica mais robusta nesses países (Portal NSB, 2022), que oferecem melhores oportunidades para os cientistas, tanto no contexto social quanto no contexto da visibilidade no meio acadêmico.

De modo geral, apesar de haver cooperação internacional, ela ainda está concentrada em poucos núcleos, sugerindo um potencial para maior integração e troca de conhecimento entre as nações envolvidas no estudo da produção de etanol a partir do abacaxi.

3.4 COOCORRÊNCIA DE PALAVRAS-CHAVE

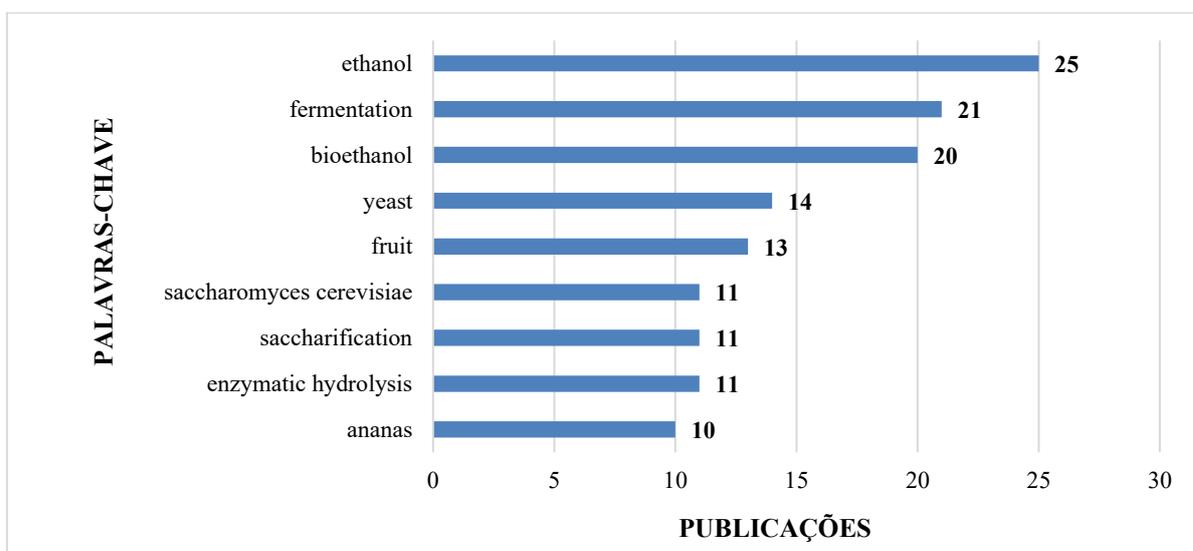
Para a análise de coocorrência de palavras-chave, o *software VOSviewer* foi utilizado como ferramenta principal para identificar a frequência e as relações entre as palavras-chave presentes nos documentos selecionados. No gráfico de *clusters*, o tamanho das esferas indica o número de ocorrências de cada palavra-chave nos documentos analisados. Esse processo facilita a compreensão das áreas de maior concentração de estudos e a visualização dos padrões de pesquisa, como será apresentado nas Figuras 11 a 13.

No *VOSviewer*, foi selecionado o tipo de análise "*co-occurrence*", com o método de contagem "*full counting*" e a unidade de contagem definida como "*all keywords*". Para garantir que as palavras-chave identificadas sejam representativas, foi estabelecido um número mínimo de ocorrências. No contexto deste estudo, foram analisados 57 documentos, dos quais 36 palavras-chave foram extraídas a partir de um total de 671 palavras-chave identificadas. Apenas as palavras que apareceram pelo menos 3 vezes nos documentos foram consideradas na análise.

Na Figura 10, observa-se os 10 principais destaques em relação à ocorrência de palavras-chave nos 57 documentos analisados. Esses termos mais frequentes correspondem a 20,27% do total, o que equivale a 136 citações, de um total geral de 671 ocorrências identificadas pelo *VOSviewer*. Essa representação evidencia a concentração de determinados temas dentro do campo de estudo, demonstrando quais palavras-chave são mais recorrentes e, possivelmente, mais relevantes para a comunidade científica.

15

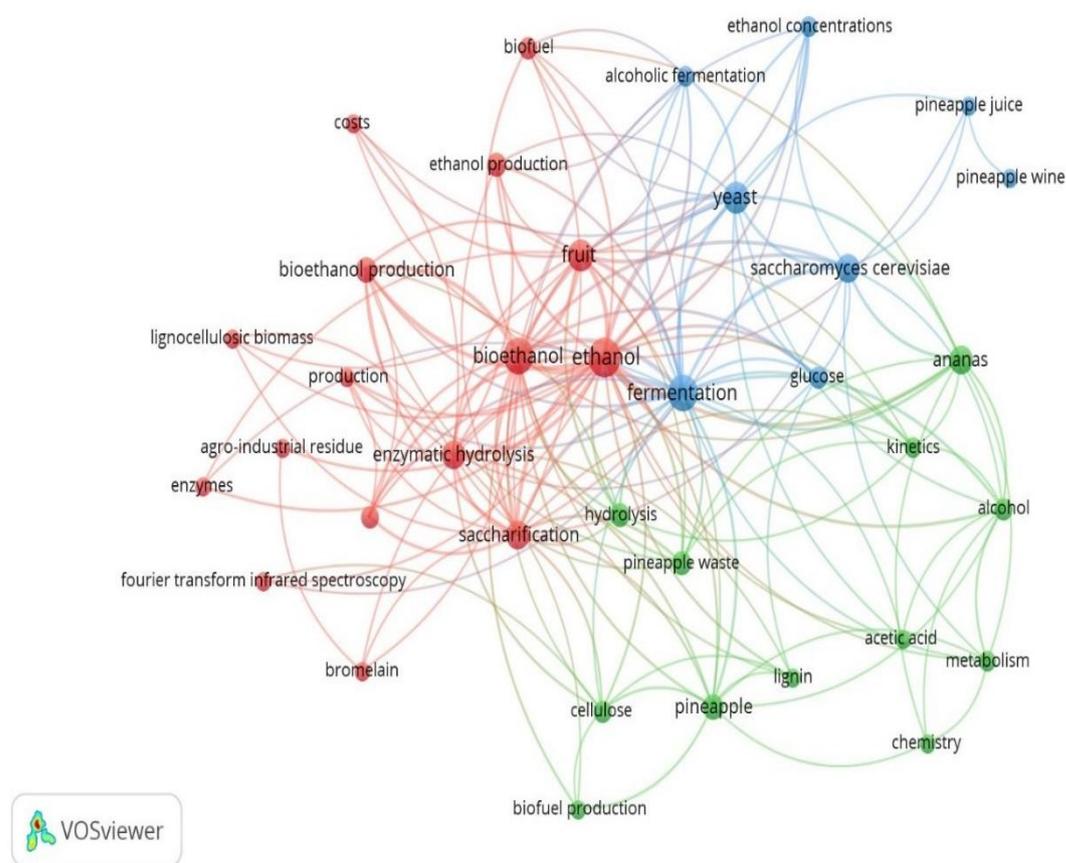
Figura 10 – Palavras-chaves mais recorrentes.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Na Figura 11, observa-se uma análise de rede bibliométrica, permitindo explorar as conexões entre os *clusters* formados pelas palavras-chave mais frequentes em artigos publicados nos últimos 10 anos (2013 a 2023). Além disso, visualiza-se essa rede composta por palavras-chave com, no mínimo, três ocorrências nos documentos analisados. Essa abordagem possibilita identificar as relações entre os diferentes campos de pesquisa ligados à produção de etanol, com foco na produção e no uso de etanol a partir do abacaxi.

Figura 11 – *Clusters* das palavras-chaves mais citadas.



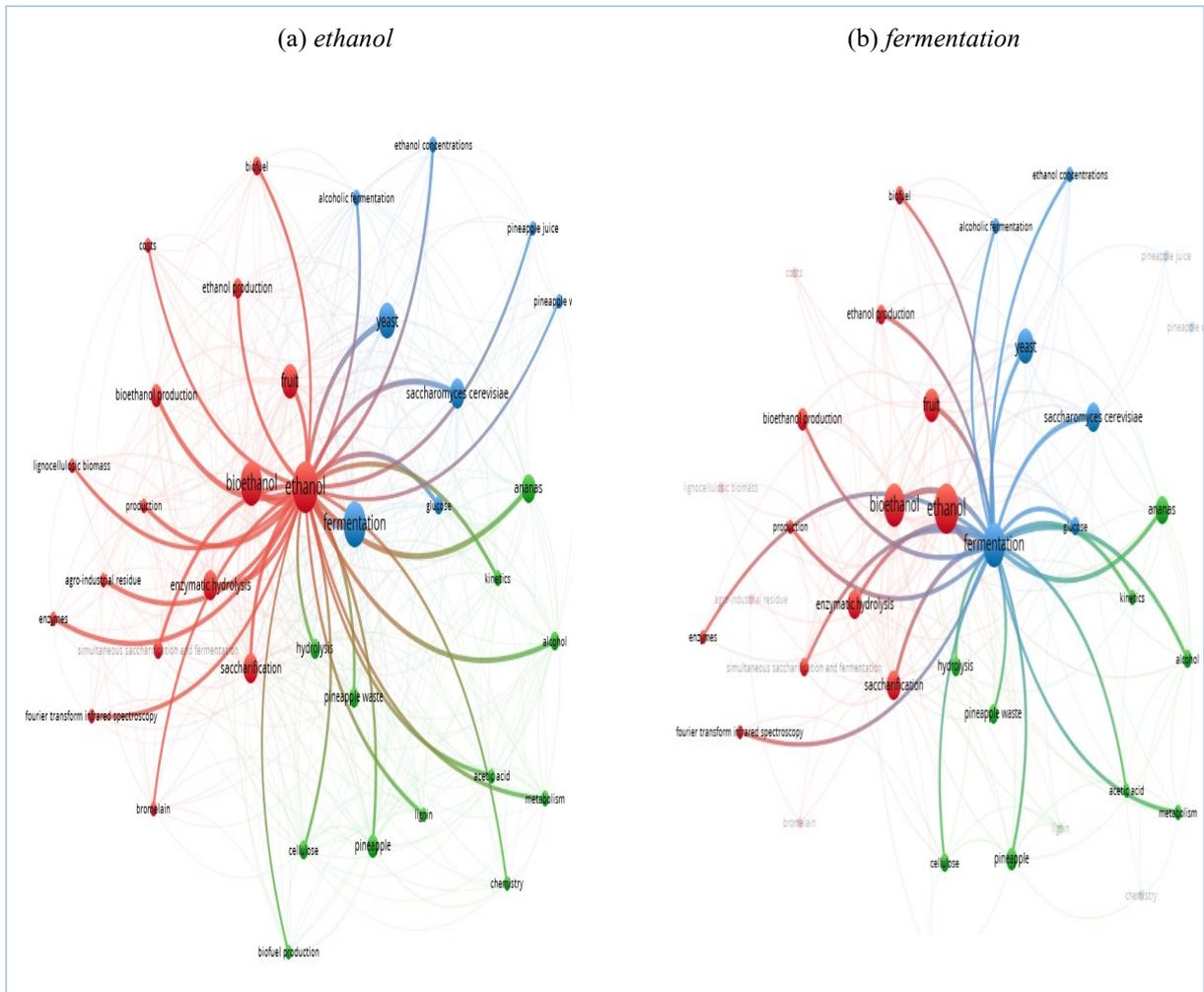
16

Fonte: Dados adaptados do *VOSviewer*, 2024.

Observando a figura, revela-se três *clusters* principais, representados pelas cores vermelha, azul e verde. Esses *clusters* estão associados, respectivamente, às palavras-chave "*ethanol*" (Etanol), "*fermentation*" (Fermentação) e "*ananas*" (*Ananas comosus*, o abacaxi). Cada *cluster* agrupa temas interligados, refletindo as áreas mais recorrentes nas pesquisas relacionadas à produção de etanol e ao processo de fermentação do abacaxi.

Nas Figuras 12.a, 12.b, e 12.c, observa-se os *clusters* com maior detalhamento, proporcionando uma análise mais clara das principais palavras-chave e de suas conexões, permitindo uma melhor compreensão das tendências de pesquisas relacionadas ao tema.

Figura 12 – Clusters com destaque para as palavras-chave selecionadas.



Fonte: Dados adaptados do VOSviewer, 2024.

Na Figura 12.a, o termo "*ethanol*" está fortemente associado ao seu próprio *cluster*, refletindo uma intensa conexão com pesquisas que investigam a produção e o uso do etanol derivado do abacaxi, utilizando técnicas avançadas de biotecnologia e bioquímica. Essa forte correlação indica que o termo desempenha um papel central dentro desse grupo específico de estudos. Observa-se, que a natureza das associações entre "*ethanol*" e outras palavras-chave nesse *cluster* segue um padrão semelhante ao encontrado em *clusters* de diferentes cores, evidenciando uma estrutura coerente de inter-relações entre os termos dentro da rede de pesquisa.

A Figura 12.b revela que o termo "*fermentation*" exibe um padrão de conexão comparável ao de "*ethanol*", demonstrando um impacto significativo ao se vincular às palavras-chave de *clusters* distintos. Esse termo ocupa uma posição central em seu próprio grupo, criando fortes interações com outras palavras-chave, estabelecendo uma rede de relacionamentos entre conceitos relacionados à fermentação. Da mesma forma, o termo "*ananas*" também destaca a relação entre a utilização em processos fermentativos do abacaxi para a produção de etanol, dentro do contexto de biotecnologia e bioquímica (ver Figura 12.c).

Um termo de interesse que, embora não seja um destaque em seu *cluster*, merece atenção é "*biofuel production*", que aparece com apenas três ocorrências. Esse termo está associado à produção de etanol a partir do abacaxi e sua utilização para a fabricação de biocombustíveis. A inclusão de "*biofuel production*" sugere que há uma relação significativa com o desenvolvimento de biocombustíveis, apontando para possíveis lacunas na pesquisa sobre esse tópico. Assim, é relevante identificar e explorar áreas ainda não suficientemente abordadas, especialmente aquelas relacionadas à produção de biocombustíveis e suas aplicações energéticas.

4 CONCLUSÕES

A produção de bioetanol a partir de resíduos de abacaxi apresenta um significativo potencial, conforme evidenciado pelos estudos analisados, contudo, o volume de pesquisas acerca do tema ainda não se apresenta de forma sólida. A evolução das publicações ao longo dos últimos anos reflete o interesse global por alternativas energéticas renováveis, especialmente a partir da década de 2010, quando a preocupação com sustentabilidade e fontes de energia limpa ganhou maior relevância. Embora ainda incipiente, com um total de 75 publicações no período analisado, o tema vem recebendo atenção contínua, onde países como Índia, Tailândia e Brasil se destacam tanto na produção de abacaxi quanto na produção científica voltada para o aproveitamento desses resíduos.

As análises de citação e coautoria demonstram que os trabalhos de maior impacto, como os de Gil e Maupoey (2018) e de Casabar *et al.* (2019), focam em técnicas biotecnológicas para maximizar a produção de etanol a partir de resíduos do abacaxi. Essas pesquisas enfatizam métodos de pré-tratamento e de fermentação, buscando maior eficiência no processo produtivo, bem como a utilização de diferentes leveduras e técnicas avançadas como a sacarificação e fermentação simultâneas (SSF). Entretanto, apesar das colaborações internacionais, a cooperação entre países ainda está em estágio inicial, concentrando-se principalmente em alguns núcleos, sugerindo a necessidade de uma maior integração global.

A análise de coocorrência de palavras-chave reafirma a centralidade de temas como etanol, fermentação e a utilização de resíduos de abacaxi, com três *clusters* principais dominando as pesquisas na área. Porém, a baixa recorrência de termos como "*biofuel production*" indica que o estudo da aplicação do bioetanol, derivado do abacaxi, como biocombustível, ainda é pouco explorado, destacando-se como um campo promissor para futuras investigações.

Em síntese, a produção de bioetanol a partir de resíduos de abacaxi apresenta um vasto potencial, mas ainda carece de maior robustez no cenário científico. A crescente atenção ao tema demonstra o interesse global por fontes de energia renováveis e sustentáveis, no entanto, o volume de publicações ainda é modesto, e a cooperação internacional precisa ser mais consolidada para fortalecer as pesquisas nessa área. Com técnicas avançadas e o uso de diferentes tecnologias, há espaço para inovações que podem impulsionar a eficiência produtiva, sobretudo no campo da aplicação do etanol como biocombustível, que ainda é um terreno pouco explorado, mas com grande potencial para o futuro.

REFERÊNCIAS

- CARREON, Lonamie D. et al. Synthesis of Bioethanol from Pineapple Fruit Rejects: Prospect for Fuel Blends in Spark-Ignition Engines. **Chemistry Africa**, v. 6, n. 4, p. 2119-2127, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42250-023-00622-6>. Acesso em: 12 set. 2024.
- CASABAR, J.T.; UNPAPROM, Y.; RAMARAJ, R. Fermentation of pineapple fruit peel wastes for bioethanol production. **Biomass Conversion Biorefinery**, v. 9, p. 761–765, 2019. Disponível em: <https://ijsdr.org/papers/IJSDR2311033.pdf>. Acesso em: 09 set. 2024.
- CHINTAGUNTA, A. D.; RAY, S.; BANERJEE, R. An integrated bioprocess for bioethanol and biomanure production from pineapple leaf waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 1508-1516, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.179>. Acesso em: 13 set. 2024.
- DOMÍNGUEZ-BOCANEGRA, A. R.; TORRES-MUÑOZ, J. A.; LÓPEZ, R. A. Production of Bioethanol from agro-industrial wastes. **Fuel**, v. 149, p. 85-89, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.062>. Acesso em: 07 set. 2024.
- ECK, Nees J.; WALTMAN, Ludo. Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. **Scientometrics**, v. 111, p. 1053-1070, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-017-2300-7>. Acesso em: 21 set. 2024.
- TRANSIÇÃO energética, passagem para a Índia. **Portal Enel Green Power**, jul. 2020. Disponível em: <https://www.enelgreenpower.com/pt/historias/articles/2020/07/india-desenvolvimento-energias-renovaveis>. Acesso em: 26 set. 2024.
- UNITED NATIONS. Food and Agriculture Organization. Countries by commodity. **Portal FAO Fiat Panis**, [2022]. Disponível em: https://fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Acesso em: 18 set. 2024.
- GIL, L. S.; MAUPOEY, P. F. An integrated approach for pineapple waste valorisation. Bioethanol production and bromelain extraction from pineapple residues. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1224-1231, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.284>. Acesso em: 15 set. 2024.
- KHEDKAR, Manisha A. et al. Sustainable biobutanol production from pineapple waste by using *Clostridium acetobutylicum* B 527: Drying kinetics study. **Bioresource Technology**, v. 225, p. 359-366, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.058>. Acesso em: 17 set. 2024.
- KLEIN, Bruno C. et al. Techno-economic and environmental assessment of renewable jet fuel production in integrated Brazilian sugarcane biorefineries. **Applied Energy**, v. 209, p. 290-305, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.079>. Acesso em: 05 set. 2024.
- MARTINS, Bianca C. et al. Characterization of bromelain from *Ananas comosus* agroindustrial residues purified by ethanol fractional precipitation. **Chemical Engineering Transactions**, v. 37, p. 781-786, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3303/CET1437131>. Acesso em: 11 set. 2024.

U.S. and Global Science and Technology Capabilities. **Portal NSB**, [20--?]. Disponível em: <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20221/u-s-and-global-science-and-technology-capabilities>. Acesso em: 26 set. 2024

PHONG, Huynh X. *et al.* Isolation and characterization of thermotolerant yeasts for the production of second-generation bioethanol. **Annals of Microbiology**, v. 69, p. 765–776, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13213-019-01468-5>. Acesso em: 23 set. 2024

RIBEIRO, Luciana. S. *et al.* Fermented sugarcane and pineapple beverage produced using *Saccharomyces cerevisiae* and non-*Saccharomyces* yeast. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 121, p. 262–272, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jib.218>. Acesso em: 18 set. 2024

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. La UCR impulsa cambio en matriz energética nacional. **Portal UCR**, mar. 2024. Disponível em: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2024/3/18/la-ucr-impulsa-cambio-en-matriz-energetica-nacional.html>. Acesso em: 19 set. 2024.

VALVERDE, Juan C. *et al.* Forest and agro-industrial residues and bioeconomy: perception of use in the energy market in Costa Rica. **Energy, Ecology and Environment**. v. 6, p. 232–243, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40974-020-00172-4>. Acesso em: 07 set. 2024.

ZOU, X.; YUE, W. L.; VU, H. L. Visualization and analysis of mapping knowledge domain of road safety studies. **Accident Analysis and Prevention**, v. 118, p.131-145, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.06.010>. Acesso em: 18 set. 2024.

ZUPIC, Ivan; CATER, Tomaz. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>. Acesso em: 17 set. 2024.