

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA: PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS  
LIGNOCELULÓSICOS NO PERÍODO DE 2013 A 2022**

**BIBLIOMETRIC ANALYSIS: BIOGAS PRODUCTION FROM  
LIGNOCELLULOSIC WASTE IN THE PERIOD FROM 2013 TO 2022**

**ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO: PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE  
RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS EN EL PERÍODO 2013 A 2022**

Liliana Andréa dos Santos<sup>1</sup>; Leonardo César da Silva<sup>2</sup>; Guilherme Gomes de Sousa Magalhães<sup>3</sup> André Felipe de Melo Sales Santos<sup>4</sup>; Tatiana Souza Porto<sup>5</sup>

DOI: <https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0167>

**RESUMO**

A biomassa lignocelulósica é um dos recursos orgânicos mais abundantes em todo o mundo e é uma fonte promissora de energia renovável e bioprodutos. Consiste basicamente em três frações, celulose, hemicelulose e lignina. A utilização dessa biomassa para a produção de biogás através da digestão anaeróbia, vem ganhando força no mercado devido à grande geração de resíduos lignocelulósicos agroindustriais e aos ganhos econômicos e ambientais. O biogás obtido através da utilização desses resíduos na digestão anaeróbia pode ser usado como bioenergia e biocombustível. Diante disso, o objetivo do trabalho foi realizar o mapeamento bibliométrico das publicações sobre a utilização os resíduos lignocelulósicos como fonte de biomassa na produção de biogás no período de 2013 a 2022. Adotando como método de pesquisa, uma revisão na literatura de uma aproximação focal, com base no levantamento e análise de documentos científicos obtidos a partir da base de dados *Scopus*. Um total de 977 artigos de pesquisa e revisão foram selecionados para análise bibliométrica utilizando o software *Vosviewer*. Obteve-se, como resultado, um aumento significativo nos números de artigos publicados nos últimos 10 anos, através da análise bibliométrica foi possível obter o ranking dos documentos mais importantes, o ranking das revistas mais utilizadas para publicação dos artigos, os países mais relevantes estão distribuídos em quatro continentes Àsia (China, Índia), América do Norte (Estados Unidos, México), América do Sul (Brasil) e Europa (Itália, Alemanha, França, Espanha, Polônia) com relação de coautoria em termos de citações e documentos publicados, além disso, as palavras-chave *anaerobic digestion*, *biogas*, *lignocellulosic biomass*, *methane* e *pretreatment* foram as palavras com maior número de ocorrência utilizadas pelos autores para representar a temática de produção de biogás a partir da biomassa lignocelulósica. Pode-se concluir que a temática tem se destacado ao longo dos últimos anos com maior significativo no número de artigos publicados.

**Palavras-Chave:** digestão anaeróbia, biomassa lignocelulósica, metano, bibliometria.

**RESUMEN**

La biomassa lignocelulósica es uno de los recursos orgánicos más abundantes en todo el mundo y es una fuente prometedor de energía renovable y bioprodutos. Básicamente consta de tres fracciones, celulosa, hemicelulosa y lignina. El uso de esta biomassa para la producción de biogás mediante digestión anaeróbica ha ido ganando fuerza en el mercado debido a la gran generación de residuos lignocelulósicos

<sup>1</sup> Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal Rural de Pernambuco, [liliana.andrea.santos@gmail.com](mailto:liliana.andrea.santos@gmail.com)

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

<sup>3</sup> Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, [guilhermegomesdesousa123@gmail.com](mailto:guilhermegomesdesousa123@gmail.com)

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, [andre.felipesantos@ufrpe.br](mailto:andre.felipesantos@ufrpe.br)

<sup>5</sup> Doutora em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, [tatiana.porto@ufrpe.br](mailto:tatiana.porto@ufrpe.br)

agroindustriales y las ganancias energéticas y ambientales. El biogás obtenido mediante el aprovechamiento de estos residuos en la digestión anaeróbica puede ser utilizado como bioenergía y biocombustible. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue realizar un mapeo bibliométrico de publicaciones sobre el uso de residuos lignocelulósicos como fuente de biomasa en la producción de biogás en el período de 2013 a 2022. Adoptando como método de investigación, una revisión bibliográfica de un enfoque focal, basado en el levantamiento y análisis de documentos científicos obtenidos de la base de datos Scopus. Se seleccionaron un total de 977 artículos de investigación y revisión para su análisis bibliográfico utilizando el software Vosviewer. Como resultado se obtuvo un aumento significativo en el número de artículos publicados en los últimos 10 años, a través del análisis bibliográfico se obtuvo el ranking de los documentos más importantes, el ranking de las revistas más utilizadas para la publicación de los artículos, el Los países más relevantes se distribuyen en cuatro continentes Asia (China, India), América del Norte (Estados Unidos, México), América del Sur (Brasil) y Europa (Italia, Alemania, Francia, España, Polonia) con relación de coautoría en cuanto a seguridad y documentos publicados, además, las palabras clave "digestión anaeróbica", "biogás", "biomasa lignocelulósica", "metano" y "pretratamiento" fueron las palabras con mayor número de ocurrencias utilizadas por los autores para representar el tema de producción de biogás a partir de biomasa lignocelulósica. Se puede concluir que el tema temático se ha destacado en los últimos años con mayor significación en el número de artículos publicados.

**Palabras Clave:** digestión anaeróbica, biomasa lignocelulósica, metano, bibliometría.

#### ABSTRACT

Lignocellulosic biomass is one of the most abundant organic resources worldwide and is a promising source of renewable energy and bioproducts. It basically consists of three fractions, cellulose, hemicellulose and lignin. The use of this biomass for the production of biogas through anaerobic digestion has been gaining strength in the market due to the large generation of agro-industrial lignocellulosic residues and energy and environmental gains. The biogas obtained through the use of these residues in anaerobic digestion can be used as bioenergy and biofuel. Therefore, the objective of this work was to carry out a bibliometric mapping of publications on the use of lignocellulosic residues as a source of biomass in the production of biogas in the period from 2013 to 2022. Adopting as a research method, a literature review of a focal approach, based on the survey and analysis of scientific documents obtained from the Scopus database. A total of 977 research and review articles were selected for bibliographic analysis using Vosviewer software. As a result, a significant increase in the number of articles published in the last 10 years was obtained, through the bibliographic analysis it was obtained the ranking of the most important documents, the ranking of the most used journal for publication of the articles, the most relevant countries are distributed on four continents Asia (China, India), North America (United States, Mexico), South America (Brazil) and Europe (Italy, Germany, France, Spain, Poland) with co-authorship relationship in terms of security and published documents, in addition, the keywords "anaerobic digestion", "biogas", "lignocellulosic biomass", "methane" and "pre-treatment" were the words with the highest number of occurrences used by the authors to represent the theme of biogas production from lignocellulosic biomass. It can be concluded that the thematic theme has stood out over the last few years with greater significance in the number of articles published.

**Keywords:** anaerobic digestion, lignocellulosic biomass, methane, bibliometry.

#### INTRODUÇÃO

Uma das atividades humanas mais antigas e expressivas é a agricultura, de onde provém boa parte da alimentação global. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2022), o setor agrícola produziu cerca de 9 bilhões de toneladas de alimentos no ano de 2020. A grande quantidade gerada evidencia uma problemática global: a geração de resíduos lignocelulósicos. Os resíduos vindos da indústria agrícola são de natureza vegetal, o que resulta em uma biomassa com alto teor de compostos

lignocelulósicos. Os principais compostos da biomassa lignocelulósica são celulose, hemicelulose e lignina, cujas concentrações variam de acordo com as características do material, mas geralmente representam, respectivamente, 38-50%, 5-32% e 5-22% do material vegetal (KANG; TAN, 2016).

Um dos problemas enfrentados pela sociedade humana nos tempos modernos é a questão energética e, principalmente, a destinação de resíduos. A biomassa proveniente do setor agrícola gera uma grande quantidade de um material rico em triglicerídeos, lignocelulose e sacarídeos, este pode ser utilizado para a geração de energia, visando substituir os combustíveis fósseis (KUMAR et al., 2020; QASEEM; SHAHEEN; WU, 2021).

A celulose é o principal componente da biomassa lignocelulósica, representando cerca de 33% de todo o material vegetal. Ela é um produto da fotossíntese e um polímero com diversas aplicações na indústria, além de ser o maior reservatório de carbono orgânico do planeta. A celulose é composta por D-glicose, que estão ligadas por ligações  $\beta$  (1,4)-glicosídicas (SUNDARRAJ, A. A.; RANGANATHAN, T.V., 2018). A hemicelulose é um polímero vegetal complexo, composto por múltiplas unidades monoméricas de açúcares pentose e hexose, além de outros pequenos grupos. É o segundo principal constituinte dos resíduos lignocelulósicos e influencia o processo enzimático (QASEEM; SHAHEEN; WU, 2021). O terceiro componente principal da biomassa lignocelulósica é a lignina, composta por polímeros aromáticos. Ela é um polímero complexo, amorfo e irregular de monômeros fenilpropanoides, como o monômero guaiacil (tipo G), o monômero siringil (tipo S) e o monômero p-fenílico (tipo H) (KUMAR et al., 2020).

Os compostos lignocelulósicos são encontrados em pacotes de celulose, hemicelulose e lignina, estes compostos são unidos por ligação de hidrogênio (KUMAR et al., 2020). A produção de biogás como uma alternativa a destinação desses resíduos vai variar conforme as frações destes compostos. A hemicelulose é uma fração positiva para o processo de digestão anaeróbia, processo este responsável pela geração de biogás. Por outro lado, a presença de celulose e lignina podem interferir negativamente nesse processo (ACHKAR et al., 2016).

Dessa forma, o presente artigo teve como objetivo do trabalho foi realizar o mapeamento bibliométrico das publicações sobre a utilização os resíduos lignocelulósicos como fonte de biomassa na produção de biogás no período de 2013 a 2022.

## REFERENCIAL TEÓRICO

## **Biomassa Lignocelulósica**

Atualmente, o setor energético depende diretamente de fontes não renováveis para a produção de combustíveis como petróleo, gás natural e carvão mineral, por exemplo. Assim, uma alternativa para produção de biocombustíveis é através do reaproveitamento da biomassa lignocelulósica que são compostos orgânicos que possui em sua composição celulose, hemicelulose e lignina (BOMTEMPO et al., 2017). A utilização dessa biomassa é capaz de gerar inúmeros combustíveis sustentáveis como biodiesel, etanol de segunda geração e biogás (GOVARTHANAN et al., 2022).

Um dos principais desafios para a produção de biocombustíveis através da biomassa lignocelulósica é devido a estrutura complexa e resistente a degradação (SHARMA et al., 2022). A celulose é um polímero formado por moléculas de glicose de estruturas lineares conectadas por ligações glicosídicas  $\beta - 1, 4$ , sendo o principal componente da biomassa (GAETE; TEODORO; MARTINAZZO, 2020). A hemicelulose é composta por polissacarídeos com variadas unidades de açúcares e apresenta cadeias moleculares curtas e ramificadas com o objetivo de proteger a celulose. Por outro lado, a lignina é formada por fenil propanóides e possui temperamento hidrofóbico sendo capaz de absorver agentes hidrolíticos como enzimas e compostos químicos (LUIS SANCHEZ et al., 2019).

A biomassa utilizada para aproveitamento energético pode ser de origem animal ou vegetal e é derivada principalmente de atividades agropecuárias. No Brasil, o setor agropecuário ocupa um cenário de destaque no ponto de vista socioeconômico, entretanto, é um dos principais setores de geração de resíduos sólidos orgânicos que necessitam de disposição final ambientalmente adequada de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

## **Digestão anaeróbia da biomassa lignocelulósica**

Assim, alternativa sustentável que atenda a legislação vigente é o aproveitamento da biomassa como substrato para produção de biocombustíveis como o biogás, por exemplo, produto oriundo da digestão anaeróbia (DONKOR et al., 2022). O processo de digestão anaeróbia ocorre na presença de bactérias anaeróbias e arqueas metanogênicas que utiliza a biomassa orgânica como fonte de carbono na ausência de oxigênio no meio e, assim, gerando biogás e biofertilizante como os principais subprodutos (BANDGAR; JAIN; PANWAR, 2022).

A digestão anaeróbia é dividida em quatro etapas sendo elas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Inicialmente, a etapa de hidrólise é capaz de converter compostos

orgânicos complexos em produtos mais simples. A seguir, a etapa de acidogênese é responsável em converter os orgânicos simples em ácidos graxos voláteis como o ácido acético, por exemplo, através do trabalho das bactérias acidogênicas. Durante a acetogênese, os subprodutos derivados da etapa anterior são transformados em substrato como o acetato para ser utilizado na etapa de metanogênese e assim, a formação de biogás (MILLATI et al., 2023)

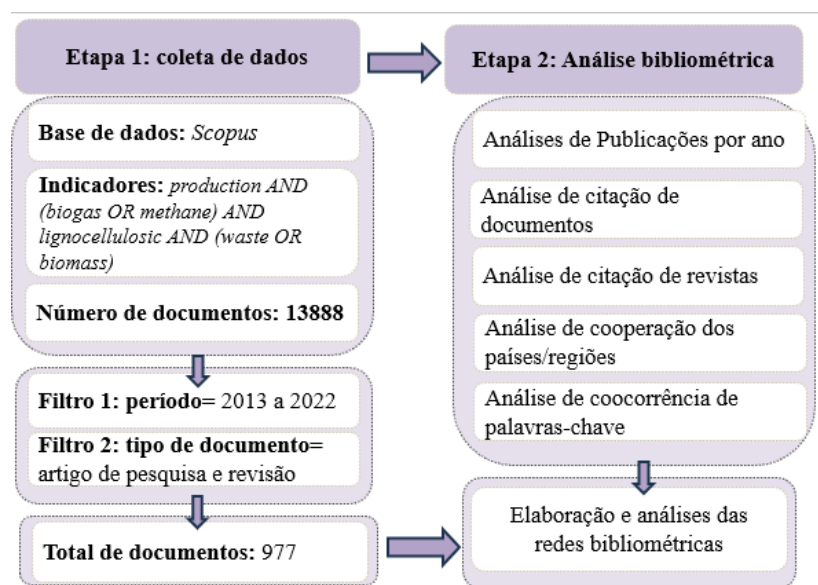
Por fim, a metanogênese é a última etapa da digestão anaeróbia, que é considerada a etapa mais importante do processo devido ser a fase responsável pela produção de metano através das arqueas metanogênicas. A fase metanogênica é a fase sensível durante o processo anaeróbio devido aos micro-organismos metanogênicos apresentarem fragilidade as condições ambientais como pH, temperatura e subprodutos de etapas anteriores e, conseqüentemente, afetar produção de biogás com baixa concentrações de metano (YADAV et al., 2022).

O biogás derivado da digestão anaeróbia possui em sua composição metano, correspondendo entre 60 a 80%, seguido de dióxido de carbono entre 20 a 30% e outros gases em concentrações inferiores como sulfeto de hidrogênio (SOUZA et al., 2010). Assim, o biogás pode ser reaproveitado pela indústria energética devido ao alto poder calorífico do metano, sendo capaz de gerar eletricidade através de sua combustão completa.

## METODOLOGIA

A Figura 01 mostra de forma resumida as etapas da coleta de dados e análise bibliométrica.

Figura 01: Etapas de coleta de dados através da plataforma Scopus e análise bibliométrica



A coleta de dados foi realizada no dia 22 de junho de 2023, a partir do Portal de

Periódicos Capes, pesquisando documentos científicos sobre aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos usados na produção biogás.

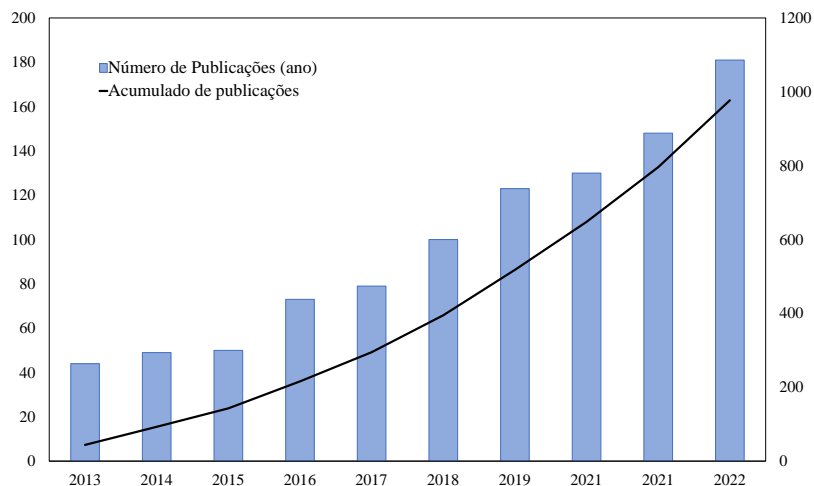
A busca dos documentos foi realizada através de levantamento de dados a partir da plataforma *Scopus*, no idioma inglês, utilizando critérios para seleção dos documentos através das palavras-chave contidas no TITLE-ABS-KEY. A busca dos indicadores foi aplicada no título, resumo e palavras-chave, utilizando os indicadores combinados com os operadores booleanos: production AND (*biogas* OR *methane*) AND lignocellulosic AND (waste OR biomass). Após a busca na plataforma, foram obtidos 1373 documentos sobre a temática. A busca foi refinada por ano de publicação (2013-2022), tipo de documento (artigos de pesquisa e revisão) e idioma (inglês) resultando em 977 documentos como amostra final para elaboração das redes bibliométricas. Os documentos foram extraídos da plataforma *Scopus* no formato "CSV. excel". A plataforma *Scopus* foi a base utilizada pelo fato de fornecer acesso aos principais bancos de dados de documentos mais citados mundialmente.

Para a análise bibliométrica dos 977 documentos obtidos na base de dados *Scopus* foi usado o software *VOSviewer*, um programa gratuito para construção de redes bibliométricas, baseado em técnicas de agrupamento de dados (VAN; WALTMAN, 2010). O programa *Vosviewer* foi utilizado para construção e análise de redes bibliométricas de citação de documentos, distribuição geográfica de coautoria, ocorrência de palavras-chave e citação de revistas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 02, mostra a evolução das publicações, referente ao uso de resíduos lignocelulósicos (palhas, cascas, bagaços como biomassa) para produção de biogás para aproveitamento energético. No total, 977 foram publicados entre 2013 e a partir da base de dados *Scopus*, incluindo 813 (83,22%) artigos de pesquisa e 164 artigos de revisão (16,78%).

Figura 02: Evolução das publicações durante o período de 2013 a 2022 sobre produção de biogás a partir de biomassa lignocelulósica



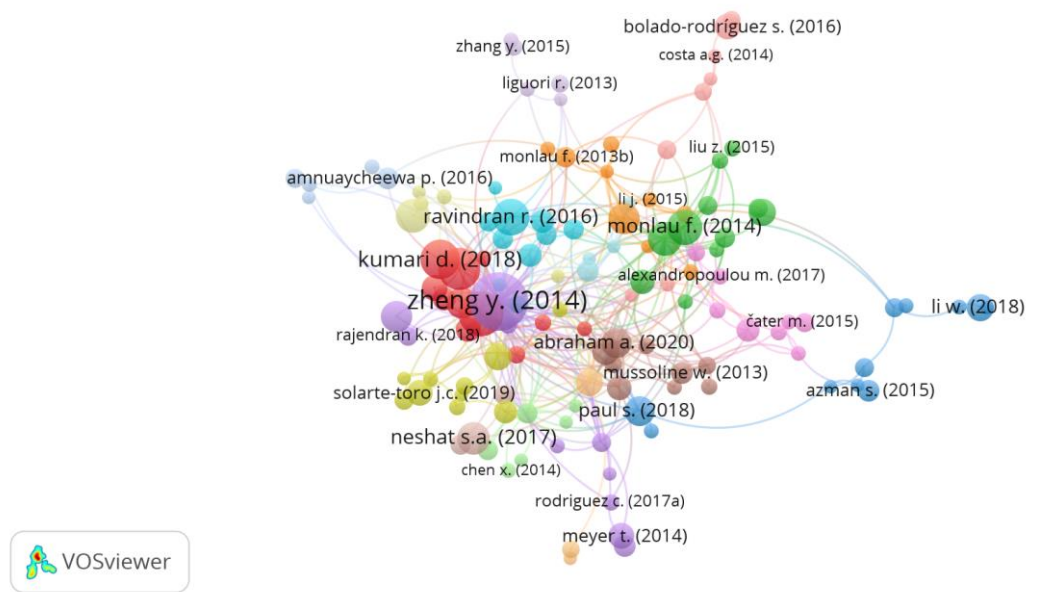
Fonte: Própria (2023)

Desde 2016, o número anual de publicações aumentaram significativamente, com um total de 834 artigos publicados entre 2016 e 2022, representando 85,4% do total de publicações. O número de publicações atingiu o pico o máximo em 2022 com 181 (18,52%) artigos publicados sobre a temática.

### **Análise bibliométrica de citação de documentos**

Dos 977 documentos obtidos, 167 documentos tinham no mínimo cinquenta citações (Figura 03). A rede bibliométrica mostra os 128 documentos com relação de citação entre eles, divididos em dezessete cluters. Na rede bibliométrica o tamanho dos círculos representa o número de citações dos artigos no período de 2013 a 2022.

Figura 03: Rede bibliométrica dos artigos de pesquisa e revisão mais citados no período de 2013 a 2022.



Fonte: Própria (2023).

O quadro 01 mostra o ranking dos dez artigos com maior número de documentos e mais citados.

O artigo mais citado foi o de Zheng et al. 2014 intitulado ‘*Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production*’ publicado no periódico conforme mostrado no Quadro 01, este documento foi citado 938 vezes. O artigo aborda uma revisão sobre os métodos de pré-tratamento utilizados para otimizar a produção de biogás a partir biomassa lignocelulósica. Além de disso, descreve o processo digestão anaeróbica, as propriedades da estrutura e composicionais da biomassa lignocelulósica e várias técnicas de pré-tratamento (químicos físicos, biológicos).

Quadro 01: Top 10 de documentos mais citados no período de 2013 a 2022.

Ranking	Título	Primeiro autor/ano	Número de citações	Periódico	Referência
1º	<i>Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production</i>	Zheng Y. (2014)	938	<i>Progress in Energy and Combustion Science</i>	Zheng et al. (2014)
2º	<i>Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective</i>	Guo M. (2015)	568	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	Guo; Song e Buhain (2015)
3º	<i>Recent Trends in the Pretreatment of Lignocellulosic Biomass</i>	Baruah J. (2018)	493	<i>Frontiers in Energy</i>	Baruah et al. (2018)



	<i>for Value-Added Products</i>			<i>Research</i>	
4º	<i>Pretreatment of lignocellulosic wastes for biofuel production: A critical review</i>	Kumari D. (2018)	418	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	Kumari e Sing (2018)
5º	<i>A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: Challenges and opportunities</i>	Ravindran R. (2016)	377	<i>Bioresource technology</i>	Ravindran e Jaiswal (2016)

Fonte: Própria (2023)

O segundo artigo mais citado foi *Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective* dos autores Guo; Song e Buhain (2015) publicado na *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Este artigo revisa o histórico mundial e a tendência da utilização globais de biocombustíveis (bioetanol, biodiesel) e bioenergia (biogás) a partir de materiais lignocelulósicos estão em fase de desenvolvimento, vem enfrentando desafios de conversão, entretanto com boa perspectiva de custo-benefício.

O terceiro artigo mais citado foi ‘*Recent Trends in the Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Value-Added Products*’ publicado no *Frontiers in Energy Research* citado 493 vezes nos últimos 10 anos (2013-2022). O objetivo do artigo foi similar ao anterior, com foco na discussão de várias técnicas de pré-tratamento utilizadas, além disso, o artigo aborda mostra as vantagens e desvantagens das diversas estratégias de pré-tratamento e na digestibilidade da biomassa lignocelulósica.

O quarto lugar foi ocupado pelo artigo “*Recent Trends in the Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Value-Added Products*” publicado pelos autores Kumari e Sing em 2018, citado 418 vezes. O artigo é uma revisão crítica que discute e compara diferentes estratégias de pré-tratamento, composição químicas de diferentes biomassas lignocelulósicas e a sua utilização como bioenergia. Além disso, discute várias estratégias de pré-tratamento físicas, químicas e biológicas com objetivo de serem utilizadas para a produção de biohidrogênio, biometano, bioetanol, biometanol, bio-butanol e biodiesel.

Outro artigo que se destacou entre os mais citados foi “*A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: Challenges and opportunities*” publicado por Ravindran e Jaiswal (2016) no *Bioresource Technology*. O trabalho também aborda uma revisão sobre estratégias de pré-tratamento de resíduos lignocelulosicos da

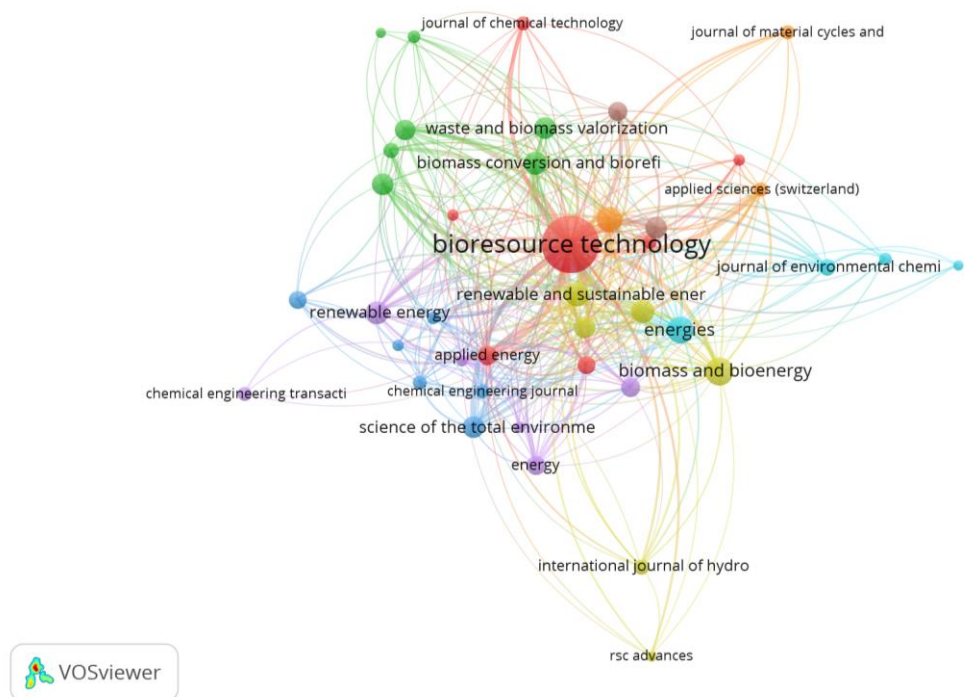
indústria de alimentos com foco na estrutura linocelulose (lignina, hemicelulose, celulose) e sua influência na degradação enzimática mostrando a importância da utilização dos pré-tratamentos para remoção de componentes que inibem o crescimento microbiano e a degradação enzimática da estrutura é uma solução promissora para aumentar seu uso.

### Análise bibliométrica de revistas

Um total de 254 periódicos publicaram artigos sobre a temática estudada, dos quais 41 (16,41%) periódicos publicaram mais de 5 artigos com no mínimo 50 citações (Figura 04).

Os periódicos foram agrupadas em oito clusters, representados pelas cores: vermelho (cluster 1) com sete revistas; verde (cluster 2) inclui sete revistas; azul (cluster 3) com seis revistas, amarelo (cluster 4) com seis revistas; lilás (cluster 5) com seis revistas, azul claro (cluster 6) com quatro revistas; laranja (cluster 7) com três revistas e marrom (cluster 8) com duas revistas.

**Figura 04:** Rede bibliométrica dos periódicos utilizados para publicação dos artigos nos últimos dez anos (2013-2022)



Conforme mostrado no Quadro 02, os dez principais periódicos juntos publicaram 35,31% (345 artigos) do total das publicações (997 artigos).

**Quadro 02:** Os dez periódicos de maior relevância em termos de artigos publicados e citações no período de 2013 a 2022.

Ranking	Revista	artigos	citações	%977 artigos
1º	<i>bioresource technology</i>	131	6624	13,4
2º	<i>biomass and bioenergy</i>	32	672	3,3
3º	<i>energies</i>	29	445	3,0
4º	<i>waste management</i>	26	805	2,7
5º	<i>renewable and sustainable energy reviews</i>	23	3334	2,4
6º	<i>biomass conversion and biorefinery</i>	22	224	2,3
7º	<i>journal of environmental management</i>	21	927	2,1
8º	<i>renewable energy</i>	21	492	2,1
9º	<i>biotechnology for biofuels</i>	20	790	2,0
10º	<i>industrial crops and products</i>	20	463	2,0

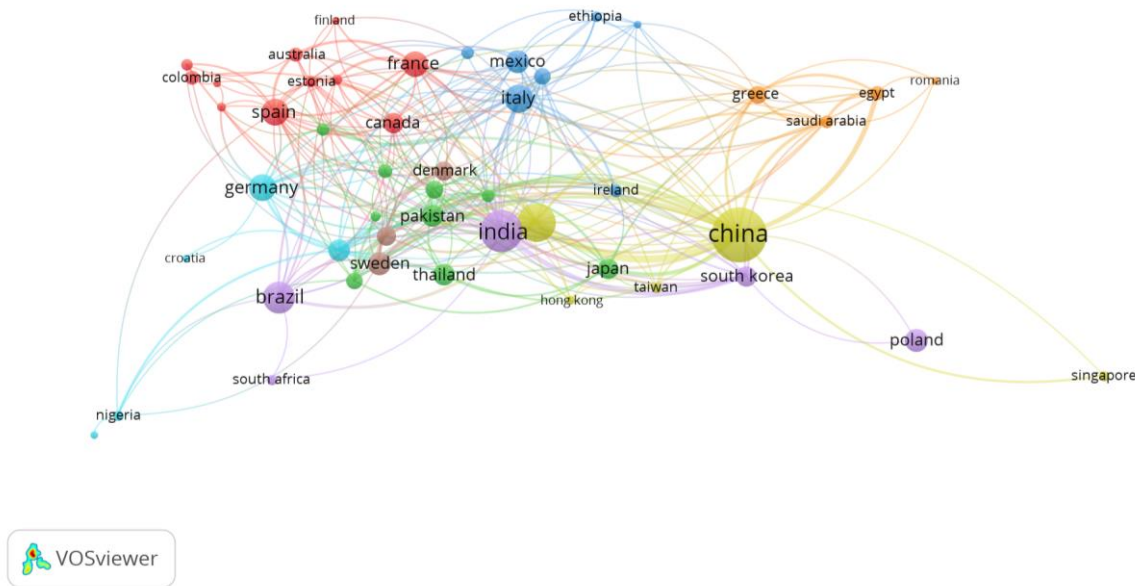
Fonte: Própria (2023)

O periódico *bioresource technology* (131 publicações, 13,4%) publicou a maioria dos artigos sobre a produção de biogás através da digestão anaeróbia a partir da biomassa lignocelulósica, seguido por *biomass and bioenergy* (32 publicações, 3,3%) e o periódico *energies* (23 publicações, 3,0%). Além disso, *bioresource technology* (6624 citações) e *renewable and sustainable energy reviews* (3334 citações) foram os periódicos mais citados no período de 2013 a 2022.

### **Análise bibliométrica de cooperação de coautoria de países**

Analisando a afiliação dos autores com relação de coautoria entre países, é perceptível perceber que a temática tem relevância mundial. Os 977 artigos publicados sobre a produção de biogás a partir de resíduos lignocelulósicos estão distribuídos em 89 países, com, pelo menos, um artigo publicado. A rede bibliométrica mostra os países com no mínimo cinco artigos publicados com 50 citações (Figura 05).

**Figura 05:** Rede bibliométrica de cooperação de coautoria de países no período nos últimos 10 anos (2013-2022)



Os países foram distribuídos em 8 clusters: o cluster 1 (vermelho) com 11 países liderado pela Espanha (49 artigos) o cluster 2 (verde) com 9 países, com destaque para o Pasquidão (33 artigos); o cluster 3 (azul) com 7 países, liderado pela Itália (55 artigos); O cluster 4 (amarelo) com 5 países, liderado pela China (199 artigos); O cluster 5 (lilás), com 5 países, liderado pela Índia; o cluster 6 (azul-claro) com 5 países, liderado pela Alemanha (49 artigos); cluster 7 (laranja) com 4 países, liderado pela Grécia e o cluster 8 com 3 países com a Suécia (37 artigos publicados). A análise bibliométrica do país de afiliação dos autores é importante, pois demonstra a relevância da pesquisa e a contribuição de vários países sobre a temática pesquisada.

**Quadro 03:** Ranking dos dez países mais relevantes em termos de documentos publicados e citações (2013-2022)

Ranking	País	Nº de artigos	%977 artigos	Nº de citações	Continente
1º	China	199	20,4	5184	Ásia
2º	Índia	116	11,9	4113	Ásia
3º	Estados Unidos	99	10,1	5281	América do Norte
4º	Brasil	70	7,2	1104	América do Sul
5º	Itália	55	5,6	2170	Europa
6º	Alemanha	49	5,0	1609	Europa
7º	Espanha	49	5,0	1555	Europa

8º	França	45	4,6	2406	Europa
9º	México	38	3,9	753	América do Norte
10º	Polónia	37	3,8	679	Europa

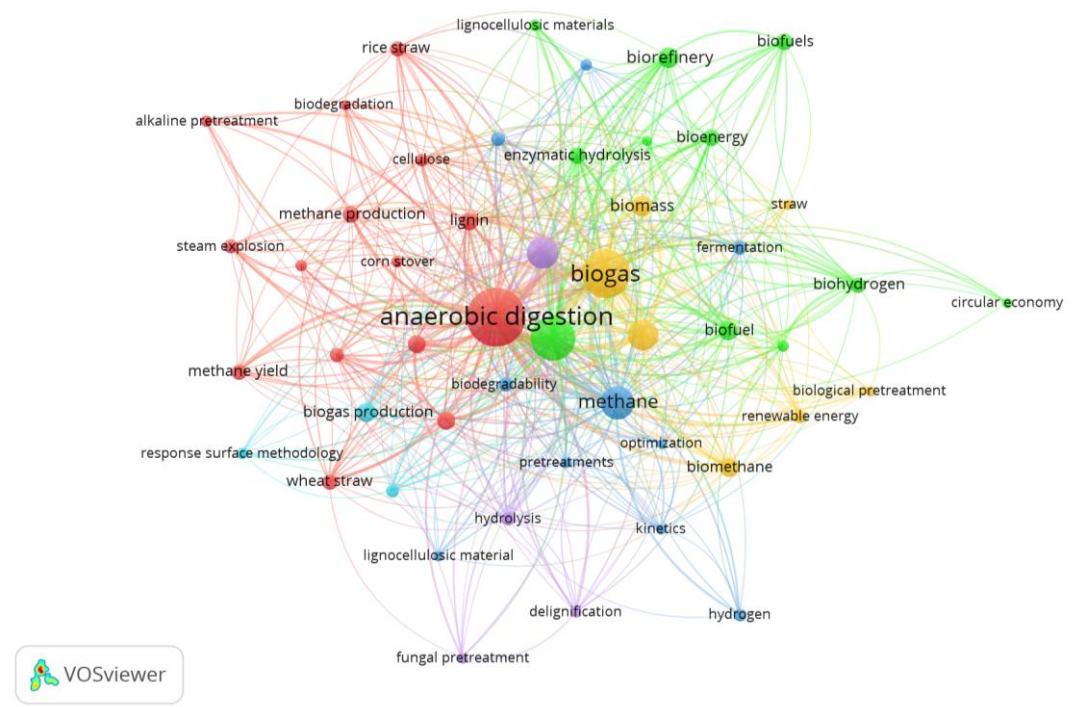
Fonte: Própria (2023)

Os países com maior números de artigos publicados e citações no período de 2013 a 2022 são mostrados no Quadro 3. Os dez países mais relevantes estão distribuídos em quatro continentes Àsia (China, Índia), América do Norte (Estados Unidos, México), América do Sul (Brasil) e Europa (Itália, Alemanha, França, Espanha, Polónia) correspondendo por 77,5% dos 977 artigos. Os países asiáticos China (199 artigos, 5184 citações) e Índia (116 artigos, 5184 citações), foram os país com maior número de publicações sobre a temática, seguido pelo Estados Unidos (99 artigos, 5281 citações) e Brasil (70 artigos, 1104 citações), os países europeus ( no total 235 artigos, 8419 citações) e o México (38 artigos, 753 citações). O país com maior número de citações foi Estados Unidos, seguido da China e Índia.

#### **Análise de co-ocorrência de palavras-chave**

As palavras-chave mais utilizadas pelos autores foram identificadas para classificar os 977 artigos obtidos na base de dados *Scopus*. O rede bibliométrica obtida através do software *Vosviewer* agrupou as palavras-chave em sete *clusters* (Figura 06), representados pelas cores vermelho (*cluster 1*) com 23 itens (palavras-chave); verde (*cluster 2*) com 22 itens; azul (*cluster 3*) com 19 itens; amarelo (*cluster 4*) com 16 itens; lilás (*cluster 5*) com 15 itens; azul-claro (*cluster 6*) com 12 itens e laranja (*cluster 7*) com 11 itens. Na rede bibliométrica o tamanho do círculo representa o número de co-ocorrência das palavras-chave utilizadas pelos autores nos artigos publicados.

Figura 06: Rede bibliométrica de co-ocorrência de palavras-chave utilizadas pelos autores no período de 2013 a 2022.



Dos 977 artigos, foram obtidas 2120 palavras-chave utilizadas pelos autores, destas, 55 palavras-chave ocorreram no mínimo dez vezes. A palavra-chave "anaerobic digestion" foi a mais relevante com 337 ocorrências, seguida por "biogas" (233 ocorrências), "lignocellulosic biomass" (193 ocorrências), "methane" (106 ocorrências) e "pretreatment" (41 ocorrências), sendo as palavras-chave mais relevantes para representar a temática analisada.

## CONCLUSÕES

A análise bibliométrica dos artigos publicados sobre a utilização de biomassa lignocelulósica para produção de biogás tem crescido de forma significativa nos últimos 10 anos.

Dos 977 artigos obtidos na base de dados *Scopus*, 56,88% (167 documentos) tinham no mínimo cinquenta citações, dentre esses os cinco documentos com maior número de citações foram Zheng et al. (2014), Guo; Song e Buhain (2015), Baruah et al. (2018), Kumari e Sing (2018) e Ravindran e Jaiswal (2016).

As pesquisas científicas sobre a temática se concentra em cerca de dez países com relação de coautoria que respondem, em conjunto, por 77,5% dos documentos publicados em quatro continentes, o país mais relevante foi a China com 20,4% (119 artigos) das publicações.

As palavras-chave com maior número de frequência para representar o tema central do

estudo foram "anaerobic digestion", "biogas", "lignocellulosic biomass", "methane" e "pretreatment".

## REFERÊNCIAS

BANDGAR, P. S.; JAIN, S.; PANWAR, N. L. A comprehensive review on optimization of anaerobic digestion technologies for lignocellulosic biomass available in India. **Biomass and Bioenergy**, v. 161, p. 106479, 2022.

BARUAH, J.; NATH, B. K.; SHARMA, R.; KUMAR, S., DEKA, R. C.; BARUAH, D. C.; KALITA, E Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products. **Frontiers in Energy Research**, v. 6, p. 141, 2018.

BOMTEMPO, F. V. S. et al. Production of cellulases by *Penicillium oxalicum* through solid state fermentation using agroindustrial substrates. **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, v. 39, n. 3, p. 321–329, 2017.

DONKOR, K. O. et al. A perspective on the combination of alkali pre-treatment with bioaugmentation to improve biogas production from lignocellulose biomass. **Bioresource Technology**, v. 351, p. 126950, 2022.

EL ACHKAR, J. H.; LENDORMI, T.; HOBAIKA, Z.; SALAMEH, D.; LOUKA, N.; MAROUN, R. G.; LANOISELLÉ, J. L. Anaerobic digestion of grape pomace: Biochemical characterization of the fractions and methane production in batch and continuous digesters. **Waste Management**. v. 50, p. 275-282, 2016.

FAO. 2022. **World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022**. Rome. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc2211en>. Acesso em 07/07/2023.

GAETE, A. V.; TEODORO, C. E. DE S.; MARTINAZZO, A. P. Utilização de resíduos agroindustriais para produção de celulase: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 17 jul. 2020.

GOVARTHANAN, M. et al. Emerging trends and nanotechnology advances for sustainable biogas production from lignocellulosic waste biomass: A critical review. **Fuel**, v. 312, 15 mar. 2022.

GUO, M.; SONG, Weiping.; BUHAIN, J. Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 42, p. 712-725, 2015.

KANG, Q.; TAN, T. Exergy and CO<sub>2</sub> Analyses as Key Tools for the Evaluation of Bio-Ethanol Production. **Sustainability**. v. 8, p. 76, 2016.

KUMARI, Dolly; SINGH, Radhika. Pretreatment of lignocellulosic wastes for biofuel production: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 877-891, 2018.

LUIS SANCHEZ, J. et al. Lignocellulosic Biomass: Understanding Recalcitrance and Predicting Hydrolysis. **Frontiers in Chemistry**, v. 7, p. 874, 2019.

MILLATI, R. et al. Anaerobic digestion biorefinery for circular bioeconomy development. **Bioresource Technology Reports**. v. 21, p. 1013, 2023.

SHARMA, G. et al. Lignocellulolytic enzymes from *Aspergillus allahabadii* for efficient bioconversion of rice straw into fermentable sugars and biogas. **Bioresource Technology**, v. 360, p.1, 2022.

SOUZA, O. et al. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 438–443, 2010.

YADAV, M. et al. **Organic waste conversion through anaerobic digestion: A critical insight into the metabolic pathways and microbial interactions**. **Metabolic Engineering**, v. 69, p. 323-337, 2022.

QASEEM, M. F.; SHAHEEN, H.; WU, A. Cell wall hemicellulose for sustainable industrial utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 144, 2021.

RAVINDRAN, R.; JAISWAL, A K. A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: challenges and opportunities. **Bioresource technology**, v. 199, p. 92-102, 2016.

SUNDARRAJ, A. A.; VASUDEVAN, R. T.; A review on cellulose and its utilization from agro-industrial waste. **Drug Invention Today**. v. 10, p. 89-94, 2018.

VAN ECK, Nees Jan; WALTMAN, Ludo. Text mining and visualization using VOSviewer. **arXiv preprint arXiv:1109.2058**, 2011.

ZHENG, Y.; ZHAO, J. J.; XU, F.; LI, Y. Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas Production. **Progress in Energy and Combustion Science**, [s.l], v. 42, p. 35-53, 2014.