

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

OS AVANÇOS NA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO POR DIGESTÃO ANAERÓBIA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Karla de L. Machado¹; Danielle F. Carnaúba²; Geórgia N. S. B. Gois³ & Dayana de G. Coêlho⁴

Abstract: The increasing global energy demand has underscored the need for renewable sources that facilitate the energy transition by replacing fossil fuel-based energy with cleaner and more sustainable alternatives. This study conducts a bibliometric analysis of scientific research published over the past 14 years (2010–2024) on hydrogen production from biomass via anaerobic digestion in batch anaerobic reactors. Data were retrieved from the Web of Science (WOS) database using computational tools and analyzed with VOS viewer for bibliometric mapping and Microsoft Excel for data compilation, tabulation, and visualization. The search strategy employed the keywords: "anaerobic digestion AND hydrogen production AND anaerobic batch reactors AND biomass," resulting in the identification of 138 relevant articles. The findings highlight Brazil as a leading contributor to research in this field. Moreover, the results indicate a strong correlation between published studies and key themes such as environmental sustainability, decarbonization, advancements in biogas production technologies, and the valorization of agro-industrial residues in anaerobic systems. The increasing focus on sustainable energy solutions underscores the importance of continued research and technological innovation in this domain. The study concludes that bioenergy and biogas production through anaerobic digestion represent an environmentally sound and economically feasible alternative, closely aligned with global waste management strategies and the broader goals of the energy transition.

Keywords: Anaerobic Batch Reactor; Bioenergy; Energy Transition.

Resumo: O crescimento da demanda energética trouxe consigo a necessidade de novas fontes renováveis que viabilizem a transição energética, substituindo derivados poluentes do petróleo por alternativas limpas e sustentáveis. Este trabalho apresenta uma análise bibliométrica da produção científica dos últimos 14 anos (2010–2024) sobre a produção de hidrogênio a partir de biomassa via digestão anaeróbia, utilizando reatores anaeróbios em batelada. Para isso, os dados foram coletados por meio de ferramentas computacionais, na base de dados Web of Science (WOS), e processados no software *VOS viewer* para construção bibliométrica e no Microsoft Excel para compilação de dados e geração de tabelas e gráficos. Visando à objetividade, os descritores adotados incluíram as palavras-chave: “anaerobic digestion AND hydrogen production AND anaerobic batch reactors AND biomass”. Como resultado, foram identificados 138 artigos, destacando o Brasil como um dos principais pesquisadores no tema. Os resultados encontrados nesse estudo bibliométrico evidenciam que as publicações no período estão associadas à preocupação ambiental e descarbonização, novas tecnologias para produção de biogás e aproveitamento de resíduos agroindustriais em sistemas anaeróbios. Observa-se uma tendência crescente na busca por alternativas energéticas sustentáveis, reforçando a relevância de pesquisas e inovações tecnológicas na área. Conclui-se que a produção de

1) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Controle Ambiental, karla.machado@ctec.ufal.br

2) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Controle Ambiental, danielle.carnauba@arapiraca.ufal.br

3) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Controle Ambiental, georgianayane@gmail.com

4) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Controle Ambiental, dayana.coelho@ctec.ufal.br

bioenergia e biogás por digestão anaeróbia surge como uma alternativa ambientalmente sustentável, economicamente viável e alinhada à gestão de resíduos, contribuindo diretamente para a nossa transição energética.

Palavras-chave: Bioenergia; Reator Anaeróbio em Batelada; Transição Energética.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, estudos sobre produção de hidrogênio têm crescido e diversificado. O hidrogênio é considerado um vetor energético altamente viável, por ser o elemento mais abundante do planeta e por sua combustão gerar uma quantidade significativa de energia, 141 J/Kg, tendo como produto após sua queima, a água (Paula, 2025). Portanto, é considerada uma fonte de energia limpa. Dentre os processos de obtenção de hidrogênio, a produção biológica por meio da digestão anaeróbia destaca-se como uma alternativa promissora, uma vez que permite o uso de biomassa e diversos materiais residuais como substrato.

A digestão anaeróbia é um processo altamente consolidado no que diz respeito a produção energética. Chernicharo (1997), descreve o processo como sendo, um sistema balanceado, onde cada microrganismo tem uma função essencial no equilíbrio deste sistema, no qual estão envolvidas várias condicionantes como o tipo de substrato presente e a magnitude das cargas orgânicas e hidráulicas. A digestão anaeróbia é desenvolvida em quatro rotas biológicas, sendo estas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (podendo ainda ter a sulfetogênese, no caso da presença de compostos sulfurados), cada etapa é executada por um grupo diferente de microrganismos. Onde, duas destas rotas destacam-se pela importância no reaproveitamento energético dos substratos, convertendo-os com o auxílio de microrganismos para produzir hidrogênio na fase da acidogênese, e metano na fase da metanogênese, o hidrogênio é produzido nas segunda e terceira rotas, onde constituem as fases de fermentação, e é consumido na metanogênese por arqueas metanogênicas que utilizam dióxido de carbono e hidrogênio para produzir metano (Santos, 2021; Costa, 2014).

O processo de digestão anaeróbia é passível a variações das condições ambientais, que podem afetá-lo significativamente. A produção de hidrogênio nesse processo pode ser influenciada por diversos fatores, como o modo operacional do reator, por parâmetros físico-químicos, como temperatura, pH, tipo de inóculo e seu pré-tratamento; e entre outros (Amorim, 2009).

Dentre as tecnologias anaeróbias para a obtenção de biogás, destacam-se os reatores anaeróbios com as mais variadas configurações, a escolha adequada desse reator para o processo de fermentação também pode aumentar a geração de bioenergia e de produtos de valor agregado segundo Ohimain e Izah (2017); em destaque os reatores anaeróbios em batelada, cuja operação consiste em quatro etapas: alimentação, reação, sedimentação, decantação até sua inatividade em um único recipiente (Zhu, 2025). Comumente usados em escala laboratorial na ausência de luz, apresentam uma configuração de trabalho simples com boa retenção de biomassa, de operação fácil e flexível. Propagando sua utilização para a determinação do seu potencial como produtor de biohidrogênio a partir da biomassa (Sá, 2014).

A biomassa trata-se de um recurso energético natural e renovável, sendo oriunda de matéria orgânica. Podendo-se destacar os resíduos agroindustriais, onde o uso dos mesmos para a produção biológica de hidrogênio gera energia limpa de baixo custo e simultaneamente o tratamento de resíduos, sendo uma solução ambientalmente correta para eles (Kapdan e Kargi, 2006).

A utilização de resíduos agroindustriais, materiais ricos em carboidratos que favorecem o processo de bioconversão, como fonte para geração de biocombustíveis são de extrema eficiência. O custo, o conteúdo de carboidratos e a biodegradabilidade são os principais critérios para selecioná-los como substratos do processo (Ribeiro, 2024). A literatura especializada reporta que a produção do biocombustível tem sido a estratégia mais propícia para a minimização dos impactos ambientais

causados pelos combustíveis fósseis, e pesquisas relacionadas ao assunto vêm destacando-se na ciência.

A bibliometria desempenha uma metodologia de análise que avalia pesquisas de diversas localidades, institucionais e autores, tudo com base em indicadores como número de citações, quantidade de publicações, fator de impacto e outros critérios. Sua importância está na capacidade de mapear o desenvolvimento de um campo de estudo, prever tendências futuras e promover maior diálogo entre os pesquisadores e pesquisas (Huang et al., 2022).

Ampepe (2022), aborda que a utilização de informações científicas provenientes de documentos publicados anteriormente pode determinar as tendências e brechas da investigação em uma determinada temática, com isso, ultimamente, os estudos bibliométricos têm sido amplamente utilizados para divulgar as perspectivas em diversos ramos de estudos, como o tema biomassa e bioenergia utilizando resíduos agroindustriais vem em uma crescente, essas análises oferecem uma perspectiva e sugestões para próximos estudos.

Com isso, esse estudo tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica de publicações dos últimos 14 anos relacionadas a produção de hidrogênio por meio do processo de digestão anaeróbia utilizando reatores em batelada a partir de biomassa. Com o intuito de entender os processos de desenvolvimento e as perspectivas futuras da pesquisa de produção de hidrogênio em reatores em batelada.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada consistiu na pesquisa bibliográfica na base de dados Web of Science (WOS), e a análise dos dados foi realizada por meio do software VOS viewer, este é um programa livre/gratuito, desenvolvido para auxiliar na construção bibliométrica, e o Microsoft Excel também foi utilizado para a construção de tabelas e geração de gráficos. Para obter os dados de forma concisa e objetiva foram definidos os parâmetros de busca, e usando a técnica de truncagem que consiste na utilização da palavra/operador AND para a combinação dos termos, com o intuito de obter resultados mais precisos, sendo empregados os termos de pesquisa: “anaerobic digestion” AND “hydrogen production” AND “anaerobic batch reactors” AND “biomass”. As expressões foram colocadas entre aspas para garantir que os termos fossem localizados exatamente como descritos, evitando variações ou significados distintos. Não foram utilizados operadores como OR ou NOT, a fim de manter o foco em estudos que abordassem simultaneamente todos os temas de interesse. A escolha desses termos e da combinação lógica visou restringir a busca a publicações que tratassem especificamente da produção de hidrogênio por digestão anaeróbia em reatores em batelada utilizando biomassa como substrato. Além disso, os parâmetros de filtragem também foram determinados, sendo estes: definição de um período, compreendido entre 2010 e 2024, em extensão mundial, sendo aceito publicações somente no idioma inglês, documentos do tipo artigos originais publicados em revistas científicas e obrigatoriamente contendo todos os termos utilizados na busca. Os dados dos arquivos obtidos nos últimos 14 anos foram exportados e analisados.

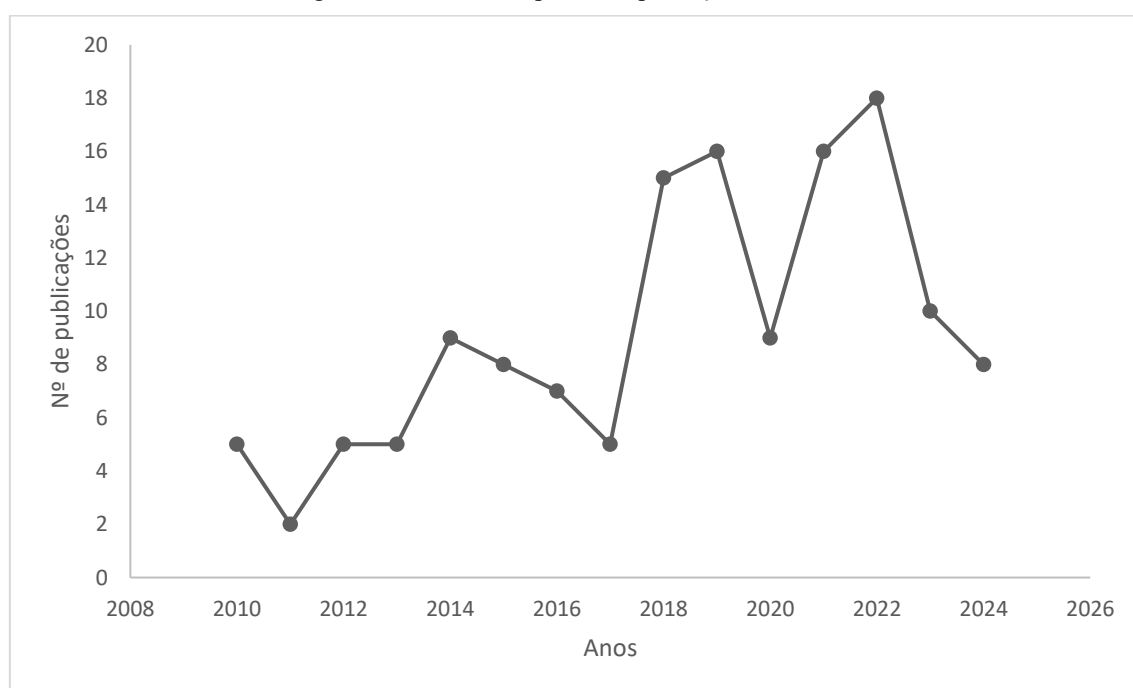
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A consulta na base de dados resultou um total de 138 artigos dentro dos parâmetros solicitados. Levando em consideração o Brasil, foram registradas 24 publicações, sendo o mesmo o país em que houve a maior quantidade de artigos publicados na temática procurada, o que corresponde a 33,12% das publicações mundiais, demonstrando um grande potencial a ser explorado e foi possível identificar tendências e buscas relacionadas. A partir desses dados obtidos no Web of Science foi possível realizar a compilação específica no software VOS viewer, que estão demonstrados em forma de gráficos e tabelas, destacando os autores mais citados, os anos com mais publicação, países, as afiliações, os artigos com mais citações e a rede de correlação entre as palavras-chave.

No que diz respeito a evolução temporal (2018-2019), sugerem-se que, nesse período, temas como “biohydrogen” e “pretreatment” podem ter ganhado maior relevância, o que pode ser explicado pelo aumento de investimento em fontes de energia renovável e pela busca por soluções mais sustentáveis de tratamento de resíduos, isso reflete nos resultados que demonstram uma significativa relação entre os processos de tratamento de resíduos e a geração de energia renovável, revelando um campo de pesquisa promissor para aplicações sustentáveis, tanto no olhar ambiental quanto de eficiência energética.

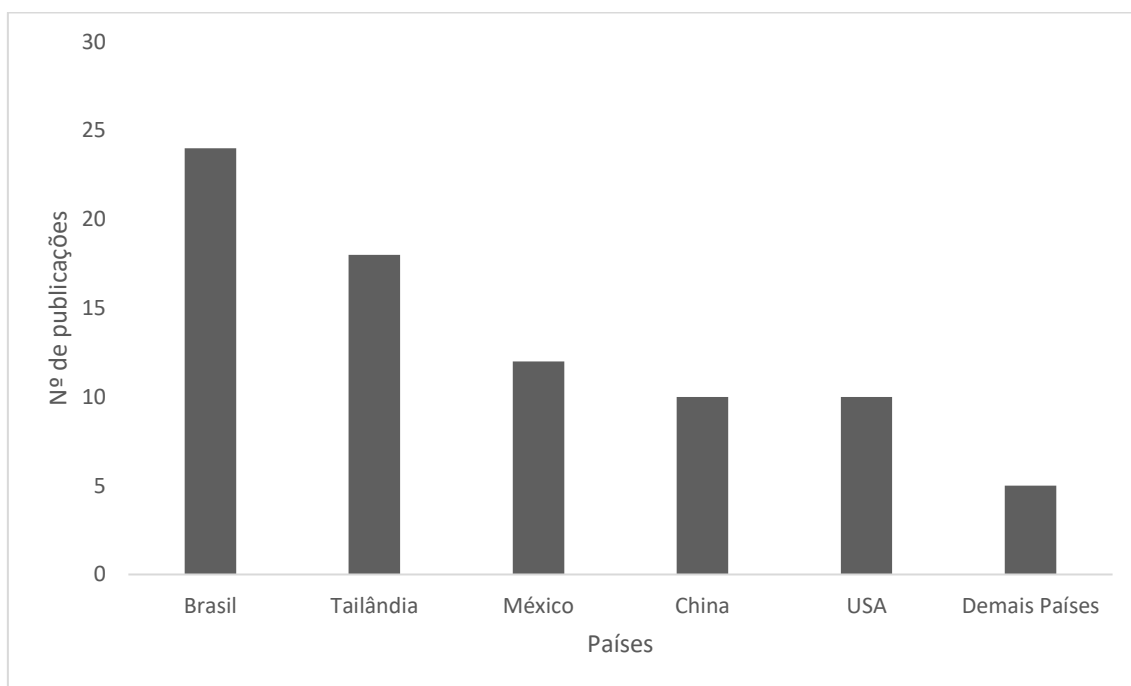
A análise temporal dos anos com mais publicações evidencia que o interesse na temática cresceu significativamente entre 2018 e 2022, alinhado a pressões climáticas e geopolíticas. Destacando, 2023 (10 artigos), 2022 (18), 2019 (16) e 2018 (15), observado na Figura 1.

Figura 1 – Análise temporal das produções científicas



Os dados bibliométricos revelam uma concentração de pesquisas em cinco países: Brasil (24 publicações), Tailândia (18), México (12), China (10) e Estados Unidos (10), que juntos dominam a produção acadêmica sobre hidrogênio derivado de digestão anaeróbia (Figura 2). O destaque do Brasil pode estar associado à sua matriz energética renovável e investimentos em biocombustíveis. China e Estados Unidos, embora líderes em outras áreas de energia limpa, aparecem com apenas 10 publicações cada nos últimos 14 anos.

Figura 2 – Análise da produção científica por país



Um total de 200 instituições afiliadas, distribuídas por 45 países, contribuíram para a produção dos artigos analisados. Como destacado na Tabela 1, essas 10 instituições apresentaram os maiores volumes de publicações, e foram responsáveis por 45,65% do total da produção científica. Esse destaque provavelmente reflete o maior investimento e avanço desses países em pesquisas relacionadas à busca por fontes de energia limpas e renováveis.

Com a análise de afiliações os países, Brasil e Tailândia emergem como os principais polos, a Universidade de São Paulo (15 artigos) e a Khon Kaen University (9 artigos) destacam-se como centros produtores de conhecimento, enquanto a escassez de instituições europeias e norte-americanas de acordo com os dados obtidos.

Tabela 1 – Afiliações com mais produções

Afiliação	País	Artigos
Universidade de São Paulo	Brasil	15
Khon Kaen University	Tailândia	9
Universidade Federal de São Carlos	Brasil	6
Chulalongkorn University	Tailândia	5
Korea Institute of Energy Research Kier	Coréia do Sul	5
Mahidol University	Tailândia	5
Prince of Songkla University	Tailândia	5
University of Patras	Grécia	5
Feng Chia University	Taiwan	4
Universidad Nacional Autonoma de México	México	4

Identificou-se um total de 48 periódicos distintos que publicaram sobre o tema, demonstrando o amplo interesse da comunidade científica por essa área de pesquisa. Conforme apresentado na Tabela 2, que destaca as 8 principais revistas por volume de publicações. Nota-se que a produção científica se concentra em periódicos de alto impacto, como o International Journal of Hydrogen Energy (27 artigos) e Bioresource Technology (13 artigos), a primeira correspondendo a 19,56% do total de artigos.

Tabela 2 – Os oito principais periódicos com publicações na área pesquisada

Periódicos	Artigos
International Journal of Hydrogen Energy	27
Biomass Bioenergy	14
Bioresource Technology	13
Waste and Biomass Valorization	7
Fermentation Basel	5
Biomass Conversion and Biorefinery	4
Environmental Technology	4
Renewable Energy	4

Em relação aos autores, foram identificados 200 pesquisadores envolvidos nas publicações analisadas, com uma média de 1,44 autores por artigo, indicativo do crescente interesse acadêmico na área. Ao aplicar o critério de seleção de autores com pelo menos 4 publicações sobre o tema, observou-se 12 pesquisadores (Tabela 3). Os dados revelam um núcleo de pesquisadores altamente produtivos, com destaque para Brasil e Tailândia, países que já haviam se destacado na análise por afiliações. Evidenciando aqui os brasileiros Zaiat, M. e Varesche, M.B.A. (6 artigos cada) são os autores mais produtivos, vinculados à Universidade de São Paulo (USP). Já Kongjan, P., Jariyaboon, R., Reungsang, A., Chavadej, S. e Sittijunda, S. (5 artigos cada) representam instituições tailandesas, como Khon Kaen University e Prince of Songkla University.

Tabela 3 – Autores com maior número de publicações

Autores	Artigos
Zaiat, M.	6
Varesche, M. B. A.	6
Kongjan, P.	5
Jariyaboon, R.	5
Méndez-Acosta, H. O.	5
Kim, D. H.	5
Reungsang, A.	5
Chavadej, S.	5
Silva, E. L.	5

Autores	Artigos
Sittijunda, S.	5
Arreola-Vargas, J.	4
Sakamoto, I. K.	4

O parâmetro citação demonstra a relevância de uma publicação, ao selecionar autores com no mínimo 80 citações, obteve-se 6 autores. Os dados revelam que os artigos mais citados se concentram na área de estratégias para aumentar a eficiência da produção de hidrogênio e metano, na codigestão, na otimização de reatores e no uso de biomassas específicas. Na Tabela 4, está listada as publicações mais citadas no período e na temática analisada.

Dentre esses destaca-se, Steinbusch K. J. J. et al. (2011), com a publicação “Biological formation of caproate and caprylate from acetate: fuel and chemical production from low grade biomass” na revista Energy and Environment Science, no ano de 2011 com 348 citações o documento, o artigo explora além da produção de hidrogênio, a síntese de combustíveis líquidos a partir de subprodutos da digestão anaeróbia. Em seguida temos Fountoulakis, M. S. et al. (2010), com o artigo intitulado “Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production” que aborda a codigestão de lodo com adição de um segundo substrato o glicerol com o intuito de aumentar a produção de biogás, esse artigo apresenta 153 citações e foi publicado no ano de 2010.

Tabela 4 – Análise das publicações mais citadas

Autores	Título	Ano	Citações	Periódico
Steinbusch, K. J. J. et al.	Biological formation of caproate and caprylate from acetate: fuel and chemical production from low grade biomass	2011	348	Energy & Environmental Science
Fountoulakis, M. S. et al.	Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production	2010	153	Waste Management
Intanoo, P. et al.	Optimization of separate hydrogen and methane production from cassava wastewater using two-stage upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) system under thermophilic operation	2014	95	Bioresource Technology
Arreola-Vargas, J. et al.	Single and two-stage anaerobic digestion for hydrogen and methane production from acid and enzymatic hydrolysates of Agave tequilana bagasse	2016	89	International Journal of Hydrogen Energy
Kim, D. H. et al.	Sewage sludge addition to food waste synergistically enhances hydrogen fermentation performance	2011	89	Bioresource Technology

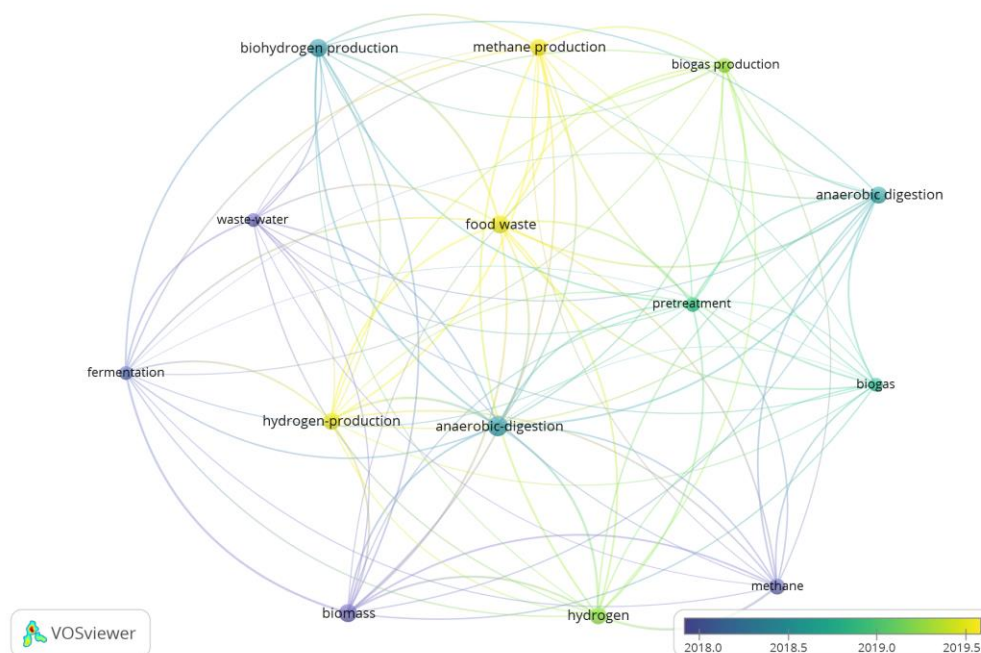
Autores	Título	Ano	Citações	Periódico
Tampio, E. A. et al.	Volatile fatty acids (VFAs) and methane from food waste and cow slurry: Comparison of biogas and VFA fermentation processes	2019	86	Global Change Biology Bioenergy

O terceiro artigo mais citado obteve 95 citações e tem como autoria Intanoo, P. et al. (2014), ele aborda a otimização da produção separada de hidrogênio e metano a partir de águas residuais da indústria da mandioca usando um sistema anaeróbio, assim como Arreola-Vargas, J. et al. (2016), que analisa a produção de hidrogênio em dois estágios; ambos os autores abordam a otimização do processo para a produção de biogás. E Kim, D. H. et al. (2011), demonstra em seu artigo que lodo de esgoto com adição de resíduos alimentares melhora a produção de hidrogênio, o mesmo obteve 89 citações.

Arreola-Vargas, J. e Kim, D. H. aparecem tanto entre os autores mais produtivos quanto nos artigos mais citados, confirmando sua influência na área. Vale destacar que não há relação entre as publicações mais citadas com os periódicos com mais publicações, assim como, dos autores com mais artigos publicados, e o período de publicação.

Com o auxílio do software *VOS viewer*, foi possível realizar uma análise de co-ocorrência com os termos de busca, “anaerobic digestion AND hydrogen production AND anaerobic batch reactors AND biomass”, na Figura 3, está a imagem que o software elabora, em forma de rede de palavras interconectadas, no qual demonstram que os termos científicos acerca da busca realizada estão conectados em sua ocorrência e ordenados por relevância. As relações entre os diferentes termos evidenciam a relevância da abordagem interdisciplinar para o avanço das tecnologias de produção de hidrogênio e geração de energia.

Figura 3 – Rede de palavras-chave elaborado no software VOS viewer



A rede de palavras-chave revela um foco central em processos sustentáveis de produção de energia a partir de resíduos orgânicos, como água residuária (waste water) e restos de alimentos (food waste). Os termos mais frequentes e interconectados são, “anaerobic digestion” ou “anaerobic-digestion”, “biomass”, “food waste”, “pre treatment” e “biogas” ou “biogass”. Palavras-chave como “biohydrogen production”, “hydrogen production”, e “fermentation” sugerem um interesse em métodos alternativos de geração de hidrogênio e combustível limpo. A presença de “fermentation” indica que a fermentação de resíduos é uma rota importante nesse contexto.

Já termos como “biogas production”, “methane production”, e “anaerobic digestion” formam um cluster coeso, mostrando que a decomposição de matéria orgânica para produção de biogás é um tema dominante. A digestão anaeróbica aparece como um processo-chave, ligando-se tanto a resíduos (food waste) quanto ao produto final (biogás). E o “pretreatment” aparece próximo a “waste water”, indicando pesquisas sobre métodos para tornar os resíduos mais eficientes na geração de energia por meio de pré-tratamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta análise bibliométrica evidenciam a relevância crescente do hidrogênio como alternativa energética sustentável. Embora persistem desafios técnicos e econômicos, seu potencial é inquestionável. Como perspectivas futuras, destacam-se, o desenvolvimento de técnicas de otimização e a integração entre produção de hidrogênio, tratamento de resíduos e mitigação de impactos ambientais. A produção de hidrogênio mediante digestão anaeróbia de biomassa em reatores de batelada configura-se como uma alternativa energética sustentável, alinhada às demandas globais de descarbonização e transição para fontes renováveis.

O estudo demonstrou que não apenas países desenvolvidos, estão comprometidos com essa temática, mas também que essa é uma preocupação global. A transição para fontes renováveis torna-se urgente para assegurar um futuro sustentável e a qualidade de vida das próximas gerações.

Foi observado também em uma análise geral o grande interesse por trabalhos relacionado a produção de hidrogênio, principalmente a partir do ano de 2018. E a tecnologia de uso de reatores anaeróbio em batelada vem recebendo um destaque especial em estudos de tratamento e gestão de resíduos na atualidade. Por fim, a rede de palavras-chave reflete um foco das pesquisas em tecnologias sustentáveis para energia a partir de resíduos, com três temas principais, sendo, produção de hidrogênio, geração de biogás, e otimização de processos por meio de pré-tratamento.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, E. L. C.; BARROS, A. R.; DAMIANOVIC, M. H. R. Z.; SILVA, E. L. (2009). “*Anaerobic Fluidized Bed Reactor with Expanded Clay as Support for Hydrogen Production thorough Dark Fermentation of Glucose*”. International Journal of Hydrogen Energy, v. 34, pp. 783-790.
- AMPESE, L. C. et al. (2022). “*Research progress, trends, and updates on anaerobic digestion technology: A bibliometric analysis*”. Journal of Cleaner Production, n. 331, 15 p.
- ARREOLA-VARGAS, J. et al. (2016). “*Single and two-stage anaerobic digestion for hydrogen and methane production from acid and enzymatic hydrolysates of Agave tequilana bagasse*”. International Journal of Hydrogen Energy, n. 41 (2), pp. 897-904.
- CHERNICHARO, CA de L. et al. (1997). “*Reatores anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*”. v. 5, p. 2.
- COSTA, E. S.; FILHO, O. B.; GIORDANO, G. (2014). “*Coletânea em saneamento ambiental: Reatores anaeróbios de manta de lodo UASB (uma abordagem concisa)*”. Série Temática – Tecnologias Ambientais, v. 5, ed. 1, Rio de Janeiro.
- FOUNTOULAKIS, M. S. et al. (2010). “*Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production*”. Waste Management, n. 30 (10), pp. 1849-1853.

- HUANG, T. et al. (2022). “*Visualized Analysis of Global Studies on Cervical Spondylosis Surgery: A Bibliometric Study Based on Web of Science Database and VOSviewer*”. Indian Journal of Orthopaedics, v. 56, n. 6.
- INTANOO, P. et al. (2014). “*Optimization of separate hydrogen and methane production from cassava wastewater using two-stage upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) system under thermophilic operation*”. Bioresource Technology, n. 173, pp. 256-265.
- KAPDAN, I. K.; KARGI, F. (2006). “*Bio-hydrogen production from waste materials*”. Enzyme and Microbial Technology, v. 38, pp. 569-582.
- KIM, D. H. et al. (2011). “*Sewage sludge addition to food waste synergistically enhances hydrogen fermentation performance*”. Bioresource Technology, n. 102 (18), pp. 8501-8506.
- OHIMAIN, E. I.; IZAH, S. C. (2017). “*A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors*”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 70, pp. 242-253.
- PAULA, G. P. et al. (2025). “*Anaerobic bacterial fermentation: A strategy for hydrogen production*”. Research, Society and Development. v. 4, n. 1.
- RIBEIRO, A. R. et al. (2024). “*Evaluation of the effect of increasing the organic load in the thermophilic co-fermentation of sugarcane industry by-products on hydrogen, ethanol and lactic acid generation*”. International Journal of Hydrogen Energy, n. 57, pp. 549-651.
- SÁ, L. R. V.; CAMMAROTA, M. C.; FERREIRA-LEITÃO, V. S. (2014). “*Produção de hidrogênio via fermentação anaeróbia - aspectos gerais e possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais brasileiros*”. Química Nova, v. 37, n. 5, pp. 857-867.
- SANTOS, J. M. B. et al. (2021). “*Advances in tools and techniques for estimating biogas production and treatment in anaerobic-based STPs Technical Note 1 - Topics of interest*”. Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental, v.1, n.1, pp. 5-19.
- STEINBUSCH, K. J. J. et al. (2011). “*Biological formation of caproate and caprylate from acetate: fuel and chemical production from low grade biomass*”. Energy and Environment Science.
- TAMPIO, E. A. et al. (2019). “*Volatile fatty acids (VFAs) and methane from food waste and cow slurry: Comparison of biogas and VFA fermentation processes*”. Global Change Biology Bioenergy, n. 11 (1), pp. 72-84.
- ZHU, Y. et al. (2025). “*Comparative enrichment of complete ammonium oxidation bacteria in floccular sludge reactors: Sequencing batch reactor vs. Continuous stirred tank reactor*”. Water Research X. v. 27.