



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2025) v. 12, n. 3, p. 257–265
<https://doi.org/10.21712/lajer.2025.v12.n3.p257-265>

1º Encontro Interdisciplinar em Energia, Programa de Pós-graduação em Energia, Ufes



Digestão anaeróbica em dois estágios de resíduos de café com glicerol residual para produção de hidrogênio e metano: análise bibliométrica e inovação
Two-phase anaerobic digestion of coffee residues with residual glycerol for hydrogen and methane production: bibliometric analysis and innovation

Thiago Medeiros Dos Reis^{1,*}, Laura Marina Pinotti², Thiago Padovani Xavier²

¹ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes, campus São Mateus, ES, Brasil

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes, campus São Mateus, ES, Brasil

*Autor para correspondência, E-mail: thiago.m.reis@edu.ufes.br

Resumo: A digestão anaeróbica em dois estágios tem se destacado como uma alternativa inovadora para a valorização de resíduos agroindustriais, especialmente os provenientes da cadeia do café, como casca e borra, quando associados ao glicerol residual. Essa configuração, que separa as fases acidogênica e metanogênica, proporciona maior estabilidade operacional, controle de parâmetros críticos e incremento no rendimento energético, com produção simultânea de hidrogênio e metano. O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica sobre a aplicação da digestão em dois estágios a resíduos de café em co-digestão com glicerol residual, bem como mapear registros tecnológicos relacionados em bases de patentes, a fim de identificar tendências e lacunas de pesquisa. A metodologia consistiu em buscas sistemáticas nas bases Scopus e Web of Science, além das plataformas Espacenet, Google Patents, USPTO, INPI e Patentscope, utilizando descritores como “anaerobic digestion”, “coffee”, “glycerol”, “biogas” e “hydrogen”. Os resultados indicaram crescimento contínuo nas publicações entre 2020 e 2025, com predomínio de estudos europeus, enquanto o Brasil, maior produtor mundial de café, ainda apresenta participação limitada. Identificou-se que o periódico Bioresource Technology concentra a maioria dos trabalhos de relevância. A busca em bases de patentes não revelou registros que combinem explicitamente resíduos de café e glicerol em digestão em dois estágios para coprodução de H₂ e CH₄, demonstrando originalidade da temática e potencial de inovação. Conclui-se que a tecnologia investigada contribui para a economia circular, a redução de impactos ambientais e a diversificação da matriz energética, configurando uma oportunidade estratégica para o Brasil no contexto da transição energética global.

Palavras-chave: digestão anaeróbica em dois estágios; resíduos de café; glicerol; biogás; hidrogênio.

Abstract: Two-phase anaerobic digestion has emerged as an innovative alternative for the valorization of agro-industrial residues, especially those derived from the coffee chain, such as husks and spent coffee grounds, when associated with residual glycerol. This configuration, which separates the acidogenic and methanogenic phases, provides greater operational stability, better control of critical parameters, and enhanced energy yield, with simultaneous production of hydrogen and methane. This study aimed to carry out a bibliometric analysis on the application of two-phase digestion to coffee residues in co-digestion with residual glycerol, as well as to map technological records in patent databases, in order to identify research trends and gaps. The methodology consisted of systematic searches in Scopus and Web of Science databases, in addition to Espacenet, Google Patents, USPTO, INPI, and Patentscope platforms, using descriptors such as “anaerobic digestion,” “coffee,” “glycerol,” “biogas,” and “hydrogen.” The results indicated continuous growth in publications between 2020 and 2025, with a predominance of European

studies, while Brazil, the world's largest coffee producer, still shows limited participation. It was also identified that the journal Bioresource Technology concentrates most of the relevant studies. The patent search did not reveal records that explicitly combine coffee residues and glycerol in two-phase digestion for the co-production of H₂ and CH₄, demonstrating the originality of the theme and its innovation potential. It is concluded that the investigated technology contributes to circular economy practices, reduces environmental impacts, and diversifies the energy matrix, representing a strategic opportunity for Brazil in the context of the global energy transition.

Keywords: two-phase anaerobic digestion; coffee residues; glycerol; biogas; hydrogen.

1 Introdução

O crescimento contínuo da população mundial tem intensificado a demanda por alimentos e combustíveis, impulsionando o desenvolvimento dos setores agrícola e agroindustrial. Consequentemente, a quantidade de resíduos gerados por essas atividades tem aumentado significativamente, pressionando os sistemas de tratamento e gestão de resíduos. Paralelamente, a necessidade de uma transição energética global tem levado à busca por fontes de energia sustentáveis, sendo a biomassa residual de processos agroindustriais uma alternativa promissora (Indriyani et al., 2025). Além de reduzir os impactos ambientais, essa biomassa agrega valor às cadeias produtivas existentes, promovendo a economia circular e a gestão sustentável de resíduos (Cremonez et al., 2021).

Nesse contexto, os resíduos da cadeia do café, em especial a casca e a borra, têm despertado crescente interesse científico e tecnológico. O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo, com produção global que, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, atingiu mais de 7 milhões de sacas no período de 2020/2021 (Halstead, 2023). Para a safra 2024/2025, a produção global de café Arábica (*Coffea arabica*) está estimada em 99,9 milhões de sacas de 60 kg, com o Brasil respondendo por cerca de 58,81 milhões de sacas, consolidando-se como o maior produtor mundial (EMBRAPA, 2024). Diante desse cenário, a valorização energética dos resíduos gerados pelo setor cafeeiro representa uma oportunidade estratégica para o país, tanto em termos ambientais quanto econômicos.

A digestão anaeróbica destaca-se como uma das principais rotas biotecnológicas para o aproveitamento de resíduos agroindustriais, permitindo a produção de metano e hidrogênio em condições controladas. A digestão anaeróbica em dois estágios, que separa a etapa acidogênica (voltada à produção de hidrogênio e ácidos graxos voláteis) da metanogênica (responsável pela síntese de metano), proporciona maior estabilidade operacional, aumento da eficiência energética e melhor controle sobre parâmetros críticos (Simeonov et al., 2021; Holl et al., 2022).

Pesquisas recentes têm apontado que a co-digestão de casca e borra de café com glicerol residual é capaz de aumentar significativamente a produção de biogás, especialmente metano, devido ao elevado potencial energético do glicerol (Albarracín et al., 2024). Contudo, quando utilizado em altas concentrações, o glicerol pode causar desequilíbrio do processo, exigindo diluição ou associação com outros substratos para evitar acidificação e queda na produção de metano (Silva et al., 2018; Ferreira et al., 2018). Nessa perspectiva, a combinação com o lodo de estações de tratamento de esgoto (ETE) apresenta-se como alternativa para manter a estabilidade microbiológica e aprimorar a eficiência do sistema.

Além disso, a digestão em dois estágios está fortemente alinhada às metas globais de descarbonização. O hidrogênio, considerado combustível estratégico do futuro, destaca-se por sua elevada densidade energética e ausência de emissões de carbono, já que sua combustão gera apenas água (Sudalaimuthu; Sathyamurthy, 2024). A produção conjunta de hidrogênio e metano pode ampliar a viabilidade técnica e econômica da digestão anaeróbica, com possibilidade de geração de biometano contendo até 10% de H₂ atraindo o interesse de indústrias automotivas e de transporte (Simeonov et al., 2021; Holl et al., 2022).

Diante desse panorama, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica sobre a digestão anaeróbica em dois estágios aplicada à casca e borra de café em co-digestão com glicerol residual e lodo de ETE, a fim de mapear o estado da arte e validar a originalidade da temática em bases de publicações científicas e depósitos de patentes. Essa abordagem permitirá identificar lacunas de pesquisa, consolidar tendências emergentes e reforçar a relevância da tecnologia para o avanço da bioenergia no Brasil.

2 Metodologia

Para realizar a análise bibliométrica, foram conduzidas buscas de artigos relacionados à produção de biogás, hidrogênio, digestão anaeróbia, resíduos do café e glicerol em diferentes países ao redor do mundo. As

plataformas Scopus e Web of Science foram utilizadas para a busca, utilizando palavras-chave como "anaerobic digestion", "biogas", "coffee", "coffee husk", "coffee grounds", "glycerol" e "hydrogen".

Na primeira etapa da pesquisa, uma consulta exploratória foi realizada utilizando os termos "anaerobic digestion", "biogas", "coffee husk", "coffee grounds", com o objetivo de incluir apenas estudos relacionados ao tema. A escala temporal foi delimitada entre 2020 e 2025, considerando apenas documentos do tipo "artigo". Após a análise exploratória dos dados, foi construído um banco de artigos contendo os estudos mais relevantes sobre biogás, digestão anaeróbica e café. Foi estabelecido um limite de 20 artigos selecionados. Para atender a esse critério, a pesquisa foi refinada, considerando apenas os artigos publicados a partir de 2020. Em seguida, foram selecionados os artigos que apresentavam maior relação com o escopo da pesquisa.

Com o intuito de limitar a quantidade de trabalhos encontrados, foram inseridas as palavras-chave "hydrogen" (etapa 2). Em seguida, a busca foi ainda mais refinada com a inclusão da palavra "glycerol" (etapa 3). Após a seleção dos artigos em todas as etapas de refinamento, realizou-se uma análise preliminar dos títulos e resumos de cada artigo, com o objetivo de eliminar aqueles que não estavam alinhados com o escopo da pesquisa. Os procedimentos empregados para a escolha dos artigos, que compõem o embasamento teórico, estão resumidos de forma clara no fluxograma ilustrado na Figura 1.

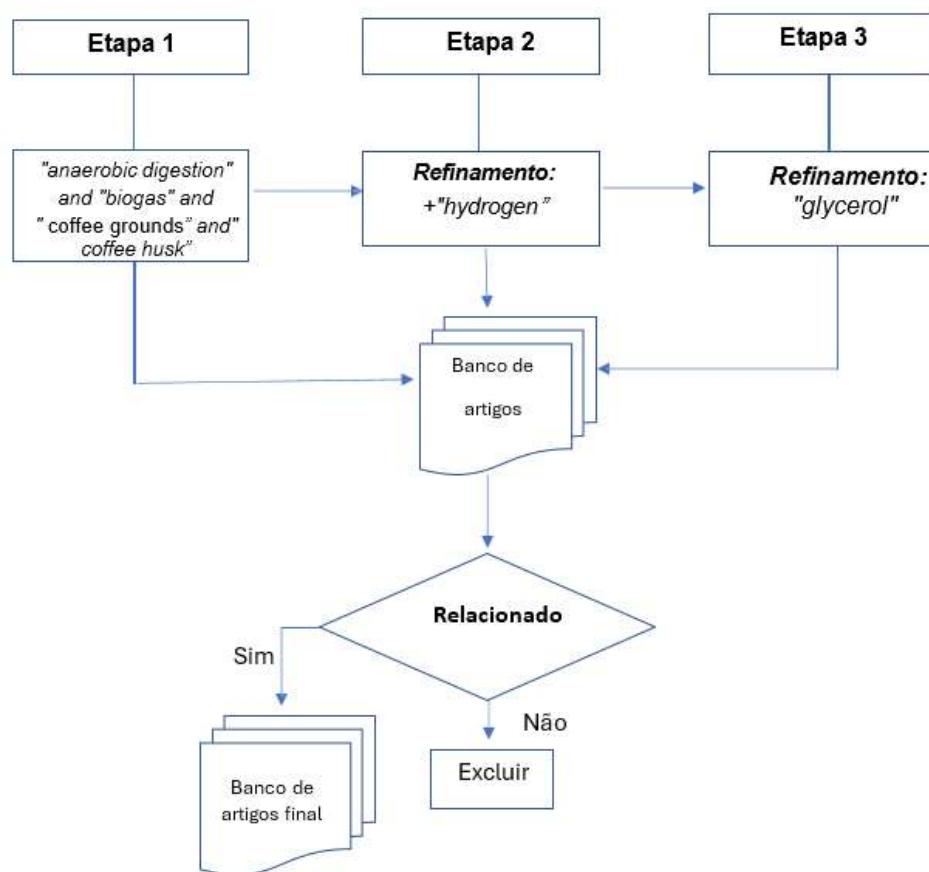


Figura 1. Fluxograma do processo da estratégia de seleção de artigos.

A análise bibliométrica desses artigos foi realizada por meio de metodologia específica, utilizando ferramentas como o software Studio R e a biblioteca biblioshiny, um aplicativo Shiny para análise bibliométrica. A seleção dos artigos para análise considerou o fator de impacto dos periódicos em que foram publicados, obtido por meio do Journal Citation Reports (JCR). Somente os artigos publicados em periódicos com fator de impacto foram incluídos na análise, garantindo a inclusão de estudos mais relevantes e influentes na área de interesse.

Além disso, foi aplicado um critério adicional de seleção utilizando o método "ordinatio maior". Esse método priorizou os artigos com maior número de citações, com o objetivo de incluir os estudos mais citados e impactantes na análise. Dessa forma, buscou-se capturar as pesquisas mais relevantes e com maior impacto na comunidade científica.

2.1 Pesquisa sistemática em bases de dados de patentes

A metodologia adotada consistiu em quatro **etapas sucessivas** de busca em bases de patentes — Espacenet, Google Patents, USPTO, INPI e Patentscope/WIP utilizando diferentes combinações de palavras-chave relacionadas aos principais elementos da pesquisa: substrato (resíduos de café), co-substrato (glicerol), processo (digestão anaeróbica) e produtos (H_2 e CH_4).

Na primeira etapa, empregou-se a combinação mais específica e técnica: "*anaerobic digestion*" AND "*glycerol*" AND "*hydrogen*" AND "*methane*" AND "*coffee grounds*" AND "*coffee husk*", visando identificar registros que contemplassem de forma precisa os componentes centrais da proposta.

A segunda etapa buscou flexibilizar levemente os termos relacionados ao substrato, utilizando: "*anaerobic digestion*" AND "*glycerol*" AND "*hydrogen*" AND "*methane*" AND "*coffee*". Essa estratégia teve como objetivo detectar registros que mencionassem o café de forma mais genérica, sem especificar partes do resíduo.

Na terceira etapa, a estratégia foi ajustada para ampliar o escopo de identificação de registros tecnológicos envolvendo o uso do café em processos de digestão anaeróbica para produção de biocombustíveis. Para tanto, removeu-se o termo "glicerol" da combinação anterior, concentrando-se nos descritores: "*anaerobic digestion*" AND "*hydrogen*" AND "*methane*" AND "*coffee*". Tal decisão metodológica foi motivada pelo caráter específico do glicerol como co-substrato na proposta de pesquisa, cuja ocorrência nas patentes analisadas se mostrou limitada nas etapas anteriores. A exclusão desse termo aumentou a sensibilidade da busca, permitindo identificar documentos que abordassem o café como substrato em sistemas de digestão anaeróbica com foco na geração conjunta de hidrogênio (H_2) e metano (CH_4), independentemente do uso de co-substratos adicionais.

Essa abordagem mais abrangente possibilitou a detecção de tecnologias que, embora não idênticas à proposta, apresentassem similaridades conceituais ou operacionais relevantes, especialmente no que se refere ao aproveitamento energético da biomassa residual do café em processos anaeróbicos. A análise desses registros contribuiu para refinar a avaliação da originalidade e da oportunidade de inovação tecnológica da proposta em desenvolvimento.

Por fim, a quarta etapa de buscas foi delineada com o objetivo de refinar os resultados e identificar registros mais específicos e tecnicamente alinhados à pesquisa. Para tanto, foram incorporados os termos "*coffee husk*" e "*coffee grounds*", correspondentes à casca e à borra de café, resíduos centrais utilizados como substrato na digestão anaeróbica bifásica estudada. A combinação utilizada nesta etapa foi: "*anaerobic digestion*" AND "*hydrogen*" AND "*methane*" AND "*coffee husk*" AND "*coffee grounds*", buscando aumentar a precisão da busca ao restringir os resultados a documentos que tratassem especificamente da biomassa residual do café em seus principais componentes sólidos.

3 Resultados e discussões

De antemão, é importante salientar que, a partir da busca inicial realizada com as palavras-chave definidas na Etapa 1, identificaram-se 187 artigos. Após o processo de refinamento na Etapa 2, o número de publicações foi reduzido para 90. Na Etapa 3, com a inclusão da palavra-chave "glycerol", não foi encontrado nenhum artigo, mantendo-se, portanto, o total de 90 publicações. Os gráficos e tabelas apresentados a seguir foram elaborados com base nas palavras-chave empregadas nas três etapas do procedimento metodológico.

3.1 Publicações anuais

A análise da evolução do número de publicações anuais no período de 2020 a 2025 (Figura 2) revela uma tendência de crescimento constante na produção científica relacionada à digestão anaeróbica em dois estágios de resíduos de café (casca e borra) com adição de glicerol residual para produção de hidrogênio e metano.

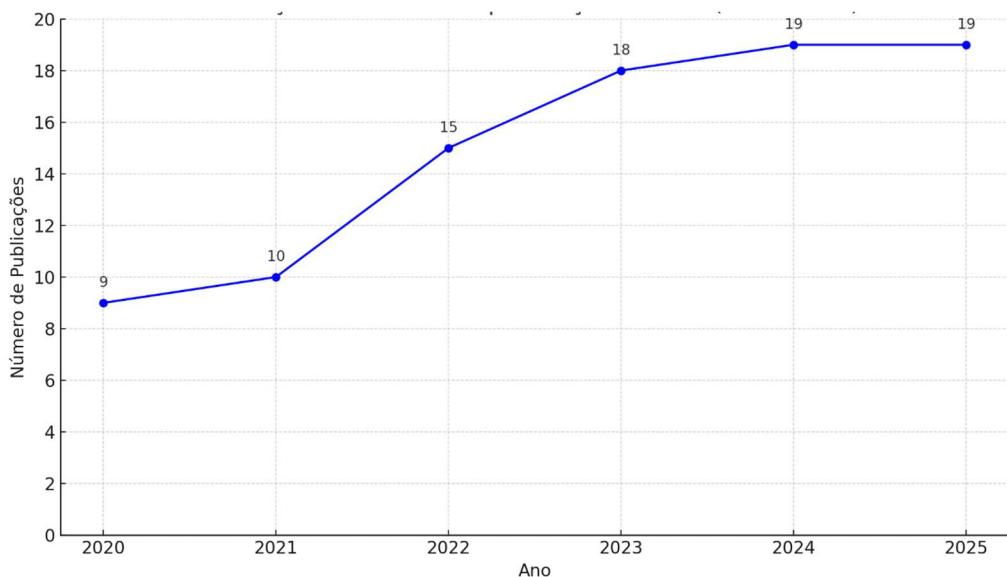


Figura 2. Artigos, sobre o tema, produzidos anualmente entre os anos de 2020 e abril de 2025.

Em 2020, foram registrados 9 trabalhos científicos sobre o tema. Esse número subiu para 10 em 2021, seguido de um crescimento nos anos seguintes: 15 publicações em 2022, 18 em 2023 e 19 em 2024. Para o ano de 2025, até abril, já foram contabilizadas 19 publicações, o que indica a manutenção do ritmo de expansão observado nos anos anteriores. Considerando o período de 2020 a 2025, observa-se um aumento de aproximadamente 111% no número de publicações, evidenciando o fortalecimento contínuo das pesquisas na área.

3.2 Produção científica dos países

Na Figura 3, apresentam-se os dez países com maior número de publicações sobre o tema.

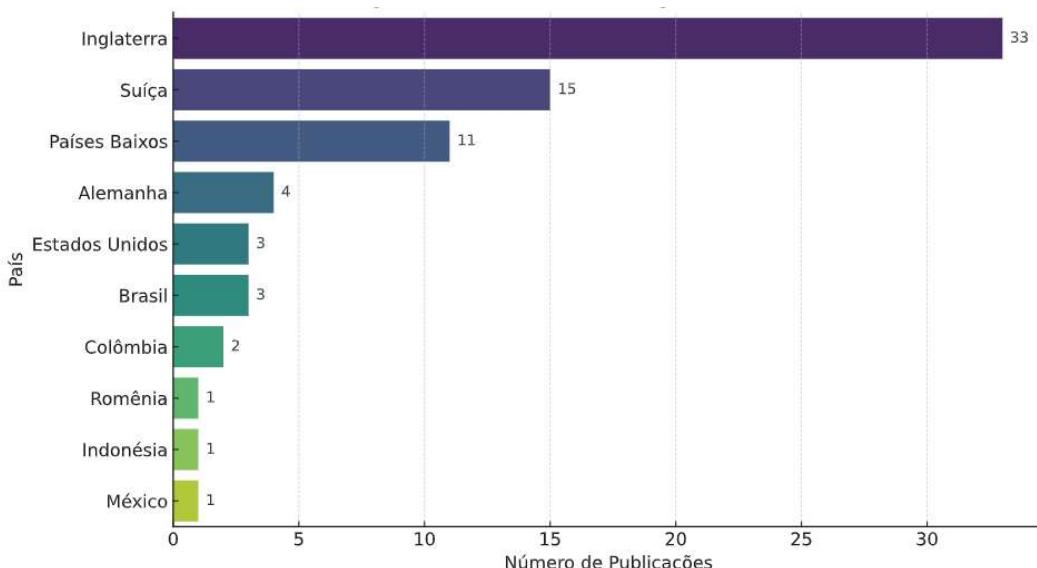


Figura 3. Países que mais produziram cientificamente sobre o tema, entre 2020 e 2025.

A Inglaterra lidera com expressiva margem, registrando 33 publicações, seguida pela Suíça (15) e pelos Países Baixos (11). Esses três países juntos representam cerca de 80% do total de publicações sobre o tema, demonstrando uma consolidação institucional e acadêmica voltada para a pesquisa em biotecnologia ambiental, bioenergia e tratamento avançado de efluentes.

O dado mais relevante para o contexto latino-americano é a inclusão do Brasil, com 3 publicações identificadas, sinalizando uma presença ainda modesta frente ao potencial nacional. Como um dos maiores produtores mundiais de café e detentor de significativa disponibilidade de resíduos agroindustriais, o Brasil apresenta condições ideais para o desenvolvimento e a aplicação de sistemas de digestão anaeróbica bifásica.

3.3 Principais revistas científicas

Na Figura 4, observa-se a distribuição das publicações entre os periódicos especializados, o que oferece uma visão estratégica sobre os veículos de maior relevância e visibilidade para a disseminação de estudos relacionados à digestão anaeróbica em dois estágios de resíduos de café com adição de glicerol residual.

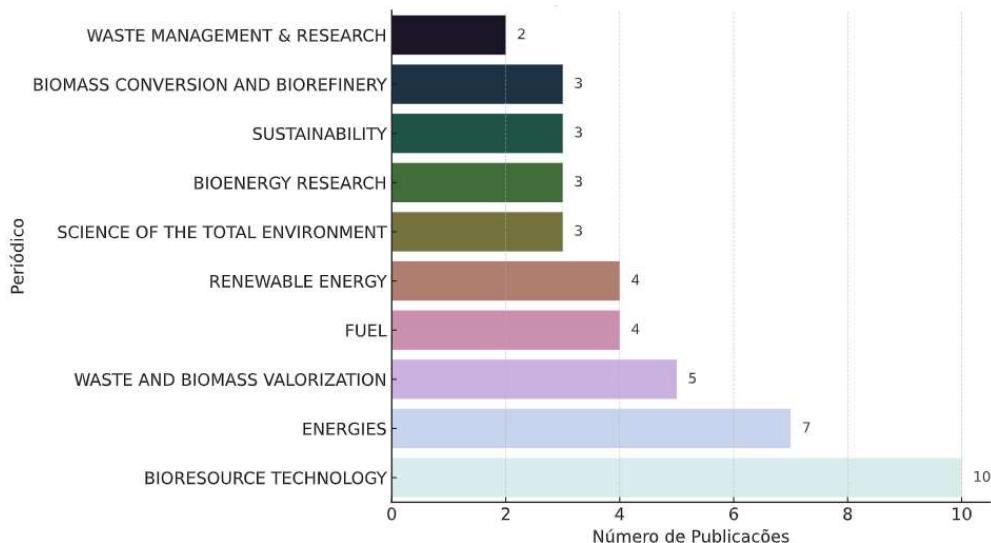


Figura 4. Principais revistas científicas com publicação sobre o tema.

Os dados indicam que o periódico *Bioresource Technology* se destaca significativamente, com 10 publicações, representando aproximadamente 25% do total. Em seguida, observa-se o periódico *Energies*, com 7 publicações (17,5%), e *Waste and Biomass Valorization*, com 5 publicações (12,5%). Outros periódicos de destaque incluem *Renewable Energy* e *Fuel*, ambos com 4 publicações (10%), e *Sustainability*, *Bioenergy Research*, *Science of the Total Environment* e *Biomass Conversion and Biorefinery*, cada um com 3 publicações (7,5%).

3.4 Palavras-chave mais relevantes

Um diagrama esquemático, denominado WordCloud, apresenta o conjunto de palavras-chave mais utilizadas em um determinado tema, evidenciando, por meio do tamanho das palavras, sua importância e grau de utilização. A Figura 5 apresenta a WordCloud de acordo com as palavras-chave encontradas na bibliometria do presente estudo:

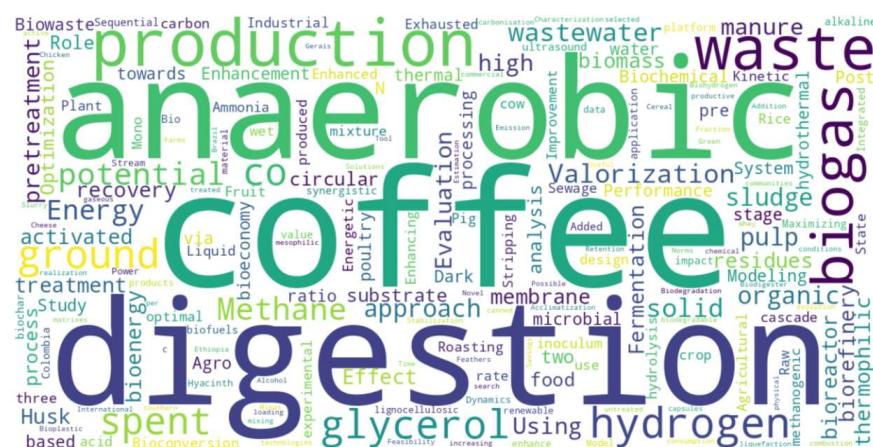


Figura 5. WordCloud das principais palavras-chave encontradas sobre o tema, entre os anos de 2020 e 2025.

Com base na nuvem de palavras gerada a partir dos títulos dos artigos incluídos na base bibliográfica analisada, é possível identificar a predominância das palavras “coffee”, “waste”, “production”, “anaerobic”, “digestion”, “biogas” e “ground” confirma que a literatura tem se concentrado fortemente na valorização de resíduos da cadeia do café, especialmente borra de café (*coffee grounds*) e casca de café (*coffee husk*).

por meio de rotas de digestão anaeróbica. Isso mostra que os esforços acadêmicos estão alinhados com práticas de economia circular e gestão de resíduos orgânicos de alto impacto ambiental.

3.5 Trabalhos encontrados com resíduos de café e glicerol

Nas Etapas 1 e 2 da busca sistematizada foram identificados 90 artigos científicos a partir das combinações de palavras-chave. Na Etapa 3, com a inclusão da palavra-chave "glycerol", não foi encontrado nenhum artigo. Após a aplicação dos critérios de seleção e exclusão, considerando a relevância temática, o alinhamento com o escopo da pesquisa, a atualidade das publicações e a pertinência metodológica dos estudos, realizou-se uma análise crítica que permitiu a refinação do portfólio bibliográfico. A tabela abaixo apresenta os estudos que se mostraram mais alinhados com a linha de pesquisa, após a leitura detalhada dos mesmos, e que compõem a base da revisão bibliográfica (Quadro 1).

Quadro 1. Estudos sobre resíduos de café e glicerol.

Autor/Ano	Objetivo principal	Metodologia resumida	Resultado/Conclusão principal
Mello et al. (2023)	Otimizar a produção de biogás com glicerol bruto.	Digestão anaeróbica em escala de bancada e piloto (CCD).	$F/M = 2,04 \text{ gCOD/gVS}$ gerou maior CH_4 ; processo viável sem pré-tratamento.
Alves et al. (2021)	Avaliar o efeito do glicerol na codigestão com lodo e resíduo alimentar.	Ensaios BMP com 1 e 3% de glicerol.	3% GL aumentou CH_4 em 122,7%; melhora significativa da produção.
Camargo et al. (2023)	Revisar variáveis e pré-tratamentos na biodigestão lignocelulósica.	Revisão de estudos sobre resíduos agroindustriais.	Temperatura, pH e inóculo influenciam a eficiência; otimização estatística recomendada.
Czekala et al. (2023)	Avaliar o potencial de biogás de resíduos de café.	Digestão de casca e borra conforme norma DIN 38414/S8.	Alta produção (225–330 $\text{m}^3 \text{ Mg}^{-1}$); resíduos de café têm elevado potencial energético.
Villa Montoya et al. (2020)	Aumentar a produção de H_2 de resíduos de café.	Codigestão com pré-tratamento hidrotérmico.	Produção de H_2 aumentou 7 vezes; bioaumentação favoreceu o processo.
Alves et al. (2020)	Usar glicerol como co-substrato para aumentar CH_4 .	BMP com 1 e 3% de glicerol.	Rendimento de CH_4 cresceu até 167%; uso eficiente se bem dosado.
Madondo e Chetty (2022)	Otimizar variáveis da codigestão de lodo e glicerol.	OFAT e Box-Behnken Design.	Maior rendimento (0,94 L/gVS) a 50 °C; glicerol e temperatura determinantes.
Budiyono et al. (2023)	Avaliar pré-tratamentos e C/N em misturas de borra e casca de arroz.	Moagem, KOH 3%, C/N = 25–30.	C/N = 30 e pré-tratamentos aumentaram biogás em até 66,5%.
Suhartini et al. (2022)	Revisar estratégias para AD de cachos vazios de palma.	Revisão de técnicas de pré-tratamento e co-digestão.	Estratégias integradas elevam CH_4 ; AD favorece economia circular.

3.6 Resultado da pesquisa sistemática em bases de dados de patentes

A investigação por anterioridades tecnológicas foi conduzida em quatro etapas, utilizando combinações progressivamente mais específicas de termos relacionados à digestão anaeróbica de resíduos de café, glicerol e coprodução de H_2 e CH_4 . Na primeira etapa, com a combinação mais restrita, não foram identificadas patentes, indicando o caráter inovador da proposta de digestão bifásica de resíduos de café com glicerol.

Na segunda etapa, o uso do termo genérico “coffee” resultou em 157 registros, dos quais a maioria mencionava o café de forma superficial, sem aplicação direta ao processo estudado. Na terceira etapa, com a remoção do termo “glycerol”, foram encontrados 242 registros, porém poucos apresentavam abordagens semelhantes, limitando-se à produção de metano em sistemas monofásicos. Por fim, na quarta etapa, com foco nos termos “coffee husk” e “coffee grounds”, foram obtidos 32 registros mais técnicos, mas nenhum explorava a digestão anaeróbica bifásica com coprodução de H₂ e CH₄. Esses resultados confirmam a ausência de registros equivalentes e reforçam o ineditismo e o potencial inovador da tecnologia proposta, voltada à valorização energética de resíduos agroindustriais e ao avanço de soluções sustentáveis no campo da bioenergia.

4 Conclusões

O estudo evidencia o potencial da digestão anaeróbica bifásica aplicada aos resíduos do café com adição de glicerol residual como alternativa sustentável para a produção conjunta de hidrogênio e metano. A análise bibliométrica demonstra o crescente interesse mundial na valorização energética de resíduos agroindustriais e na diversificação da matriz energética por fontes renováveis. Constata-se que resíduos lignocelulósicos do café, de difícil biodegradação, podem ter seu aproveitamento energético ampliado por meio de pré-tratamentos e co-digestão com substratos ricos em carbono e nitrogênio, como o glicerol residual, resultando em maior estabilidade microbiológica e rendimento energético.

Embora o domínio das pesquisas esteja concentrado em países europeus, o Brasil apresenta elevado potencial devido à disponibilidade de resíduos e à relevância da cadeia cafeeira, destacando-se a necessidade de investimentos em inovação tecnológica e políticas de incentivo. Além dos benefícios ambientais, como a redução de emissões e o fortalecimento da economia circular, a digestão bifásica promove o uso eficiente dos resíduos, gerando valor agregado e oportunidades econômicas para o setor agroindustrial. O aprimoramento de parâmetros operacionais e o desenvolvimento de sistemas integrados de tratamento são essenciais para a viabilização em escala comercial. Assim, esta pesquisa contribui para o avanço científico e tecnológico no campo da bioenergia, apontando caminhos promissores para o aproveitamento sustentável dos resíduos do café e para a consolidação da transição energética e do desenvolvimento sustentável no contexto global.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPES, à CAPES e à UFES pelo apoio institucional e financeiro, fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências bibliográficas

- Albarracín, LT et al. (2024) ‘The bioenergetic potential from coffee processing residues: towards an industrial symbiosis’, *Resources*, 13(2), p. 21. <https://doi.org/10.3390/resources13020021>
- Alves, IRFS et al. (2020) ‘Assessing the use of crude glycerol from biodiesel production as an alternative to boost methane generation by anaerobic co-digestion of sewage sludge’, *Biomass and Bioenergy*, 143, p. 105831. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105831>
- Budiyono, B et al. (2023) ‘Effect of pretreatment and C/N ratio in anaerobic digestion on biogas production from coffee grounds and rice husk mixtures’, *International Journal of Renewable Energy Development*, 12(1), p. 209–215. <https://doi.org/10.14710/ijred.2023.49298>
- Camargo, FP et al. (2023) ‘Biogas from lignocellulosic feedstock: A review on the main pretreatments, inocula and operational variables involved in anaerobic reactor efficiency’, *International Journal of Hydrogen Energy*, 48, p. 20613–20632. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.02.073>
- Czekala, W et al. (2023) ‘Waste-to-energy: biogas potential of waste from coffee production and consumption’, *Energy*, 276, p. 127604. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127604>
- Cremonez, PA, Sampaio, SC, Teleken, JG, Meier, TW, Dieter, J and Teleken, J (2019) ‘Influence of inoculum to substrate ratio on the anaerobic digestion of a cassava starch polymer’, *Industrial Crops and Products*, 141, p. 111709. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111709>

- Cremonez, PA et al. (2021) ‘Two-stage anaerobic digestion in agroindustrial waste treatment: a review’, *Journal of Environmental Management*, 281, p. 111854. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111854>.
- Dai, C et al. (2021) ‘Literary runaway: Increasingly more references cited per academic research article from 1980 to 2019’, *PLoS ONE*, 16(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255849>
- Embrapa (2024) ‘Produção mundial de café foi estimada em 176,2 milhões de sacas de 60kg para a safra 2024–2025’, *Embrapa Agropensa*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agropensa/busca-de-noticias/-/noticia/91004784>.
- Ferreira, J, Volschan, I and Cammarota, M (2018) ‘Co-digestion of sewage sludge with crude or pretreated glycerol to increase biogas production’, *Environmental Science and Pollution Research*, 25, p. 21811–21821. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2260-3>
- Halstead, T (2023) ‘Coffee: world markets and trade’, *United States Department of Agriculture*. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/data/coffee-world-markets-and-trade> (accessed: 09 March 2025).
- Holl, E et al. (2022) ‘Two-stage anaerobic digestion: State of technology and perspective roles in future energy systems’, *Bioresource Technology*, [e-journal], 358, p. 127401. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127633>.
- Indriyani, E et al. (2025) ‘Analysis of agricultural waste utilization as biogas, renewable energy management, and compost processing on energy efficiency in Bandung’, *West Science Social and Humanities Studies*, 3(1), p. 104–112. <https://doi.org/10.58812/wsshs.v3i01.1603>
- Madondo, NI and Chetty, M (2022) ‘Anaerobic co-digestion of sewage sludge and bio-based glycerol: optimisation of process variables using one-factor-at-a-time (OFAT) and Box–Behnken Design (BBD) techniques’, *South African Journal of Chemical Engineering*, 40, p. 87–99. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.02.002>
- Simeonov, I, Kabaivanova, L and Chorukova, E (2021) ‘Two-stage anaerobic digestion of organic wastes: a review’, *Ecological Engineering and Environment Protection*, 3, p. 38–56. <https://doi.org/10.32006/eep.2021.3.3856>
- Suhartini, S et al. (2022) ‘Sustainable strategies for anaerobic digestion of oil palm empty fruit bunches in Indonesia: a review’, *International Journal of Sustainable Energy*, 41(11), p. 2044–2096. <https://doi.org/10.1080/14786451.2022.2130923>
- Villa Montoya, AC et al. (2020) ‘Improving the hydrogen production from coffee waste through hydrothermal pretreatment, co-digestion and microbial consortium bioaugmentation’, *Biomass and Bioenergy*, 137, p. 105551. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105551>