



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO
BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
ENGENHARIA DE ENERGIAS**

PATRICK DA SILVA SOUSA

**OS AVANÇOS NA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO PELOS PROCESSOS DE
FERMENTAÇÃO ESCURA E FOTO FERMENTAÇÃO: UMA ANÁLISE
BIBLIOMÉTRICA AVANÇADA**

**REDENÇÃO, CEARÁ
2023**

PATRICK DA SILVA SOUSA

**OS AVANÇOS NA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO PELOS PROCESSOS DE
FERMENTAÇÃO ESCURA E FOTO FERMENTAÇÃO: UMA ANÁLISE
BIBLIOMÉTRICA AVANÇADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Engenharia de Energias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS) como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro Brasileira (UNILAB).

Orientador: Prof. Dr. José Cleiton Sousa dos Santos.

**REDENÇÃO, CEARÁ
2023**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Sousa, Patrick da Silva.

S725a

Os avanços na produção de hidrogênio pelos processos de fermentação escura e foto fermentação: uma análise bibliométrica avançada / Patrick da Silva Sousa. - Redenção, 2023.
63fl: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

Orientador: Prof. Dr. José Cleiton Sousa dos Santos.

1. Hidrogênio. 2. Fermentação escura. 3. Foto fermentação. I. Santos, José Cleiton Sousa dos. II. Título.

CE/UF/BSCA

CDD 661.08

PATRICK DA SILVA SOUSA

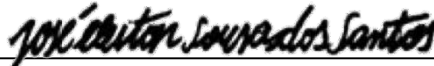
**OS AVANÇOS NA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO PELOS PROCESSOS DE
FERMENTAÇÃO ESCURA E FOTO FERMENTAÇÃO: UMA ANÁLISE
BIBLIOMÉTRICA AVANÇADA.**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Engenharia de
Energias da Universidade da Integração
Internacional da Lusofonia Afro-
Brasileira como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro de
Energias.

Orientador: Prof. Dr. José Cleiton Sousa
dos Santos.

Aprovado em: 09/03 / 2023

BANCA EXAMINADORA



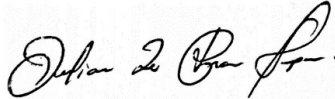
Prof. Dr. José Cleiton Sousa dos Santos

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira



Prof. Dr. Rita Karolinny Chaves de Lima

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira



Dr.ª Juliana de França Serpa

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira



Me. Francisco Simão Neto

Universidade Federal do Ceará

Agradecimentos

Primeiramente, sou grato à Deus e ao Universo por todas as oportunidades que tive de crescimento durante minha vida. O acesso aos estudos, ao conhecimento e a pessoas incríveis que conheci durante a caminhada. É uma crença particular minha crer que para tudo existe um determinado tempo para sua ocorrência debaixo do céu. Ou seja, estar aqui é encerrar um ciclo que comecei há alguns anos atrás e eu tenho muita satisfação em poder estar finalizando esse processo com saúde e espero que com maestria. Há também um ditado em iorubá que sintetiza muito bem tal experiência que diz o seguinte: “Exu matou um pássaro ontem com uma pedra que só jogou hoje”.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer minha família. Eu sou eternamente grato pelos esforços contínuos de minha mãe Silvia Helena, uma mulher solteira que desde sempre priorizou a educação em minha vida. Obrigado por todos os cadernos, livros e canetas comprados durante às idas ao supermercado! Certamente, eles me influenciaram a estar aqui. Eu ousou dizer que tudo o que você fez bastou e hoje estamos realizando um sonho de toda uma geração. À minha avó Alaide! Não existem palavras o quanto sou grato por seu amor, atenção e dedicação durante todos esses anos. Eu aprendi com a Senhora a ser forte, determinado e corajoso. Uma mulher que mesmo sem nunca ter ido à escola ou lido um livro me ensinou mais que qualquer outra pessoa que encontrei em vida. Essa vitória não é minha, é sua! Obrigado por me apoiar durante essa jornada, chegar em casa e ver seu sorriso de orgulho e satisfação na calçada sempre me lembrou o porquê de nunca desistir (nunca foi só por mim).

Existem pessoas que conhecemos devido a aleatoriedades dos eventos que ocorrem em nossa existência, mas existem pessoas que o destino faz questão de apresenta-las e coloca-las no nosso caminho como resposta às nossas orações e como oportunidade para crescimento. Aos meus amigos incríveis que fazem parte dessa seletividade cósmica: Wladilson, Ezequiel e Marliete. Sou grato por todo incentivo e apoio! Não esqueço das nossas noites viradas estudando no “37”, compartilhávamos sonhos e agora estamos compartilhando realizações (certamente virão mais!). Tenho muita honra em poder partilhar dessa jornada em conjunto com todos vocês.

Gostaria de agradecer ao Genex – Grupo de Engenharia Enzimática – e ao meu orientador Prof. José Cleiton pela oportunidade de experimentar a vida acadêmica e produzir conhecimento científico durante a graduação. Assim como sou grato a todos os professores e servidores do IEDS – Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável – pelo auxílio durante os percalços. Por fim, gostaria de agradecer a UNILAB por todo incentivo, todas oportunidades e vivências aos longos desses anos.

À todas as pessoas que diretamente ou indiretamente acreditaram em mim!

*“Combinaram de nos matar. Nós
combinamos de não morrer”.*
(Conceição Evaristo)

RESUMO

A crise energética mundial é uma pauta recorrente na ciência e o aumento populacional associado à urbanização é um dos protagonistas na geração de resíduos e emissão de gases estufa oriundos da combustão de combustíveis não renováveis. Nesse aspecto, faz-se necessário o desenvolvimento de rotas alternativas para produção de energia que reduzam os danos e possam substituir as fontes não renováveis. O hidrogênio destaca-se como substituto dos combustíveis fósseis. Existem vários métodos de obtenção do hidrogênio, tais como: reforma a vapor, eletrólise da água, gaseificação da biomassa, pirólise e fotólise. O presente estudo objetiva compreender a partir de uma análise bibliométrica os avanços recorrentes na produção de hidrogênio pelos processos de fermentação escura e foto fermentação durante o período de 2012 à 2022. Realizou-se um delineamento experimental se baseando em palavras-chave no site *Web of Science* e foram obtidos 1960 artigos que atenderam aos critérios e foram devidamente utilizados como base de dados para elaboração do referente estudo. Para execução da análise foram utilizados os softwares: *Vosviewer*, *Citespace*, *Arcmap*. A *Henan Agricultural University* destacou-se como a instituição que mais colaborou na produção do conhecimento científico sobre o tema e está localizada na China, país detentor da maior quantidade de publicações (22,9%). A área de pesquisa que se destacou foi a *Energy Fuels* e a revista detentora da maior quantidade de publicações de artigos abordando a temática do estudo foi a *International Journal of Hydrogen Energy*. O presente estudo possibilitou identificar as dificuldades e os avanços nos processos de produção. Por fim, percebeu-se uma tendência positiva ao desenvolvimento de pesquisas referente a produção de hidrogênio a partir da diversificação de matéria-prima.

Palavras-chave: Hidrogênio. Fermentação escura. Foto fermentação.

ABSTRACT

The world energy crisis is a recurring agenda in science and the population increase associated with urbanization is one of the protagonists in the generation of waste and emission of greenhouse gases from the combustion of non-renewable fuels. In this regard, it is necessary to develop alternative routes for energy production that reduce damage and can replace non-renewable sources. Hydrogen stands out as a substitute for fossil fuels. There are several methods for obtaining hydrogen, such as: steam reforming, water electrolysis, biomass gasification, pyrolysis and photolysis. The present study aims to understand, from a bibliometric analysis, the recurrent advances in the production of hydrogen by the processes of dark fermentation and photo fermentation during the period from 2012 to 2022. An experimental design was carried out based on keywords on the website of Science and 1960 articles were obtained that met the criteria and were properly used as a database for the preparation of the related study. To perform the analysis, the following softwares were used: Vosviewer, Citespace, Arcmap. The Henan Agricultural University stood out as the institution that most collaborated in the production of scientific knowledge on the subject and is located in China, the country with the highest number of publications (22.9%). The research area that stood out was Energy Fuels and the journal with the largest number of publications of articles addressing the subject of the study was the International Journal of Hydrogen Energy. The present study made it possible to identify difficulties and advances in production processes. Finally, there was a positive trend towards the development of research regarding the production of hydrogen from the diversification of raw materials.

Keywords: Dark fermentation. Hydrogen. Photo fermentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes e métodos de produção de hidrogênio	15
Figura 2 - Metodologia utilizada para elaboração da análise bibliométrica avançada.	18
Figura 3 - Produção anual de pesquisas referentes à produção de hidrogênio pelos processos de fermentação (fermentação escura ou foto fermentação).	21
Figura 4 - Número de publicações referentes à produção de hidrogênio por países	25
Figura 5 - Rede de colaboração entre os países que mais publicaram artigos sobre o objeto de pesquisa.	26
Figura 6 - Organizações que mais colaboraram com a produção de artigos acadêmicos sobre a produção de hidrogênio.....	27
Figura 7 - Autores que mais publicara sobre a produção de hidrogênio.	28
Figura 8 - Número de publicações referente a áreas de pesquisa seccionadas.	33
Figura 9 - Percentual de publicações referentes à áreas de pesquisas seccionadas.	33
Figura 10 - Esquema do processamento de matéria-prima para produção de hidrogênio.....	36
Figura 11 - Radar de palavras-chave das publicações dos artigos dos países que mais produziram sobre a produção de hidrogênio.	39
Figura 12 - Rede de tendência das palavras-chave encontradas na base de dados dos artigos.....	40
Figura 13 - Mapa da densidade de ocorrência de palavras-chave.	41
Figura 14 - Rede de cocitação das palavras-chave encontradas nos artigos selecionados para base de dados.....	42
Figura 15 - Palavras-chave relevantes e a evolução do uso ao longo do tempo.....	43
Figura 16 - Impacto das palavras-chave citadas no período de 2012 à 2022.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - As 10 principais revistas com publicações na área de produção de hidrogênio.....	22
Tabela 2 - Países que mais participaram na produção do conhecimento científico a respeito da produção de hidrogênio envolvendo processos de foto fermentação e fermentação escura.....	24
Tabela 3 - Lista dos artigos mais citados na evolução científica abordando a temática de produção de hidrogênio por meio de fermentação.	29
Tabela 4 - As vinte principais palavras-chave mais proeminentes na pesquisa de artigos.	38
Tabela 5 - Principais clusters de pesquisa de cocitação a respeito dos processos de fermentação escura e foto fermentação na produção de hidrogênio.	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Hidrogênio: fontes e métodos de produção.....	15
3.2 Fermentação Escura	16
3.3 Foto fermentação	16
3.4 Análise Bibliométrica.....	17
4. METODOLOGIA.....	18
4.1 Fonte dos dados.....	18
4.2. Análise dos dados.....	19
5. RESULTADOS	20
5.1 Análise Bibliométrica.....	20
5.1.1. Resultado da publicação: resultados gerais	20
5.1.2 A distribuição das revistas científicas.....	22
5.1.3 A distribuição por países, organizações e autores.....	24
5.1.4 Os artigos mais citados	29
5.1.5 As áreas de pesquisa.....	33
5.1.6 Utilização de biomassa na produção de hidrogênio pelos processos de fermentação escura e foto fermentação.....	35
5.1.6.1 Resíduos alimentares	35
5.1.6.2 Resíduos industriais.....	36
5.1.6.3 Algas.....	36
5.1.7 Análise quantitativa de palavras-chave frequentes	38
5.1.8 Hotspots de Investigação.	43
5.1.9 Campos de investigação constantes.....	45
6. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

O aumento da poluição ambiental decorre a partir do crescimento populacional associado à urbanização, geração de resíduos e emissão de gases do efeito estufa oriundos da combustão de combustíveis não renováveis (Mohanty *et al.*, 2022). Logo, faz-se importante o desenvolvimento de alternativas para produção de energia renovável a partir do aproveitamento de resíduos orgânicos (Ferreira *et al.*, 2021).

O hidrogênio é uma fonte de energia sustentável, pois sua combustão não emite gás carbônico (Arsad *et al.*, 2022). Ademais, é considerado a fonte limpa mais promissora para o futuro devido à alta densidade energética que possui e sua ampla disponibilidade, assim como pode ser utilizado em diversos setores: transporte, indústria e geração de energia elétrica (Ji; Wang, 2021; Xu; Zhou; Yu, 2022; Zhao, Na *et al.*, 2020). O hidrogênio também pode ser usado como um vetor energético armazenando energia de fontes intermitentes como a solar e a eólica (Genç; Çelik; Karasu, 2012; Koumi Ngoh; Njomo, 2012).

Embora a produção de hidrogênio seja uma realidade em vários países, ainda há muitos desafios a serem enfrentados, como a redução dos custos de produção e a melhoria da infraestrutura para o armazenamento e transporte (Hren *et al.*, 2023; Olateju; Kumar; Secanell, 2016; Rong *et al.*, 2023). No entanto, o potencial do hidrogênio como um combustível limpo e versátil tem despertado o interesse de governos, empresas e instituições de pesquisa em todo o mundo, impulsionando a busca por soluções inovadoras (Dincer; Acar, 2017; Olabi *et al.*, 2021).

Existem vários métodos para produzir hidrogênio, cada um com suas vantagens e desvantagens em termos de eficiência, custos e impacto ambiental (Gondal; Masood; Khan, 2018; Norouzi, 2022). Alguns dos principais métodos incluem a reforma a vapor (Levalley; Richard; Fan, 2014), a eletrólise da água (Shiva Kumar; Lim, 2022), a gaseificação de biomassa (Barros *et al.*, 2022), a pirólise e a fotólise (Ban; Lin; Luo, 2019). Cada um desses métodos utiliza diferentes fontes de energia e matérias-primas, e podem ser mais ou menos viáveis dependendo do contexto econômico, social e ambiental em que são empregados (Acar; Dincer, 2014; Ishaq; Dincer, 2021; Yakesh Kannah *et al.*, 2021).

A produção de hidrogênio através de processos fermentativos é uma tecnologia em desenvolvimento que utiliza bactérias para decompor biomassa ou

resíduos orgânicos, produzindo hidrogênio como subproduto (Akhlaghi; Najafpour-Darzi, 2020; Baeyens *et al.*, 2020; Fagbohunge; Komolafe; Okere, 2019). Esse processo, chamado de fermentação anaeróbica, é um dos métodos mais sustentáveis para a produção de hidrogênio, já que utiliza matérias-primas renováveis e resíduos que, de outra forma, seriam descartados (Wang; Yin, 2019). Além disso, a produção de hidrogênio por meio de fermentação anaeróbica apresenta potencial para ser integrada a outras indústrias, como a produção de alimentos e bebidas, proporcionando uma solução mais eficiente e sustentável para o tratamento de resíduos e a produção de energia (Clark; Zhang; Upadhyaya, 2012; Hu *et al.*, 2023; Kan, 2013).

A produção de hidrogênio através da foto fermentação é um método promissor que utiliza bactérias fotossintéticas para converter luz solar e matéria orgânica em hidrogênio e dióxido de carbono (Zhang *et al.*, 2022). Esse processo é realizado em um ambiente anaeróbico, sem a presença de oxigênio, e apresenta vantagens em relação a outros métodos, como a ausência de subprodutos tóxicos e a possibilidade de usar uma ampla variedade de matérias-primas, incluindo resíduos orgânicos e águas residuais (Cheng, Dongle *et al.*, 2022; Lee, Duu Jong *et al.*, 2017; Reungsang *et al.*, 2018). No entanto, a foto fermentação ainda enfrenta desafios tecnológicos, como a necessidade de melhorar a eficiência das bactérias fotossintéticas e a integração com outros processos industriais para tornar a produção de hidrogênio por foto fermentação economicamente viável em larga escala (Hallenbeck, 2012; Putatunda *et al.*, 2022; Tiang *et al.*, 2020a).

A produção de hidrogênio através da fermentação escura é um método que utiliza bactérias anaeróbicas para decompor matéria orgânica em um ambiente sem luz, produzindo hidrogênio e dióxido de carbono como subprodutos (Dahiya *et al.*, 2021; Sanchez; Lopez-hidalgo; Smoli, 2022; Sillero; Gustavo, 2022). A fermentação escura apresenta várias vantagens em relação a outros métodos de produção de hidrogênio, como a alta taxa de conversão de matéria orgânica em hidrogênio, a simplicidade do processo e a possibilidade de usar uma ampla variedade de matérias-primas (Chen, Yang; Yin; Wang, 2021; De Gioannis *et al.*, 2013; Yang; Wang, 2018). No entanto, a produção de hidrogênio por fermentação escura ainda enfrenta desafios em termos de eficiência e estabilidade do processo, além de exigir uma estratégia adequada para a disposição dos subprodutos gerados (Castelló *et al.*, 2020; Kitching; Butler; Marsili, 2017; Ren, Nanqi *et al.*, 2011). Diante dos percalços enfrentados para o desenvolvimento dos

processos faz-se preciso a realização de um levantamento de dados afim de compreender os avanços, as dificuldades e as tendências futuras.

A análise bibliométrica é considerada um método rigoroso e popular, pois permite a exploração e análise de grandes volumes de dados científicos viabilizando o entendimento das nuances evolutivas de um campos específico e lançando luz sobre áreas emergentes (Donthu *et al.*, 2021). Essa técnica envolve o uso de indicadores bibliométricos, como o número de citações, índices de impacto para medir a produção científica, a visibilidade e a relevância de uma determinada pesquisa ou campo de conhecimento.

Diante do exposto, o presente estudo caracteriza-se como uma análise bibliométrica avançada, pois se compromete a compreender quantitativamente e qualitativamente as publicações acadêmicas referentes aos avanços na produção de hidrogênio nos processos de fermentação escura e foto fermentação no período de 2012 a 2022. Logo, a análise bibliométrica presente procurar responder tais questões abaixo:

Q1: Como tem se desenvolvido a produção científica na pesquisa de produção de hidrogênio nos processos de fermentação escura e foto fermentação?

Q2: Quais são as principais matérias-primas destacadas dentro da pesquisa?

Q3: Quais são os principais pontos de acesso de pesquisas (palavras-chave) dentro da produção de hidrogênio na literatura?

Q4: Quais são os principais grupos de pesquisa de cocitação na revisão?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar quantitativamente e qualitativamente a produção científica relacionada à geração de hidrogênio por processos fermentativos, com ênfase na fotofermentação e/ou fermentação escura, no período de 2012 a 2022, a fim de identificar áreas de pesquisa emergentes e tendências atuais.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar o total de artigos publicados e o desenvolvimento anual dentro do período estabelecido;
- Identificar e analisar as interações recorrentes entre as revistas, países, instituições e autores dos trabalhos;
- Identificar os trabalhos mais citados e as áreas de pesquisa mais participativas;
- Analisar as matérias-primas utilizadas para a produção de hidrogênio envolvendo processos de fermentação;
- Identificar e relatar tendências futuras que se destacaram sobre a temática.

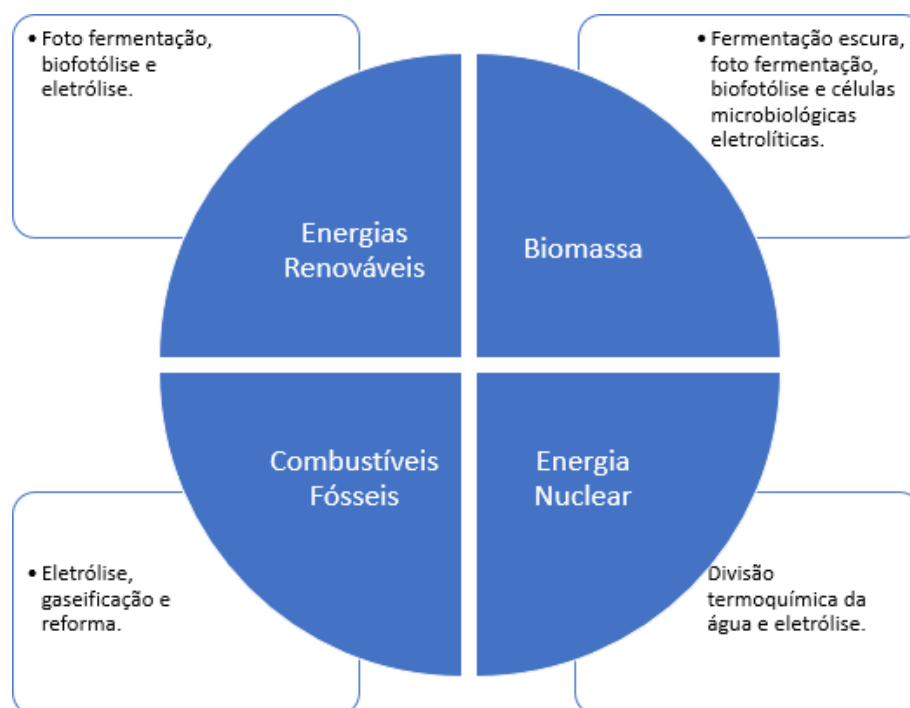
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Hidrogênio: fontes e métodos de produção

Uma estratégia economicamente e ambientalmente favorável é a utilização de resíduos biológicos para produzir hidrogênio, visto que através dessa alternativa é possível o devido tratamento destes resíduos resultando na circulação da bioeconomia e no desenvolvimento econômico sustentável (He *et al.*, 2021; Tiang *et al.*, 2020b). A Figura 1 apresenta fontes e métodos para produção de hidrogênio. Logo é possível identificar entre as fontes: a biomassa, as energias renováveis, os combustíveis fósseis e a energia nuclear.

A biofotólise, a foto fermentação, a fermentação escura e células microbiológicas eletrolíticas são métodos utilizados quando a matéria-prima é a biomassa. Enquanto a eletrólise e a gaseificação são usadas para combustíveis fósseis. Quando se utiliza energia nuclear, a obtenção ocorrer através da divisão termoquímica da água e da eletrólise. Por fim, biofotólise, eletrólise e foto fermentação são processos aplicados em fontes de energias renováveis com a finalidade de produzir hidrogênio.

Figura 1 - Fontes e métodos de produção de hidrogênio.



Fonte: Autor (2023).

3.2 Fermentação Escura

A fermentação escura é uma digestão anaeróbia de matéria orgânica sendo considerada o processo mais simples de obtenção de bio-hidrogênio ocorrendo no escuro à pressão ambiente e geralmente apresenta altas taxas de produção de hidrogênio quando comparadas aos métodos fotossintéticos (Cardoso *et al.*, 2014).

A fermentação escura é realizada por microorganismos fermentativos produtores de hidrogênio (Joyner; Winter; Godbout, 1977; Nandi; Sengupta, 1998). Sendo caracterizada por ocorrer de forma instantânea sob condições anóxicas e condições anaeróbicas onde o substrato é oxidado pelas bactérias revelando os elétrons que serão removidos para a neutralidade elétrica (Kayfeci; Keçebaş; Bayat, 2019).

Durante a fermentação escura obtém-se hidrogênio e dióxido de carbono como produtos. Vale ressaltar que, a composição dos gases envolvidos durante o processo de fermentação dependerá do curso do processo e o tipo de substrato utilizado (Bičáková; Straka, 2012). O processo de fermentação escura é independente das condições climáticas (Lee, Hyung-sool; Vermaas; Rittmann, 2010; Ranjan *et al.*, 2015). A fermentação escura pode utilizar vários resíduos orgânicos e águas residuais como matéria-prima (Cheng, Jun *et al.*, 2015; Lee, Wee Shen *et al.*, 2014; Turon *et al.*, 2016).

A produção de hidrogênio durante o processo de fermentação escura é influenciada por vários parâmetros: vias metabólicas, pH, temperatura, tipo de substrato, taxas de carga orgânica, competição microbiana, subprodutos, disponibilidade de macronutrientes e micronutrientes (Christine *et al.*, 2014; Ranjan; Elbeshbishy; Nakhla, 2012; Saady, 2013a). Hidrogenase é a principal enzima catalisadora da formação de hidrogênio molecular combinando prótons e elétrons na fermentação escura (Argun; Kargi, 2011). Geralmente, monossacarídeos são as principais fontes de carbono que pode ser gerado por hidrólise ácida ou enzimática de polissacarídeos como amido ou celulose (Kapdan *et al.*, 2009).

3.3 Foto fermentação

É caracterizada como o processo foto heterotrófico no qual bactérias fotossintéticas (como *Rhodobacter sphaeroides*, *Rhodopseudomonas capsulate*, *Rhodopseudomonas palustris*, *Rhodospirillum rubrum*, etc.) utilizam como substrato ácidos orgânicos e álcoois para produção de hidrogênio durante o metabolismo (Kayfeci; Keçebaş; Bayat, 2019). É válido destacar fatores que afetam a produção de hidrogênio no processo de foto fermentação: pré-tratamento e propriedades dos

substratos, configuração do biorreator, atividade fotossintética da bactéria, intensidade da luz, atividade enzimática e parâmetros operacionais (pH, temperatura e tempo de retenção hidráulica) (Cheng, Dongle *et al.*, 2022).

Bactérias fotossintéticas não sulfurosas possuem a capacidade de converter ácidos graxos voláteis em hidrogênio e carbono em condições anoxigênicas (Argun; Kargi, 2011). As bactérias fotossintéticas não sulfurosas também possuem a habilidade em usar fontes de carbono como: glicose, sacarose para produção de hidrogênio. As enzimas hidrogenase e nitrogenase foram detectadas em bactérias fotossintéticas não sulfurosas, sobressalta-se que a principal enzima responsável pela produção de hidrogênio em condições anoxigênicas é a nitrogenase (Dasgupta *et al.*, 2010).

3.4 Análise Bibliométrica

A análise bibliométrica é responsável em identificar tendências, lacunas de conhecimento e oportunidades de pesquisa. Preocupa-se em avaliar qualitativamente o impacto da pesquisa em campos determinados: região ou país. É estrategicamente utilizada na ocorrência de avaliações de programas de pesquisa visando oportunidades de financiamento assim como viabiliza a tomada de decisões políticas públicas ou privadas. Os dados utilizados em uma análise bibliométrica são recuperados de diferentes índices de citação, como Scopus e Web of Science (Tamala *et al.*, 2022).

Entre as técnicas utilizadas pela análise bibliométrica está a clusterização que objetiva a detecção de particionamento natural de objetos, em palavras, agrupando observações semelhantes em subconjuntos homogêneos (Donthu *et al.*, 2021). Logo, é uma técnica que possui como finalidade enriquecer a análise bibliométrica criando clusters temáticas ou sociais (dependerão do tipo de análise realizada (Boccard; Rudaz, 2013).

4. METODOLOGIA

4.1 Fonte dos dados

A coleta de dados para utilização dos programas e elaboração da análise bibliométrica avançada foi realizada no site *Web of Science - Core Collection*. O site utilizado para o download dos arquivos das bases de dados foi acessado através do login disponibilizado pela plataforma CAPES PERIÓDICOS (<https://www-periodicos-capes-gov-br.ez1.periodicos.capes.gov.br/index.php>). A Figura 2 representa a metodologia utilizada para elaboração do trabalho em uma estrutura prisma

Figura 2 - Metodologia utilizada para elaboração da análise bibliométrica avançada.



Fonte: Autor (2023).

As palavras-chave selecionadas para obter a amostra deste estudo foram: no primeiro campo "Hydrogen" (Todos os campos) AND "Fermentation" (Todos os campos) AND "Photo Fermentation" OR "Dark Fermentation" (Todos os campos) AND 2012 – 2022 (anos de publicações). Em seguida, delineou-se as publicações permitindo apenas artigos, artigos de revisão e artigos de conferência, sendo todos estes na língua inglesa. Dessa forma foram obtidos: 1.630 artigos, 272 artigos de revisão e 205 artigos de conferência. Logo, totalizou-se 1.960 artigos que estão de acordo com o delineamento definido.

4.2. Análise dos dados

Realizou-se a análise bibliométrica através de 3 programas: ArcGIS (versão 10.5), VOSviewer (versão 1.6.17) e CiteSpace (versão 5.8.R3). Utilizou-se o ArcGIS 10.5 para análise da distribuição geográfica das publicações enquanto o VOSviewer foi utilizado para a visualização de dados (Catani *et al.*, 2022). CiteSpace foi usado para observar e prever o futuro das possíveis áreas de pesquisa por meio de palavras-chave e clusters (Zhao, Yu *et al.*, 2022).

5. RESULTADOS

5.1 Análise Bibliométrica

Nesse tópico, busca-se responder à questão seguinte:

Q1: Como tem se desenvolvido a produção científica na pesquisa de produção de hidrogênio pelos processos de fermentação escura e foto fermentação?

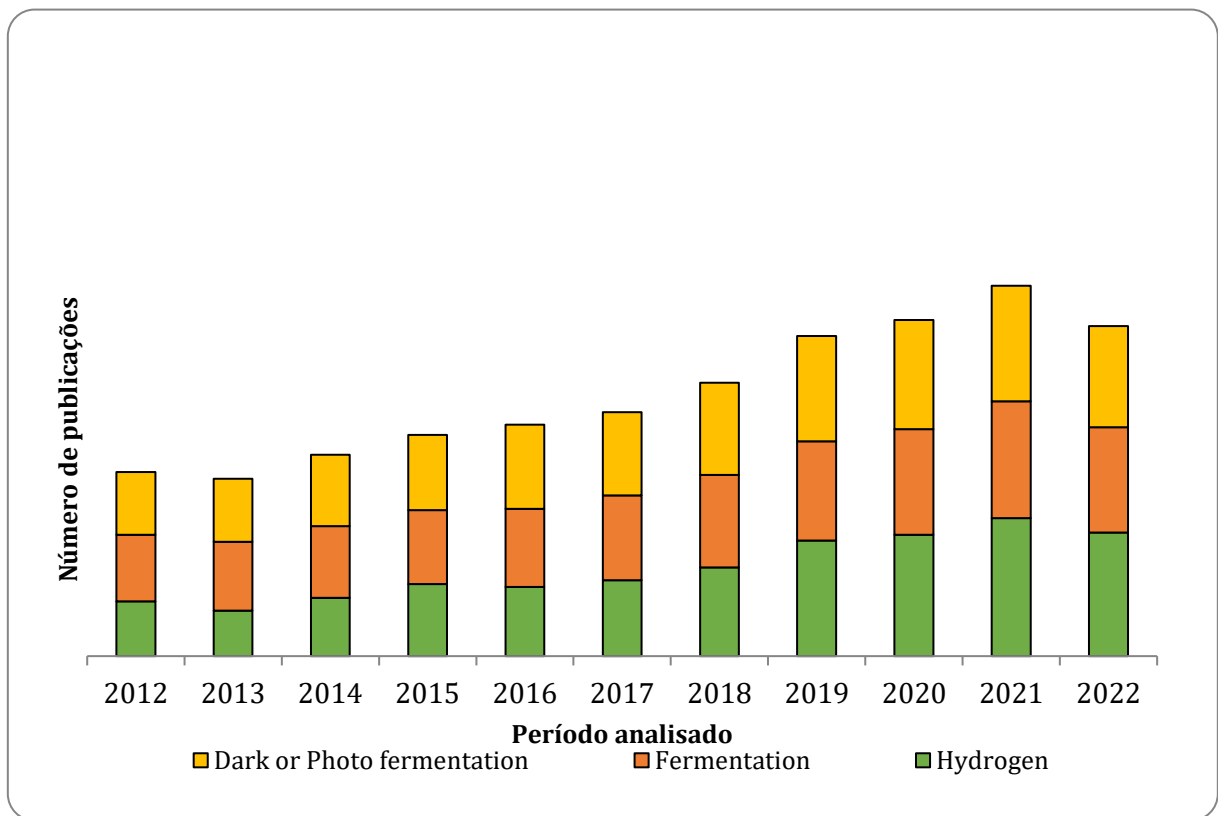
5.1.1. Resultado da publicação: resultados gerais

Após as delimitações e as buscas realizadas na base de dados *Web of Science - core collection* foram obtidos um total de 1960 produções acadêmicas no período de 2012 a 2022, sendo uma publicação de maio de 2016 a detentora de maior visibilidade e relevância para os temas abordados no presente estudo. Este artigo é intitulado como *“Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development”* de Seyed Ehsan, HOSSEINE (2016) o artigo de revisão apresenta o hidrogênio como uma fonte alternativa de energia capaz de suprir a demanda energética tal como auxiliar na redução de emissão de gases tóxicos. Dessa forma, o trabalho objetiva fornecer uma visão geral das tecnologias de produção de hidrogênio da última geração que se utilizam de recursos de energia renovável e sustentável (Hosseini; Wahid, 2016).

Dessa forma, torna-se indispensável a modernização dos processos de produção de hidrogênio que tenham como objetivo assegurar o barateamento e eficiência de tais processos. Visto que, devido ao cenário atual e a demanda constante e crescente de energia tornou-se uma das alternativas mais promissoras para promoção na redução da emissão de gases tóxicos no meio ambiente assim como a de suprir a demanda energética global. Os temas abordados pelos artigos analisados na base de dados utilizada, destacam instantes de demasiada importância para as preocupações ambientais e em seguida mostram como contornar tais percalços para garantir a produção econômica e sustentável do hidrogênio.

A Figura 3 indica a publicação anual do desenvolvimento de pesquisas referentes à produção de hidrogênio pelos processos de fermentação escura ou foto fermentação. O ano em que ocorreu a maior quantidade de publicações foi o de 2021 totalizando 282 publicações referentes ao objeto de pesquisa do presente estudo. Dessa maneira, denotou-se a relevância que o tema possui para a comunidade científica.

Figura 3 - Produção anual de pesquisas referentes à produção de hidrogênio pelos processos de fermentação (fermentação escura ou foto fermentação).



Fonte: Autor (2023).

5.1.2 A distribuição das revistas científicas

A Tabela 1 apresenta em ordem decrescente as 10 revistas detentoras do maior número de publicações dentro do período analisado (2012-2022). As colunas apresentam o número de publicações (NP), número de citações (NC), média de citações (MC) e a porcentagem em relação aos artigos totalizados (P%). Diante disso, percebe-se que a *International Journal of Hydrogen Energy* apresentou maior número de publicações (n=565) e citações (n=14.728), seguida pela *Bioresource Technology* com 288 publicações e 9.706 citações, a revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews* com 41 publicações e 4.223 citações e a *Fuel* com 40 publicações e 813 citações.

Tabela 1 - As 10 principais revistas com publicações na área de produção de hidrogênio.

Posição	Revista	FI	NP	NC	MC	P(%)
1	International Journal of Hydrogen Energy	7,139	565	14728	26,0673	28,8265
2	Bioresource Technology	11,889	288	9706	33,7014	14,6939
3	Renewable and Sustainable Energy Reviews	16,799	41	4223	103,0000	2,0918
4	Fuel	8,035	40	813	20,3250	2,0408
5	Journal of Cleaner Production	11,072	39	831	21,3077	1,9898
6	Energies	3,252	35	394	11,2571	1,7857
7	Renewable Energy	8,634	35	767	21,9143	1,7857
8	Biomass & Energy	5,774	30	684	22,8000	1,5306
9	Journal of Environmental Management	8,91	24	734	30,5833	1,2245
10	Energy Conversion and Management	11,533	23	767	33,3478	1,1735

Fonte: Autor (2023).

É válido sobressaltar a importância de um dos parâmetros apresentados na Tabela 1: Fator de Impacto (FI). Historicamente, o Fator de Impacto era utilizado como uma medida de qualidade das revistas, porém ao decorrer do tempo passou a ser usado como ferramenta acadêmica de avaliação de produtividade e consequentemente para obtenção de fundos (Ruiz; Greco; Braille, 2009). O valor ocupado em seu numerador é correspondente ao total de citações dos artigos acumulados nos últimos dois anos enquanto que no denominador corresponde ao total de artigos publicados no período de referência (Leta; das Neves Machado; Lovón Canchumani, 2019; Pinto; Andrade, 1999).

Dessa forma, percebeu-se através da Tabela 1 que as revistas mais relevantes seriam: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (FI=16,799), *Bioresource Technology* (FI=11,889) e *Energy Conversion and Management* (FI=11,533) detentoras dos maiores valores do Fator de Impacto. De acordo com o prefácio, a *Renewable and Sustainable Energy Reviews* preocupa-se em divulgar artigos com a finalidade de promover o pensamento crítico objetivando compartilhar problemas, soluções, tecnologias e novas ideias para a realização do desenvolvimento sustentável. Ademais, a revista é detentora de 41 artigos publicados, 4.223 citações e apresenta uma média de citação acima dos 100%, ou seja, suas obras são referência no objeto de estudo.

A *Bioresource Technology* objetiva disseminar o conhecimento nas áreas relacionadas a biomassa, bioenergia, biotransformações, tratamento biológico de resíduos e analisar sistemas de biorrecursos, assim como tecnologias associadas à produção ou conversão. A revista é detentora de 288 publicações, ocupando o 2º lugar das revistas que mais publicam artigos referentes à produção de hidrogênio, possuindo 9.706 citações e uma média de citação 33,7014%.

Por fim, a *Energy Conversion and Management* é responsável em publicar contribuições originais e artigos de revisão técnica de pesquisas interdisciplinares que abordem tópicos importantes de energia (geração, utilização, conversão, armazenamento, transmissão, conservação, gestão e sustentabilidade). A revista ocupa o último lugar entre as 10 revistas que mais publicam, porém apresenta um FI elevado, assim é detentora de 23 publicações e 767 citações, totalizando uma média de citação (33,3478%) bastante próxima do 2º lugar das revistas que mais publicaram nos últimos 10 anos.

5.1.3 A distribuição por países, organizações e autores

A Tabela 2 indica os países que mais participaram na evolução do conhecimento científico tangente a produção de hidrogênio através de fermentação - seja na presença de luz (foto fermentação) ou no tratamento microbiológico anaeróbico (fermentação escura). Dessa forma, apresenta-se os países acompanhados pelo número de publicações, número de citações, média de citações (razão entre o número de citações e o número de publicações), força do link e a porcentagem das publicações em relação aos artigos analisados no referido estudo.

Tabela 2 - Países que mais participaram na produção do conhecimento científico a respeito da produção de hidrogênio envolvendo processos de foto fermentação e fermentação escura.

Posição	País	NP	NC	MC	Força do Link	Porcentagem
1	China	444	11388	25,6486	201	22,9%
2	Índia	226	6035	26,7035	144	11,7%
3	Itália	149	4541	30,4765	58	7,7%
4	Coréia do sul	141	4172	29,5887	178	7,3%
5	México	136	2324	17,0882	44	7,0%
6	Brasil	131	2666	20,3511	29	6,8%
7	Eua	105	3187	30,3524	111	5,5%
8	França	104	4079	39,2212	54	5,4%
9	Taiwan	100	3247	32,4700	92	5,2%
10	Malásia	81	4261	52,6049	55	4,2%

Fonte: Autor (2023)

Sendo assim, observou-se que a China se destacou na produção de artigos referentes à temática abordada apresentando uma porcentagem de 22,9% (n=444) do total de publicações. Em segundo lugar, a Índia representa 11,7% (n=226), posteriormente a Itália 7,7% (n=149) e Coréia do Sul 7,3% (n=141). Denota-se que mesmo ocupando o segundo lugar, a Índia apresenta uma porcentagem de produção próxima a metade do topo da lista (China).

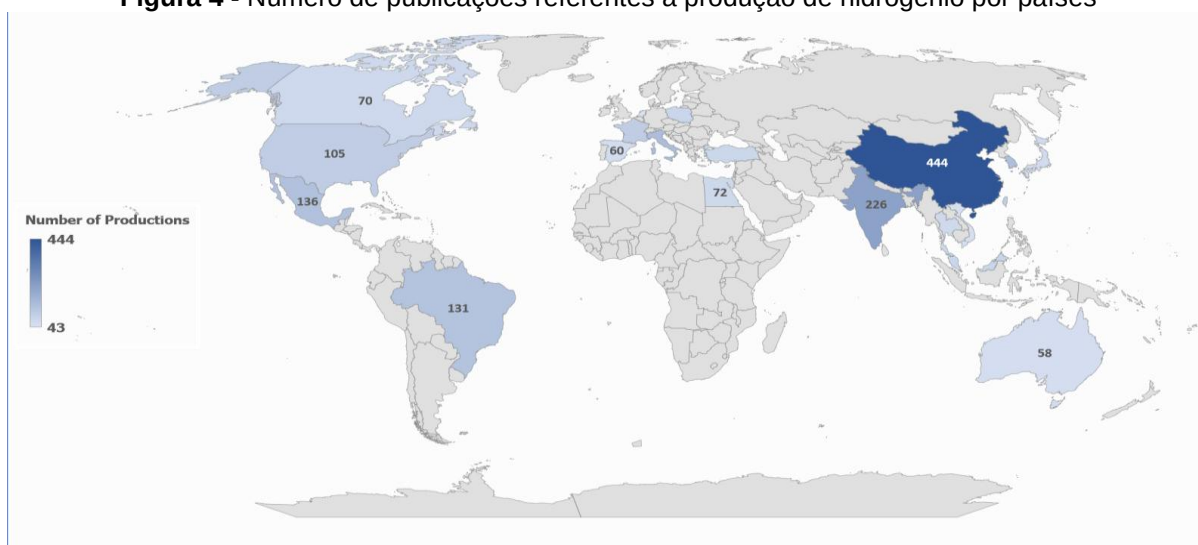
Logo, ao analisar a porcentagem de produção da Itália e Coréia do Sul constata-se que seu índice é aproximadamente 3x inferior em relação ao país com maior número de publicações. Ou seja, é evidente uma centralização na produção e publicação de artigos. É válido sobressaltar que realizando a soma das porcentagens de produção de cada país mencionado anteriormente totalizou-se aproximadamente

49,6%, portanto, quase metade da produção de artigos discutindo o tema referente está concentrada em tais países realçando a centralização do conhecimento científico.

Ademais, é importante analisar o número de citações dos artigos publicados pelos respectivos países com a finalidade de entender o impacto e relevância destes na evolução científica. Dessa maneira, constata-se que a China permanece no topo da lista com 11.388 citações, posicionando-a como o país com maior impacto na produção de hidrogênio através de fermentação (fotofermentação ou fermentação escura). Em segundo lugar, a Índia apresentando 6.035 citações, seguida pela Itália com 4.541 citações das suas publicações. É importante destacar que, apesar de estar anteriormente como o quarto país que mais realizou publicações, a Coreia do Sul (4.172 citações) é desbancada pela Malásia, país com o menor número de publicações entre os países selecionados, com 4.261 citações realizadas e apresentando uma média de citação equivalente a 52,6%.

A Figura 4 indica a quantidade de publicações ocorridas pelos países que mais se destacaram da produção de artigos sobre o objeto de pesquisa do presente estudo. Através do mapa apresentado é perceptível uma centralização do conhecimento científico, visto que, ao comparar o somatório das publicações recorrentes nas Américas ainda se mostrou inferior ao total de publicações localizadas no continente asiático (tendo a China com maior número de publicações).

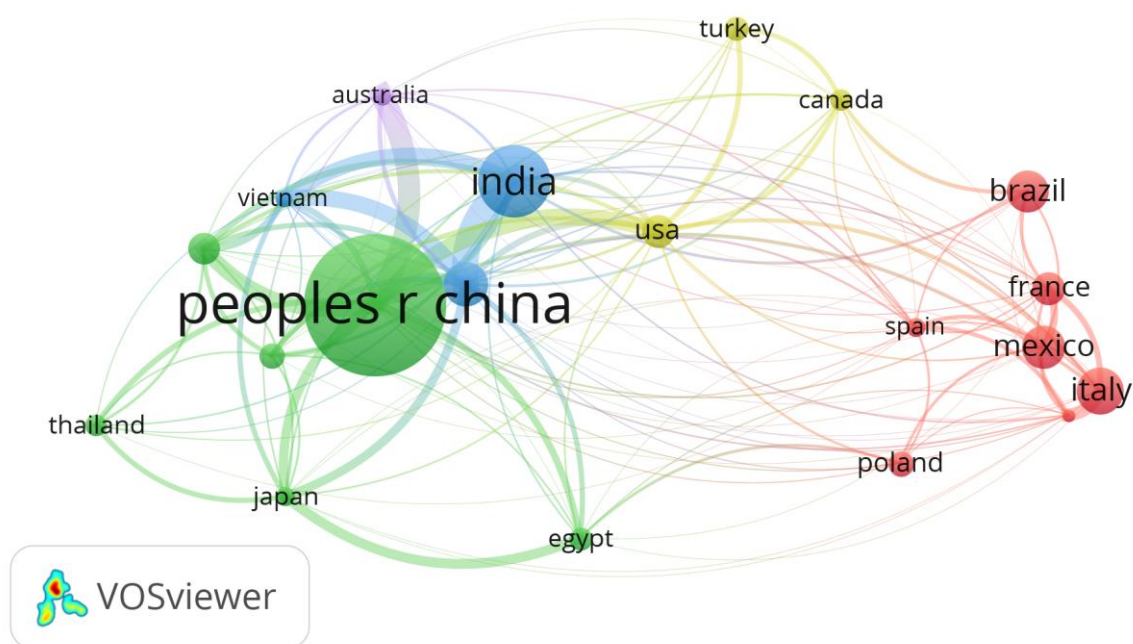
Figura 4 - Número de publicações referentes à produção de hidrogênio por países



Fonte: Autor (2023).

A Figura 5 apresenta os 20 países que mais publicaram artigos a respeito do tema divididos em 5 clusters. O cluster vermelho possui 6 países: Brasil, França, Espanha, México, Itália e Polônia. O cluster amarelo possui 3 países: Estados Unidos, Canadá e Turquia. O cluster verde contém 4 países: China, Tailândia, Japão e Egito. O cluster azul possui apenas 2 países: Índia e Vietnã. O cluster roxo possui a Austrália isoladamente.

Figura 5 - Rede de colaboração entre os países que mais publicaram artigos sobre o objeto de pesquisa.



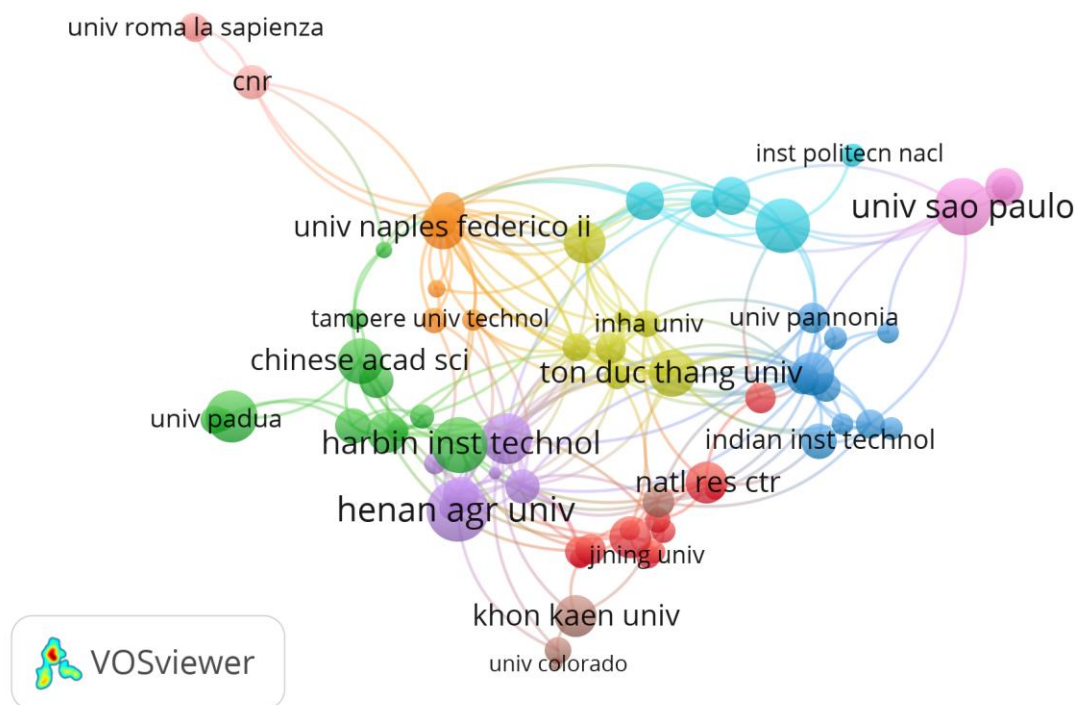
Fonte: Autor (2023).

Os países que apresentam entre si linhas de conexão mais densas possuem um compartilhamento de ideias mais prospectivo. Portanto, constata-se que há uma conexão e compartilhamento de ideias entre a China e a Austrália. Em seguida, observa-se a Índia e o Vietnã. Por fim, denota-se uma interação superior na produção de artigos entre os países componentes do cluster verde em relação à interação dos países pertinentes a diferentes clusters.

A Figura 6 mostra através de clusters a colaboração entre as organizações. O número de organizações que publicaram a respeito do tema foi de 1.494 organizações. Sendo assim, realizou-se um delineamento utilizando o critério que

dentre a lista de organizações fosse publicado pelo menos 10 artigos e houvessem paralelamente 300 citações, o que acarretou em 57 instituições que cumpriram o requisito.

Figura 6 - Organizações que mais colaboraram com a produção de artigos acadêmicos sobre a produção de hidrogênio.



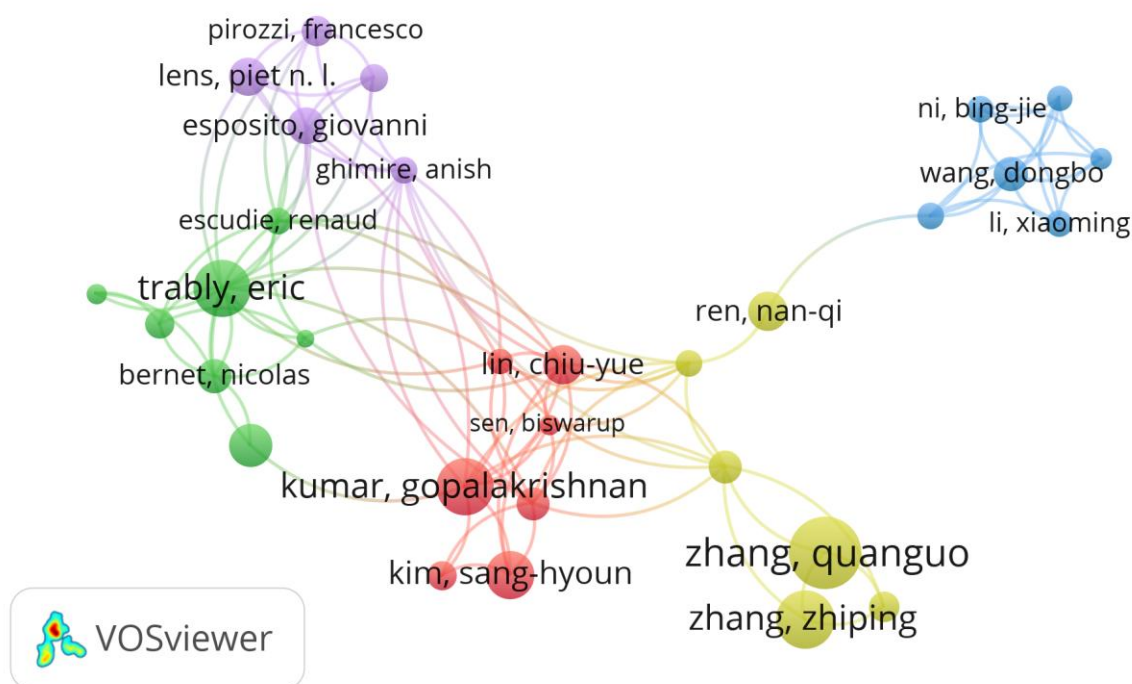
Fonte: Autor (2023).

A organização que detém o maior número de publicações ($n=70$) é a “Henan Agricultural University”, uma universidade pública localizada em Zhengzhou, China. Em seguida, a Universidade de São Paulo com 59 publicações. Por fim, “Harbin Institute Technology”, localizada em Harbin, China; detentora de 56 publicações. Logo, entre as três organizações que mais publicaram, duas estão localizadas no país detentor da maior quantidade de publicações: China. Sendo assim, observa-se que a Universidade de São Paulo é responsável por 45,04% do total de publicações no Brasil enquanto “Henan Agricultural University” e “Harbin Institute Technology” juntas são responsáveis por 28,38% das publicações na China.

A Figura 7 demonstra mediante a utilização de clusters a colaboração entre os autores dos artigos selecionados da base de dados. Nesse sentido, foram totalizados 4.938 autores entre os trabalhos com a temática de produção de hidrogênio através de fermentação. Logo, utilizou-se o critério de 600 citações por

autor para que assim fosse possível analisar de maneira eficiente tais produções. O resultado foi de 31 autores que atenderam o critério selecionado.

Figura 7 - Autores que mais publicara sobre a produção de hidrogênio.



Fonte: Autor (2023).

Dessa maneira, realizando uma análise relativa a quantidade de artigos científicos publicados sobre a temática discutida observa-se que Quanguo Zhang ocupa o primeiro lugar com 68 publicações e a ocorrência de 1.162 citações, ocasionando em uma média de citação próxima a 17,08%. Em segundo lugar, Zhiping Zhang possui 50 documentos publicados e 851 citações, logo, sua média de citação é 17,02%. Por fim, Eric Troby responsável por publicar 48 artigos e entre estes possui o número de 2.639 citações, ocasionando em uma média de citação próxima à 54,98%.

Sobressalta-se a importância em discutir os autores detentores das maiores ocorrências de citações com a finalidade de compreender o impacto e a relevância do autor na elaboração de artigos referentes ao tema. Logo, Eric Troby é o autor mais citado entre os 31 autores que cumpriram o requisito, totalizando 2.639 citações em 48 artigos publicados sendo o autor mais influente na área da produção de hidrogênio. Em seguida, Gopalakrishnan Kumar detentor de 2.056 citações por 48

produções acadêmicas. Por último, Jianlong Wang possui 1.318 citações por seus 35 artigos publicados.

5.1.4 Os artigos mais citados

A análise dos artigos mais citados permite a compreensão dos tópicos que estão sendo estudados e a sua relevância no cenário da pesquisa mundial. Diante disso, a Tabela 3 indica os 10 artigos mais citados em ordem decrescente de citações, acompanhados dos autores e ano de publicação. Sobressalta-se que o valor acumulado das citações corresponde a 3681 citações.

Tabela 3 - Lista dos artigos mais citados na evolução científica abordando a temática de produção de hidrogênio por meio de fermentação.

Nº	Nome do artigo	Autores	Ano	Total de Citações
1	Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development	Hosseini, SE and Wahid, MA	2016	1039
2	A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products	Ghimire, A; Frunzo, L; (...); Esposito, G	2015	532
3	Enhanced volatile fatty acids production from anaerobic fermentation of food waste: A mini-review focusing on acidogenic metabolic pathways	Zhou, MM; Yan, BH; (...); Zhang, Y	2018	320
4	Do furanic and phenolic compounds of lignocellulosic and algae biomass hydrolyzate inhibit anaerobic mixed cultures? A comprehensive review	Monlau, F; Sambusiti, C; (...); Carrere, H	2014	294
5	Homoacetogenesis during hydrogen	Saady, NMC	2013	285

	production by mixed cultures dark fermentation: Unresolved challenge			
6	Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects	Puyol, D; Batstone, D; (...); Kromer, JO	2017	274
7	Lignocellulosic Materials Into Biohydrogen and Biomethane: Impact of Structural Features and Pretreatment	Monlau, F; Barakat, A; (...); Carrere, H	2013	268
8	Development of biohydrogen production by photobiological, fermentation and electrochemical processes: A review	Azwar, MY; Hussain, MA and Abdul-Wahab, AK	2014	231
9	Hydrogen production from biomass using dark fermentation	Lukajtis, R; Holowacz, I; (...); Kaminski, M	2018	221
10	Pretreatment of Lignocellulosic Materials as Substrates for Fermentation Processes	Kucharska, K; Rybarczyk, P; (...); Kaminski, M	2018	217

Fonte: Autor (2023)

O artigo detentor da maior quantidade de citações possui como título *“Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development”*, publicado em 2016, objetiva fornecer uma visão geral das tecnologias de produção de hidrogênio de última geração usando recursos de energia renovável e sustentável (Hosseini; Wahid, 2016).

Em, *“A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products”*, publicado em 2015, os autores realizaram uma análise do potencial de produção de hidrogênio a partir de diversas biomassas orgânicas. Apresenta-se as oportunidades de valorização dos co-produtos (ácidos graxos voláteis) gerados durante a foto fermentação e sistemas bio

eletroquímicos para produção de hidrogênio. Além disso, é fornecida uma revisão a respeito da modelagem dos processos de fermentação escura e seu balanço de energia, assim como, discutiu-se sobre as perspectivas futuras de fermentação escura em estado sólido (Ghimire *et al.*, 2015).

“Enhanced volatile fatty acids production from anaerobic fermentation of food waste: A mini-review focusing on acidogenic metabolic pathways”, publicado em 2018, os autores discorrem sobre o potencial de recuperação de recurso a partir do descarte eficiente de resíduos alimentares. Os ácidos graxos voláteis são produtos gerados a partir dos dois primeiros estágios da digestão anaeróbica. Sendo assim, o artigo apresenta vias metabólicas acidogênicas e fornece técnicas para recuperação de ácidos graxos voláteis durante a fermentação acidogênica (Zhou *et al.*, 2018).

“Do furanic and phenolic compounds of lignocellulosic and algae biomass hydrolyzate inhibit anaerobic mixed cultures? A comprehensive review”, publicado em 2014, objetiva discutir e resumir dados da literatura que abordem sobre o impacto dos subprodutos do pré-tratamento na fermentação escura produtora de hidrogênio e nos processos de digestão anaeróbica ao usar culturas mistas como inóculo (Monlau, F. *et al.*, 2014).

“Homoacetogenesis during hydrogen production by mixed cultures dark fermentation: Unresolved challenge”, publicado em 2013, o artigo fornece uma revisão sobre o consumo de hidrogênio durante a fermentação escura de hidrogênio realizada em cultura mista anaeróbica focando na homoacetogênese (Saady, 2013b).

“Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects”, publicado em 2017, os autores propuseram-se em identificar tecnologias emergentes que viabilizem a recuperação de recursos durante o ciclo de tratamento de águas residuais. Dessa maneira, possibilitando a utilização de bioenergia na forma de produção de hidrogênio (seja por foto fermentação ou fermentação escura) assim como de biogás (processo de digestão anaeróbica) (Puyol *et al.*, 2017).

“Lignocellulosic Materials Into Biohydrogen and Biomethane: Impact of Structural Features and Pretreatment”, publicado em 2013, os autores objetivaram apresentar uma revisão a respeito da conversão de biomassa em bio hidrogênio e

biometano. O artigo discorre sobre a composição e características da biomassa que podem afetar a conversão anaeróbica assim como o impacto dos diferentes tipos de pré-tratamento sobre essas características e consequentemente na produção de hidrogênio e metano (Monlau, Florian *et al.*, 2013).

“Development of biohydrogen production by photobiological, fermentation and electrochemical processes: A review”, publicado em 2014, os autores apresentam tecnologias para produção biológica de hidrogênio. Sendo assim, são descritos os princípios teóricos de biofotólise (cianobactérias e microalgas verdes) assim como os processos diretos/indiretos da biofotólise na produção de hidrogênio. Além de revisar os aspectos práticos e fundamentais dos processos biológicos de produção de hidrogênio por foto fermentação ou fermentação escura (Azwar; Hussain; Abdul-Wahab, 2014).

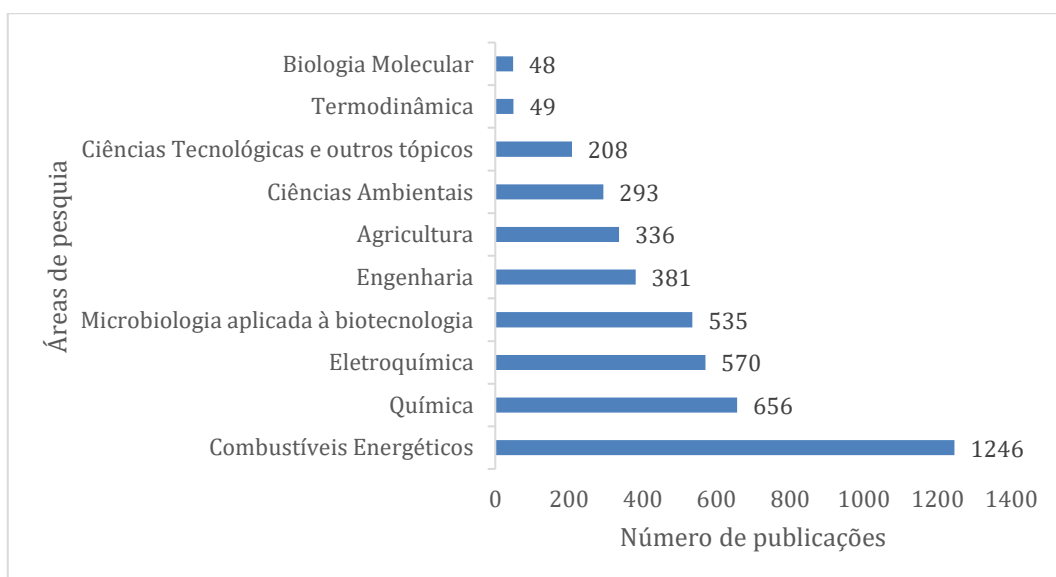
“Hydrogen production from biomass using dark fermentation”, publicado em 2018, o artigo discute métodos alternativos de produção de hidrogênio com ênfase na fermentação escura. Ademais, ao longo do texto são apresentadas informações sobre cepas de bactérias usadas na produção de hidrogênio utilizando-se de resíduos da agroindústria e da biomassa lignocelulósica. Sendo assim, apresenta-se os conhecimentos atuais a respeito da fermentação escura utilizando materiais residuais como substratos tal qual é discutido os parâmetros operacionais para sua execução (Łukajtis *et al.*, 2018).

“Pretreatment of Lignocellulosic Materials as Substrates for Fermentation Processes”, publicado em 2018, objetiva compreender as possibilidades do pré-tratamento da biomassa e a influência na eficiência da produção de biocombustíveis e compostos orgânicos. É apresentada uma revisão sobre o processamento de materiais lignocelulósicos como substratos para processos de fermentação. São discutidos os efeitos dos diferentes métodos de pré-tratamento abordando os benefícios e desvantagens de cada método. Além do que, o pré-tratamento ainda é um desafio para a obtenção de tecnologia competitiva e econômica para conversão em larga escala (Kucharska *et al.*, 2018).

5.1.5 As áreas de pesquisa

Foi realizada a divisão das áreas de pesquisa em que ocorreram as publicações dos artigos que apresentaram a produção de hidrogênio pelos processos de fermentação biológica (seja foto fermentação ou fermentação escura) como tema. Logo, foram totalizadas 10 áreas de pesquisa: Combustíveis fósseis, Química, Eletroquímica, Microbiologia aplicada à tecnologia, Engenharia, Agricultura, Ciências ambientais, Ciências tecnológicas e outros tópicos, Termodinâmica e Biologia molecular. Dessa maneira, a Figura 8 indica através de um gráfico de barras a área de pesquisa seccionada e respectivamente a quantidade de publicações.

Figura 8 - Número de publicações referente a áreas de pesquisa seccionadas.

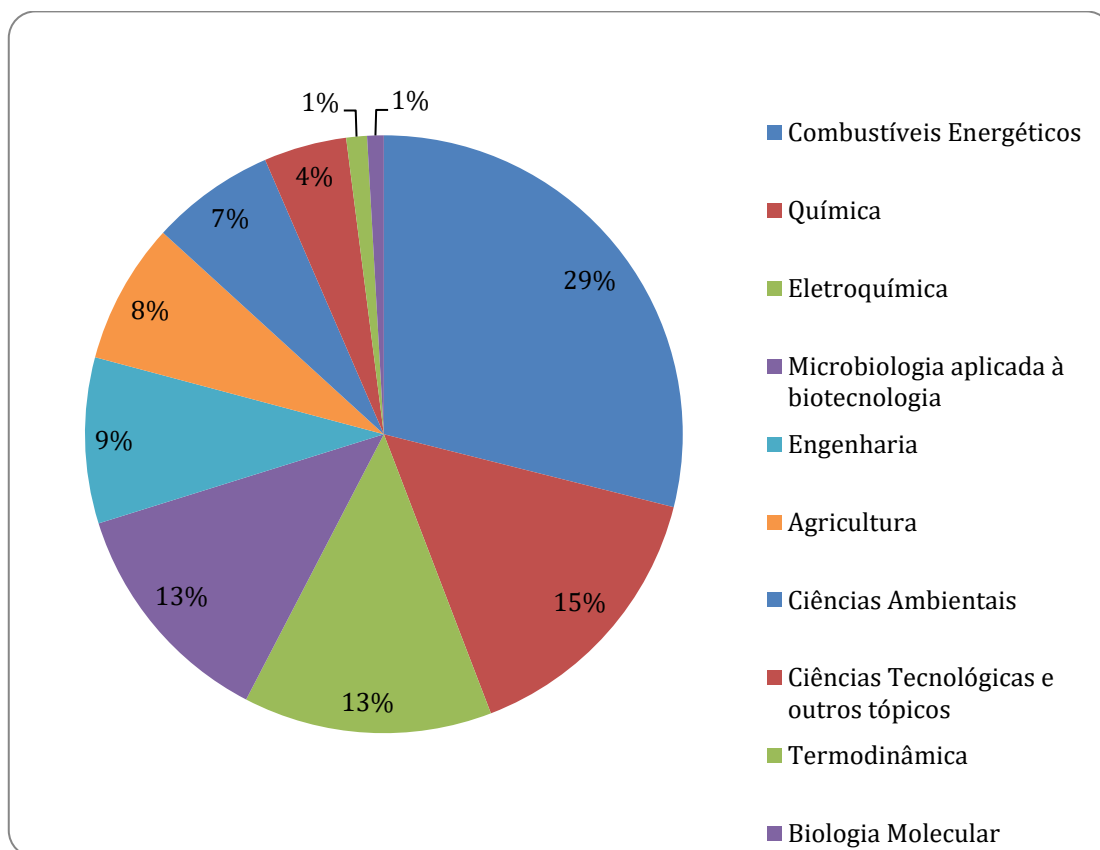


Fonte: Autor (2023).

A Figura 9 apresenta através de valores percentuais a quantidade de publicações ocorridas nas áreas de pesquisa. Desse modo, percebeu-se que a área de maior produção acadêmica é a de “Combustíveis Energéticos” totalizando 29% (1.246 artigos) das publicações. Portanto, percebe-se a relevância do tema na pauta ambiental como objeto de estudo para viabilização de sua utilização como uma alternativa energética sustentável. Em seguida, “Química” com 15% (656 artigos) indicando o comprometimento de disciplinas convencionais na construção do conhecimento científico com a finalidade na promoção do desenvolvimento

sustentável. Por fim, a “Eletroquímica” apresentou 13% (570 artigos) das produções. Tal área torna-se indispensável para compreensão da atuação do hidrogênio como fonte energética e a sua devida aplicação no planejamento energético.

Figura 9 - Percentual de publicações referentes à áreas de pesquisas seccionadas.



Fonte: Autor (2023).

5.1.6 Utilização de biomassa na produção de hidrogênio pelos processos de fermentação escura e foto fermentação.

Nesse tópico, preocupou-se em responder a seguinte pergunta:

Q4: Quais são as principais matérias-primas destacadas dentro da pesquisa?

A biomassa é uma matéria-prima sustentável para a produção de hidrogênio devido ser uma fonte de energia derivada de materiais orgânicos (Cormos, 2023; Krishna *et al.*, 2022). A utilização da biomassa como matéria-prima é superior para a produção de biocombustíveis porque a neutralização de carbono pode ser aprimorada, visto que, o carbono liberado da conversão de biomassa em hidrogênio é utilizado pela planta durante processos de fotossíntese (Navarro *et al.*, 2011).

A biomassa utilizada como matéria-prima para produção de hidrogênio de baixo carbono e baixo custo inclui biomassa lignocelulósica, resíduos agrícolas e biorresíduos. Logo, técnicas de processamento de biomassa, incluindo fermentação e digestão anaeróbica, podem ser usadas para produção de líquidos e combustíveis gasosos que podem ser transportados para os locais desejados e depois usado para gerar hidrogênio. Ademais, outro método é o método direto da produção de hidrogênio a partir de biomassa usando técnicas de pirólise e gaseificação (Qyyum *et al.*, 2021).

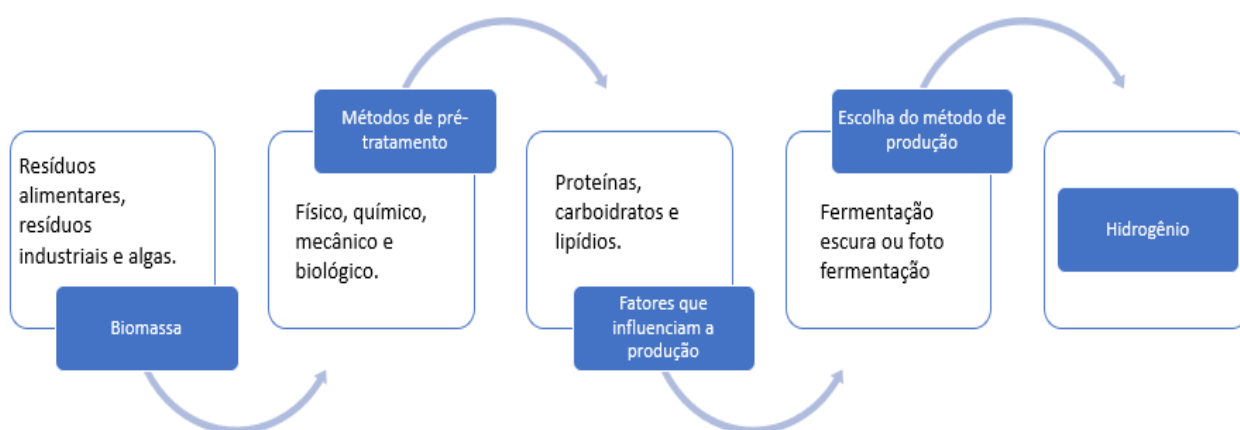
A matéria-prima deve ser natural, abundante, renovável e não deverá competir culturas alimentares (Lee, Jechan; Sarmah; Kwon, 2018). A ampla disponibilidade de resíduos de biomassa e matéria-prima inclui resíduos agrícolas, resíduos alimentares, resíduos industriais resíduos, etc. As fontes de energia são convertidas em energia de hidrogênio após um sequência de reações (Chozhavendhan *et al.*, 2020). Diante disso, a Figura 10 apresenta um esquema do processamento de matéria-prima (biomassa) para produção de hidrogênio.

5.1.6.1 Resíduos alimentares

Cerca de 1,3 bilhão de toneladas de desperdício de alimentos são gerados anualmente ao longo do mundo e, em particular, a China sozinha produz 140 milhões de toneladas de alimentos desperdício e aumentando 10% a cada ano (Chan *et al.*, 2019; Chen, Jingwei *et al.*, 2019). Entre os benefícios da utilização de resíduos alimentares para produção de hidrogênio estão: eliminação da emissão de gases tóxicos e contaminação das águas subterrâneas. Vale ressaltar que, os pesquisadores direcionam seus estudos referente processamento de resíduos de alimentos como

uma fonte sustentável de energia renovável fonte para a produção industrial de hidrogênio a partir de uma digestão anaeróbica processo ou através do processo de gaseificação (Yan *et al.*, 2019).

Figura 10 - Esquema do processamento de matéria-prima para produção de hidrogênio.



Fonte: Autor (2023).

5.1.6.2 Resíduos industriais

A poluição ocasionada por efluentes industriais tem afetado drasticamente o ecossistema. Diante disso, têm se preocupado no desenvolvimento de pesquisas que objetivem a utilização de vários resíduos industriais como substrato para produção de hidrogênio. Os vários resíduos incluem etanol indústrias produtoras, resíduos de laticínios, águas residuais de bebidas, destilaria resíduos, resíduos farmacêuticos e indústria de biodiesel (Chozhavendhan *et al.*, 2020).

5.1.6.3 Algas

As algas são organismos simples que contém clorofila e possuem alta eficiência fotossintética na conversão de carbono atmosférico em diversas substâncias orgânicas tais como: proteínas, polissacarídeos e lipídios (Jang *et al.*, 2010). A utilização de algas como matéria-prima é ambientalmente viável, pois são produzidas em torno de 150 a 600 toneladas por hectare anualmente, representando

uma excelente oportunidade para a produção industrial de hidrogênio (Adnan *et al.*, 2019)

As vantagens para utilização da biomassa na produção de hidrogênio são: taxa de crescimento rápido, podem ser cultivadas em águas residuais e realizar a combinação com o tratamento de águas residuais, forte adaptação a vários ambientes e não compete com solos férteis, apresenta alto teor de carboidratos que podem ser usados para aumento na eficiência da produção de hidrogênio e requerem pré-tratamentos suaves devido a ausência de hemicelulose e lignina (Wang; Yin, 2018).

Apesar disso, existem algumas barreiras que precisam ser superadas para produção em larga escala de hidrogênio tendo como matéria-prima as algas: cultivo e colheita da biomassa referente. Isso por que a produção em massa eficiente de algas ainda precisa ser desenvolvida; o custo de coleta e concentração de biomassa de algas precisa ser reduzido (Uggeti *et al.*, 2014). Sobressalta-se o impacto do ambiente de cultivo na composição das algas que acarretará na dificuldade de escolha do método de tratamento mais eficiente e conseqüentemente a operacionalização do sistema de produção de hidrogênio.

5.1.7 Análise quantitativa de palavras-chave frequentes

Nesse tópico, preocupou-se em responder a pergunta abaixo:

Q3: Quais são os principais pontos quentes da pesquisa (palavras-chave) dentro da pesquisa?

Foram encontradas no total 5.351 palavras, no entanto, realizou-se um delineamento para que sobressaísse as palavras-chave que possuísem pelo menos 100 ocorrências, resultando em 35 palavras. A Tabela 4 objetiva ranquear as 20 palavras-chave que apresentaram relevância entre os artigos selecionados para base de dados do referido estudo e para isso apresenta a frequência (F) e a força do link (FTL). A análise permite quantificar as pesquisas desenvolvidas em determinadas áreas, desse modo, viabilizando a projeção de tendências e a compreensão das discussões em tais áreas e os parâmetros adotados pelos autores.

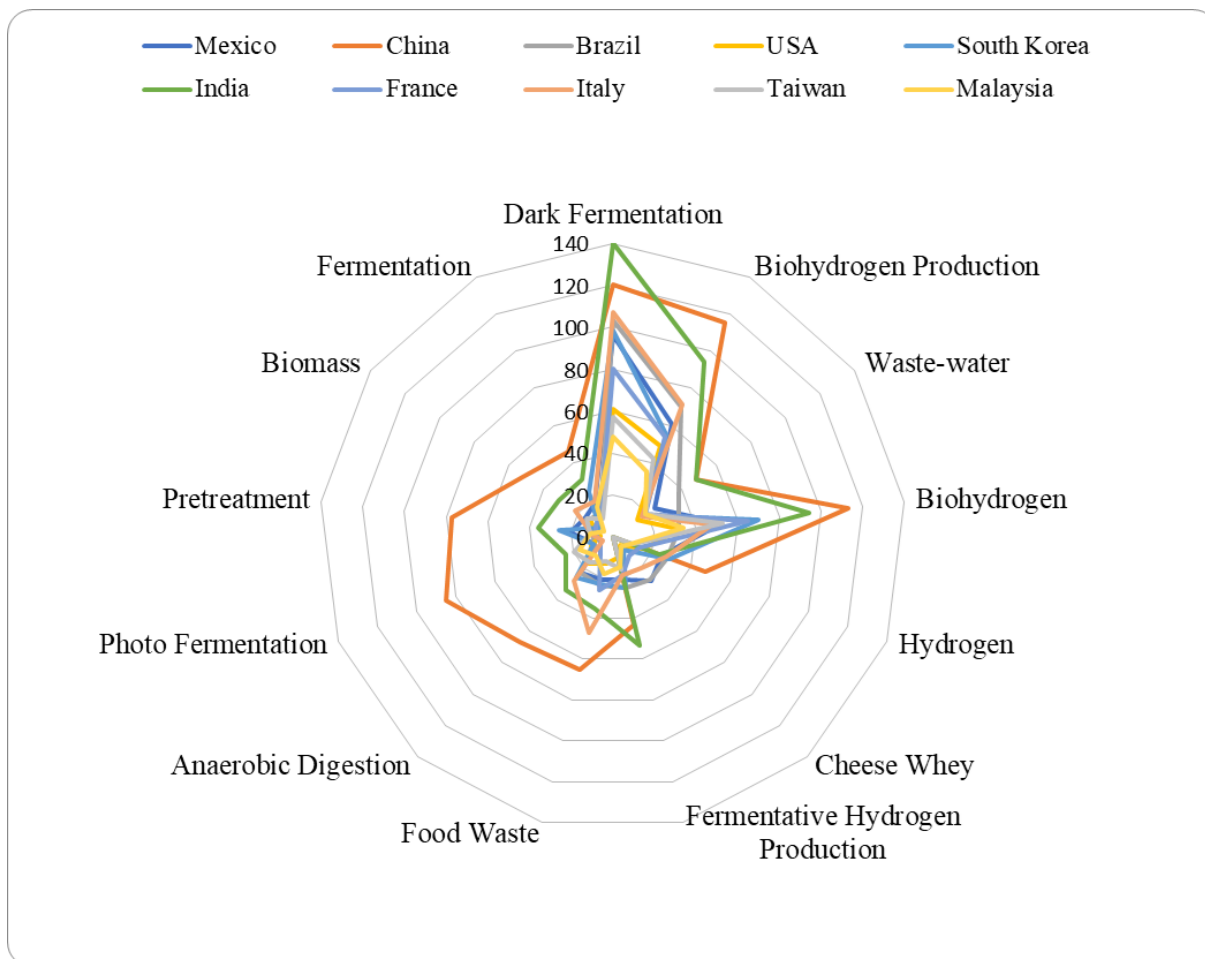
Tabela 4 - As vinte principais palavras-chave mais proeminentes na pesquisa de artigos.

Posição	Palavra-chave	F	FTL	Posição	Palavra-chave	F	FTL
1	Dark fermentati on	1231	3807	11	methane production	239	932
2	biohydrog en	888	2706	12	fermentation	230	763
3	production biohydrog en	653	2052	13	biomass	218	795
4	hydrogen- production	371	1115	14	optimization	207	736
5	food waste	331	1294	15	photo- fermentation	207	569
6	waste- water	297	1071	16	bio- hydrogen	196	724
7	hydrogen	294	881	17	sludge	186	672
8	anaerobic -digestion	274	1014	18	pH	184	655
9	fermentati ve	252	825	19	microbial community	157	627
10	hydrogen- production pretreatm ent	245	922	20	h-2 production	156	525

Fonte: Autor (2023).

A Figura 11 apresenta um radar de palavras-chave que possui a finalidade de indicar a tendência do desenvolvimento de pesquisas, artigos e trabalhos acadêmicos nos 10 países detentores dos maiores índices de publicações pertinentes ao tema do presente estudo. Percebe-se que há um ponto em comum nas produções de cada nação na palavra-chave “*Dark Fermentation*”.

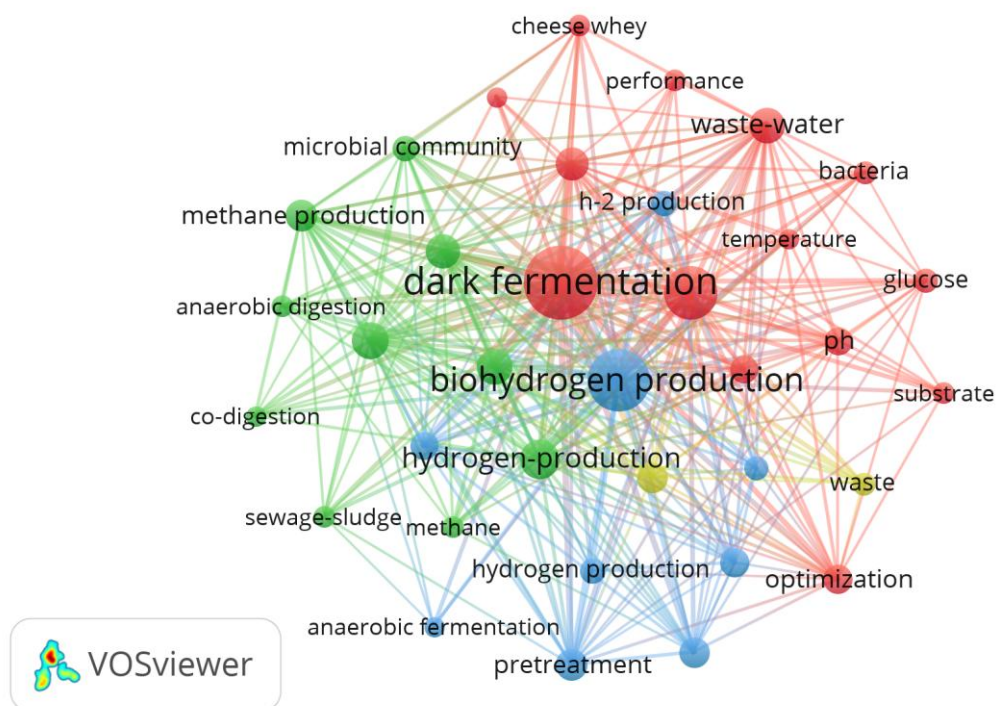
Figura 11 - Radar de palavras-chave das publicações dos artigos dos países que mais produziram sobre a produção de hidrogênio.



Fonte: Autor (2023).

A Figura 12 objetiva apresentar através de rede a tendência de aplicação das principais palavras-chave encontradas nos artigos utilizados na base de dados. Percebe-se que, a palavra-chave “*dark fermentation*” destacou-se com a quantidade de 1.231 ocorrências. Em seguida, a palavra-chave “*biohydrogen production*” totalizando uma quantidade de 888 ocorrências. Por fim, a palavra-chave “*biohydrogen*” detentora de 653 ocorrências.

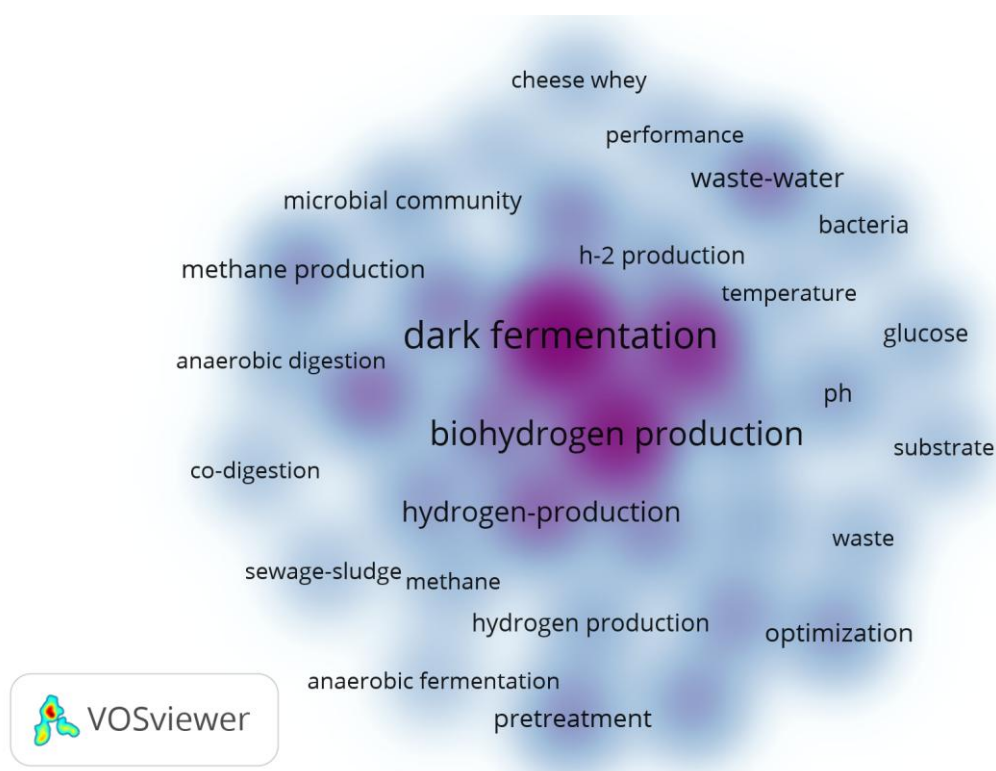
Figura 12 - Rede de tendência das palavras-chave encontradas na base de dados dos artigos.



Fonte: Autor (2023).

A Figura 13 complementa a informação referente as maiores ocorrências de palavras-chave, porém apresenta essa informação através da densidade. Ou seja, após o delineamento de pelo menos 100 ocorrências, as palavras que apresentaram intensidade de cor mais forte significariam um maior número de ocorrências. “*Dark Fermentation*” ocupa o primeiro lugar mostrando-se condizente com a presente pesquisa, visto que, “*Dark Fermentation*” foi uma das palavras utilizadas para coleta e afunilamento de dados no *Web Of Science*. Ademais, é possível mencionar o artigo “*Hydrogen production from biomass using dark fermentation*”, publicado em 2018 e que está presente entre os mais citados da base de dados, responsável explorar através de uma revisão as tecnologias utilizadas na atualidade para produção de hidrogênio através da fermentação escura, assim como, indicando rotas alternativos e substratos orgânicos residuais – biomassa (Hosseini; Wahid, 2016).

Figura 13 - Mapa da densidade de ocorrência de palavras-chave.



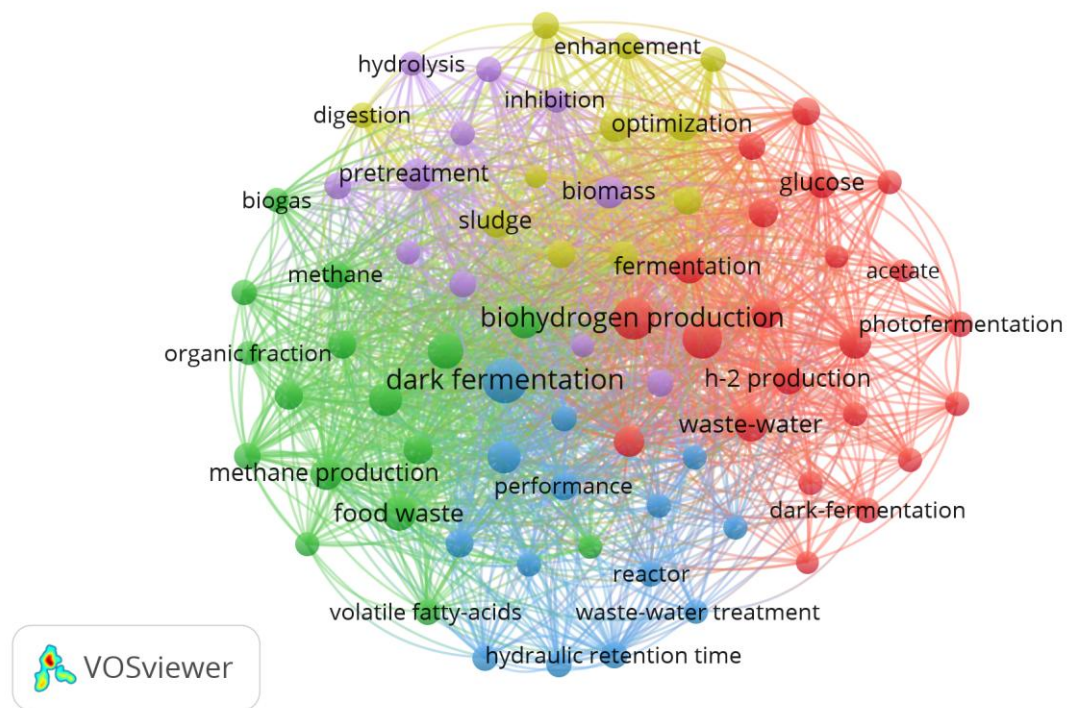
Fonte: Autor (2023).

A segunda palavra detentora de maior ocorrência, “*Biohydrogen Production*”, é mencionada também no título do segundo artigo mais mencionado da base de dados discutida. “*A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products*”, publicado em 2015, realiza uma análise a respeito da diversidade de matéria-prima orgânica para produção de hidrogênio, parâmetros operacionais e a possibilidade futura de fermentação escura em estado sólido.

A Figura 14 foi formulada a partir dos mesmos critérios mencionados anteriormente, nesse caso, procura analisar a conexão entre as palavras-chave e a maior pluralidade de áreas. Percebe-se que a rede está dividida em 5 clusters: azul, verde, amarelo, roxo e vermelho. No cluster vermelho detentor da maior quantidade de palavras-chave estão: *biohydrogen production*, *fermentation*, *h-2 production*, *waster-water*, *dark fermentation*, *acetate*, *photofermentation*, *glucose*. No cluster azul encontram-se as palavras: *dark fermentation*, *performance*, *reactor*, *waste-water treatment*, *hydraulic retention time*. Enquanto que no cluster verde as palavras-chave:

volatile fatty-acids, methane production, food waste, organic fraction, methane, biogas. No cluster amarelo: *sludge, optimization, enhancement.* Por último, no cluster roxo: *hydrolysis, pretreatment, biomass, inhibition.* Sobressalta-se que cada cluster apresenta uma linha de pesquisa diferente.

Figura 14 - Rede de cocitação das palavras-chave encontradas nos artigos selecionados para base de dados.

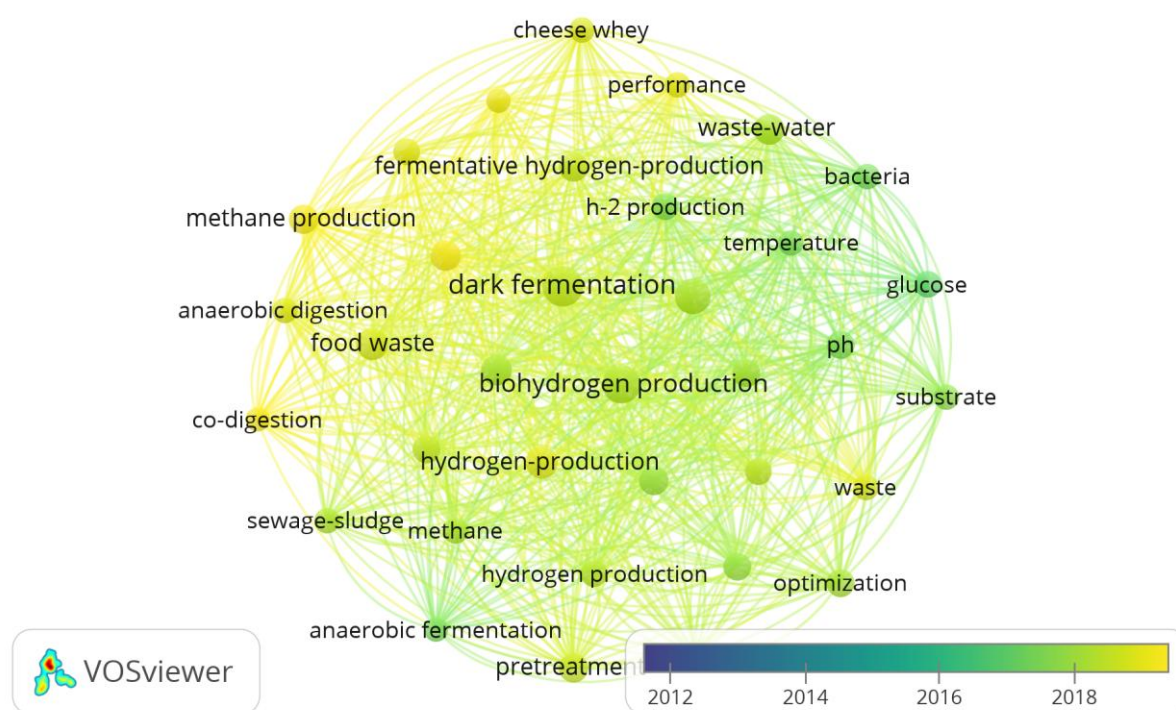


Fonte: Autor (2023).

5.1.8 Hotspots de Investigação.

Esse tópico foi construído a partir da análise da base de dados com a finalidade de delimitar tendências que se destacaram e os temas emergentes dentro da pesquisa sobre os avanços na produção de hidrogênio pelos processos de fermentação escura e foto fermentação. A Figura 15 apresenta um mapa evolutivo a respeito do uso das palavras-chave relevantes ao longo do período determinado para análise de estudo. Sobressalta-se que o cluster apresentando as palavras: *biohydrogen production* e *dark fermentation* possuem maiores números de ocorrência no período de 2016 à 2018. Denotando, elaboração de trabalhos frequentes sobre o tema nos anos discutidos.

Figura 15 - Palavras-chave relevantes e a evolução do uso ao longo do tempo.



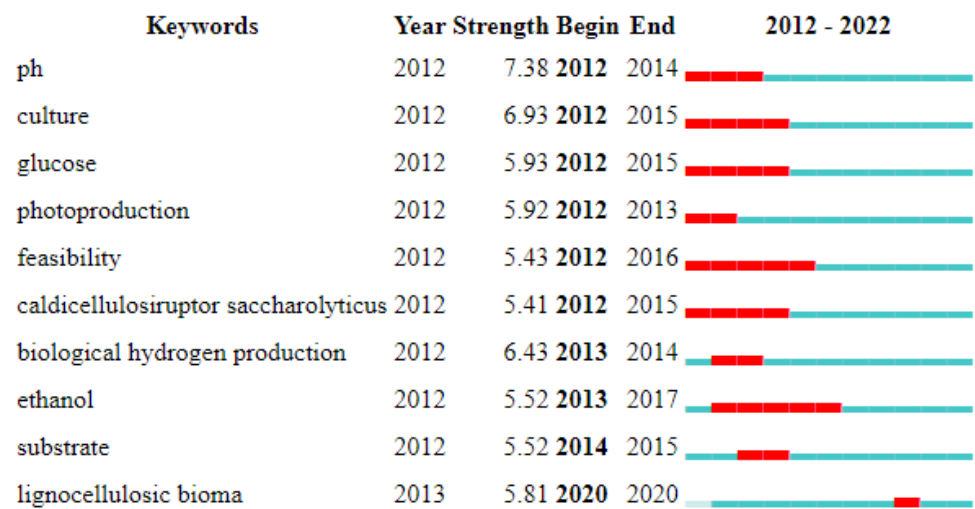
Fonte: Autor (2023).

A Figura 16 apresenta as 10 palavras-chave que apresentaram maiores ocorrências no período de 2012 à 2022. Denota-se que, a palavra-chave com maior força foi *ph* (7,38) tendo início em 2012 e sendo finalizada em 2014. Em seguida, *culture* (6.93) tendo início em 2012 e finalizada em 2015. Isso significa uma tendência

na área de pesquisa referente à fermentação, visto que, tais palavras são coincidentemente parâmetros para produção de hidrogênio. A palavra-chave com citação mais forte próxima aos últimos anos é a *lignocellulosic biomass*, apresentando força de 5,81 e tendo ocorrência no ano de 2020. Logo, percebe-se a tendência na elaboração de pesquisas que investigam matérias-primas diversificadas para produção de hidrogênio.

Figura 16 - Impacto das palavras-chave citadas no período de 2012 à 2022.

Top 10 Keywords with the Strongest Citation Bursts



Fonte: Autor (2023).

5.1.9 Campos de investigação constantes

Nesse tópico, objetivou-se responder a última pergunta norteadora do referente estudo:

Q4: Quais são os principais grupos de pesquisa de cocitação na revisão?

A Tabela 5 elenca os 6 conjuntos principais de cocitações entre os artigos utilizados como base de dados do referente estudo que se relacionarão possivelmente dentro do mesmo assunto. Visto que, a quantidade de publicações referentes à uma área específica significa o aumento da relevância para área em questão,

O cluster #0 apresenta como palavra-chave principal *“Hydrogen production”*, com um tamanho de nó equivalente à 106, seu principal artigo possui como título *“Fermentative hydrogen production from cheese whey with in-line, concentration gradient-driven butyric acid extraction”*, publicado em 2020, o manuscrito objetiva a geração de hidrogênio utilizando como matéria prima o soro do queijo e realizando simultaneamente a extração de ácidos graxos voláteis. Diante dos parâmetros utilizados, o estudo concluiu que a extração de ácidos graxos voláteis pode reduzir os custos operacionais de fermentação assim como sua recuperação não compromete a produção de hidrogênio (Dessi et al., 2020).

O cluster #1 apresenta como palavra-chave principal *“Dark fermentation”*, com um tamanho de nó equivalente à 92, seu principal artigo possui como título *“High efficient biohydrogen production from palm oil mill effluent by two-stage dark fermentation and microbial electrolysis under thermophilic condition”*, publicado em 2019, o artigo possui como objetivo a produção de biohidrogênio através da fermentação escura – em dois estágios – utilizando como substrato efluente de fábrica de óleo de palma. Logo, os autores compararam o rendimento entre a fermentação escura sozinha e eletrólise microbiana, concluíram que a produção de hidrogênio foi 3 vezes superior no estágio de eletrólise microbiana (Khongkliang et al., 2019).

Tabela 5 - Principais clusters de pesquisa de cocitação a respeito dos processos de fermentação escura e foto fermentação na produção de hidrogênio.

ID	Rótulo	TN	Principal	Top termos	Artigos representativos
#0	Hydrogen production	106	2017	Hydrogen production; food waste; biohydrogen production; dark fermentation; volatile fatty acid	(Dessi <i>et al.</i> , 2020; Tampio <i>et al.</i> , 2018)
#1	Dark fermentation	92	2014	Dark fermentation; continuous hydrogen production; municipal solid waste; organic loading rate; microbial communities	(Khongkliang <i>et al.</i> , 2019; Ren, Hong Yu <i>et al.</i> , 2019)
#2	Fermentative hydrogen production	71	2016	Fermentative hydrogen production; organic waste; photosynthetic bacteria; food waste; continuous biohydrogen production	(Kumar Sharma <i>et al.</i> , 2021; Tekucheva; Tsygankov, 2012)
#3	Microbial electrolysis cell	63	2016	Microbial electrolysis cell; wastewater treatment; sewage sludge; bio-hydrogen production; hydrogen generation	(Lin <i>et al.</i> , 2015; Xia <i>et al.</i> , 2013)
#4	Hydrogen gas production	63	2014	Hydrogen gas production; rhodobacter sphaeroide; palm oil mill; inoculum pretreatment; photo-hydrogen production	(Kargi; Arian, 2013; Paillet <i>et al.</i> , 2019)
#5	Lignocellulosic biomass	63	2015	Lignocellulosic biomass; comprehensive review; vegetable waste; hydrothermal pretreatment; corn stover;	(Paillet <i>et al.</i> , 2019; Wu; Upreti; Ein-mozaffari, 2013)
#6	Anaerobic digestion	52	2014	Anaerobic digestion; sugarcane bagasse; bacillus thuringiensis; two-stage anaerobic digestion; cheese whey	(Boileau <i>et al.</i> , 2016; Sarma <i>et al.</i> , 2012)

Fonte: Autor (2023).

O cluster #2 apresenta como palavra-chave principal *“Fermentative hydrogen production”*, com um tamanho de nó equivalente à 71, seu principal artigo possui como título *“Combined Biological HydrogenProducing Systems: A Review”*, publicado em 2012, os autores preocupam-se em abordar a combinação de processos biológicos com a finalidade de produzir hidrogênio. A revisão objetiva descrever os processos estudados e a eficiência na realização desses processos combinados. Os autores concluíram que a integração dos processos resulta em um aumento na eficiência total da evolução do hidrogênio. Entretanto, enfrenta-se dilemas como combinar processos biológicos, visto que, estes esquemas necessitam de recursos financeiros elevados (Tekucheva; Tsygankov, 2012).

O cluster #3 apresenta como palavra-chave principal *“Microbial electrolysis cell”*, com um tamanho de nó equivalente à 63, seu principal artigo possui como título *“Combination of hydrogen fermentation and methanogenesis to enhance energy conversion efficiency from trehalose”*, publicado em 2013, o manuscrito apresenta os resultados obtidos a partir da combinação dos processos de fermentação e metanogênese para produção de hidrogênio a partir da trealose. Os autores certificaram um aumento em 72,2% na produção de hidrogênio a partir da combinação dos sistemas relatados e ressaltaram a importância no desenvolvimento de trabalhos de pesquisa que utilizem microalgas como matéria-prima para investigação das características de produção e condições de pré-tratamento para futuras aplicações industriais (Xia *et al.*, 2013).

O cluster #4 apresenta como palavra-chave principal *“Hydrogen gas production”*, com um tamanho de nó equivalente à 63, seu principal artigo possui como título *“Improvement of biohydrogen production from glycerol in micro-oxidative environment”*, publicado em 2019, são apresentados os resultados referentes a produção de hidrogênio a partir do glicerol utilizando um fermentador no escuro contínuo assim como condições micro aeróbias para promoção de anaeróbios facultativos. Desse modo, os autores concluíram que, o processo de fermentação escura poderá ser melhorado a partir da condução da via metabólica através de um ambiente micro oxidativo (Paillet *et al.*, 2019).

O cluster #5 apresenta como palavra-chave principal *“Lignocellulosic biomass”*, com um tamanho de nó equivalente à 63, seu principal artigo coincidiu com o artigo principal do cluster #4. Dessa maneira, apresenta-se o segundo artigo representativo do cluster, possui como título *“Improved hydrogen gas production in*

electrohydrolysis of vinegar fermentation wastewater by scrap aluminum and salt addition", publicado em 2013, o trabalho apresenta os resultados da produção de gás hidrogênio via eletrohidrólise das águas residuais orgânicas. Logo, foram adicionadas partículas de sucata de alumínio e sal às águas residuais de fermentação do vinagre e aplicou-se a tensão contínua. Os autores concluíram que, a adição de sal e partículas de alumínio são benéficas para formação do gás hidrogênio no referente estudo (Kargi; Arıkan, 2013).

O cluster #6 apresenta como palavra-chave principal "*Anaerobic digestion*", com um tamanho de nó equivalente à 52. Seu principal artigo possui como título "*Hydrogen production by the hyperthermophilic bacterium Thermotoga maritima part I: effects of sulfured nutrients, with thiosulfate as model, on hydrogen production and growth*", publicado em 2016, o estudo objetiva quantificar com precisão o efeito de tiosulfato (usado como modelo de nutriente sulfurado) no crescimento de *T. maritima*, rendimentos e produtividades de hidrogênio. Sobressalta-se que durante a execução da pesquisa utilizou-se um biorreator devidamente controlado para prevenção da retroinibição pelo hidrogênio. Logo, autores certificaram que a presença de tiosulfato no meio de cultura de *T. maritima* aumentou consideravelmente a produtividade de hidrogênio sem produção de sulfeto detectável. Concluiu-se que, em bioprocessos com a finalidade de produção de hidrogênio utilizando espécies *Thermotoga* é recomendado a incorporação do tiosulfato no meio de cultura (Boileau et al., 2016).

6. CONCLUSÃO

Denotou-se a pertinência do tema, visto que, é um objeto de estudo favorável ao desenvolvimento sustentável e possibilita a elaboração de políticas de meio ambiente e planejamento energético. Identificou-se a relevância das revistas científicas que mais publicaram artigos durante o período analisado. A revista que se sobressaiu foi “*International Journal of Hydrogen Energy*” e possui como finalidade a publicações de artigos referentes a utilização de hidrogênio como fonte de energia alternativa.

Além disso, foi possível perceber a importância que o tema do presente estudo tem para países populosos como a China e Índia, pois estes dois países mais publicaram artigos sobre o tema e percebeu-se que os índices populosos estão associados com planejamento energético e consequentemente em fontes de energia alternativa que sejam capazes de suprir a demanda da nação.

Diante do exposto, foi possível identificar também os trabalhos que apresentaram mais citações no período indicado, pois ao delinear tais trabalhos é possível analisar o impacto das pesquisas em níveis mundiais e os avanços da produção científica. Sendo possível, perceber a recorrência na elaboração de pesquisas com tema nos últimos anos devido seu impacto na comunidade acadêmica. Além de viabilizar o mapeamento das áreas de pesquisa mais prospectivas. Logo, constatou-se que a área de pesquisa com mais publicações apresentando o tema avaliado foi a de Combustíveis energéticos, seguida da Química e Eletroquímica.

É válido sobressaltar, a análise realizada a respeito de matéria-prima utilizada para produção de hidrogênio. Visto que, busca-se a elaboração de fontes alternativas que sejam economicamente sustentáveis e a escolha da matéria prima correta acarretará no processamento (nessa etapa percebeu-se a importância de tal escolha do ponto de vista financeiro) e níveis de eficiência. Logo, destacou-se compostos orgânicos, tais como a biomassa de: algas, resíduos industriais e resíduos alimentares.

Avaliou-se o melhoramento nos processos que envolvem a produção de hidrogênio. A fermentação escura apresenta vantagens em relação a foto fermentação, visto que independe de uma fonte de energia, porém faz-se necessário o desenvolvimento e análise da eficiência dos microrganismos envolvidos. A desvantagem de precisar de uma fonte de energia no processo de foto fermentação é

o que encarece o processo além de apresentar taxas de rendimento inferiores quando comparada com a fermentação escura.

Diante disso, identificou-se uma tendência no presente estudo na elaboração de trabalhos que objetivassem a elevação das taxas de conversão nos processos de fermentação escura e foto fermentação. Ademais, percebeu-se a publicação de trabalhos com a temática para pré-tratamento da matéria-prima que virá a ser utilizada. O trabalho alcança os objetivos propostos apresentando um saldo positivo devido a cooperação que contou com a participação de autores e revistas de relevância na comunidade científica. Por fim, recomenda-se os seguintes pontos a serem estudados:

- Analisar o impacto do pré-tratamento em biomassas diversificadas com a finalidade de produzir hidrogênio;
- Realizar um estudo sobre as bactérias mais utilizadas mutuamente nos processos de foto fermentação e fermentação escura;
- Analisar os avanços tecnológicos dos biorreatores utilizados no processo de foto fermentação para produção de hidrogênio.

REFERÊNCIAS

- ACAR, Canan; DINCER, Ibrahim. Comparative assessment of hydrogen production methods from renewable and non-renewable sources. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 39, nº 1, p. 1–12, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.10.060>.
- ADNAN, Muflih A.; XIONG, Qingang; HIDAYAT, Arif; HOSSAIN, Mohammad M. Gasification performance of Spirulina microalgae – A thermodynamic study with tar formation. **Fuel**, [s. l.], vol. 241, nº September 2018, p. 372–381, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.12.061>.
- AKHLAGHI, Neda; NAJAFPOUR-DARZI, Ghasem. A comprehensive review on biological hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 45, nº 43, p. 22492–22512, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.182>.
- ARGUN, Hidayet; KARGI, Fikret. Bio-hydrogen production by different operational modes of dark and photo-fermentation: An overview. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 36, nº 13, p. 7443–7459, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.03.116>.
- ARSAD, A. Z.; HANNAN, M. A.; AL-SHETWI, Ali Q.; HOSSAIN, M. J.; BEGUM, R. A.; KER, Pin Jern; SALEHI, F.; MUTTAQI, K. M. Hydrogen electrolyser for sustainable energy production: A bibliometric analysis and future directions. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 48, nº 13, p. 4960–4983, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.023>.
- AZWAR, M. Y.; HUSSAIN, M. A.; ABDUL-WAHAB, A. K. Development of biohydrogen production by photobiological, fermentation and electrochemical processes: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 31, p. 158–173, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.022>.
- BAEYENS, Jan; ZHANG, Huili; NIE, Jiapei; APPELS, Lise; DEWIL, Raf; ANSART, Renaud; DENG, Yimin. Reviewing the potential of bio-hydrogen production by fermentation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 131, nº July, p. 110023, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110023>.
- BAN, Shidong; LIN, Weitie; LUO, Jianfei. Ca²⁺ enhances algal photolysis hydrogen production by improving the direct and indirect pathways. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 44, nº 3, p. 1466–1473, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.075>.
- BARROS, Thiago Vinícius; LOPEZ, Guilherme de Souza; SANTOS, Renivaldo José dos; PARIZI, Marcela Prado Silva; CARDOZO-FILHO, Lucio; FERREIRA-PINTO, Leandro. Gaseificação da biomassa em água supercrítica como tecnologia de produção de hidrogênio. **Research, Society and Development**, [s. l.], vol. 11, nº 9, p. e32511931296, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31296>.

BIČÁKOVÁ, Olga; STRAKA, Pavel. Production of hydrogen from renewable resources and its effectiveness. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 37, n° 16, p. 11563–11578, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.05.047>.

BOCCARD, Julien; RUDAZ, Serge. **Mass Spectrometry Metabolomic Data Handling for Biomarker Discovery**. [S. l.]: Elsevier, 2013. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394446-7.00027-3>.

BOILEAU, Céline; AURIA, Richard; DAVIDSON, Sylvain; CASALOT, Laurence; CHRISTEN, Pierre; LIEBGOTT, Pierre Pol; COMBET-BLANC, Yannick. Hydrogen production by the hyperthermophilic bacterium *Thermotoga maritima* part I: Effects of sulfured nutriment, with thiosulfate as model, on hydrogen production and growth. **Biotechnology for Biofuels**, [s. l.], vol. 9, n° 1, p. 1–17, 2016. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0678-8>.

CARDOSO, Vicelmal; ROMÃO, Betânia B; SILVA, Felipe T M; SANTOS, Júlia G; BATISTA, Fabiana R X; FERREIRA, Juliana S. Hydrogen Production by Dark Fermentation. [s. l.], n° June, 2014. <https://doi.org/10.3303/CET1438081>.

CASTELLÓ, Elena; NUNES FERRAZ-JUNIOR, Antonio Djalma; ANDREANI, Cristiane; ANZOLA-ROJAS, Melida del Pilar; BORZACCONI, Liliana; BUITRÓN, Germán; CARRILLO-REYES, Julián; GOMES, Simone Damasceno; MAINTINGUER, Sandra I.; MORENO-ANDRADE, Iván; PALOMO-BRIONES, Rodolfo; RAZO-FLORES, Elías; SCHIAPPACASSE-DASATI, María; TAPIA-VENEGAS, Estela; VALDEZ-VÁZQUEZ, Idania; VESGA-BARON, Alejandra; ZAIAT, Marcelo; ETCHEBEHERE, Claudia. Stability problems in the hydrogen production by dark fermentation: Possible causes and solutions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 119, n° November 2019, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109602>.

CATANI, Linda; GRASSI, Eleonora; COCOZZA DI MONTANARA, Adele; GUIDI, Loretta; SANDULLI, Roberto; MANACHINI, Barbara; SEMPRUCCI, Federica. Essential oils and their applications in agriculture and agricultural products: A literature analysis through VOSviewer. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [s. l.], vol. 45, n° October, p. 102502, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102502>.

CHAN, Yi Herng; CHEAH, Kin Wai; HOW, Bing Shen; LOY, Adrian Chun Minh; SHAHBAZ, Muhammad; SINGH, Haswin Kaur Gurdeep; YUSUF, Nur'aini Raman; SHUHAILI, Ahmad Fadzil Ahmad; YUSUP, Suzana; GHANI, Wan Azlina Wan Abd Karim; RAMBLI, Jakaria; KANSHA, Yasuki; LAM, Hon Loong; HONG, Boon Hooi; NGAN, Sue Lin. An overview of biomass thermochemical conversion technologies in Malaysia. **Science of the Total Environment**, [s. l.], vol. 680, p. 105–123, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.211>.

CHEN, Jingwei; FAN, Yi; JIAQIANG, E.; CAO, Wen; ZHANG, Feng; GONG, Jinke; LIU, Guanlin; XU, Wenwen. Effects analysis on the gasification kinetic characteristics of food waste in supercritical water. **Fuel**, [s. l.], vol. 241, n° August 2018, p. 94–104, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.12.012>.

CHEN, Yang; YIN, Yanan; WANG, Jianlong. Recent advance in inhibition of dark fermentative hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 46, n° 7, p. 5053–5073, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.096>.

CHENG, Dongle; NGO, Huu Hao; GUO, Wenshan; CHANG, Soon Woong; NGUYEN, Dinh Duc; BUI, Xuan Thanh; WEI, Wei; NI, Bingjie; VARJANI, Sunita; HOANG, Ngoc Bich. Enhanced photo-fermentative biohydrogen production from biowastes: An overview. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 357, n° April, p. 127341, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127341>.

CHENG, Jun; DING, Lingkan; XIA, Ao; LIN, Richen; LI, Yuyou; ZHOU, Junhu; CEN, Kefa. Hydrogen production using amino acids obtained by protein degradation in waste biomass by combined dark- and photo-fermentation. **BIORESOURCE TECHNOLOGY**, [s. l.], vol. 179, p. 13–19, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.109>.

CHOZHAVENDHAN, S.; RAJAMEHALA, M.; KARTHIGADEVI, G.; PRAVEENKUMAR, R.; BHARATHIRAJA, B. A review on feedstock, pretreatment methods, influencing factors, production and purification processes of bio-hydrogen production. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, [s. l.], vol. 2, n° August, p. 100038, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100038>.

CHRISTINE, Samantha; RÚBIA, Paula; ROSA, Ferreira; KIMIKO, Isabel; BERNADETE, Maria; VARESCHE, Amâncio; LUIZ, Edson. Organic loading rate impact on biohydrogen production and microbial communities at anaerobic fluidized thermophilic bed reactors treating sugarcane stillage. **BIORESOURCE TECHNOLOGY**, [s. l.], vol. 159, p. 55–63, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.051>.

CLARK, Iain C.; ZHANG, Ruihong H.; UPADHYAYA, Shrinivasa K. The effect of low pressure and mixing on biological hydrogen production via anaerobic fermentation. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 37, n° 15, p. 11504–11513, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.03.154>.

CORMOS, Calin-cristian. Green hydrogen production from decarbonized biomass gasification : An integrated techno-economic and environmental analysis. **Energy**, [s. l.], vol. 270, n° November 2022, p. 126926, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126926>.

DAHIYA, Shikha; CHATTERJEE, Sulogna; SARKAR, Omprakash; MOHAN, S Venkata. Renewable hydrogen production by dark-fermentation : Current status , challenges and perspectives. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 321, n° September 2020, p. 124354, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124354>.

DASGUPTA, Chitralekha Nag; JOSE GILBERT, J.; LINDBLAD, Peter; HEIDORN, Thorsten; BORGVANG, Stig A.; SKJANES, Kari; DAS, Debabrata. Recent trends on the development of photobiological processes and photobioreactors for the improvement of hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 35, n° 19, p. 10218–10238, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.06.029>.

DE GIOANNIS, G.; MUNTONI, A.; POLETTINI, A.; POMI, R. A review of dark fermentative hydrogen production from biodegradable municipal waste fractions. **Waste Management**, [s. l.], vol. 33, n° 6, p. 1345–1361, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.02.019>.

DESSI, Paolo; ASUNIS, Fabiano; RAVISHANKAR, Harish; COCCO, Francesco Giuseppe; DE GIOANNIS, Giorgia; MUNTONI, Aldo; LENS, Piet N.L. Fermentative hydrogen production from cheese whey with in-line, concentration gradient-driven butyric acid extraction. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 45, n° 46, p. 24453–24466, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.081>.

DINCER, Ibrahim; ACAR, Canan. Innovation in hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 42, n° 22, p. 14843–14864, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.04.107>.

DONTHU, Naveen; KUMAR, Satish; MUKHERJEE, Debmalya; PANDEY, Nitesh; LIM, Weng Marc. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, [s. l.], vol. 133, n° April, p. 285–296, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>.

FAGBOHUNGBE, Michael O.; KOMOLAFE, Abiodun O.; OKERE, Uchechukwu V. Renewable hydrogen anaerobic fermentation technology: Problems and potentials. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 114, n° January, p. 109340, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109340>.

FERREIRA, Samuel F.; BULLER, Luz S.; MACIEL-SILVA, Francisco W.; SGANZERLA, William G.; BERNI, Mauro D.; FORSTER-CARNEIRO, Tânia. Waste management and bioenergy recovery from açai processing in the Brazilian Amazonian region: a perspective for a circular economy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, [s. l.], vol. 15, n° 1, p. 37–46, 2021. <https://doi.org/10.1002/bbb.2147>.

GENÇ, Mustafa Serdar; ÇELİK, Muhammet; KARASU, Ilyas. A review on wind energy and wind-hydrogen production in Turkey: A case study of hydrogen production via electrolysis system supplied by wind energy conversion system in Central Anatolian Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 16, n° 9, p. 6631–6646, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.08.011>.

GHIMIRE, Anish; FRUNZO, Luigi; PIROZZI, Francesco; TRABLY, Eric; ESCUDIE, Renaud; LENS, Piet N.L.; ESPOSITO, Giovanni. A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products. **Applied Energy**, [s. l.], vol. 144, p. 73–95, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.045>.

GONDAL, Irfan Ahmad; MASOOD, Syed Athar; KHAN, Rafiullah. Green hydrogen production potential for developing a hydrogen economy in Pakistan. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 43, n° 12, p. 6011–6039, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.113>.

HALLENBECK, Patrick C. Microbial technologies in advanced biofuels production. **Microbial Technologies in Advanced Biofuels Production**, [s. l.], vol. 9781461412, p. 1–272, 2012. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1208-3>.

HE, Chao; QI, Baoyi; SONG, Hao; ZHANG, Hui; LAN, Mingming; JIAO, Youzhou; LI, Yameng; LI, Panpan; LI, Gang; ZHANG, Quanguo; LIU, Liang. Enhanced biohydrogen production from corn straw by basalt fiber addition. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 338, n° June, p. 125528, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125528>.

HOSSEINI, Seyed Ehsan; WAHID, Mazlan Abdul. Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 57, p. 850–866, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.112>.

HREN, Robert; VUJANOVIĆ, Annamaria; VAN FAN, Yee; KLEMEŠ, Jiří Jaromír; KRAJNC, Damjan; ČUČEK, Lidija. Hydrogen production, storage and transport for renewable energy and chemicals: An environmental footprint assessment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 173, n° October 2022, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113113>.

HU, Jiawei; ZUO, Yuanhui; GUO, Bing; SHI, Huancong. Enhanced hydrogen production from sludge anaerobic fermentation by combined freezing and calcium hypochlorite pretreatment. **Science of the Total Environment**, [s. l.], vol. 858, n° November 2022, p. 160134, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160134>.

ISHAQ, H.; DINCER, I. Comparative assessment of renewable energy-based hydrogen production methods. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 135, n° September 2019, p. 110192, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110192>.

JANG, Ben W.L.; GLÄSER, Roger; DONG, Mingdong; LIU, Chang Jun. Fuels of the future. **Energy and Environmental Science**, [s. l.], vol. 3, n° 3, p. 253, 2010. <https://doi.org/10.1039/c003390c>.

Jl, Mengdi; WANG, Jianlong. Review and comparison of various hydrogen production methods based on costs and life cycle impact assessment indicators. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 46, n° 78, p. 38612–38635, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.09.142>.

JOYNER, A E; WINTER, W T; GODBOUT, A N D D M. Studies on some characteristics of hydrogen production by cell-free extracts of rumen anaerobic bacteria. [s. l.], n° 12, 1977. .

KAN, Eunsung. Effects of pretreatments of anaerobic sludge and culture conditions on hydrogen productivity in dark anaerobic fermentation. **Renewable Energy**, [s. l.], vol. 49, p. 227–231, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.026>.

KAPDAN, Ilgi K.; KARGI, Fikret; OZTEKIN, Rukiye; ARGUN, Hidayet. Bio-hydrogen production from acid hydrolyzed wheat starch by photo-fermentation using different

Rhodobacter sp. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 34, n° 5, p. 2201–2207, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.01.017>.

KARGI, Fikret; ARIKAN, Sedef. Improved hydrogen gas production in electrohydrolysis of vinegar fermentation wastewater by scrap aluminum and salt addition. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 38, n° 11, p. 4389–4396, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.01.191>.

KAYFECI, Muhammet; KEÇEBAŞ, Ali; BAYAT, Mutlucan. **Hydrogen production**. [S. l.: s. n.], 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814853-2.00003-5>.

KHONGKLIANG, Peerawat; JEHLEE, Aminee; KONGJAN, Prawit; REUNGSANG, Alissara; O-THONG, Sompong. High efficient biohydrogen production from palm oil mill effluent by two-stage dark fermentation and microbial electrolysis under thermophilic condition. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 44, n° 60, p. 31841–31852, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.022>.

KITCHING, Michael; BUTLER, Robin; MARSILI, Enrico. Microbial bioelectrosynthesis of hydrogen: Current challenges and scale-up. **Enzyme and Microbial Technology**, [s. l.], vol. 96, p. 1–13, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2016.09.002>.

KOUMI NGOH, Simon; NJOMO, Donatien. An overview of hydrogen gas production from solar energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 16, n° 9, p. 6782–6792, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.027>.

KRISHNA, Arun; SREE, Sai; VUPPALADADIYAM, Varsha; AWASTHI, Abhishek. Biomass pyrolysis : A review on recent advancements and green hydrogen production. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 364, n° October, p. 128087, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128087>.

KUCHARSKA, Karolina; RYBARCZYK, Piotr; HOŁOWACZ, Iwona; ŁUKAJTIS, Rafał; GLINKA, Marta; KAMIŃSKI, Marian. Pretreatment of lignocellulosic materials as substrates for fermentation processes. **Molecules**, [s. l.], vol. 23, n° 11, p. 1–32, 2018. <https://doi.org/10.3390/molecules23112937>.

KUMAR SHARMA, Amit; KUMAR GHODKE, Praveen; MANNA, Suvendu; CHEN, Wei Hsin. Emerging technologies for sustainable production of biohydrogen production from microalgae: A state-of-the-art review of upstream and downstream processes. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 342, n° August, p. 126057, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126057>.

LEE, Duu Jong; WANG, Yi; ZHANG, Zhiping; LEE, Duu Jong; ZHOU, Xuehua; JING, Yanyan; JIANG, Danping; HU, Jianjun; HE, Chao. Photo-fermentative hydrogen production from crop residue: A mini review. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 229, p. 222–230, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.008>.

LEE, Hyung-sool; VERMAAS, Wim F J; RITTMANN, Bruce E. Biological hydrogen production : prospects and challenges. **Trends in Biotechnology**, [s. l.], vol. 28, n° 5, p. 262–271, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2010.01.007>.

LEE, Jechan; SARMAH, Ajit K.; KWON, Eilhann E. Production and formation of biochar. **Biochar from Biomass and Waste: Fundamentals and Applications**, [s. l.], , p. 3–18, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811729-3.00001-7>.

LEE, Wee Shen; SEAK, Adeline; CHUA, May; YEOH, Hak Koon; NGOH, Gek Cheng. A review of the production and applications of waste-derived volatile fatty acids. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], vol. 235, p. 83–99, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.002>.

LETA, Jacqueline; DAS NEVES MACHADO, Raymundo; LOVÓN CANCHUMANI, Roberto Mario. **Scientific collaboration among BRICS: Trends and priority areas**. [S. l.: s. n.], 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02511-3_19.

LEVALLEY, Trevor L.; RICHARD, Anthony R.; FAN, Maohong. The progress in water gas shift and steam reforming hydrogen production technologies - A review. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 39, n° 30, p. 16983–17000, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.08.041>.

LIN, Richen; CHENG, Jun; SONG, Wenlu; DING, Lingkan; XIE, Binfei; ZHOU, Junhu; CEN, Kefa. Characterisation of water hyacinth with microwave-heated alkali pretreatment for enhanced enzymatic digestibility and hydrogen/methane fermentation. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 182, p. 1–7, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.105>.

ŁUKAJTIS, Rafał; HOŁOWACZ, Iwona; KUCHARSKA, Karolina; GLINKA, Marta; RYBARCZYK, Piotr; PRZYJAZNY, Andrzej; KAMIŃSKI, Marian. Hydrogen production from biomass using dark fermentation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 91, n° March, p. 665–694, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.043>.

MOHANTY, Anee; MANKOTI, Megha; ROUT, Prangya Ranjan; MEENA, Sumer Singh; DEWAN, Simran; KALIA, Bhavya; VARJANI, Sunita; WONG, Jonathan W.C.; BANU, J. Rajesh. Sustainable utilization of food waste for bioenergy production: A step towards circular bioeconomy. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], vol. 365, n° January, p. 109538, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109538>.

MONLAU, F.; SAMBUSITI, C.; BARAKAT, A.; QUÉMÉNEUR, M.; TRABLY, E.; STEYER, J. P.; CARRÈRE, H. Do furanic and phenolic compounds of lignocellulosic and algae biomass hydrolyzate inhibit anaerobic mixed cultures? A comprehensive review. **Biotechnology Advances**, [s. l.], vol. 32, n° 5, p. 934–951, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.04.007>.

MONLAU, Florian; BARAKAT, Abdellatif; TRABLY, Eric; DUMAS, Claire; STEYER, Jean Philippe; CARRÈRE, Hélène. Lignocellulosic materials into biohydrogen and biomethane: Impact of structural features and pretreatment. **Critical Reviews in Environmental Science**

and Technology, [s. l.], vol. 43, nº 3, p. 260–322, 2013.

<https://doi.org/10.1080/10643389.2011.604258>.

NANDI, R; SENGUPTA, S. Microbial Production of Hydrogen : An Overview. [s. l.], vol. 24, nº 1, p. 61–84, 1998. .

NAVARRO, Rufino M.; SANCHEZ-SANCHEZ, M. Cruz; ALVAREZ-GALVAN, M. Consuelo; FIERRO, Jose Luis G.; AL-ZAHARANI, Saeed M. Hydrogen Production from Renewables.

Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic Chemistry, [s. l.], 2011.

<https://doi.org/10.1002/9781119951438.eibc0450>.

NOROUZI, Nima. Hydrogen production in the light of sustainability: A comparative study on the hydrogen production technologies using the sustainability index assessment method.

Nuclear Engineering and Technology, [s. l.], vol. 54, nº 4, p. 1288–1294, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.net.2021.09.035>.

OLABI, A. G.; BAHRI, Adel saleh; ABDELGHAFAR, Aasim Ahmed; BAROUTAJI, Ahmad; SAYED, Enas Taha; ALAMI, Abdul Hai; REZK, Hegazy; ABDELKAREEM, Mohammad Ali.

Large-vsacle hydrogen production and storage technologies: Current status and future directions. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 46, nº 45, p. 23498–23528, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.110>.

OLATEJU, Babatunde; KUMAR, Amit; SECANELL, Marc. A techno-economic assessment of large scale wind-hydrogen production with energy storage in Western Canada. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 41, nº 21, p. 8755–8776, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.03.177>.

PAILLET, Florian; MARONE, Antonella; MOSCOVIZ, Roman; STEYER, Jean Philippe;

TAPIA-VENEGAS, Estela; BERNET, Nicolas; TRABLY, Eric. Improvement of biohydrogen production from glycerol in micro-oxidative environment. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 44, nº 33, p. 17802–17812, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.082>.

PINTO, Angelo C.; ANDRADE, Jailson B. de. Fator de impacto de revistas científicas: qual o significado deste parâmetro? **Química Nova**, [s. l.], vol. 22, nº 3, p. 448–453, 1999.

<https://doi.org/10.1590/s0100-40421999000300026>.

PUTATUNDA, Chayanika; BEHL, Manya; SOLANKI, Preeti; SHARMA, Samriti; BHATIA, Shashi Kant; WALIA, Abhishek; BHATIA, Ravi Kant. Current challenges and future technology in photofermentation-driven biohydrogen production by utilizing algae and bacteria. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], nº xxxx, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.042>.

PUYOL, Daniel; BATSTONE, Damien J.; HÜLSEN, Tim; ASTALS, Sergi; PECES, Miriam; KRÖMER, Jens O. Resource recovery from wastewater by biological technologies:

Opportunities, challenges, and prospects. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], vol. 7, nº JAN, p. 1–23, 2017. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02106>.

QYYUM, Muhammad Abdul; DICKSON, Rofice; ALI SHAH, Syed Fahad; NIAZ, Haider; KHAN, Amin; LIU, J. Jay; LEE, Moonyong. Availability, versatility, and viability of feedstocks for hydrogen production: Product space perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 145, n° February, p. 110843, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110843>.

RANJAN, Bipro; ELBESHBISHY, Elsayed; HAFEZ, Hisham; LEE, Hyung-sool. Hydrogen production from sugar beet juice using an integrated biohydrogen process of dark fermentation and microbial electrolysis cell. **BIORESOURCE TECHNOLOGY**, [s. l.], vol. 198, p. 223–230, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.048>.

RANJAN, Bipro; ELBESHBISHY, Elsayed; NAKHLA, George. Influence of iron on sulfide inhibition in dark biohydrogen fermentation. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 126, p. 123–130, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.043>.

REN, Hong Yu; KONG, Fanying; CUI, Zhigang; ZHAO, Lei; MA, Jun; REN, Nan Qi; LIU, Bing Feng. Cogeneration of hydrogen and lipid from stimulated food waste in an integrated dark fermentative and microalgal bioreactor. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 287, p. 121468, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121468>.

REN, Nanqi; GUO, Wanqian; LIU, Bingfeng; CAO, Guangli; DING, Jie. Biological hydrogen production by dark fermentation: Challenges and prospects towards scaled-up production. **Current Opinion in Biotechnology**, [s. l.], vol. 22, n° 3, p. 365–370, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.04.022>.

REUNGSANG, Alissara; ZHONG, Nianbing; YANG, Yanxia; SITTIJUNDA, Sureewan; XIA, Ao; LIAO, Qiang. **Hydrogen from photo fermentation**. [S. l.]: Springer Singapore, 2018. vol. 0, . https://doi.org/10.1007/978-981-10-7677-0_7.

RONG, Yangyiming; CHEN, Shunyi; LI, Chengjun; CHEN, Xi; XIE, Lin; CHEN, Jianye; LONG, Rui. Techno-economic analysis of hydrogen storage and transportation from hydrogen plant to terminal refueling station. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], n° xxxx, p. 1–12, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.187>.

RUIZ, Milton Artur; GRECO, Oswaldo Tadeu; BRAILE, Domingo Marcolino. Journal impact factor: This editorial, academic and scientific influence. **Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery**, [s. l.], vol. 24, n° 3, p. 273–278, 2009. <https://doi.org/10.1590/s0102-76382009000400004>.

SAADY, Noori M Cata. Homoacetogenesis during hydrogen production by mixed cultures dark fermentation : Unresolved challenge. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 38, n° 30, p. 13172–13191, 2013a. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.07.122>.

SAADY, Noori M.Cata. Homoacetogenesis during hydrogen production by mixed cultures dark fermentation: Unresolved challenge. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 38, n° 30, p. 13172–13191, 2013b. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.07.122>.

SANCHEZ, Arturo; LOPEZ-HIDALGO, Angel Mario; SMOLI, Adam. A meta-analysis of research trends on hydrogen production via dark fermentation. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 47, n° 27, p. 13300–13339, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.106>.

SARMA, Saurabh Jyoti; BRAR, Satinder Kaur; SYDNEY, Eduardo Bittencourt; LE BIHAN, Yann; BUELNA, Gerardo; SOCCOL, Carlos Ricardo. Microbial hydrogen production by bioconversion of crude glycerol: A review. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 37, n° 8, p. 6473–6490, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.01.050>.

SHIVA KUMAR, S.; LIM, Hankwon. An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. **Energy Reports**, [s. l.], vol. 8, p. 13793–13813, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.127>.

SILLERO, Leonor; GUSTAVO, William. A bibliometric analysis of the hydrogen production from dark fermentation. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 47, n° 64, p. 27397–27420, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.083>.

TAMALA, Justine Klaire; MARAMAG, Edcel Iolo; SIMEON, Kaye Anne; IGNACIO, Jonathan Jared. A bibliometric analysis of sustainable oil and gas production research using VOSviewer. **Cleaner Engineering and Technology**, [s. l.], vol. 7, p. 100437, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100437>.

TAMPIO, Elina A.; BLASCO, Lucia; VAINIO, Markku M.; KAHALA, Minna M.; RASI, Saija E. Volatile fatty acids (VFAs) and methane from food waste and cow slurry: Comparison of biogas and VFA fermentation processes. **GCB Bioenergy**, [s. l.], vol. 11, n° 1, p. 72–84, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12556>.

TEKUCHEVA, D. N.; TSYGANKOV, A. A. Combined biological hydrogen-producing systems: A review. **Applied Biochemistry and Microbiology**, [s. l.], vol. 48, n° 4, p. 319–337, 2012. <https://doi.org/10.1134/S0003683812040114>.

TIANG, Ming Foong; FITRI HANIPA, Muhammad Alif; ABDUL, Peer Mohamed; JAHIM, Jamaliah M.d.; MAHMOD, Safa Senan; TAKRIFF, Mohd Sobri; LAY, Chyi How; REUNGSANG, Alisara; WU, Shu Yii. Recent advanced biotechnological strategies to enhance photo-fermentative biohydrogen production by purple non-sulphur bacteria: An overview. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 45, n° 24, p. 13211–13230, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.033>.

TIANG, Ming Foong; FITRI HANIPA, Muhammad Alif; ABDUL, Peer Mohamed; JAHIM, Jamaliah M.d.; MAHMOD, Safa Senan; TAKRIFF, Mohd Sobri; LAY, Chyi How; REUNGSANG, Alisara; WU, Shu Yii. Recent advanced biotechnological strategies to enhance photo-fermentative biohydrogen production by purple non-sulphur bacteria: An overview. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 45, n° 24, p. 13211–13230, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.033>.

- TURON, V; TRABLY, E; FOUILLAND, E; STEYER, J-p. Potentialities of dark fermentation effluents as substrates for microalgae growth : A review. **Process Biochemistry**, [s. l.], vol. 51, n° 11, p. 1843–1854, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.03.018>.
- UGGETI, Enrica; SIALVE, Bruno; TRABLY, Eric; STEYER, Jean Philippe. Integrating microalgae production with anaerobic digestion: a biorefinery approach. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, [s. l.], vol. 8, n° 6, p. 743, 2014. <https://doi.org/10.1002/BBB>.
- WANG, Jianlong; YIN, Yanan. Fermentative hydrogen production using various biomass-based materials as feedstock. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 92, n° January 2017, p. 284–306, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.033>.
- WANG, Jianlong; YIN, Yanan. Progress in microbiology for fermentative hydrogen production from organic wastes. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, [s. l.], vol. 49, n° 10, p. 825–865, 2019. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1487226>.
- WU, Jiangning; UPRETI, Simant; EIN-MOZAFFARI, Farhad. Ozone pretreatment of wheat straw for enhanced biohydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 38, n° 25, p. 10270–10276, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.06.063>.
- XIA, Ao; CHENG, Jun; LIN, Richen; DING, Lingkan; ZHOU, Junhu; CEN, Kefa. Combination of hydrogen fermentation and methanogenesis to enhance energy conversion efficiency from trehalose. **Energy**, [s. l.], vol. 55, p. 631–637, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.061>.
- XU, Xianxian; ZHOU, Quan; YU, Dehai. The future of hydrogen energy: Bio-hydrogen production technology. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 47, n° 79, p. 33677–33698, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.261>.
- YAN, Mi; SU, Hongcai; HANTOKO, Dwi; KANCHANATIP, Ekkachai; SHAHUL HAMID, Fauziah Binti; ZHANG, Sicheng; WANG, Guobin; XU, Zhang. Experimental study on the energy conversion of food waste via supercritical water gasification: Improvement of hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 44, n° 10, p. 4664–4673, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.193>.
- YANG, Guang; WANG, Jianlong. Various additives for improving dark fermentative hydrogen production: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], vol. 95, n° April, p. 130–146, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.029>.
- YUKESH KANNAH, R.; KAVITHA, S.; PREETHI; PARTHIBA KARTHIKEYAN, O.; KUMAR, Gopalakrishnan; DAI-VIET, N. Vo; RAJESH BANU, J. Techno-economic assessment of various hydrogen production methods – A review. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 319, n° August 2020, p. 124175, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124175>.
- ZHANG, Yang; CHENG, Jie; HE, Yuting; YUAN, Jifeng. Photo-fermentative hydrogen production performance of a newly isolated *Rubrivivax gelatinosus* YP03 strain with acid tolerance. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], vol. 47, n° 48, p. 20784–20792, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.04.198>.

ZHAO, Na; LIANG, Dawei; MENG, Shujuan; LI, Xiaohu. Bibliometric and content analysis on emerging technologies of hydrogen production using microbial electrolysis cells.

International Journal of Hydrogen Energy, [s. l.], vol. 45, n° 58, p. 33310–33324, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.104>.

ZHAO, Yu; LI, Jianchao; TAO, Chunjing; DING, Rongjing. Research hotspots and trends of cardiopulmonary exercise test: Visualization analysis based on citespace. **Medicine in Novel Technology and Devices**, [s. l.], vol. 16, n° August, p. 100191, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.medntd.2022.100191>.

ZHOU, Miaomiao; YAN, Binghua; WONG, Jonathan W.C.; ZHANG, Yang. Enhanced volatile fatty acids production from anaerobic fermentation of food waste: A mini-review focusing on acidogenic metabolic pathways. **Bioresource Technology**, [s. l.], vol. 248, p. 68–78, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.121>.