

HIDROGÊNIO CARBONO NEUTRO OU NEGATIVO A PARTIR DE BIOMASSAS E BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL: UMA ANÁLISE WEBMÉTRICA *CARBON NEUTRAL OR NEGATIVE HYDROGEN FROM BIOMASS AND BIOFUELS IN BRAZIL: A WEBMETRIC ANALYSIS*

Autor(es): Natália Moreno Viana (1), Sérgio Saraiva Nazareno dos Anjos (2)
Filiação: (1) Bolsista da Embrapa Agroenergia, (2) Analista da Embrapa Agroenergia
E-mail: nataliamviana@gmail.com, sergio.saraiva@embrapa.br

Grupo de Trabalho (GT): GT4. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo

A segurança energética é um fator essencial para o desenvolvimento, prosperidade e qualidade de vida da sociedade ao fomentar o crescimento econômico e industrial e bem-estar social. Atualmente, as fontes fósseis não renováveis são as principais matérias-primas para produção de energia e que atendem à demanda de uma população cada vez maior no planeta. No entanto, o Antropoceno e a emissão de gases de efeito estufa são os vieses do uso de fontes fósseis, que culminaram no aumento da temperatura global. A assinatura do Acordo de Paris é um dos marcos para uma transição para uma economia de baixo carbono e que estimulou o desenvolvimento de tecnologias de produção de energia renovável, como o hidrogênio (H₂), que se destaca como potencial fonte de energia associada à descarbonização. Dada sua relevância agropecuária, o Brasil tem potencial estratégico para desenvolvimento de tecnologias para produção de hidrogênio a partir de biomassa. Publicações na mídia são ações de divulgação de projetos existentes e projeções futuras, sendo uma fonte de dados para subsidiar estudos de futuro e nortear decisões estratégicas para elaboração de projetos e articulação de parcerias. O objetivo deste trabalho é prospectar e apresentar biomassa divulgadas em artigos na mídia brasileira para desenvolvimento de tecnologias de produção de hidrogênio carbono neutro ou negativo. Foram recuperadas matérias jornalísticas que apresentam investimentos e tecnologias de produção de H₂ a partir de biomassas e produtos como os do mercado sucroalcooleiro (etanol, bagaço e vinhaça), resíduos animais, resíduos sólidos urbanos, biomassa algal, biomassa de agave e glicerol. Os resultados apontam destaque para produtos e resíduos da cadeia sucroalcooleira brasileira para desenvolvimento de soluções tecnológicas de H₂.

Palavras-chave: hidrogênio verde-musgo; segurança energética; matérias jornalísticas.

Abstract

Energy security is an essential factor for the development, prosperity and quality of life of society by promoting economic and industrial growth and social welfare. Currently, on-renewable fossil sources are the main raw materials for energy production and meet the demands of an ever-increasing population on the planet. However, the Anthropocene and the emission of greenhouse gases are the biases in the use of fossil sources, which culminated in the increase in global temperatures. The signing of the Paris Agreement is one of the milestones for a transition to a low-carbon economy and has stimulated the development of renewable energy production technologies, such as hydrogen (H₂), which stands out as a potential source of energy associated with decarbonization. Given its agricultural relevance, Brazil has strategic potential for developing technologies for hydrogen production from biomass. Publications in the media are actions to publicize existing projects and future projections, being a source of data to support future studies and guide strategic decisions for developing projects and articulating partnerships. The objective of this work is to prospect and present biomass published in articles in the Brazilian media for the development of carbon neutral or negative hydrogen production technologies. Articles recovered show present investments and H₂ production technologies from biomass and products such as those from the sugar and alcohol market (ethanol, bagasse and vinasse), animal waste, urban solid waste, algal biomass, agave biomass and glycerol. The results highlight products and waste from the Brazilian sugar and alcohol chain for the development of H₂ technological solutions.

Key words: moss-green hydrogen; energy security; journalistic articles

1. Introdução

A energia é um fator essencial para o desenvolvimento, prosperidade e qualidade de vida ao promover o crescimento econômico e industrial de países tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento, o que aumenta a demanda global por energia. A utilização global de energia, atualmente, provém majoritariamente de fontes fósseis não renováveis. Apesar da

contribuição de energias não renováveis no processo de crescimento econômico em diversos setores, seu uso exacerbado contribui de forma massiva com a emissão de gases de efeito estufa (ANSER et al., 2020; KARMAKER et al., 2022). Além da degradação ambiental, se o uso de combustíveis fósseis continuar como está atualmente, há risco de escassez energética dentro dos próximos 100 anos (KARMAKER et al., 2022). Os limites de uso econômico dos serviços ecossistêmicos foram excedidos e a prospecção de substitutos para produção de energia se tornou uma vantagem competitiva e em longo prazo (ANJOS e ALMEIDA, 2024).

As mudanças climáticas são um tópico de grande destaque na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas em prol da prosperidade da população e para o planeta, propondo 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) (LOPES, 2022). Dentre os 17 ODS, a segurança energética e redução das emissões de carbono se relacionam com os ODS 7 e 13, respectivamente, além de impactarem indiretamente em diversos outros objetivos. Com a ameaça das mudanças climáticas e crescente demanda energética, diversos países têm traçado estratégias para diminuir as emissões de carbono e a dependência de combustíveis fósseis, buscando a substituição por combustíveis provenientes de fontes renováveis (SGARBOSSA, et al., 2022).

O Brasil, por apresentar condições climáticas favoráveis e boa parte da matriz energética proveniente de fontes limpas, possui um papel fundamental para atender a crescente demanda mundial por fontes renováveis de energia e pelo controle na emissão de carbono, fatores que atraem investidores nacionais e internacionais com interesse na produção de hidrogênio (H_2) obtido a partir de fontes renováveis e limpas. O potencial agropecuário do Brasil reforça seu papel estratégico no aproveitamento de biomassa para produção de H_2 .

O hidrogênio (H_2) é um elemento abundante no planeta que ocorre essencialmente em combinação com outros elementos e tem se destacado como potencial fonte para facilitar a descarbonização por ser um elemento bastante reativo e por sua capacidade de gerar altas quantidades de energia sem emitir dióxido de carbono (CO_2) durante sua combustão (NAZIR et al., 2020; KARMAKER, et al., 2022). Além da geração de energia, o hidrogênio possui aplicação industrial em áreas como produção de amônia, metanol, aço e refino do petróleo (AMIN et al., 2023).

Muitos têm se falado na mídia a respeito de H_2 proveniente de biomassa, contribuindo com a divulgação de projetos existentes, projeções futuras, dentre outros aspectos desta cadeia produtiva. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é prospectar e apresentar biomassas divulgadas em artigos na mídia brasileira para desenvolvimento de tecnologias de produção de hidrogênio carbono neutro ou negativo.

2. Fundamentação Teórica

A segurança energética é um dos pilares da sobrevivência humana, a relação entre clima e energia é única e pode ser considerado um dos maiores impactos do Antropoceno¹ (CARLETON; HSIANG, 2016). Souza e Corazza (2017) apontam que as mudanças climáticas são tipificadas como um problema ambiental contemporâneo, sistêmico, cumulativo e complexo, com ciclos de retroalimentação entre causas e efeitos e altamente difícil de imputar a responsabilidade.

¹ Termo criado por Paul Cruztén, vencedor do Prêmio Nobel de Química de 1995, que pressupõe que os seres humanos têm papel na força geológica no planeta. Assim, o Antropoceno representa a atual era geológica diante do aparente colapso dos limites seguros do Planeta Terra e que culminou na desestabilização do clima e da integridade da biosfera (ARTAXO, 2014; ALCÂNTARA et al., 2021).

O Acordo de Paris é um dos marcos para acelerar a transição para uma economia de baixo carbono e desenvolvimento de tecnologias de produção de energia renovável e mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEE). Este Acordo assinado em 2015 durante a COP 21 (21ª Conferência das Partes, da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC) com três objetivos: limitar o aquecimento global médio abaixo de 2°C em relação à fase anterior à Revolução Industrial, com apontamentos para esforços que limitem o aumento da temperatura global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e impactos da mudança climática; estimular a resiliência climática e o desenvolvimento com baixas emissões de GEE com vistas à segurança alimentar; e adaptar contas nacionais e sistemas financeiros às ações de mitigação de GEE (MILANEZ et al., 2017; SOUZA e CORAZZA, 2017).

Em 2020, a temperatura na superfície do planeta aumentou em 1°C como resultado do aumento das emissões de GEE como o CO₂, e para evitar o agravamento do aquecimento, estima-se que cerca de 50-70% das emissões precisam ser reduzidas até 2050 (YAASHIKAA et al., 2023). Em 2022, a emissão de CO₂ cresceu em 0,9% ou 321 Mt, alcançando cerca de 36.8 Gt, sendo que os setores econômicos que mais emitem gases de efeito estufa são os de transporte (28%), energia elétrica (25%) e indústria (23%) (International Energy Agency, 2022; United States Environmental Protection Agency [s.d.]).

A predominância de combustíveis fósseis na geração energética mundial se destacou em 2020, representando 62% do total, enquanto as fontes renováveis de energia representaram 28% e a energia nuclear contou com 10% de participação. A expectativa para 2050 é uma inversão deste cenário, onde fontes renováveis irão representar 91% da matriz energética global (IRENA, 2023). A substituição de combustíveis fósseis pelo H₂ carbono neutro ou negativo nos diversos setores da economia pode contribuir significativamente com a redução das emissões de GEE e para uma transição energética sustentável (SHARMA et al., 2023; KARMAKER et al., 2022). Contudo, a rota produtiva de maior maturidade tecnológica e viabilidade econômica atualmente para a obtenção de hidrogênio é a reforma de combustíveis fósseis, emitindo cerca de 830 - 900 Mt de CO₂ anualmente durante o processo produtivo, contribuindo com os problemas ambientais e climáticos (AJANOVIC et al., 2022).

O H₂ produzido a partir de fontes não renováveis utiliza como fontes primárias no processo principalmente o gás natural, a partir da reforma a vapor do gás, e o carvão, que passa por um processo de gaseificação. Na rota produtiva onde aplica-se o processo de reforma do gás natural, o gás passa por um pré-tratamento e posteriormente é aquecido juntamente com vapor em um reformador, produzindo CO e H₂ como produtos (AMIN et al., 2022). A gaseificação do carvão é um processo em que qualquer fonte de hidrocarboneto é convertida em gás de síntese utilizando fontes como ar e oxigênio durante o processo. O processo envolve a reação de carvão com vapor e oxigênio em altas temperaturas, sendo convertido em gás de síntese e monóxido de carbono, e o gás de síntese processado para o isolamento do hidrogênio (AMIN et al., 2022; NAZIR et al., 2020). Apesar de serem processos poluentes, existem tecnologias de captura e sequestro de carbono em desenvolvimento com possibilidade de aplicação durante a produção com o intuito de reduzir as emissões de CO₂, que é capturado e armazenado no solo de forma que não há liberação para a atmosfera, no entanto, a utilização desta tecnologia pode elevar o preço do hidrogênio proveniente de fontes fósseis (AMIN et al., 2022).

Atualmente, o método produtivo mais viável economicamente é a reforma do gás natural, porém o custo produtivo de H₂ não renovável pode variar de acordo com o método utilizado. O Quadro 1 apresenta a variação dos custos de acordo com a rota produtiva.

Quadro 1: Estimativa de custos produtivos de diferentes fontes de hidrogênio não renovável

Método Produtivo	Custo (US\$/kgH ₂)
Reforma de Gás Natural	0,9 - 3,2
Gaseificação de Carvão	1,2 - 2,2

Fonte: AMIN et al., 2022.

Apesar de a reforma do gás natural ser a forma predominante na indústria para se obter H₂, nos últimos anos, houve aumento expressivo nas tecnologias de obtenção de H₂ renovável com baixa emissão de carbono com vistas ao cumprimento do Acordo de Paris. Atualmente, o principal método de obtenção de hidrogênio é a partir da reforma do gás natural proveniente principalmente da indústria petroquímica. Apesar de ser um processo de baixo custo, trata-se de um método poluente por ser derivado de fontes fósseis e emitir CO₂ (DASH et al., 2023).

No Brasil, de acordo com o Projeto de Lei nº 1878, de 2022, o H₂ produzido sem a emissão de CO₂ pode ser denominado “Hidrogênio Carbono Neutro ou Negativo” (BRASIL, 2022). Atualmente, a tecnologia produtiva mais madura de H₂ renovável é a de eletrólise de água alcalina, onde a água é dividida utilizando uma corrente elétrica e o hidrogênio é separado do oxigênio, utilizando recursos renováveis como fonte de eletricidade no processo, como energia eólica, solar e hidroelétrica. Além do processo de eletrólise, existem outras tecnologias envolvendo a divisão de água, como termólise e foto-eletrólise. (SHARMA et al., 2023; AJANOVIC et al., 2022).

Existe preocupação em relação à disponibilidade de água para o processo de eletrólise, dado que o processo demanda grandes quantidades de água (KANNAIYAN et al., 2023; SQUADRITO et al., 2023). Uma rota produtiva derivada de recursos renováveis que vem ganhando destaque é a partir do uso doméstico de biomassa, como resíduos florestais, agropecuários, orgânicos industriais ou urbanos, assim como a partir da reforma de biocombustíveis (KANNAIYAN et al., 2023; NAZIR et al., 2020). O Quadro 2 apresenta diferentes métodos de obtenção de H₂ renovável.

Quadro 2: Diferentes métodos de obtenção de hidrogênio carbono neutro ou negativo

Divisão de água		
Método	Fonte de energia utilizada	Processo
Eletrólise de água alcalina	Solar, eólica e hidroelétrica	Separação da molécula de água em hidrogênio e oxigênio
Termólise	Fluxo solar	Divisão da água em temperaturas em torno de 2500° C
Foto-eletrólise	Luz visível	Divisão de água pela carga gerada em um eletrodo semiconductor absorvendo luz visível
Biomassa/biocombustíveis		
Método	Fonte de energia utilizada	Processo

Termoquímico	Biomassa	Pirólise ou gaseificação da biomassa para geração H ₂ a partir de gases e bio-óleo resultantes do processo
Fotobiológico	Microrganismos fotossintéticos (cianobactérias, microalgas)	Energia solar e CO ₂ como estímulo de atividade biológica para o processo de hidrogenase
Digestão anaeróbica	Biomassa	Geração e reforma de biogás para obtenção de H ₂

Fonte: SHARMA et al., 2023; NAZIR et al., 2020.

O método de eletrólise de água é o mais popular dentre os processos que se utilizam de fontes renováveis, e comumente utiliza-se o termo “hidrogênio verde” para se referir ao hidrogênio obtido no processo. Já o hidrogênio obtido a partir de biomassa pode ser referido como “hidrogênio verde-musgo” e se mostra economicamente viável em locais onde há grande disponibilidade de resíduos agropecuários, florestais e culturas energéticas (SHARMA et al., 2023). Apesar do progresso na produção de hidrogênio renovável, existem desafios que prejudicam a competitividade com os combustíveis fósseis.

Os métodos produtivos atuais com base em recursos renováveis ainda possuem baixa eficiência de conversão, altos custos produtivos e baixo nível de maturidade tecnológica em escala TRL (*Technology Readiness Levels*) em comparação com o hidrogênio produzido atualmente em escala comercial, além de gargalos referentes a estrutura de transporte para longas distâncias e armazenamento (KANNAIYAN et al., 2023). O custo produtivo estimado de hidrogênio obtido via biomassa e biocombustíveis pode variar entre 1,34 - 4,7 US\$/kg, demonstrando ser economicamente mais viável do que o hidrogênio proveniente de outras rotas produtivas que utilizam fontes renováveis, como energia hidrelétrica, eólica e fotovoltaica para eletrólise de água, cujo custo produtivo pode alcançar 4,23 - 9,8 US\$/kg (YIN, WANG, 2022).

Em 2020, a demanda global por hidrogênio foi de 90 milhões de toneladas, com expectativa de alcançar 660 milhões de toneladas até 2050, sendo a China a maior demandante. Também há expectativa de redução no custo produtivo do hidrogênio, onde regiões como a América do Sul, algumas regiões do continente africano e o Oriente Médio apresentam um papel relevante na produção de hidrogênio renovável ou de baixo carbono, com custo produtivo variando entre 1,00 - 1,80 US\$/kg, podendo ficar abaixo de 1,00 US\$/kg em algumas regiões (Hydrogen Council; McKinsey & Company, 2022).

De acordo com o relatório mercadológico de PRNewswire (2022), a receita global de hidrogênio renovável alcançou USD 687,2 milhões em 2022 com CAGR (taxa de crescimento anual composta) de 62,6% entre 2023 e 2030. O relatório também aponta que a eletrólise de água alcalina é a forma mais utilizada mundialmente para obtenção de hidrogênio renovável e a fonte de energia mais utilizada no processo é a eólica, sendo a principal área industrial de aplicação o setor de transporte, com 46,3% de participação (PR Newswire, 2023).

Em 2022 o investimento global em hidrogênio foi de US\$1.1 bilhões, representando apenas 0,08% do total dos investimentos na transição energética apesar do interesse crescente pelo elemento, sendo que o continente americano foi o que mais contribuiu com 44% dos investimentos, seguido pela Ásia, representando 33% do total (Global Landscape of renewable energy finance, 2023) e sem representatividade do Brasil. São os principais players: Alemanha (Uniper SE); Espanha (Siemens Gamesa Renewable Energy, S.A.); EUA (Bloom Energy Corp., Cummins, Inc., Plug Power Inc); França (Air Liquide S.A., Engie S.A., Lhyfe); Irlanda (Linde Plc); Japão (Toshiba); Noruega (Nel ASA); e Nova Zelândia/Austrália (Hiringa Energy Limited) (PR Newswire, 2023).

3. Metodologia

Executou-se o método webométrico, que é um método de estudo de futuro sob o mesmo princípio de uma bibliometria (dados recuperados de documentos científicos) ou patentometria (dados recuperados de documentos patentários) e que analisa informações recuperadas do ambiente web, alinhados ou não à arquitetura da informação e com foco em fluxos, acessos e uso da informação (PRADO e NOGUEIRA, 2020). Assim, este estudo prospectivo tem caráter semiquantitativo e exploratório a partir de dados secundários coletados obtidos de busca ativa de artigos na mídia brasileira sobre produção de hidrogênio carbono neutro ou negativo a partir de biomassa (também conhecido como hidrogênio verde-musgo) no Brasil até 30/06/2023, sem distinção de periodicidade anterior.

Um estudo exploratório tem o papel de levantar dados preliminares que subsidiarão a elaboração de questões que nortearão estudos subsequentes e mais aprofundados e facilitarão no discernimento e a compreensão de um problema de pesquisa pretensão (PIZZINATTO; PIZZINATTO, 2012). O caráter exploratório é reforçado pelo aspecto qualitativo, que se torna basilar a percepção sobre o tema de pesquisa e melhor percepção de conceitos e cenários, que se torna basilar, que aplica ao estudo um paradigma fenomenológico (SILVA, 2023). Por fim, o uso de informações secundárias confere celeridade e baixo custo na coleta e análise de dados (PIZZINATTO; PIZZINATTO, 2012).

Segundo Conjo et al. (2021), a mídia desempenha um papel decisivo importante na formação da opinião pública. Publicações na mídia apresentam tanto as intenções futuras da instituição divulgadora quanto soluções tecnológicas em estágio mais avançado de desenvolvimento tecnológico, ajudando a compor cenários de adoção de tecnologias ou rumos científicos e tecnológicos do tema de interesse, sendo uma fonte de dados para decisões estratégicas para elaboração de projetos e articulação de parcerias (BELÉM et al., 2020).

4. Resultados e Discussão

O potencial de geração de energias renováveis atraiu investimentos nacionais e internacionais na produção de H₂ renovável no Brasil. Diversos países, com destaque para Alemanha, Austrália e França, demonstraram interesse no investimento em usinas para produção de H₂ no país, conforme demonstrado na Tabela 4. Cerca de 66% dos investimentos se concentram no Porto de Pecém (CE), fato que se dá pela região ser um ponto estratégico na geração de energia eólica e solar para o processo de eletrólise de água, além da conexão com o maior porto marítimo da Europa, fator que facilita a exportação.

Tabela 4: Investimentos em H₂ no Brasil

País	Empresa	Valores previstos (US\$)	Local de investimento
Alemanha	White Martins	Valor não informado	Porto do Pecém, Ceará
Alemanha	Linde	Valor não informado	Porto do Pecém, Ceará
Alemanha	Hytron	Valor não informado	Porto do Pecém, Ceará
Alemanha	Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ, <i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>)	39 milhões	Universidade Federal de Itajubá (Unifei), Minas Gerais
Alemanha	Siemens Energy	135,7 mil	Não informado
Austrália	Fortescue Future Industries	6 bilhões	Porto do Pecém, Ceará

Austrália	Energix Energy	5,4 bilhões	Porto do Pecém, Ceará
Austrália	Fortescue	3,2 bilhões	Porto do Açu, Rio de Janeiro
Brasil	Eneva	Valor não informado	Porto do Pecém, Ceará
Brasil	Diferencial Energia	Valor não informado	Porto do Pecém, Ceará
Brasil	H2helium Energia	Valor não informado	Porto do Pecém, Ceará
Brasil	Abreu e Lima (RNEST)	Valor não informado	Porto de Suape, Pernambuco
Brasil	Casa dos Ventos e Nexway	4 bilhões	Piauí
Brasil	Cummins New Power	33 milhões	São Paulo
Brasil	Unipar	19,4 milhões	Santo André, São Paulo
Canadá	AmmPower	Valor não informado	Espírito Santo
Espanha	Neoenergia	Valor não informado	Porto do Pecém, Ceará
Espanha	Neoenergia	Valor não informado	Porto de Suape, Pernambuco
França	Qair	6,95 bilhões	Porto do Pecém, Ceará
França	Engie	Valor não informado	Porto do Pecém, Ceará
França	TotalEnergies	Valor não informado	Porto do Pecém, Ceará
França	Qair	Valor não informado	Porto de Suape, Pernambuco
Países Baixos	Transhydrogen Alliance	2 bilhões	Porto do Pecém, Ceará
Portugal	EDP do Brasil	8 milhões	Porto do Pecém, Ceará
Reino Unido	Enterprize Energy	Valor não informado	Rio Grande do Norte

Fonte: OLIVEIRA, 2022.

Segundo levantamentos da EPBR (2023c), no total, estão previstos mais de US\$ 30 bilhões de investimentos em usinas de H₂ renovável no país até o momento. A Tabela 5 demonstra alguns projetos de hidrogênio verde que se mostram promissores e a capacidade produtiva da usina na primeira etapa do projeto. Ainda segundo a EPBR (2023c), as empresas Eletrobras Furnas, EDP e a parceria entre as empresas Shell, Raízen, Hytron e Toyota investiram valores menores em projetos de H₂ verde em escala piloto, com operação já iniciada, conforme a Tabela 6. Apesar de a maioria dos investimentos possuírem foco no hidrogênio obtido via eletrólise de água, o projeto-piloto já em andamento que abrange a cooperação entre as empresas Shell, Raízen, Hytron e Toyota opera com a produção de hidrogênio renovável seguindo a rota produtiva da reforma do etanol (RAÍZEN, 2023).

Tabela 5: Projetos promissores de H₂ verde no Brasil

Empresa	Estado	Investimento	Produção de hidrogênio verde (toneladas/ano)	Produção de amônia/amônia verde	Capacidade de eletrólise (primeira fase do projeto)	Capacidade de energia eólica offshore	Início previsto	Operação plena
Unigel	Bahia	US\$ 1,5 bilhão	100 mil	600 mil toneladas/ano	60 MW	-	2023	2027
Qair	Pernambuco	US\$ 3,9 milhões	488 mil	198 mil toneladas/ano	2,2 GW	-	2025	2032
Qair	Ceará	US\$ 6,9 bilhões	488 mil	-	2,2 GW	1,2 GW	-	-
Casa dos Ventos	Ceará	US\$ 4 bilhões	365 mil	2,2 milhões de toneladas/ano	2,4 GW	-	2026	2030
Fortescue	Ceará	US\$ 6 bilhões	15 milhões (meta global)	-	-	-	2025	2027
AES	Ceará	US\$ 2 bilhões	-	800 mil toneladas/ano	2 GW	-	-	-
White Martins	Pernambuco	-	156 t	-	-	-	2022	-

Fonte: EPBR, 2023c.

Tabela 6: Investimento em projetos-piloto em H₂ verde no Brasil

Empresa	Estado	Investimento	Produção de hidrogênio verde	Produção de amônia/amônia verde	Capacidade de geração de energia	Capacidade de eletrólise	Início	Operação plena
Eletrobras Furnas	Goiás/Minas Gerais	R\$ 45 milhões	Aproximadamente 1,5 tonelada	-	1 MW	-	2021	-
EDP	Ceará	R\$ 42 milhões	250 nm ³ /h	-	-	3MW	2022	2024
Shell/Raizen/Hytron/Toyota	São Paulo	R\$ 50 milhões	390 toneladas/ano	-	-	-	2023	-

Fonte: EPBR, 2023c.

Além dos investimentos em H₂ verde, estão em andamento projetos que buscam extrair a molécula de hidrogênio a partir de biomassa (hidrogênio verde-musgo), que se mostra como uma oportunidade para o Brasil devido à alta disponibilidade de resíduos agropecuários no país. Em busca ativa na mídia brasileira, foram encontrados projetos nacionais que obtiveram H₂ verde-musgo de fontes como: vinhaça de cana-de-açúcar, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos animais, resíduos sólidos urbanos, biomassa algal, biomassa de agave, glicerol e etanol (Tabela 7).

Tabela 7: Estudos sobre hidrogênio obtido através de biomassas e biocombustíveis

Empresa mencionada	Local do investimento/estudo	Biomassa/bioproduto mencionada	Fonte
EDP Brasil	Ceará	Água residual da indústria de cana-de-açúcar	INBEC Pós-graduação (2021)
MELE (empresa alemã)	Paraná	Resíduos animais	EPBR (2023a)
Geo Biogás & Tech	São Paulo (Ribeirão Preto)	Torta de filtro e vinhaça	Geo Biogás & Tech (2022)
Universidade Federal de Santa Catarina	Santa Catarina	Bactérias da “zona morta” da Lagoa da Conceição (projeto)	Notícias UFSC (2016)
Universidade Federal do Ceará	Ceará	Glicerol e água residual	EPBR (2023b)
Universidade Estadual do Ceará	Ceará	Resíduos alimentícios, resíduos agropecuários, alguns resíduos industriais etc.), através de processos anaeróbios	Universidade Estadual do Ceará (2022)
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia + SHELL	Bahia	Biomassa de agave (projeto)	Acorda Cidade (2023)
Neuman & Esser	Minas Gerais	Cana-de-açúcar	NovaCana (2023)
Universidade Estadual de Campinas	São Paulo	Etanol	Click Petróleo e Gás (2023)
TerraMares	Rio Grande do Sul	Microalgas	Um Só Planeta - Globo (2023)
Sanepar/Copel	Paraná	Resíduos das subestações da Sanepar (projeto)	AEN Paraná (2023)

O estudo de Viana et al. (2023) prospectou biomassas e biocombustíveis mais recorrentes em projetos de PD&I no Brasil. Tanto este estudo quanto o de Viana et al. (2023) obtiveram resultados semelhantes a partir de fontes documentais diferentes. A biomassa da

cana-de açúcar e etanol foram as fontes mais recorrentes, podendo indicar que potencial nessas fontes na produção de H₂. Outras fontes renováveis que ganharam destaque no estudo de Viana et al. (2023) foram biogás, microalgas e resíduos agropecuários, o que condiz com as biomassas recorrentes nos investimentos da Tabela 7.

Tanto o estudo de Viana et al. (2023) quanto o projeto-piloto em andamento entre as empresas Shell, Raízen, Hytron e Toyota mencionada por Raízen (2023) apontam para um fortalecimento da cadeia sucroalcooleira na produção de H₂ carbono neutro ou negativo no esquema de biorrefinaria, já que promoveria a criação de novas cadeias de valores e geraria empregos (BERNARDO et al., 2020). Além disso, o Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de etanol e o mercado apresenta tendência de crescimento entre 2,3% e 4,5% entre 2018 e 2030, particularmente com as ações de fortalecimento do mercado de energias renováveis, alinhado com o Acordo de Paris (SOARES e ZUKOWSKI JUNIOR, 2021). Mesmo com o destaque para produtos da cadeia sucroalcooleira, é premente o estímulo à diversificação de biomassas para menor dependência de um segmento industrial e para atender disponibilidades regionais, diminuindo os riscos de queda de produção e balança comercial desfavorável que impactarão no mercado brasileiro de H₂ (SANTOS et al., 2022).

5. Considerações Finais

Dado o potencial de descarbonização da produção de energia, o mercado global de hidrogênio carbono neutro ou negativo está aquecido e com vários players com soluções tecnológicas em diferentes estágios de maturidade tecnológica. A tecnologia predominante ainda é a eletrólise da água, por ser uma tecnologia dominada, com destaque para a atuação de empresas internacionais e financiamento de projetos com recursos internacionais.

O uso de biomassa na produção de H₂ se destaca diante do potencial agropecuário do Brasil e, com isso, a abundância de biomassas em potencial. A indicação do uso de produtos e resíduos da cadeia sucroalcooleira (etanol, bagaço e vinhaça) como fontes de H₂, que foram confirmadas por Viana et al. (2023) em projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em andamento no Brasil, permitem agregar valor ao setor sucroalcooleiro nacional.

O destaque dos produtos da cadeia sucroalcooleira, no entanto, não deve limitar a execução de projetos para aproveitamento de outras biomassas resíduos animais, resíduos sólidos urbanos, biomassa algal e de agave e glicerol para diversificar fontes e privilegiar a disponibilidade regional de produtos e resíduos e diminuir a eventual dependência de uma única fonte.

6. Referências Bibliográficas

ACORDA CIDADE. **Pesquisadores da UFRB Feira estudam planta para produção de biocombustíveis.** 25/01/2023. Disponível em:

<<https://www.acordacidade.com.br/noticias/educacao/pesquisadores-da-ufrb-feira-estudam-planta-para-producao-de-biocombustiveis/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

AEN PARANÁ. **Estado busca novos investimentos em sustentabilidade em reunião com agência japonesa.** 09/03/2023. Disponível em: <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Estado-busca-novos-investimentos-em-sustentabilidade-em-reuniao-com-agencia-japonesa>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

AJANOVIC, A.; SAYER, M.; HAAS, R. The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 47, n. 57, 4 mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>. Acesso em: 4 dez. 2023.

ALCÂNTARA, V. C.; YAMAMOTO, E. A. F. S.; GARCIA, A. S.; CAMPOS, A. C. Antropoceno: o Campo de Pesquisas e as Controvérsias sobre a Era da Humanidade. **Revista**

- Gestão & Conexões**, Vitória, v. 9, n. 3, p. 11–31, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.47456/regec.2317-5087.2020.9.3.31771.11-31>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- AMIN, M.; SHAH, H. H.; BASHIR, B.; IQBAL, M. A.; SHAH, U. H.; ALI, M. U. Environmental Assessment of Hydrogen Utilization in Various Applications and Alternative Renewable Sources for Hydrogen Production: A Review. **Energies**, v. 16, n. 11, p. 4348–4348, 26 maio 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16114348>. Acesso em: 4 dez. 2023.
- AMIN, M.; SHAH, H. H.; FAREED, A. G.; KHAN, W. U.; CHUNG, E.; ZIA, A.; FAROOQI, Z. U. R.; LEE, C. Hydrogen production through renewable and nonrenewable energy processes and their impact on climate change. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 47. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.172>. Acesso em: 4 dez. 2023.
- ANJOS, S. S. N. dos; ALMEIDA, A. N. de. Food Security and its Connection With Environmental Economics and Accounting: A Bibliometric Analysis. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, Miami, v. 18, n. 3, e04190, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n3-010>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 13-24, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p13-24>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- ASNER, M. K.; HANIF, I.; ALHARTI, M.; CHAUDHRY, I. S. Impact of fossil fuels, renewable energy consumption and industrial growth on carbon emissions in Latin American and Caribbean economies. **Atmosfera**, Cidade do México, v. 33, n. 3, p. 201-213, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20937/atm.52732>. Acesso em: 3 dez. 2023.
- BELÉM, D. de L.; BRAGA, M.; ALMEIDA, J. R. M. de. Análise evolutiva dos ácidos carboxílicos de base biológica na indústria internacional. In: ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 6., 2020, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 246-253. il. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218204/1/Ana769lise-evolutiva-dos-a769cidos-carboxi769licos-2020.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- BERNARDO, J.; GÍRIO, F.; ROCHA, I.; COELHO, N.; NOREIRA, N.; BARRADAS, G.; PASCOAL-NETO, C.; Brito, P. BIOREF : Laboratório colaborativo para as biorrefinarias. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENERGIA SOLAR, 13., 2020, Lisboa. **Anais...** Lisboa: LNEG, 2020. p. 727-734. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.9/3423>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 1878, de 2022**. Ementa: Cria a Política que regula a produção e usos para fins energéticos do Hidrogênio Verde. 2022. Disponível em: <<https://shorturl.at/EMNV7>>. Acesso em 24 set. 2023.
- CARLETON, T., A.; HSIANG, S. M. Social and economic impacts of climate. **Science**, xxxx, v. 353, n. 6304, 09/09/2016. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aad9837>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- CONJO, M. P. F.; CHICHANGO, D. B.; JESUS, O. M. de. O papel da mídia na divulgação de informação sobre mudanças climáticas em Moçambique. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 7, n. 11, p. 1635–1654, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v7i11.3237>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- DASH, S. K.; CHAKRABORTY, S.; ELANGO VAN, D. A Brief Review of Hydrogen Production Methods and Their Challenges. **Energies**, v. 16, n. 3, p. 1141, 20 jan. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16031141>. Acesso em: Acesso em: 3 dez. 2023.
- EPBR. **Cooperativas vão produzir derivados de H2V com biogás no Paraná**. 20/01/2023 (2023a). Disponível em: <<https://epbr.com.br/cooperativas-vao-produzir-derivados-de-hidrogenio-verde-com-biogas-no-parana/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

- EPBR. **Oito projetos brasileiros de hidrogênio verde receberão subsídio alemão.** 28/02/2023 (2023b). Disponível em: <<https://epbr.com.br/oito-projetos-brasileiros-de-hidrogenio-verde-receberao-subsidio-alemao/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- EPBR. **Hidrogênio verde: 10 projetos promissores em desenvolvimento no Brasil.** 26/04/2023 (2023c). Disponível em: <<https://epbr.com.br/hidrogenio-verde-conheca-10-projetos-promissores-em-desenvolvimento-no-brasil/>>.
- GEO BIOGAS & TECH. **Brasil produz hidrogênio verde a partir da cana-de-açúcar em feito inédito.** 24/05/2022. Disponível em: <<https://www.geobiogas.tech/noticias/brasil-produz-hidrogenio-verde-a-partir-da-cana-de-acucar-em-feito-inedito>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- HYDROGEN COUNCIL; MCKINSEY & COMPANY. **Global Hydrogen Flows: Hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonization.** 2022. Disponível em: <https://hydrogencouncil.com/en/global-hydrogen-flows-2023-update>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- INBEC PÓS-GRADUAÇÃO. **Primeira molécula de Hidrogênio Verde produzida no Brasil é lançada no Ceará.** 24/01/2021. Disponível em: <<https://inbec.com.br/blog/primeira-molecula-hidrogenio-verde-produzida-brasil-lancada-ceara>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **CO2 Emissions in 2022 – Analysis.** Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Global Landscape of renewable energy finance.** 2023. Disponível em: <<https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/Global-landscape-of-renewable-energy-finance-2023>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway.** International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- KANNAIYAN, K.; LEKSHMI, G. S.; RAMAKRISHNA, S.; KANG, M.; KUMARAVEL, V. Perspectives for the green hydrogen energy-based economy. **Energy**, v. 248, e129358, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129358>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- KARMAKER, S. C.; CHAPMAN, A.; SEN, K. K.; HOSAN, S.; SAHA, B. B. et al. Renewable Energy Pathways toward Accelerating Hydrogen Fuel Production: Evidence from Global Hydrogen Modeling. **Sustainability**, v. 15, n. 1, e588, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15010588>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- LOPES, M. A. **Descarbonização e circularidade: respostas dos sistemas alimentar e agroindustrial aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2022. 82 p. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 47) ODS. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/243700/1/DOC47-final.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- MILANEZ, A. Y.; MANCUSO, R. V.; GODINHO, R. D.; POPPE, M. K. O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da Plataforma para o Biofuturo. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 45, p. 285-340, 2017. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/11756>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- NAZIR, H.; LOUIS, C.; JOSE, S. et al. Is the H2 economy realizable in the foreseeable future? Part I: H2 production methods. **International journal of hydrogen energy**, v. 45, 2020.
- NOTÍCIAS UFSC. **Projeto busca bio-hidrogênio na “zona morta” da Lagoa da Conceição.** 08/06/2016. Disponível em: <<https://noticias.ufsc.br/2016/06/projeto-busca-bio-hidrogenio-na-zona-morta-da-lagoa-da-conceicao/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- NOVACANA. **Brasileiros criam dispositivo que vai transformar etanol em hidrogênio e ajudar a reduzir o uso de combustíveis fósseis, aliado à sustentabilidade em carros**

elétricos. 14/03/2023. Disponível em: <<https://clickpetroleogas.com.br/brasileiros-criam-dispositivo-que-vai-transformar-etanol-em-hidrogenio-e-ajudar-a-reduzir-o-uso-de-combustiveis-fosseis-aliado-a-sustentabilidade-em-carros-eletricos/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

OLIVEIRA, R. C. PANORAMA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea** 2022. <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf>

PIZZINATTO, N. K.; PIZZINATTO, A. K. Projetos de pesquisa aplicadas de marketing. In: PIZZINATTO, N. K.; FARAH, O. E. (org). **Pesquisa pura e aplicada para marketing: processos e aplicações.** São Paulo: Atlas, 2012. p. 39-55.

PR Newswire. **Green Hydrogen Market to Hit \$8,120.8 Million by 2030: Cognitive Market Research.** Disponível em: <<https://www.prnewswire.co.uk/news-releases/green-hydrogen-market-to-hit-8-120-8-million-by-2030-cognitive-market-research-301750549.html>>.

PRADO, M. A. R. do; NOGUEIRA, E. C. T. Da bibliometria à altmetria: primeiras aproximações. In: GRÁCIO, M. C. C.; MARTÍNEZ-ÁVILA, D.; OLIVEIRA, E. F. T. de; ROSAS, F. S. (Org.). **Tópicos da bibliometria para bibliotecas universitárias.** 1. ed. – Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2020.

RAÍZEN. **Shell, Raízen, Hytron, USP e SENAI formam parceria para conversão de etanol em hidrogênio renovável.** 2023. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/sala-de-imprensa/shell-raizen-hytron-usp-e-senai-formam-parceria-para-conversao-de-etanol-em-hidrogenio-renovavel>>. Acesso em: 13 out. 2023.

SANTOS, A. C. dos; ANJOS, S. S. N. dos; BRAGA, M.; VIANA, N. M.; SOARES, I. P. Aplicação industrial de óleos vegetais em biocombustível: um estudo prospectivo e análise de sinais para apontar tendências de mercado. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 39, n. 2, e26995, 2022. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1145473/1/ACSantos-Cadernos-de-CT.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

SHARMA, M.; PRAMANIK, A.; BHOWMICK, G. D.; et al. Premier, Progress and Prospects in Renewable Hydrogen Generation: A Review. **Fermentation** 2023, 9, 537. <<https://doi.org/10.3390/fermentation9060537>>.

SILVA, B. S. **A Liderança Ética e a influência na promoção do Bem-Estar dos trabalhadores: Um estudo exploratório intersetorial.** 2023. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Humanos). Escola de Economia e Gestão, Universidade do Minho, Minho. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1822/88949>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

SOARES, A. A.; ZUKOWSKI JUNIOR, J. C. O Brasil como grande player no mercado mundial de etanol. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, ano XXX, nº 3, p. 57-71, 2021. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1649>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 42, p. 52-80, 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/51298>>. Acesso em: 23 mar. 2024.

SQUADRITO, G.; MAGGIO, G.; NICITA, A. The green hydrogen revolution. **Renewable Energy**, v. 216, p. 119041, 1 nov. 2023.

UM SÓ PLANETA - GLOBO. **Biotech que fabrica insumos para o campo a partir de microalgas estuda agora produção de hidrogênio verde.** 01/05/2023. Disponível em: <<https://umsoplaneta.globo.com/energia/noticia/2023/05/01/biotech-que-fabrica-insumos-para-o-campo-a-partir-de-microalgas-estuda-agora-producao-de-hidrogenio-verde.ghtml>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Sources of Greenhouse Gas Emissions**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>>.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ. **Pesquisas da Uece na trilha do hidrogênio verde**. 06/10/2022. Disponível em: <<https://www.uece.br/noticias/pesquisas-da-uece-na-trilha-do-hidrogenio-verde/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

VIANA, N. M.; ARAÚJO, A. R. de; SCHULTZ, E. L.; SANTOS, A. C. dos; GAMBETTA, R.; ANJOS, S. S. N. dos. Biomassas e biocombustíveis competitivos para estruturação do mercado brasileiro de hidrogênio carbono neutro ou negativo. In: ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 7., 2023, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF : Embrapa, 2023. p. 243. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1158347/1/Biomassa-e-biocombustiveis.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.

YAASHIKAA, P. R.; KUMAR, P. S.; SARAVANAN, A.; KARISHMA, S.; RANGASAMY, G. A biotechnological roadmap for decarbonization systems combined into bioenergy production: Prelude of environmental life-cycle assessment. **Chemosphere**, v. 329, e138670, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138670>. Acesso em: 20 nov. 2023.

YIN, Y.; WANG, J., Production of biohydrogen. In: CASTRO, F. I.; GUTIÉRREZ-ANTONIO, C. **Biofuels and Biorefining**, Elsevier, 2022, p. 283-337.