



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
PIAUÍ CAMPUS PICOS
CURSO LICENCIATURA EM QUÍMICA**

JOSÉ LUIS GONÇALVES RIBEIRO

**PERSPECTIVA SOBRE HIDROGÊNIO VERDE NO NORDESTE
BRASILEIRO: UM ESTUDO DA ARTE**

**PICOS - PI
2024**

JOSÉ LUIS GONÇALVES RIBEIRO

**PERSPECTIVA SOBRE HIDROGÊNIO VERDE NO NORDESTE
BRASILEIRO: UM ESTUDO DA ARTE**

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Química
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Picos.

Orientadora: Prof.^a Ma. Katrícia Maria Feitosa
Cardoso.

Coorientador: Prof. Me. Francisco de Assis Pereira
Neto

PICOS - PI

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PICOS
COORDENAÇÃO DE BIBLIOTECA
SERVIÇO DE PROCESSOS TÉCNICOS

Ribeiro, José Luis Gonçalves

R484p Perspectiva sobre hidrogênio verde no nordeste
brasileiro: um estudo da arte / José Luis Gonçalves Ribeiro. —
2024.
34 f.

Monografia (Graduação em Licenciatura em Química) —
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí,
Picos, 2024.

Orientadora: Prof.^a Ma. Katricia Maria Feitosa Cardoso.
Coorientador: Prof. Me. Francisco de Assis Pereira Neto.

1. Energia - Fontes alternativas. 2. Recursos renováveis. 3.
Hidrogênio verde. I. Título.

CDD: 333.794

JOSÉ LUIS GONÇALVES RIBEIRO

**PERSPECTIVA SOBRE HIDROGÊNIO VERDE NO NORDESTE
BRASILEIRO: UM ESTUDO DA ARTE**

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Química
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Picos.

Aprovada em: 26/09/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ma. Katrícia Maria Feitosa Cardoso (Orientadora).
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Me. Francisco de Assis Pereira Neto (Coorientador).
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Esp. Josiel da Silva Valadão
Secretária de Educação do Piauí (SEDUC)

Aos pais e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos e desafios encontrados ao longo da graduação.

Agradeço a minha mãe, Iraci, e ao meu pai, Pedro, aos meus irmãos, Raila e William e aos meus sobrinhos, Kluyvert, Williane e Pietro, que me incentivaram nos momentos de dificuldade e compreenderam a minha ausência durante a construção deste trabalho, aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram ter os conhecimentos necessários no meu processo de formação profissional.

Ao Instituto Federal do Piauí Campus Picos, ao qual foi minha segunda casa por 4 anos e meio, sou grato pelo apoio e oportunidades a mim oferecidos.

A minha orientadora, Prof.^a Ma. Katrícia Maria Feitosa, pela brilhante orientação e paciência ao longo do desenvolvimento deste trabalho e ao meu Coorientador, Prof. Me. Francisco de Assis Pereira Neto.

E por fim e não menos importante, aos meus colegas de turma, Géssica, Wellington e Aylla, pelos momentos de apoio e descontração. A todos o meu muito obrigado, sem vocês essa conquista não seria possível.

RESUMO

Este trabalho analisa as perspectivas do hidrogênio verde no nordeste brasileiro através de uma revisão bibliográfica. Assim o objetivo geral foi realizar uma revisão bibliográfica sobre a produção de hidrogênio verde no nordeste brasileiro. Os objetivos específicos foram: analisar o potencial de produção de H₂V no nordeste brasileiro, levando em consideração as fontes de energias renováveis disponíveis nessa região e avaliar seu impacto ambiental e econômico; investigar as tecnologias disponíveis que são mais viáveis para a produção do H₂V; identificar os principais desafios e perspectivas para a implementação da produção de H₂V no nordeste brasileiro, levando em consideração o financiamento e infraestrutura e tratar sobre o H₂V. A metodologia foi uma análise bibliográfica, através de artigos científicos e bases como Google Acadêmico e Science Direct. Foram selecionados 3 artigos que estavam concernentes com os critérios de inclusão estabelecidos. Por meio desses autores pôde-se concluir que a busca pelo hidrogênio verde no Nordeste brasileiro representa uma oportunidade significativa na transição energética, mas também traz desafios complexos relacionados à propriedade da terra e aos direitos das comunidades locais. Espera-se que o hidrogênio verde contribua para um futuro sustentável, que será crucial para estabelecer um equilíbrio entre os interesses econômicos e a proteção dos direitos das comunidades, assegurando que essa nova indústria não perpetue a marginalização, mas, ao contrário, fomente a inclusão e o desenvolvimento social na região.

Palavras-chave: Hidrogênio verde; Nordeste Brasileiro; Recursos renováveis.

ABSTRACT

This work analyzes the perspectives of green hydrogen in the Brazilian northeast through a bibliographical review. Thus, the general objective is to carry out a literature review on the production of green hydrogen in northeastern Brazil. The specific objectives were: to analyze the potential for H₂V production in northeastern Brazil, taking into account the renewable energy sources available in this region and to evaluate its environmental and economic impact; investigate the available technologies that are most viable for H₂V production; identify the main challenges and perspectives for the implementation of H₂V production in northeastern Brazil, taking into account funding and infrastructure and addressing H₂V. The methodology was a bibliographic analysis, through scientific articles and bases such as Google Academic and Science Direct. Three articles were selected that were concerned with the inclusion criteria established. Through these authors it was possible to conclude that the search for green hydrogen in the Brazilian Northeast represents a significant opportunity in the energy transition, but also brings complex challenges related to land ownership and the rights of local communities. that green hydrogen contributes to a sustainable future, waitting will be crucial to strike a balance between economic interests and the protection of community rights, ensuring that this new industry does not perpetuate marginalization, Instead, promote social inclusion and development in the region.

Keywords: Green hydrogen; Brazilian Northeast; Renewable resources.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Total de adições de capacidade renovável (2002-2022)	16
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Arco-íris da classificação do hidrogênio em escala de cores	2
--	---

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GEE	Gases de efeito estufa
H2V	Hidrogênio Verde
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IRENA	International Renewable Energy Agency
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional
UNFCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Problemática da energia mundial.....	15
2.2	Problemas energéticos no Brasil.....	16
2.3	Energias renováveis.....	16
2.4	Tipos de Hidrogênio.....	20
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O sistema energético global enfrenta vários desafios técnicos, sociais e econômicos, bem como problemas de acessibilidade e segurança energética devido às alterações climáticas. Isso porque esse ramo foi o que teve como principal recurso 34% das emissões mundiais de gases de efeito estufa (GEE) em 2019, os quais colaboram para o aumento da temperatura global (IPCC, 2022).

Com o intuito de estimular um resultado positivo a nível global e impulsionar os desempenhos e os meios indispensáveis para um futuro sustentável de economia descarbonizada, na 21ª conferência das partes COP 21 da UNFCCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, em inglês, *United Nations Framework Convention on Climate Change* ou UNFCCC), em Paris, foi aprovada por 196 países parte do UNFCCC (UNFCCC, 2023b), o acordo de Paris, com a finalidade de diminuir emissões de gases do efeito estufa o (GEE) no ambiente do desenvolvimento sustentável. O trato acontece com o propósito de limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais, rebatendo deste modo o perigo de efeitos climáticos com maior intensidade (UNFCCC, 2023b).

Para que o objetivo do acordo de Paris seja alcançado faz-se necessário descarbonizar uma enorme parte do sistema energético mundial, no qual ainda necessita imensamente de combustíveis fósseis poluentes. Dessa forma, torna-se imprescindível a implementação em larga escala de fontes de energia renováveis, com a necessidade de uma abordagem integrada e sistemática. É fundamental que os setores que demandam energia, como o transporte e a indústria, também sejam descarbonizados de maneira abrangente. (IEA, 2019).

As energias renováveis, sendo elas, energia solar, eólica, hidráulica, biomassa, geotérmica e maremotriz surgem de recursos naturais, como a água, o vento e o sol, e são capazes de serem reabastecidas ou renovadas de forma contínua, essas fontes renováveis são sustentáveis porque não se esgotam e tem menor impacto ambiental em comparação com as fontes de energia não renováveis. Assim, ressalta-se que o Brasil se destaca no mundo pela sua formação na área de energias renováveis, onde a geração de eletricidade renovável no Brasil representa 83 % da matriz elétrica brasileira (Governo Federal, 2020).

Nessa perspectiva de energias renováveis, tem-se o hidrogênio verde, onde o hidrogênio, é o elemento químico mais simples, com átomos contendo um próton e

um elétron. É abundante no universo, e desempenha um papel crucial na química e na física. O hidrogênio aparece como uma ampla aposta de descarbonização para o futuro da energia, tem poder de transferir e acumular uma enorme quantidade de energia. (Zohuri, 2019). Mas, por encontrar-se esporadicamente acessível na natureza, encontram-se raras jazidas naturais, deve ser feito a começar dos compostos que inclui origens fóssil (carvão, óleo ou gás natural) de biomassa ou de água. Deste modo, é conhecido como uma fonte secundária ou vetor de energia, de forma semelhante à eletricidade (Zohuri, 2019).

A busca por alternativas sustentáveis na matriz energética tem se destacado globalmente como resposta às crescentes preocupações ambientais e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. No contexto brasileiro, o Nordeste destaca-se como uma região promissora para a adoção de tecnologias inovadoras, sendo crucial avaliar o potencial de produção de hidrogênio verde.

Ademais, o Brasil apresenta uma posição de destaque para se tornar um grande produtor e exportador de hidrogênio de baixo carbono, especificamente no Piauí destaca-se pelo ambiente ecologicamente correto que promove a produção de hidrogênio verde, aumentando sua posição como grande gerador de energia renovável. Além disso, o cenário político com foco em atrair investimentos, a cooperação com universidades locais, pesquisadores e oportunidades de formação de pessoal local também contribuem para um cenário favorável (G1, 2023)

Esta pesquisa visa, por meio de uma revisão bibliográfica, analisar as condições climáticas, a disponibilidade de recursos renováveis e a infraestrutura necessária, com o propósito de contribuir estrategicamente para a transição energética sustentável no nordeste brasileiro. Diante do exposto o seguinte questionamento orienta o desenvolvimento deste estudo:

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) visa avaliar o potencial de produção de hidrogênio verde no Nordeste brasileiro, considerando condições climáticas, disponibilidade de recursos renováveis e infraestrutura necessária. Essa análise busca entender como esses fatores impactam a viabilidade dessa fonte de energia e contribuir para a transição energética sustentável da região. Através de uma revisão bibliográfica, o TCC abordará o tema "Perspectiva sobre Hidrogênio Verde no Nordeste Brasileiro: Um Estudo da Arte", destacando o hidrogênio verde produzido por eletrólise com energia renovável, como solar ou eólica, como uma solução limpa e sustentável. A escolha do tema reflete a necessidade global de alternativas

energéticas sustentáveis e a diversificação da matriz energética brasileira.

O Trabalho de conclusão de curso mostra-se relevante, pois possui importância global, assim a pesquisa abordará uma problemática energética global, relacionada às mudanças climáticas e à necessidade urgente de transição para fontes de energia mais limpas e renováveis pois trata de soluções inovadoras para desafios globais, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, através do estudo do potencial de produção de hidrogênio verde no Nordeste Brasileiro. Isso contribui para diversificar a matriz energética do Brasil, reduzir a dependência de fontes não renováveis e influenciar políticas públicas para promover energias renováveis, impulsionando o desenvolvimento sustentável.

Este trabalho tem uma grande importância, uma vez que ao se inserir no contexto da pesquisa, pode se beneficiar economicamente e socialmente com a adoção de tecnologias relacionadas à produção de hidrogênio verde. O desenvolvimento de projetos nessa área pode gerar oportunidades de emprego, atrair investimentos e posicionar o lugar como um polo de inovação e sustentabilidade no campo energético. Como também a implementação de soluções baseadas em hidrogênio verde pode contribuir para a redução das emissões locais de poluentes, melhorando a qualidade do ar e promovendo um ambiente mais saudável para os habitantes.

Em resumo, a pesquisa sobre o potencial de produção de hidrogênio verde no Nordeste Brasileiro é relevante globalmente, importante para a diversificação da matriz energética do Brasil e pode ter impactos significativos no desenvolvimento econômico e sustentável, contribuindo para o enfrentamento dos desafios relacionados à energia e meio ambiente

Sendo assim o objetivo geral da pesquisa foi: realizar uma revisão bibliográfica sobre a produção de hidrogênio verde no nordeste brasileiro. E como objetivos específicos: analisar o potencial de produção de H₂V no nordeste brasileiro, levando em consideração as fontes de energias renováveis disponíveis nessa região e avaliar seu impacto ambiental e econômico; investigar as tecnologias disponíveis que são mais viáveis para a produção do H₂V; identificar os principais desafios e perspectivas para a implementação da produção de H₂V no nordeste brasileiro, levando em consideração o financiamento e infraestrutura para a potencialização do H₂V.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

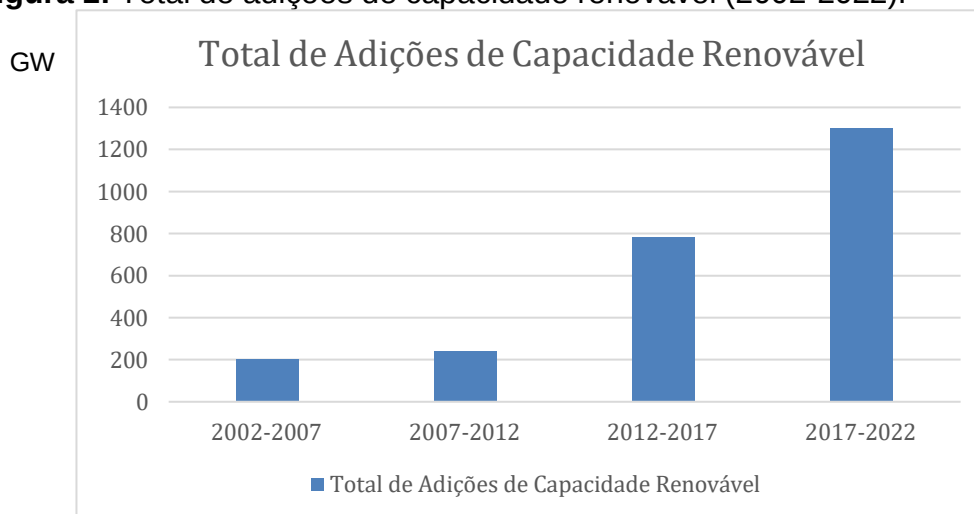
2.1 Problemática da energia mundial

De acordo com a administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA, 2022), foi o sexto ano mais quente já registrado, com a temperatura média de 1,06 °C superior à do período pré-industrial. Além do aumento da temperatura da terra as mudanças climáticas também são evidenciadas pelo derretimento das geleiras e da cobertura de neve, pela elevação do nível do mar pela ocorrência mais frequente de eventos extremos e pela acidificação dos oceanos (Lindsey; Dahlman; Blunden, 2023).

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), para limitar o esquentamento a 1,5 °C, as emissões de gases de efeito estufa devem atingir zero até meados do século, ou seja, deve ser alcançado um equilíbrio entre as emissões de gases de efeito estufa e a remoção de carbono da atmosfera (IPCC, 2022).

Neste contexto, a busca pela redução das emissões poluentes intensificou a difusão das energias renováveis (Figura1). Segundo a agência Internacional de Energia, (AIE) a ampliação da capacidade de geração de energia renovável deverá aumentar em quase 2.400 GW entre 2022 e 2027, uma aceleração de 85% em comparação com os últimos 5 anos. Este crescimento deve-se principalmente à implementação de políticas governamentais e reformas regulatórias e de mercado e a introdução de novas políticas energéticas (AIE, 2022c).

Figura 1: Total de adições de capacidade renovável (2002-2022).



Fonte: AIE, (2022a)

A produção de energia renovável pode variar amplamente, incluindo energia eólica e solar. As flutuações na produção de energia gerada por fontes intermitentes devem ser compensadas para conservar o equilíbrio entre oferta e procura na rede elétrica, o que exige um aumento na capacidade de armazenamento de energia despachável. O hidrogênio pode ser utilizado nesta circunstância, armazenando energia e garantindo a resiliência do sistema energético (Coleman et al., 2020).

2.2 Problemas energéticos no Brasil

Embora a energia hidrelétrica prossiga sendo a principal fonte de geração de eletricidade no Brasil, a recente sequência de secas severas destacou a alta dependência do país dessa forma de energia. Embora haja benefícios em termos de emissões de gases de efeito estufa, mas a falta de chuva expôs a fragilidade do sistema elétrico brasileiro, isso levou à necessidade de uma grande reformulação para resolver o problema. As principais preocupações do século atual são as mudanças climáticas e a segurança energética. As fontes de energia renovável não convencionais não são consistentes, já que sua disponibilidade está sujeita à localização geográfica e às condições climáticas. Além disso, a implementação dessas fontes demanda extensas áreas de terra (Bondarik; Pilatti; Horst, 2018).

2.3 Energias renováveis

O Brasil apresenta uma ampla gama de climas e uma das biodiversidades mais significativas do planeta. Isso confere ao país uma vantagem relativa em comparação com outras nações no que diz respeito à disponibilidade de recursos naturais. No entanto, ao mesmo tempo, o Brasil enfrenta desafios em seu sistema de gerenciamento, os principais desafios estão: governança e regulação: a falta de coordenação entre diferentes níveis de governo e agências reguladoras pode levar a uma gestão fragmentada e ineficaz dos recursos naturais e energéticos. a sobreposição de responsabilidades e a falta de uma política clara e integrada podem comprometer a sustentabilidade; deficiência na infraestrutura: a infraestrutura inadequada, como sistemas de transporte e armazenamento, limita a eficiência na exploração e distribuição de recursos. isso pode causar desperdícios e impactos ambientais indesejados; desmatamento e degradação ambiental: o desmatamento, especialmente na Amazônia, e a degradação dos ecossistemas afetam a capacidade

do Brasil de manter a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos essenciais. A exploração de recursos sem considerar esses impactos pode comprometer a sustentabilidade a longo prazo; conflitos de interesse: a pressão por desenvolvimento econômico pode entrar em conflito com a necessidade de proteção ambiental. Os interesses de diferentes setores, como a agricultura, a mineração e a energia, podem levar a decisões que priorizam crescimento econômico em detrimento da sustentabilidade; capacidade institucional: a insuficiência de recursos e a falta de treinamento adequado para profissionais em órgãos responsáveis pela gestão ambiental podem resultar em fiscalização inadequada e na implementação insuficiente de políticas de proteção ambiental; falta de dados e monitoramento: a ausência de dados precisos e atualizados dificulta a avaliação real dos impactos ambientais e a eficácia das políticas de gestão. O monitoramento deficiente compromete a capacidade de tomar decisões informadas e de responder rapidamente a problemas emergentes; envolvimento das comunidades locais: a falta de participação e consulta com comunidades locais e povos indígenas pode levar a uma gestão que não considera as necessidades e conhecimentos tradicionais desses grupos, prejudicando a sustentabilidade e a justiça social e mudanças climáticas: a gestão de recursos enfrenta desafios adicionais devido às mudanças climáticas, que podem alterar padrões de disponibilidade de água, de biodiversidade e de produtividade agrícola, exigindo uma adaptação contínua das políticas e práticas de gerenciamento (EPE, 2013).

A ampliação e progresso das energias renováveis não apenas impulsionam o crescimento econômico do Brasil, mas também contribuem para a mitigação dos impactos ambientais, destacando sua posição de liderança em um cenário internacional e evidenciando sua competitividade em relação a nações mais desenvolvidas. A ampliação e o progresso das energias renováveis têm um impacto considerável na mitigação dos impactos ambientais associados às fontes de energia tradicionais. A principal contribuição é a redução das emissões de gases de efeito estufa. As fontes de energia convencionais, como carvão e petróleo, liberam grandes quantidades de dióxido de carbono e outros gases que contribuem para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Em contraste, fontes renováveis como a solar e a eólica produzem eletricidade com emissões mínimas ou nulas de gases de efeito estufa, ajudando a diminuir a pegada de carbono do setor energético e a combater as mudanças climáticas (EPE, 2013).

Além disso, as energias renováveis ajudam a reduzir a poluição do ar e da água. A geração de energia a partir de combustíveis fósseis está associada à emissão de poluentes atmosféricos, como enxofre e nitrogênio, que afetam a qualidade do ar e têm efeitos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Esses processos também podem contaminar recursos hídricos durante a extração e o uso dos combustíveis. As energias renováveis, como a solar e a eólica, não produzem poluentes durante sua operação, o que reduz significativamente o impacto ambiental em comparação com as usinas térmicas.

Outro aspecto importante é a preservação da biodiversidade. A extração e o uso de combustíveis fósseis frequentemente levam à destruição de habitats naturais, afetando a fauna e a flora locais. Por outro lado, a instalação de tecnologias renováveis pode ser realizada de maneira a minimizar esses impactos. Por exemplo, a colocação de painéis solares e turbinas eólicas pode ser feita em áreas já degradadas ou com planejamento para reduzir a interferência em ecossistemas naturais. A redução da degradação do solo e da água é outro benefício das energias renováveis. A exploração de combustíveis fósseis pode causar degradação significativa do solo e poluição da água devido à mineração e aos processos de extração. Energias renováveis, em geral, têm um impacto menor sobre esses recursos. Por exemplo, a energia solar e eólica não requer grandes volumes de água e não envolve processos de mineração que possam comprometer a qualidade do solo e da água (EPE, 2013).

As energias renováveis diminuem a dependência de recursos não renováveis. A exploração intensiva de combustíveis fósseis pode levar ao esgotamento desses recursos e aos problemas ambientais associados à sua extração. As fontes renováveis, como o sol e o vento, são praticamente inesgotáveis no horizonte temporal humano, o que reduz a pressão sobre os recursos naturais não renováveis e contribui para uma economia mais sustentável e equilibrada. A expansão das energias renováveis não só impulsiona o crescimento econômico, mas também desempenha um papel crucial na proteção ambiental, oferecendo uma alternativa mais limpa e sustentável às fontes de energia convencionais (EPE, 2013).

Seguindo a perspectiva global, assegurar a produção de energia em consonância com as preocupações ambientais sendo elas a emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes atmosféricos, o esgotamento de recursos naturais não renováveis, como o petróleo e o carvão, tem se firmado como um dos principais desafios contemporâneos. Atualmente, a questão premente em escala global reside

no aquecimento do planeta e explorando alternativas para obter energia de maneira mais ambientalmente amigável (Silva e Carmo, 2017).

Dessa forma, o hidrogênio é reconhecido como um componente essencial no contexto da descarbonização e expansão das energias renováveis intermitentes, graças à sua capacidade de armazenar, converter e transportar energia. No entanto, é importante ressaltar que a produção de hidrogênio pode originar-se de diversas fontes primárias de energia, sendo as emissões de CO₂ associadas ao método de produção empregado (Ajanovic; Sayer; Haas, 2022).

Existem também outras maneiras de produzir hidrogênio com baixo teor de carbono, tais como, o hidrogênio “turquesa” que é gerado por meio da pirólise de combustíveis fósseis e tem um subproduto sólido, “o negro de fumo²”, o hidrogênio “rosa” gerado por energia nuclear, e hidrogênio feito a partir da gaseificação de biomassa com CCS (Ajanovic; Sayer; Haas, 2022). No entanto o foco desse estudo foi o H₂V.

Deste modo, a *International Renewable Energy Agency* (IRENA), em 2018, destaca o hidrogênio verde, gerado a partir de fontes renováveis e eletrólise, como um combustível que viabiliza o transporte versátil de energia sustentável. Devido à sua produção livre de emissões de CO₂, o hidrogênio verde demonstra uma capacidade técnica para descarbonizar setores industriais, de transporte e de energia. Como resultado, porções crescentes de energia renovável podem ser integradas ao sistema energético global, contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Irena, 2018).

O hidrogênio oferece diversas aplicações potenciais, podendo ser utilizado tanto como meio de transporte de energia final quanto transformado em diferentes formas, como metano, gás de síntese, combustíveis líquidos, eletricidade, amônio ou metanol (Thema; Bauer; Sterner, 2019). O hidrogênio pode ser empregado em células de combustível para gerar calor e eletricidade em pequenas unidades, sistemas móveis de energia para abastecimento de redes telefônicas ou como geradores de emergência. Minicélulas de combustível também servem como substitutos eficazes para baterias em dispositivos eletrônicos, como notebooks. Além disso, o hidrogênio verde pode ser utilizado para aquecer fornos industriais em setores como vidro, cimento e aço (Rodrigues; Souza; Tambor, 2019).

O hidrogênio como combustível não emite poluentes durante a combustão, produzindo apenas água como subproduto. Isso o torna uma alternativa ideal ao

carvão, petróleo e gás natural nos setores de transporte e indústria. Na forma comprimida, o hidrogênio possui alta densidade energética, o que o torna adequado para transporte em longas distâncias por terra ou mar. Pode ser queimado diretamente ou convertido em eletricidade por meio de células de combustível. Entre as aplicações móveis estão carros de passageiros com células de combustível de hidrogênio verde, ônibus urbanos e outros meios de transporte público movidos a hidrogênio, além de caminhões, bondes, locomotivas, navios e aviões. O hidrogênio também pode servir como matéria-prima para combustíveis sintéticos, potencialmente revolucionando vários setores de transporte com menor impacto ambiental e climático (Carvalho et al., 2021).

2.4 Tipos de Hidrogênio

Ao que diz respeito aos tipos de hidrogênio pode-se afirmar que é frequentemente citado na literatura por cores, citadas na tabela abaixo, dependendo da sua procedência e da eventual ligação de tecnologias de captura, aplicação e sequestro de carbono, de modo a diminuir seu rastro de carbono.

Tabela 1: Arco-íris da classificação do hidrogênio em escala de cores

Cor do Hidrogênio	Método de Produção	Fontes de Energia	Emissões de CO ₂	Características e Usos
Hidrogênio Cinza	Reformagem de gás natural (Steam Methane Reforming)	Gás natural	Alta (emissões significativas de CO ₂)	Mais comum e barato, porém menos sustentável.
Hidrogênio Azul	Reformagem de gás natural com captura e armazenamento de CO ₂	Gás natural	Baixa (CO ₂ é capturado e armazenado)	Reduz emissões comparado ao hidrogênio cinza, mas ainda depende de fósseis.
Hidrogênio Verde	Eletrolise da água utilizando energia renovável	Energia solar, eólica, hidrelétrica	Nenhuma (zero emissões de CO ₂)	Mais sustentável, ideal para uma transição energética limpa.
Hidrogênio	Reformagem de	Gás	Moderada	Produce carbono sólido em

Turquesa	metano com pirólise	natural	(emissão de carbono sólido)	vez de CO ₂ , potencialmente útil para sequestrar carbono.
Hidrogênio Amarelo	Eletrólise da água utilizando energia elétrica não-renovável	Energia elétrica da rede elétrica	Alta (devido às emissões da geração elétrica)	Menos sustentável devido ao uso de energia não renovável.
Hidrogênio Roxo	Eletrólise da água utilizando energia nuclear	Energia nuclear	Nenhuma (emissões indiretas muito baixas)	Utiliza energia nuclear, apresenta baixo impacto ambiental direto.
Hidrogênio Branco	Reformagem de gás natural com captura e armazenamento de CO ₂ e utilização de recursos geotérmicos	Gás natural, energia geotérmica	Baixa (reduz emissões através de uso de energia limpa e captura de CO ₂)	Metodologia em desenvolvimento, combina características de várias tecnologias.

Legenda:

CCUS - *Carbon Capture* (Captura, utilização e armazenamento de carbono) CO₂ - Gás Carbônico

Fonte: Adaptado de (EPE, 2021)

O hidrogênio, por ser um gás incolor, recebe diferentes denominações de cor dependendo do método de produção utilizado. Essas denominações incluem hidrogênio cinza, azul, marrom/preto, turquesa, além de branco e rosa. Cada uma dessas cores reflete a fonte de energia empregada na produção do gás. No entanto, o hidrogênio verdadeiramente sustentável é aquele isento de CO₂, conhecido como H₂V, e é produzido exclusivamente a partir de energias renováveis (Osman et al., 2021).

O hidrogênio verde refere-se à produção de hidrogênio utilizando energia renovável, como a solar ou eólica, para realizar a eletrolise da água. Esse processo cria hidrogênio de forma sustentável, sem emissão de carbono, sendo considerado uma alternativa mais sustentável em comparação com métodos tradicionais de produção de hidrogênio. Assim diz que a produção de hidrogênio verde é fundamentada na eletrólise da água por meio da utilização de energia renovável, como a proveniente de fontes solares, eólicas e hidrelétricas. Esse processo eletrolítico ocorre em dispositivos conhecidos como eletrolisadores, nos quais a aplicação de

corrente elétrica gera um fluxo de elétrons entre os eletrodos imersos em uma solução aquosa. No cátodo, ocorre a produção de hidrogênio, enquanto no ânodo é gerado oxigênio (Abdalla et al., 2018).

Além disso, o hidrogênio verde apresenta significativas vantagens como armazenamento de energia e fonte de energia. Primeiramente, não depende de combustíveis fósseis como matéria-prima, tornando-se uma fonte de energia ecologicamente amigável. Em segundo lugar, sua produção não gera gases de efeito estufa prejudiciais, terceiro, a eletricidade excedente, que não pode ser integrada à rede, pode ser convertida em hidrogênio, permitindo assim um armazenamento a longo prazo. Por fim, no processo *"power-to-x"*, é possível produzir gás combustível ecológico (*"power-to-gas"*) ou combustível sintético (*"power-to-liquid"*) a partir do hidrogênio verde (Osman et al., 2021).

A Agência Internacional de Energia prevê que até 2030, o custo do hidrogênio verde poderá diminuir entre 30% e 50%. Essa redução está condicionada à diminuição do custo da eletricidade proveniente de fontes renováveis, assim como à crescente relevância do hidrogênio verde nas políticas energéticas. As projeções para os combustíveis sintéticos, que são derivados do hidrogênio verde, também são otimistas (IEA, 2019).

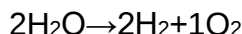
Carvalho et al. (2021) ressaltam a viabilidade da produção de hidrogênio verde no Brasil por meio da eletrólise da água, utilizando eletricidade gerada a partir de fontes renováveis, especialmente energia eólica e solar. O país beneficia-se de extensas áreas com alta irradiação solar e velocidades de vento favoráveis em especial na região nordeste do Brasil, tornando a energia eólica e a energia solar fotovoltaicas traz opções economicamente atrativas em escala global.

Além disso, fatores como investimentos mais baixos e custos de integração na rede inferiores à média global, devido à significativa participação da energia hidrelétrica, contribuem para essa viabilidade. Como é conhecido, as usinas hidrelétricas demonstram eficiência na gestão da variabilidade de curto prazo na produção renovável. As regulamentações locais também promovem e incentivam o uso de energias renováveis.

Os resultados de Kelman et al. (2020) sugerem que o Brasil tem o potencial de se tornar uma potência na produção de hidrogênio verde tanto para o mercado interno quanto para possíveis exportações, incluindo destinos como a Europa.

A produção de hidrogênio verde é realizada principalmente através da eletrólise

da água, um processo que utiliza eletricidade gerada a partir de fontes renováveis para separar a água em seus elementos constituintes: hidrogênio e oxigênio. A reação química para a eletrólise da água é a seguinte:



1. Eletrólise da Água:

- Reação Global: A água (H_2O) é dividida em hidrogênio gasoso (H_2) e oxigênio gasoso (O_2).

- Equação Química:

- Anodo (Oxidação): Na reação de oxidação que ocorre no ânodo, a água é oxidada para formar oxigênio, liberando elétrons. $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

- Catodo (Redução): Na reação de redução que ocorre no cátodo, os íons hidrogênio (H^+) capturam elétrons para formar hidrogênio gasoso. $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$

Durante o processo, a eletricidade fornecida por fontes renováveis, como solar, eólica ou hidroelétrica, é usada para impulsionar essas reações eletroquímicas, produzindo hidrogênio verde de forma sustentável e sem emissões de CO_2 .

A localização estratégica do Estado do Piauí, no nordeste do Brasil, destaca-se por sua proximidade com estados vizinhos e o Oceano Atlântico. Essa posição o torna um ponto crucial de conexão regional, facilitando o comércio e a logística com outras partes do país. Além disso, sua posição costeira oferece acesso direto às rotas marítimas internacionais, favorecendo o intercâmbio comercial com países ao redor do mundo. Assim, a geografia do Piauí não apenas impulsiona seu desenvolvimento econômico, como também reforça sua importância no cenário nacional e internacional.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho foi fundamentado em uma abordagem de pesquisa bibliográfica, na qual foi realizado uma revisão extensiva da literatura pertinente ao tema, buscando consolidar e analisar as contribuições já existentes. Foi realizado uma análise crítica da literatura existente sobre o tema em questão, na qual buscou sintetizar, organizar e interpretar as informações disponíveis, proporcionando uma compreensão abrangente do estudo atual do conhecimento na área escolhida.

A presente pesquisa foi realizada em algumas etapas:

Na etapa 1 foi feito a delimitação do tema, bem como o problema de pesquisa, já na etapa 2 foi realizado o levantamento de trabalhos acadêmicos e artigos científicos em bases de dados para fazer leituras e estudos dos mesmos, após isso foi dado início a etapa 3, na qual foi traçado os objetivos, geral e específicos, após fazer os estudos desses artigos foi avaliado o potencial de produção de hidrogênio verde no nordeste brasileiro, por meio da análise das fontes de energias renováveis existentes nessa região. Isso envolveu a identificação e caracterização das fontes renováveis disponíveis, a quantificação de sua capacidade de geração de energia, e a posterior avaliação do potencial de produção de hidrogênio verde com base nessas fontes sustentáveis.

Dessa forma foi examinado o impacto ambiental e econômico decorrente do emprego de hidrogênio verde no nordeste brasileiro por meio de uma revisão bibliográfica. Essa abordagem incluiu a identificação e seleção criteriosa de fontes relevantes, a análise minuciosa de estudos e relatórios existentes sobre o tema, a compilação e síntese de dados relativos aos aspectos ambientais e econômicos do uso de hidrogênio verde na região, e a elaboração de conclusões embasadas a partir dessas informações revisadas.

De modo que foi feito uma avaliação para identificar as tecnologias mais promissoras e economicamente viáveis para a produção de hidrogênio verde, por meio de uma abordagem sistemática que envolve revisão bibliográfica,. Foram analisado os desafios e perspectivas associados à implementação da produção de hidrogênio verde na região nordeste do Brasil, com enfoque específico nos aspectos de financiamento e infraestrutura.

Foi realizado uma busca em bases de dados acadêmicas, no GOOGLE ACADÊMICO, SCIENCE DIRECT, análises de artigos científicos, monografias e livros,

que abordam sobre produção de hidrogênio verde em nível nacional e mundial.

Os critérios de inclusão foram: artigos dentro da faixa temporal de 2019 a 2024, que estivessem concernentes com o tema, os objetivos e as palavras-chave estabelecidas. E como critérios de exclusão foram retirados artigos com duplicidade, fora da faixa temporal e artigo que não estivessem alinhados aos critérios de inclusão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultados foram selecionados 3 artigos que condiziam com o tema e que seus respectivos autores estão em concordância com os critérios de inclusão estabelecidos.

O artigo 1: BEZERRA, Francisco Diniz. Hidrogênio Verde: Oportunidade para o Nordeste. Ano 8. Nº 320. Dezembro. **Caderno Setorial – ETENE**. 2023

O artigo 2: ROCHA, F. de A.; POMPEU, G. V. M. A neoindustrialização verde na cadeia produtiva do hidrogênio de baixo carbono no Estado do Ceará. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, [S. l.], v. 22, n. 5, p. e4577, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n5-067.

O artigo 3: PEREIRA, L. O Nordeste brasileiro como fronteira do neoextrativismo partir da energia eólica. Realize, 2021.

No artigo 1, Bezerra (2023) destaca que a transição energética, combinada com a necessidade de segurança no fornecimento de energia, deu origem ao movimento chamado powershoring. Esse movimento se refere à realocização de empresas que consomem grandes quantidades de energia, criando oportunidades para regiões que possuem vantagens comparativas na produção de energias limpas e renováveis, como o Nordeste brasileiro. Entretanto, muitos países, especialmente os europeus, enfrentarão dificuldades para realizar a transição energética e alcançar uma economia de baixo carbono sem depender da importação de grandes quantidades de energia limpa e renovável. Nesse cenário, regiões com a capacidade de produzir energia renovável a custos acessíveis se tornarão mais competitivas para estabelecer plantas de H2V voltadas para exportação. A agenda de sustentabilidade tem levado diversas empresas a buscarem a produção de produtos sustentáveis, gerando oportunidades para o uso de fontes renováveis de energia e H2V em suas operações. Diante dessa realidade, a indústria nacional poderá se beneficiar com o aumento dos mercados interno e externo para produtos sustentáveis. Reconhecendo essas oportunidades, vários países têm implementado seus planos nacionais de hidrogênio de baixo carbono e H2V, visando se posicionar como protagonistas nessa nova indústria, resultando em uma verdadeira corrida contra o tempo. Entre as iniciativas relevantes, destaca-se a aprovação nos Estados Unidos do Inflation Reduction Act (IRA), que apresenta um pacote de incentivos totalizando US\$ 433 bilhões, com US\$ 369 bilhões direcionados a programas de segurança energética e mudanças climáticas (Arbache

e Esteves, 2023). Em resposta a essa iniciativa americana, a União Europeia lançou o Green Deal Industrial Plan, que inclui ações para melhorar o ambiente regulatório, financiamento, capacitação de mão de obra e facilitação do comércio. Além dos Estados Unidos e da União Europeia, mais de 30 países já implementaram seus planos nacionais de hidrogênio de baixo carbono ou hidrogênio verde, todos ressaltando a importância dessa indústria para suas metas de descarbonização e crescimento econômico. O Nordeste possui vantagens competitivas para a geração de energia a partir de fontes renováveis a custos relativamente baixos, o que favorece a atração de investimentos em H2V, como demonstram vários memorandos de entendimento (MoU) firmados entre governos estaduais da região e parceiros nacionais e internacionais. No entanto, caso o Brasil e os estados nordestinos não adotem medidas ágeis para criar um ambiente favorável aos negócios na implantação de projetos de H2V, poderão perder a oportunidade de se inserir no mercado global de hidrogênio. Se essa indústria emergente se concretizar, poderá trazer enormes possibilidades de investimentos, tributos, empregos e renda, especialmente no Nordeste.

No artigo 2, Rocha e Pompeu (2024) enfatizam que adotar a ética ambiental como diretriz para as matrizes energética e elétrica é essencial, considerando a importância da sustentabilidade para o Estado democrático e o desenvolvimento das energias renováveis, incluindo a produção de hidrogênio verde ou de baixo carbono. Isso envolve a segurança nas etapas de eletrólise, bem como no armazenamento, transporte e descomissionamento de fornecedores que respeitem a sustentabilidade socioambiental. Como consequência, o percurso traçado sob novos paradigmas da indústria verde estabelece um caminho firme na cadeia produtiva do hidrogênio de baixo carbono, sinalizando que não há retorno possível na transição energética global, que busca novas formas de produção sem emissões de carbono. O hidrogênio verde tem o potencial de reforçar a independência, segurança e resiliência energética, diminuindo a dependência de importações, a volatilidade dos preços e aumentando a flexibilidade do sistema energético. Contribuir para que os países em desenvolvimento implementem tecnologias e desenvolvam indústrias de hidrogênio pode ajudar a evitar o crescimento da lacuna global de descarbonização, promovendo equidade e inclusão por meio da criação de cadeias de valor locais, indústrias sustentáveis e empregos em nações ricas em recursos renováveis. Assim, novos modais energéticos são introduzidos como ferramentas para uma justiça que também leve em conta as

questões ecológicas e climáticas, em consonância com a economia e o desenvolvimento sustentável.

No artigo 3 Pereira (2021) ainda enfatiza que o avanço da fronteira do neoextrativismo para a geração de energia renovável emerge como uma característica essencial na atual disputa global por terras. Narrativas e legislações são formuladas para justificar e legitimar a apropriação de terras dentro da lógica do capital, assegurando a acumulação mesmo em períodos de crises mais agudas. As crises ambiental e climática são frequentemente utilizadas como pretextos para desenvolver soluções verdes que se baseiam em serviços ambientais. Nesse cenário, o Nordeste do Brasil se destaca como uma região promissora para a exploração dos ventos com o intuito de produzir energia elétrica. Contudo, para a instalação desses empreendimentos, a terra é um recurso crucial, pois é necessário um substrato físico para a instalação dos aerogeradores. Essas terras não são vazias, mas sim territórios ocupados por comunidades camponesas, indígenas e outros povos tradicionais, que não veem a terra como uma mercadoria. Frequentemente, esses espaços são considerados pelos agentes hegemônicos do capital como áreas desocupadas, adequadas para a expansão da fronteira do neoextrativismo. Nesse contexto, o papel do Estado é vital, uma vez que, além de identificar áreas potencialmente adequadas para a construção de parques eólicos — processo que é realizado por meio da elaboração de atlas (nacional e estadual) —, ele cria narrativas e regulamentos que justificam e facilitam a atuação do capital através da energia considerada renovável. Por exemplo, na Bahia, foi aprovada a Instrução Normativa Conjunta n. 01/2020, que trata da regularização fundiária de terras devolutas com potencial para geração de energia eólica. O Estado apresenta essa Instrução Normativa como um avanço para as comunidades tradicionais, especialmente as de Fundo e Fecho de Pasto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da revisão bibliográfica realizada sobre as perspectivas do hidrogênio verde no nordeste brasileiro, é possível destacar algumas conclusões significativas. O estudo tem a finalidade de identificar se a região apresenta um potencial considerável para a produção desse combustível limpo, impulsionado pela abundância de recursos renováveis, como solar e eólico, que são essenciais para a geração de energia necessária à eletrólise.

Nas quais essas tecnologias disponíveis para a produção de H₂V foram minuciosamente analisadas, identificando aquelas mais alinhadas com as características específicas do nordeste brasileiro. A diversificação das opções tecnológicas e a adaptabilidade às condições regionais emergirão como fatores-chave para o sucesso desses projetos.

Além disso, o estudo ressaltou a importância de uma estrutura regulatória sólida e atualizada para orientar o desenvolvimento desses projetos, fornecendo diretrizes claras e incentivando a conformidade com padrões ambientais e sociais. As implicações socioambientais também foram abordadas, evidenciando a necessidade de avaliações de impacto robustas para garantir que a implementação do hidrogênio verde contribua não apenas para a transição energética, mas também para o desenvolvimento sustentável e inclusivo da região.

Em síntese, as perspectivas do hidrogênio verde no nordeste brasileiro são promissoras, mas demandam uma abordagem holística e colaborativa. Este estudo fornece uma base sólida para orientar decisões futuras, destacando as oportunidades e desafios inerentes à busca por uma matriz energética mais limpa e sustentável na região nordeste do Brasil. Em suma, a crescente busca por terras para a implementação de projetos de energia renovável, especialmente no contexto do neoextrativismo, evidencia a complexa interseção entre interesses econômicos e as realidades sociais das comunidades locais. O Nordeste do Brasil, com seu potencial eólico, se torna um alvo estratégico nessa corrida, mas essa exploração frequentemente ignora os direitos e saberes das comunidades camponesas, indígenas e tradicionais.

A atuação do Estado, ao criar normas que facilitam a apropriação de terras, revela uma dinâmica que prioriza o capital em detrimento das necessidades e aspirações locais. Para que a transição para energias renováveis seja

verdadeiramente sustentável, é essencial que haja uma valorização das vozes e dos direitos dos povos afetados, promovendo uma abordagem inclusiva que respeite a terra como um bem comum e não como uma mercadoria. Apenas assim será possível construir um futuro energético que não apenas respeite, mas também integre as diversidades culturais e sociais que compõem o tecido da sociedade brasileira.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, A. M. et al. Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: a review. **Energy Conversion and Management**, v. 165, p. 602-627, 2018.

AIE. **Renewables 2022**. Paris: [s. n.], 2022c.

AJANOVIC, A.; SAYER, M.; HAAS, R. The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 47, n. 57, p. 24136–24154, 2022.

Disponível em:

Acesso em: 17 jan. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2011a. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15287**: informação e documentação: Trabalho de conclusão de curso: apresentação. Rio de Janeiro, 2011b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2003. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento: apresentação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6027**: informação e documentação: sumário: apresentação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012b. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028**: informação e documentação: resumo: apresentação. Rio de Janeiro, 2003. 2 p.

BONDARIK, Roberto; PILATTI, Luiz Alberto; HORST, Diogo José. **Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil**. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/339/33957861002/33957861002.pdf>.

Acesso em: 16 jan. 24.

BRASIL. Governo Federal. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira**. Gov.br. 21 de 01 de 2020. www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira

Acesso em: 12 de jan. 2024).

BEZERRA, Francisco Diniz. Hidrogênio Verde: Oportunidade para o Nordeste. Ano 8. Nº 320. Dezembro. **Caderno Setorial – ETENE**. 2023

CARVALHO, F. et al. Prospects for carbon-neutral maritime fuels production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 326, p. 129385, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621035691> Acesso em: 18 jan. 2024.

COLEMAN, D. et al. The value chain of green hydrogen for fuel cell buses – A case study for the Rhine-Main area in Germany. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 45, n. 8, p. 5122–5133, 2020. Disponível em: Acesso em: 16 jan. 24.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Hidrogênio azul**: produção a partir da reforma do gás natural com CCUS. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/notas-tecnicas-dedicadas-ao-hidrogenio-cinza-e-ao-hidrogenio-azul>. Acesso em: 12 jan. 2024

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional, Rio de Janeiro. Ministério de Minas e Energia do Brasil, p. 16, 2013.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The future of hydrogen**. Paris: IEA, 2019. Disponível em: . <https://bit.ly/3OMZx0M> Acesso em: 12 jan. 2024

IEA. The Future of Hydrogen. **International Energy Agency**, [s. l.], June 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>. Acesso em 17 jan. 2024.

INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos do IFPI**. Teresina: IFPI, 2021. Disponível em: <https://www.ifpi.edu.br/area-do-estudante/bibliotecas/ManualdeNormalizaodeTrabalhosAcadmicosdoIFPI.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

IPCC. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. . Cambridge, Reino Unido e Nova York, EUA: [s. n.], 2022.

IRENA. **Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition**. Abu Dhabi: [s. n.], 2018.

KELMAN, R. et al. Can Brazil Become a Green Hydrogen Powerhouse? **Journal of Power and Energy Engineering**, [s. l.], v. 8, p. 21-32, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/56071> Acesso em: 18 jan. 2024.
LIMA, Izabella. **Mais de R\$ 60 bilhões serão aplicados na produção de Hidrogênio Verde: 'maior investimento da história do PI**: Piauí é considerado um ambiente propício para a produção de hidrogênio verde por ter condições climáticas favoráveis, facilidades na zona de processamento de exportação e incentivos fiscais atrativos.. [S. l.], 28 nov. 2023. Disponível em:
<https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2023/11/28/mais-de-r-60-bilhoes-serao-aplicados-na-producao-de-hidrogenio-verde-maior-investimento-da-historia-do-pi.ghtml>

Acesso em: 12 jan. 2024

LINDSEY, Rebecca; DAHLMAN, Luann; BLUNDEN, Jessica. **Climate Change: Global Temperature**. [S. l.], 2023. Disponível em: [https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature#:~:text=Earth's%20temperature%20has%20risen%20by,0.18%C2%B0%20C\)%%20per%20decade](https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature#:~:text=Earth's%20temperature%20has%20risen%20by,0.18%C2%B0%20C)%%20per%20decade). Acesso em: 13 jan. 2024

OSMAN, A. I. et al. Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review. **Environmental Chemistry Letters**, [s. l.], vol. 20, p. 1-36, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-021-01322-8>. Acesso em: 17 jan. 2024.

PEREIRA, L. O Nordeste brasileiro como fronteira do neoextrativismo partir da energia eólica. Realize, 2021. Disponível em:
https://editorarealize.com.br/editora/anais/enanpege/2021/TRABALHO_COMPLETO_EV154_MD1_SA133_ID374202102021232043.pdf

Acesso em: 21 set. 2024.

REIS, Alcenir Soares dos; FROTA, Maria Guiomar da Cunha. **Guia básico para a elaboração do Trabalho de conclusão de curso**. Belo Horizonte, MG: UFMG, [200-]. Disponível em: <https://www.ufmg.br/proex/cpinfo/educacao/docs/06a.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

RODRIGUES, R. P.; SOUZA, J. E. S.; TAMBOR, J. H. M. As células de combustível de hidrogênio: suas aplicações no sistema energético global em equilíbrio com o meio ambiente. **Brasil Para Todos - Revista Internacional**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 21-34, 2019. Disponível em: https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais_Sem_Int_Etn_Racial/article/view/607. Acesso em: 19 jan. 2022.

ROCHA, F. de A.; POMPEU, G. V. M. A neoindustrialização verde na cadeia produtiva do hidrogênio de baixo carbono no Estado do Ceará. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [S. l.], v. 22, n. 5, p. e4577, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n5-067. Disponível em:
<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/4577>. Acesso em: 21 set. 2024.

SILVA, Rayssa Guimarães; DO CARMO, Marlon José. Energia solar fotovoltaica: uma proposta para melhoria da gestão energética. **InterSciencePlace**, v. 12, n. 2,

2017.

SPERANDIO, Daniele Spadotto (org.) *et al.* **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos do IFPI**. Teresina: IFPI, 2017.

THEMA, M.; BAUER, F.; STERNER, M. Power-to-Gas: Electrolysis and methanation status review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 112, p. 775-787, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211930423X>. Acesso em: 27 ago. 2024.

UNFCCC. **The Paris Agreement**. [S. l.], 2023b. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 12 fev. 2024

ZOHURI, B. **Hydrogen energy: challenges and Solutions for a Cleaner Future**. Springer, Cham, 283, 2019.