

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO SOCIOECONÔMICO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA ADMINISTRAÇÃO

Matheus Vieira Domingues

O potencial do estado do Maranhão na produção de Hidrogênio Verde no Brasil

Florianópolis

2025

Matheus Vieira Domingues

O potencial do estado do Maranhão na produção de Hidrogênio Verde no Brasil

Trabalho de Curso apresentado à disciplina CAD 7304
como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel
em Administração pela Universidade Federal de Santa
Catarina.

Enfoque: Monográfico – Artigo

Área de concentração: Logística

Orientador(a): Prof. Dr. Ricardo Niehues Buss

Florianópolis

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.**

Domingues, Matheus Vieira

O potencial do estado do Maranhão na produção de
Hidrogênio Verde no Brasil / Matheus Vieira Domingues ;
orientador, Ricardo Niehues Buss, 2025.

26 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Socioeconômico, Graduação em Administração, Florianópolis,
2025.

Inclui referências.

1. Administração. 2. Hidrogênio Verde. 3. Logística. 4.
Transição Energética. 5. Maranhão. I. Buss, Ricardo
Niehues. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Administração. III. Título.

Matheus Vieira Domingues

O POTENCIAL DO ESTADO DO MARANHÃO NA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL

Este Trabalho de Curso foi julgado adequado e aprovado na sua forma final pela Coordenadoria Trabalho de Curso do Departamento de Ciências da Administração da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 23 de Junho de 2025.

Prof.^a Cindy Johanna Ibarra González, Dr.^a
Coordenadora de Trabalho de Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Ricardo Niehues Buss
Data: 01/07/2025 17:33:48-0300
CPF: ***.913.099-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Ricardo Niehues Buss, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. André Luis da Silva Leite, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Cindy Johanna Ibarra González, Dr.^a
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Nesta importante etapa da minha vida, de elaboração do meu Trabalho de Conclusão do Curso e graduação no curso de Administração da prestigiada Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), quero primeiramente agradecer à Deus por ter me concedido saúde e sabedoria até aqui em todos os momentos.

Sou e sempre serei grato à minha família por sempre apoiarem os meus sonhos, em especial durante toda essa jornada da faculdade onde mesmo eu estando no sul do Brasil e eles do outro lado do país, em São Luís, estiveram presentes comigo todos os dias, sempre me incentivando na experiência de estudar em uma universidade de excelência como a UFSC e me dando coragem para se manter forte mesmo em dias ruins.

Aos meus pais, José e Danielle, agradeço por serem os melhores exemplos de vida e de amor que eu posso me espelhar, sem vocês nada seria possível. Ao meu irmão, Fabrício, agradeço pelo eterno companheirismo e mesmo sem saber, por ser minha fonte de inspiração para que eu busque ser a cada dia uma pessoa melhor. À minha tia Adriana, sou imensamente grato por todos os ensinamentos durante minha vida, por ser minha segunda mãe e a melhor companheira de viagens. E à minha avó, Maria Carmen, por ser o alicerce da nossa família e um exemplo de fé. Amo todos vocês!

Durante todo esse período da graduação tive o privilégio de cruzar caminhos com pessoas sensacionais. Quero expressar minha gratidão à todos os amigos que estiveram presentes durante essa jornada e à Atlética ADM UFSC, instituição que representou acolhimento ao chegar em Florianópolis e que com certeza contribuiu para que minha experiência diária no Centro Socioeconômico fosse a melhor possível ao longo destes anos.

Não posso esquecer também de agradecer aos meus amigos que estiveram comigo a vida inteira em São Luís e que continuam mais presentes que nunca.

Quero também agradecer à todos os profissionais da universidade e professores do curso de Administração em que pude ter o privilégio de aprender diariamente. Em especial, quero agradecer ao meu professor e orientador Ricardo Niehues Buss. Professor, muito obrigado por todo o apoio até aqui, conselhos e ensinamentos. Com você pude aprender mais sobre logística, área que a cada dia que passa vou gostando mais e atualmente minha área de trabalho, além de ser um dos temas centrais deste trabalho.

RESUMO

O presente artigo busca analisar a viabilidade logística do estado do Maranhão para a implantação de um polo de produção de hidrogênio verde. Buscou-se compreender sobre o que se trata o hidrogênio verde, quais as condições necessárias para a sua produção e também quais impactos essa indústria traria para o Estado. Por meio de uma abordagem qualitativa, foram realizadas entrevistas com especialistas dos setores público, industrial, educacional e de investimentos internacionais, que foram complementadas por pesquisas bibliográficas e documentais. Os resultados apontam que o Maranhão apresenta condições favoráveis, como abundância de recursos renováveis, localização geográfica estratégica, infraestrutura portuária de águas profundas e incentivos fiscais por meio da Zona de Processamento de Exportação (ZPE) de Bacabeira. Entretanto, o estudo também identifica desafios, como limitações na infraestrutura portuária, na transmissão de energia, no armazenamento e transporte de hidrogênio, além da necessidade de capacitação técnica da mão de obra local. Conclui-se que, com investimentos direcionados e planejamento integrado, o Maranhão possui potencial para se consolidar como um hub nacional e internacional de hidrogênio verde.

Palavras-chave: Logística, Sustentabilidade, Transição Energética, Hidrogênio Verde, Maranhão.

ABSTRACT

This article aims to analyze the logistical feasibility of the state of Maranhão for the implementation of a green hydrogen production hub. The study sought to understand what green hydrogen is, the necessary conditions for its production, and the potential impacts this industry would bring to the state. Through a qualitative approach, interviews were conducted with specialists from the public, industrial, educational, and international investment sectors, which were complemented by bibliographic and documentary research. The results indicate that Maranhão presents favorable conditions, such as an abundance of renewable resources, strategic geographical location, deep-water port infrastructure, and tax incentives through the Bacabeira Export Processing Zone (EPZ). However, the study also identifies challenges, such as limitations in port infrastructure, energy transmission, hydrogen storage and transportation, as well as the need for technical training of the local workforce. It is concluded that, with targeted investments and integrated planning, Maranhão has the potential to establish itself as a national and international hub for green hydrogen.

Keywords: Logistics, Sustainability, Energy Transition, Green Hydrogen, Maranhão.

1 INTRODUÇÃO

Em um mundo cada vez mais impactado pelas consequências do aquecimento global e pelo uso de combustíveis fósseis como diesel e gasolina, a procura por alternativas de energias limpas são incessantes voltadas para um desenvolvimento cada vez mais sustentável. Sendo assim, o mundo inteiro busca descarbonizar a economia com o intuito de reduzir a emissão dos gases efeito estufa. Nesse sentido, o Hidrogênio Verde (H2V) representa um papel primordial como a energia do futuro, principalmente por conta de não emitir carbono em sua produção (SILVA, 2016).

O hidrogênio é chamado de verde quando produzido por meio do processo de eletrólise, com a utilização de fontes de energia renováveis para separar o hidrogênio existente na água, de maneira limpa e sem emitir dióxido de carbono na atmosfera (CH2V, 2019).

Dessa forma, com as urgências para um caminhar mais sustentável, o hidrogênio tem sido cada vez mais importante para as indústrias, negócios e políticas no mundo inteiro como uma parte significativa da transição energética. Países como por exemplo a Alemanha e o Chile já definiram estratégias para essa fonte de energia limpa, com o intuito de contribuir para o alcance das metas de proteção climática do acordo de Paris (VASCONCELOS; MELLO, 2021).

O Brasil, por sua vez, possui grande potencial para a produção do Hidrogênio Verde. Com grandes áreas de irradiação solar e ventos favoráveis para a realização da eletrólise da água, necessária para a produção do hidrogênio verde, a partir do consumo de energias renováveis. Além disso, possui vasto desenvolvimento de usinas hidrelétricas e o país possui regulamentos que incentivam as energias renováveis (SANTOS; OHARA, 2021).

Assim, uma fonte econômica de hidrogênio verde poderia ser vantajosa para diversos setores da economia brasileira, gerando um mercado interno. Devido uma democracia estabelecida e estabilidade geopolítica, o Brasil também apresenta vantagens em relação a outros mercados que possuem condições climáticas também favoráveis, como países no Oriente Médio e no norte da África.

Dessa forma, o Brasil representa uma gama de fatores que propiciam a instalação de grandes indústrias de produção de hidrogênio verde e seus produtos derivados, podendo gerar um desenvolvimento em larga escala de forma sustentável para a economia do país (KELMAN *et al.*, 2020).

A região do nordeste brasileiro representa uma área estratégica para o desenvolvimento da indústria do H₂V no Brasil, diante de características meteorológicas (proximidade à linha do Equador ocasionando grande irradiação solar e região litoral com muitos ventos) e econômicas (incentivos fiscais e mão de obra barata) favoráveis. O estado do Maranhão, contemplado em abundância por essas condições naturais necessárias para a produção do hidrogênio verde, também conta com estrutura logística rodoviária, ferroviária e portuária que são fundamentais para a exportação da produção, permitindo chegar aos mercados nacionais e internacionais (FUSSUMA *et al.*, 2024).

Junto a isso, o estado vem se posicionando cada vez mais como um bom local para se investir e acelerar a transição energética mundial. Em 2024 o governo do estado instituiu uma política estadual de incentivo à produção do hidrogênio verde, estimulando o seu uso em diversas aplicações, estabelecendo instrumentos fiscais que incentivam possíveis convênios com organizações públicas e privadas e também financiamento de pesquisas e projetos que visam a capacitação profissional e a redução de custos de produção à base de hidrogênio verde (FIEMA, 2024).

Porém, entre os fatores que podem dificultar a instalação da produção do hidrogênio verde, em especial no estado do Maranhão, destacam-se os elevados custos de instalação de uma planta de produção e que para distribuição do H₂V é necessária a ampliação e modernização da infraestrutura de gasodutos, linhas de transmissão de energia elétrica e de malha ferroviária para absorver a chegada dessa nova indústria (DYNIEWICZ; BULLA, 2024).

Além disso, apesar de já existir um Memorando de Entendimento (MoU) por parte do governo do estado em parceria com a Eletrobras, é preciso desenvolver um marco regulatório claro no intuito de fornecer segurança jurídica para possíveis investidores (FIEMA, 2024).

Assim, em busca de entender a viabilidade da produção do Hidrogênio Verde no estado do Maranhão, localizado na região nordeste, definiu-se como problema da pesquisa: “O estado do Maranhão possui as condições logísticas necessárias para a produção do Hidrogênio Verde?”

Dessa forma, este trabalho visa analisar o potencial logístico do estado do Maranhão para a produção do Hidrogênio Verde no Brasil, com o intuito de identificar as necessidades para a introdução de um polo de produção de hidrogênio verde, entendendo as características logísticas do Estado e a viabilidade para essa instalação e também averiguar as vantagens econômicas oriundas da produção ser realizada no estado.

Em um mundo cada vez mais em necessidade de energias limpas e de um desenvolvimento sustentável, o hidrogênio verde surge como uma nova alternativa para esses fins. Tendo em vista que a demanda de energia global aumentará cerca de 25% a 30% até 2040, torna-se necessário um mundo impulsionado por esse tipo de energia limpa e renovável (CH2V, 2019).

Além disso, por ser produzido através de fontes de energia renováveis, o hidrogênio verde trará um progresso econômico para o país de forma ecológica, gerando diversos empregos em diferentes áreas em que o hidrogênio verde pode ser utilizado com um impacto mínimo ao meio ambiente.

Ao observar que o Brasil possui um vasto potencial para a produção do H₂V em especial devido às suas características climáticas, notou-se a viabilidade de elaborar um projeto de pesquisa com ênfase na evolução dessa nova fonte de energia no país.

Assim, ao observar a lacuna existente em pesquisas acadêmicas voltadas para este tema contemporâneo, em especial voltadas à região do estado do Maranhão, notou-se a viabilidade de elaborar um trabalho com ênfase no potencial logístico do estado do Maranhão para a produção de Hidrogênio Verde no Brasil.

Dessa forma, este artigo busca explicar sobre o que é o Hidrogênio Verde, suas aplicações no mundo atual e o processo de desenvolvimento da produção no Brasil, em especial no estado do Maranhão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Hidrogênio (H) é o elemento mais abundante no universo e o quarto mais numeroso no planeta Terra. Apesar de ser um gás incolor, de acordo com sua origem recebe uma nomenclatura baseada em cores. Dentre as formas de produção mais conhecidas, estão o hidrogênio cinza, azul e o verde. O Hidrogênio Cinza é obtido a partir de gás natural ou carvão e tem um menor custo de produção, porém é emissor de grandes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera em sua produção. O Hidrogênio Azul, por sua vez, é produzido com as mesmas fontes do Hidrogênio Cinza, porém passa por um processo de captura e armazenamento do carbono, com as emissões de poluentes sendo minimizadas e tendo um menor impacto no meio ambiente (CHIAPPINI, 2023).

Já o Hidrogênio Verde trata-se de um vetor energético, isto é, uma fonte de energia secundária produzida por meio do processo de eletrólise, que utiliza de fontes de energia renováveis para separar o hidrogênio existente na água, de maneira limpa e sem emitir dióxido de carbono na atmosfera (CH2V, 2019). Existem outras cores para classificar o

hidrogênio baseando-se na fonte de energia, na matéria-prima e no processo de extração utilizado para produzi-lo. Quanto mais escura a cor que define o hidrogênio, existe uma maior emissão de gases poluentes, enquanto as cores mais claras indicam processos de produção mais limpos e sustentáveis (Figura 1).

Figura 1 - Principais formas de produção de hidrogênio por cores

COR DO HIDROGÊNIO	FONTE DE ENERGIA	PROCESSO	EMITE CO ₂ ?	MATÉRIA- PRIMA
CINZA	Combustível fóssil	Gaseificação	Sim	Gás Natural
PRETO	Combustível fóssil	Gaseificação	Sim	Óleo Fóssil
VERDE	Eólica Hídrica Fotovoltaica	Eletrólise	Não	Água
AZUL	Combustível fóssil	Gaseificação	Sim, com captura e armazenamento do carbono	Gás Natural Óleo Fóssil Carvão
MARROM	Combustível fóssil	Gaseificação	Sim	Carvão
VERMELHO	Nuclear	Eletrólise	Não	Água
TURQUESA	Combustível fóssil	Pirólise	Não, emite Carvão Sólido	Biomassa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na perspectiva energética, o hidrogênio destaca-se como uma alternativa muito promissora, por conta de sua alta quantidade de energia de combustão. Sua molécula tem uma massa molar de apenas 2g/mol e em comparação com uma molécula de gasolina, pode gerar até 2,75 vezes mais energia, de uma forma limpa (LINARDI, 2008).

O mercado global de hidrogênio em 2023 foi avaliado em mais de 167 bilhões de dólares, de acordo com a Fortune Business Insights, mostrando-se um mercado de alto impacto econômico mundialmente. Apesar que, na atualidade, a maior parte da demanda seja obtida a partir do hidrogênio cinza para a produção de *commodities* como fertilizantes, com a crescente demanda por reduções de carbono em busca da transição energética no mundo, espera-se que a produção de hidrogênio verde cresça conforme seus custos de produção tornem-se mais viáveis (MCKINSEY & COMPANY, 2023).

A expressão “*Power-to-gas*” refere-se à obtenção de um gás combustível através desse processo de eletrólise da água e possui diversas possibilidades de utilizações, como:

- Aplicações estacionárias: Geradores de energia de emergência, mini células a combustível como baterias para dispositivos elétricos e também aquecer fornos industriais para indústrias de cimento, aço e vidro (RODRIGUES; SOUZA; TAMBOR, 2019).
- Aplicações móveis: Em sua forma comprimida, o H₂V possui uma alta densidade de energia e pode ser utilizado como uma fonte de combustível no transporte de automóveis, aviões e navios (CARVALHO *et al.*, 2021).
- Armazenagem de hidrogênio: Trata-se de uma molécula que pode facilmente ser armazenada e transportada através da produção de amônia e metanol, elementos básicos de diversos produtos químicos (OLIVEIRA, 2021).

Com a produção feita a partir do uso de energias renováveis, mercado em que o Brasil possui vasta experiência e condições climáticas ideais, o país torna-se um grande potencial para comandar a produção do Hidrogênio Verde em escala global pois tem um dos menores custos marginais para a geração de energias renováveis, gerando insumos para o mercado interno e também para a exportação, principalmente para localidades como a Europa (MCKINSEY; COMPANY, 2021).

Com a descarbonização do sistema energético sendo um dos principais objetivos políticos para o século XXI, o mundo caminha para o processo da “Transição Energética”, que consiste em uma transformação dos sistemas de energia ao longo da evolução, sem se limitar apenas na substituição de uma fonte de energia por outra, mas considerando também aspectos sociais, institucionais, políticos e econômicos, incentivados por avanços tecnológicos, políticas governamentais e pressão pública por sustentabilidade (GUBLER, 2018).

Um grande aliado do momento de transição energética global é o Hidrogênio Verde, que através de sua produção de forma limpa e sem emissões de gases carbônicos possibilita a mobilização de energia limpa e renovável, podendo ser facilmente armazenado e transportado (LOPES, 2022).

Nesse contexto, o Brasil, com sua grande diversidade e abundância de recursos naturais, possui uma base sólida para a diversificação das matrizes energéticas. Isso, somado à políticas de incentivo fiscal, programas de financiamento e metas para o uso de energias limpas, contribuem para o desenvolvimento brasileiro na transição energética.

Dito isso, um caso particular da região do nordeste brasileiro é o estado do Maranhão, relacionado à disponibilidade de polos de produção de energias renováveis que são

necessárias para a produção do H2V e dispendo de infraestrutura logística para escoamento da produção do Hidrogênio Verde e produtos derivados, devido à proximidade de grandes centros no Brasil e também portos ao longo da costa oceânica para distribuição internacional.

Dessa forma, o estado contribui com a transição energética brasileira com uma diversidade em sua matriz energética, garantindo segurança e reduzindo o uso de fontes não renováveis. Com relevantes recursos hídricos, áreas férteis para florestas que propiciam a geração de energia com uso de biomassa, presença de ventos, marés e grandes incidências de raios solares, o Maranhão apresenta favorecimentos naturais para posicionar o estado como um dos pólos de desenvolvimento de energias limpas no Brasil e os investimentos nessas tecnologias são fundamentais para o desenvolvimento de estado (LIMA *et al.*, 2023).

Dentre as principais formas de utilização do hidrogênio na indústria estão na indústria como matéria-prima (química, siderúrgica, alimentos e refino), onde a grande maioria do hidrogênio utilizado é o cinza, em que na produção emite um alto volume de gás carbônico na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global (MCKINSEY; COMPANY, 2024). Já o H2V surge como alternativa para aplicações emergentes como no setor de transportes, atuando com a aplicação de células de combustível em veículos pesados e também em navios e aviões.

Além disso, com a crescente demanda pela descarbonização da indústria, cada vez mais busca-se tornar a produção de amônia como insumo para fertilizantes em algo sustentável, substituindo o hidrogênio cinza pelo verde. Junto a isso, pode ser utilizado na produção de ferro-esponja no formato de HBI (*Hot Briqueted Iron*), por meio da redução direta do minério de ferro utilizado na produção de aço de baixo carbono. Todas essas aplicações impactam diretamente nos planos mundiais de redução da emissão de carbono no mundo (SANTOS; OHARA, 2021).

No caso da amônia, produto base de diversos fertilizantes, utiliza-se da combinação de nitrogênio com hidrogênio (H2) produzido através de gás natural e fontes fósseis de energia, resultando em grandes emissões de gases efeito estufa (GEE) como o gás carbônico (CO2). A amônia verde é feita por meio de energias renováveis e o H2 é obtido por meio da eletrólise da água, com baixas emissões de CO2 na atmosfera. Apesar da produção de amônia verde ainda ser mais custosa, representa avanços significativos para a caminhada mundial rumo à descarbonização e pode se tornar uma opção viável na produção de fertilizantes no Brasil (CHEMIM, 2023).

Quanto o aço verde, produzido através do ferro esponja no formato de HBI (*Hot Briqueted Iron*) que é obtido com o uso de hidrogênio verde, tem potencial para diminuir em

larga escala a liberação de gases efeito estufa na indústria siderúrgica, que é responsável por cerca de 7% das emissões globais de carbono (NONATO, 2024).

Devido às grandes quantidades de minério de ferro e de acesso às fontes de energias renováveis, o Brasil desponta como um grande potencial de investimentos para a produção do aço verde, reduzindo custos em relação à produção de aço utilizando gás natural e também contribuindo para a transição energética mundial (CHIAPPINI, 2024).

O Brasil, sendo uma potência agrícola que atualmente realiza a importação fertilizantes nitrogenados, aliado com o volume alto de exportações do setor de mineração e agrícola, ambos grandes consumidores de transporte marítimo movido a petróleo, cria oportunidades para o desenvolvimento de um mercado interno de hidrogênio verde e seus derivados (SANTOS; CHAVES, 2021). Além disso, a demanda europeia por hidrogênio verde brasileiro pode impulsionar significativamente esse mercado no país, promovendo o crescimento da economia local e gerando impactos ambientais positivos (KELMAN *et al.*, 2020).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo adota uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, com o objetivo de compreender a viabilidade da produção do hidrogênio verde no estado brasileiro do Maranhão, a partir de uma análise que envolve tanto dados secundários quanto empíricos. Segundo Gil (2008), a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema, enquanto a pesquisa descritiva busca caracterizar e analisar fenômenos com base na observação sistemática dos fatos.

A investigação foi estruturada em três frentes principais: revisão bibliográfica, análise documental e entrevistas semiestruturadas.

A primeira etapa, de revisão de literatura, foi utilizada para fundamentar teoricamente o estudo em busca de trazer embasamento conceitual sobre o hidrogênio verde, sua produção, aplicações e viabilidade como fonte de energia renovável. De acordo com Lakatos e Marconi (2010), a pesquisa bibliográfica é realizada a partir do levantamento e análise de materiais já publicados como livros, artigos científicos, dissertações e teses, sendo fundamental para a construção das bases conceituais e para o alinhamento das categorias analíticas empregadas na análise dos dados empíricos.

Esse levantamento também permitiu compreender as decisões governamentais, jurídicas e científicas recentes que influenciam a adoção da produção do hidrogênio verde no

cenário brasileiro, contribuindo para o delineamento dos fatores que impactam sua inserção no setor energético nacional.

A coleta de dados secundários foi realizada por meio de fontes como artigos científicos, relatórios técnicos de instituições governamentais, documentos legislativos e bases de dados de organizações ambientais e energéticas. A análise dessas informações possibilitou o mapeamento do panorama atual do hidrogênio verde no Brasil, destacando tendências, obstáculos e oportunidades.

Além disso, foi considerada a análise de matérias jornalísticas publicadas em veículos de grande circulação, dada a crescente presença do tema nos debates públicos e acadêmicos. Essa dimensão contribui para uma compreensão mais ampla e atualizada do contexto em que se insere a discussão sobre o hidrogênio verde.

Já a etapa empírica da pesquisa consistiu na realização de entrevistas semiestruturadas com especialistas e profissionais atuantes nas áreas de energia, sustentabilidade, políticas públicas e logísticas que foram selecionadas com base em sua relevância para o objeto de estudo (Apêndice 1). Conforme Gil (2008), entrevistas semiestruturadas são caracterizadas por um roteiro pré-definido, mas flexível, que permite ao entrevistador explorar temas emergentes durante a conversa. Buscou-se entrevistar pessoas que estão diretamente ligadas ao tema, como especialistas relacionados ao hidrogênio verde, investidores da área e também profissionais localizados no estado do Maranhão que trabalham ativamente na captação e desenvolvimento de projetos relacionados ao assunto no estado.

As entrevistas foram realizadas de forma remota e presencial, mediante agendamento prévio com oito participantes, autorizadas por todos para fins acadêmicos. Posteriormente, as falas foram transcritas e organizadas para fins de análise. A interpretação dos dados foi realizada com base na técnica de análise de conteúdo, segundo Bardin (2011), permitindo a identificação de categorias temáticas e padrões de discurso relevantes à problemática investigada.

A análise foi realizada a partir de entrevistas realizadas com pessoas estratégicas no desenvolvimento de projetos de produção de hidrogênio verde no estado do Maranhão. Os entrevistados foram: José Reinaldo Tavares, secretário da Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Programas Estratégicos do Maranhão (SEDEPE-MA) e ex-governador do estado; José Domingues Neto, secretário-adjunto da SEDEPE-MA; Raimundo Fraga Araújo, superintendente de Desenvolvimento Econômico da SEDEPE-MA; Luís Fernando Renner, vice-presidente da Federação das Indústrias do Maranhão (FIEMA); Raimundo Arruda, diretor do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Maranhão (SENAI-MA) e

Wesley Paul, investidor inglês e CEO da NextGenHydrogen, empresa britânica voltada para investimentos globais em Hidrogênio Verde.

Com a junção de informações provenientes da coleta de dados secundários e a interpretação das respostas das entrevistas semiestruturadas estima-se compreender o potencial do estado do Maranhão para a produção do Hidrogênio Verde, identificando as necessidades logísticas que um polo de produção desse porte requer e o que o estado já possui de infraestrutura existente, em busca de entender a viabilidade logística para o Maranhão se tornar um hub de H2V no nordeste e no Brasil, além de averiguar as vantagens econômicas que esta indústria traria em sua chegada.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Com base no resultado da pesquisa buscou-se entender o cenário e o potencial do estado do Maranhão e suas características energéticas e logísticas para se posicionar como um hub de hidrogênio verde em escala global.

O objetivo foi compreender, a partir de diversas perspectivas dos entrevistados, os fatores que tornam o Maranhão um estado potencialmente estratégico para o desenvolvimento da cadeia produtiva do H2V, com foco na infraestrutura logística necessária para viabilizar sua produção e exportação em escala global.

Os entrevistados convergem quanto ao potencial natural e geográfico do estado, embora também destacam os desafios estruturais e divergências quanto à maturidade atual da infraestrutura. Um dos principais diferenciais do Maranhão, apontado por todos os entrevistados, é a abundância de recursos naturais essenciais para a produção de hidrogênio verde: fontes renováveis (solar, eólica e hidrelétrica), ampla disponibilidade de água doce e vastas extensões de terra disponíveis a preços atrativos.

Tratando de hidrelétricas, o estado possui duas usinas em atividade, a Hidrelétrica da Boa Esperança e a Hidrelétrica de Estreito, com capacidade instalada de 1324 MW somadas as duas operações. No quesito de usinas de biomassa, o estado possui cinco unidades em operação (ANEEL,2013).

Já voltado para a energia eólica, o estado possui o Parque Eólico Delta Maranhão, com uma grande capacidade de geração elétrica de 426 MW, devido as grandes incidências de ventos alísios na região (AGUIAR,2021).

Em termos de energia solar, o estado possui a quinta maior capacidade instalada do país com mais de 290MW e um alto índice de irradiação solar acima de 2.000 kWh/m²/ano. Junto a isso, o Maranhão também apresenta grande potencial para gerar energia através da

força das marés, apesar de não ser uma realidade bastante explorada em relação à oportunidade existente.

Segundo José Reinaldo Tavares, ex-governador e atual secretário da SEDEPE-MA, o Maranhão possui índices altos de irradiação solar devido à sua proximidade com a linha do Equador, além de ventos alísios constantes e estáveis, ideais para a geração eólica. Esses aspectos são reiterados por Raimundo Fraga Araújo e pelo diretor do SENAI-MA, Raimundo Arruda, que destacam também o alto fator de carga do Parque Eólico Serena, localizado em Paulino Neves, como evidência concreta do potencial eólico da região. Além disso, o estado possui uma das maiores disponibilidades de água doce do Nordeste, com 10 bacias hidrográficas que são fundamentais para suprir a elevada demanda hídrica do processo de eletrólise.

O investidor internacional Wesley Paul, CEO da NextGenHydrogen, reforça essa visão ao destacar o Maranhão como uma das regiões mais promissoras do Brasil, especialmente por reunir, de forma concentrada, os insumos fundamentais a preços acessíveis: terra, água, sol e vento. Ele ainda menciona o potencial de demanda do setor agrícola brasileiro, o qual poderia absorver grandes quantidades de amônia verde e fertilizantes derivados do H₂V.

Do ponto de vista logístico, destaca-se a posição geográfica estratégica do Maranhão, com acesso facilitado aos mercados da Europa, América do Norte e África via litoral atlântico e portos naturais de águas profundas, como o Porto do Itaqui, os terminais portuários da Ponta da Madeira (Vale) e da Alumar e os projetos portuários de Alcântara e Bacabeira. Todos os entrevistados reforçam que esses portos são capazes de operar com grandes navios graneleiros, reduzindo significativamente os custos de exportação.

A infraestrutura portuária é constantemente apontada como um ativo logístico decisivo, especialmente pela possibilidade de operar com navios do tipo Panamax e graneleiros de 400 mil toneladas, como destaca Raimundo Fraga. A capacidade de atracação dos navios é vista como fator chave para redução de frete internacional, atraindo competitividade ao produto maranhense. No entanto, Wesley Paul alerta que o Porto do Itaqui está sobrecarregado e possui limitações internas que dificultam sua expansão. Ele sugere que investir em novos terminais, ao invés de ampliar estruturas antigas, seria mais eficiente.

O diretor do SENAI-MA, Raimundo Arruda, e o superintendente Raimundo Fraga Araújo destacam que a infraestrutura portuária, aliada às conexões ferroviárias e rodoviárias com a região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), permite a integração do escoamento de produtos verdes ao agronegócio e à indústria nacional.

O Porto do Itaqui, um dos principais portos do Brasil que está localizado na capital São Luís, surge como um dos principais meios de escoamento do hidrogênio verde e produtos derivados, facilitando a exportação global. Apesar de sua tamanha importância, serão necessárias ampliações das malhas ferroviárias e a construção de meios para armazenagem e transporte do H₂V, como tanques de armazenamento em gás ou líquido e uma infraestrutura de gasodutos próprios para o hidrogênio.

Além da logística marítima, os especialistas apontam a existência e expansão das linhas de transmissão de energia elétrica em 500kV como fundamentais para garantir segurança energética aos projetos eletrointensivos. A presença da Zona de Processamento de Exportação (ZPE) de Bacabeira, com mais de 2 mil hectares já preparados e localização privilegiada próxima ao Rio Itapecuru e aos corredores logísticos (ferrovias FTL, Norte-Sul, BRs 135 e 402), é vista como um ponto central para a instalação de polos industriais e eletrolisadores.

A rede ferroviária maranhense, composta pelas ferrovias Norte-Sul, São Luís-Teresina, Carajás e FTL, é frequentemente destacada como um trunfo logístico que conecta o interior ao litoral, possibilitando o escoamento de grãos, minérios e, futuramente, de produtos industriais verdes.

Os entrevistados José Domingues Neto e Raimundo Fraga ressaltam que, além dos incentivos fiscais federais e estaduais garantidos por lei, como a liberdade cambial e a isenção de isenção de tributos como ICMS, IPI, PIS/COFINS, a ZPE oferece fácil acesso à água, energia e logística, reduzindo o custo de produção, sendo um território ideal para receber plantas de eletrólise, refinarias verdes e centros de conversão de amônia verde.

Em 2024 o estado do Maranhão aprovou a criação da Zona de Processamento de Exportação (ZPE) no município de Bacabeira, que fica próximo a estrutura portuária. Uma ZPE é uma área de livre comércio com o exterior, com regimes tributários, cambiais e administrativos específicos daquela região para captar investimentos, estimular vendas externas, desenvolver o local e diminuir a desigualdade social (MARANHÃO, 2024).

Apesar das vantagens, todos os entrevistados reconhecem que ainda existem desafios logísticos importantes, sobretudo relacionados ao transporte e armazenamento do hidrogênio, considerado por José Reinaldo Tavares o “grande problema atual da cadeia”. O hidrogênio, sendo uma molécula extremamente leve e volátil, exige tecnologia sofisticada para ser comprimido, liquefeito ou convertido em derivados. Wesley Paul reforça essa limitação, sugerindo que o Maranhão necessita de investimentos significativos em infraestrutura moderna, como novos portos, melhorias em rodovias, ferrovias e cita até a construção de uma

cidade para alojar trabalhadores especializados. Essa visão vai de encontro a pesquisa realizada por Buss; Siqueira e Júnior (2020), que apontam a necessidade de investimentos nos diversos modais de transporte existentes no Estado do Maranhão.

A estratégia mais defendida para contornar as dificuldades do transporte direto de hidrogênio é através da conversão do H₂V em derivados como amônia verde, e-metanol e fertilizantes, que são mais fáceis de armazenar e exportar. Essa rota é apontada como ideal também por Luís Fernando Renner (FIEMA), por ser economicamente mais viável e conectada a setores estratégicos como a siderurgia e o agronegócio.

Dentre os setores que mais se beneficiariam da produção de H₂V no Maranhão, destaca-se o potencial de descarbonização da indústria siderúrgica, principalmente com a produção de HBI (ferro esponja) e aço verde a partir do minério de ferro de Carajás, com forte atuação da mineradora Vale do Rio Doce. José Domingues, Raimundo Arruda e Wesley Paul reforçam que a verticalização dessa cadeia produtiva agregaria valor e fortaleceria a competitividade maranhense no mercado europeu, onde exigências ambientais estão cada vez mais rígidas.

Além disso, o agronegócio aparece como um setor-chave. Atualmente, o Brasil é dependente da importação de fertilizantes, o que gera vulnerabilidade logística e cambial ao setor agropecuário. No caso específico do Maranhão, o fortalecimento da produção local de hidrogênio verde pode criar uma cadeia produtiva integrada de fertilizantes sustentáveis, abastecendo de forma mais eficiente o agronegócio regional e os produtores da região MATOPIBA, um dos principais polos de expansão agrícola do país. Junto a isso, a produção de amônia e nitratos verdes a partir do Hidrogênio Verde no Maranhão permitiria a criação de uma cadeia interna de insumos agrícolas sustentáveis, reduzindo a dependência externa e promovendo a segurança alimentar. Setores como petroquímico, transporte ferroviário e marítimo, aviação e cimento também são mencionados como beneficiários da revolução verde industrial.

A importância do estado do Maranhão se posicionar estrategicamente como um hub na produção de hidrogênio verde no Brasil e no cenário internacional surge com a crescente temática energética global e as condições naturais, logísticas e institucionais específicas que o estado já possui e pode desenvolver cada vez mais com planejamento e investimentos direcionados. Em um momento em que o mundo busca acelerar a transição energética para conter os efeitos das mudanças climáticas, o hidrogênio verde se consolida como uma alternativa limpa, eficiente e sustentável para substituir combustíveis fósseis em setores de

difícil descarbonização, como na indústria siderúrgica, no transporte de longa distância, fertilizantes e também na geração de energia de base (MOHAMED; MANSOUR, 2023).

O Brasil tem se destacado como um dos países com maior potencial para liderar essa transição, especialmente pela abundância de fontes renováveis e pela sua estabilidade política, ampla disponibilidade territorial e baixo custo de mão de obra. A região Nordeste, por sua vez, vem sendo reconhecida como um território particularmente estratégico dentro desse cenário. Estados como Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte e Bahia já estruturam seus planos de ação com base em parcerias público-privadas, atrativos fiscais e investimentos em infraestrutura para consolidar seus portos como corredores logísticos de exportação de hidrogênio e seus derivados (RAPOSO, 2023).

O Ceará, por exemplo, tornou-se uma referência nacional ao assinar mais de 30 Memorandos de Entendimento com empresas internacionais interessadas em instalar plantas de produção de H₂V no Porto do Pecém. Essa movimentação demonstra não somente mercado externo aquecido, como também o caráter competitivo e estratégico da região. Com isso, o Maranhão reúne condições semelhantes e em alguns casos até mais propícias em relação a outros estados nordestinos, pois apresenta excelente potencial de geração solar e eólica, possui portos de águas profundas como o Itaqui e projetos de ampliação logística como o Porto de Alcântara e a Ferrovia EF-317. Além disso, conta com a Zona de Processamento de Exportação (ZPE) de Bacabeira pode operar como polo industrial e logístico especializado em produtos verdes, com incentivos fiscais já aprovados (MARANHÃO, 2024).

Como visto, a falta de posicionamento estratégico do estado nesse mercado emergente pode representar uma perda significativa de protagonismo e competitividade. A corrida global pelo hidrogênio verde exigirá dos estados não apenas potencial natural, mas também agilidade regulatória, integração institucional e visão de longo prazo. O Maranhão precisa transformar seus diferenciais em resultados práticos, consolidando sua presença no radar de investidores internacionais, firmando acordos estratégicos com empresas do setor energético, desenvolvendo políticas públicas específicas e investindo fortemente na capacitação técnica dos profissionais no estado.

Portanto, mais do que uma oportunidade econômica, o hidrogênio verde representa para o Maranhão um projeto de desenvolvimento sustentável de longo prazo, com geração de empregos qualificados, incremento da arrecadação, internacionalização da economia e protagonismo no combate às mudanças climáticas.

Dessa forma, posicionar-se na vanguarda da transição energética global é crucial para garantir um lugar estratégico no mapa das energias limpas do século XXI. A Figura 2 mostra um comparativo entre os aspectos-chave para a produção do hidrogênio verde, os pontos positivos do estado do Maranhão para abrigar essa indústria e os pontos negativos e desafios a serem superados.

Figura 2 - Pontos Positivos e Negativos da Produção do Hidrogênio Verde

Produção de Hidrogênio Verde		
Aspecto-chave	Pontos positivos do Maranhão	Pontos negativos ou desafios
Disponibilidade de energia renovável	Alta incidência solar e bons ventos constantes; Matriz energética diversificada (hidro, solar, eólica, termoeétrica).	Necessidade de expansão e modernização das linhas de transmissão e armazenamento de energia.
Infraestrutura portuária	Porto do Itaqui e terminais com calado profundo; Acesso natural a navios de grande porte.	Porto do Itaqui opera próximo do limite; Infraestrutura interna deficiente segundo especialistas.
Infraestrutura ferroviária e rodoviária	Ferrovias Norte-Sul, Carajás, FTL e projetos como EF-317 e Transnordestina conectam o interior aos portos.	Rodovias precárias em trechos estratégicos; necessidade de nova infraestrutura para alto volume de carga.
Zonas industriais e incentivos fiscais	ZPE de Bacabeira com infraestrutura pronta, incentivos fiscais federais, estaduais e liberdade cambial.	ZPE ainda em fase de ativação formal; ausência de projetos industriais efetivamente instalados.
Armazenamento e transporte de H ₂ V	Potencial para conversão em derivados (amônia, e-metanol) com base em zonas industriais.	Falta de tecnologia local para compressão e liquefação do H ₂ V; Ausência de dutos especializados.
Capacitação de mão de obra	Presença do SENAI, IFMA, UFMA, UEMA e FAPEMA com programas de qualificação em andamento.	Necessidade de atrair técnicos qualificados e infraestrutura urbana para receber mão de obra.
Conexão com mercados internacionais	Posição geográfica estratégica no Atlântico Norte, reduzindo distâncias para Europa, EUA e África.	Concorrência com outros portos globais mais próximos dos mercados consumido (África, América do Norte, Europa).
Ambiente regulatório e articulação institucional	Existência de planos estaduais (PEH ₂ V, Maranhão 2050) e interesse político em atrair investimentos.	Risco de lentidão na execução de políticas; Necessidade de maior articulação com ANEEL e ONS.

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 2 apresenta uma compilação dos principais aspectos logísticos, estruturais e institucionais que influenciam a viabilidade da instalação de projetos de produção de hidrogênio verde, oferecendo uma visão comparativa e objetiva das condições atuais do estado frente aos requisitos técnicos e mercadológicos exigidos para a produção e exportação de H₂V. Entre os fatores analisados estão a disponibilidade de energia renovável, a infraestrutura portuária, a malha ferroviária e rodoviária, os incentivos fiscais existentes, além de temas como armazenamento, capacitação de mão de obra e o ambiente regulatório.

Apesar de seu alto potencial, o Maranhão ainda enfrenta uma série de desafios estruturais que podem comprometer a competitividade do estado para atrair plantas de produção de hidrogênio verde. Entre as principais dificuldades logísticas, destaca-se a necessidade de expansão e modernização das linhas de transmissão de energia, condição essencial para garantir o fornecimento estável e em larga escala de eletricidade exigido pelos projetos. Além disso, a infraestrutura portuária atual apresenta limitações internas que impactam a eficiência operacional. No modal terrestre, as rodovias apresentam trechos críticos com condições precárias e baixa capacidade para escoamento de grandes volumes de carga. Outro fator limitante é o estágio inicial da Zona de Processamento de Exportação (ZPE) de Bacabeira, que apesar de ainda não possui projetos industriais efetivamente instalados.

Soma-se a isso a carência de tecnologia local para o armazenamento e transporte seguro do hidrogênio, assim como a ausência de dutos especializados. No campo da mão de obra, há escassez de técnicos qualificados e de infraestrutura urbana para recepção de profissionais especializados, o que demanda investimentos em capacitação e desenvolvimento de cidades industriais planejadas. Por fim, o ambiente regulatório ainda carece de maior agilidade na implementação de políticas e de articulação mais eficaz com órgãos reguladores nacionais, como ANEEL e ONS, para incentivar cada vez mais investimentos na área.

Em contrapartida, o estado possui uma combinação estratégica de vantagens naturais, estruturais e institucionais que o posicionam de forma promissora no cenário da transição energética global. Em termos de recursos, o estado destaca-se pela ampla disponibilidade de fontes renováveis, com elevado potencial de geração solar e eólica, além de uma matriz energética diversificada que inclui energia hidrelétrica e termoeletrica.

No setor logístico, a presença de portos de águas profundas, como o Porto do Itaqui, e o desenvolvimento de novos empreendimentos como o Porto de Alcântara, oferecem condições favoráveis para ampliar a capacidade de escoamento de grandes volumes de carga para os principais mercados internacionais. A malha ferroviária e rodoviária, composta por corredores como a Ferrovia Norte-Sul, Carajás e FTL, liga os terminais portuários às diversas regiões do país. Além disso, a implantação da Zona de Processamento de Exportação (ZPE) de Bacabeira busca criar um espaço propício para a instalação de plantas voltadas à produção de hidrogênio e seus derivados.

No campo da capacitação, o estado conta com instituições como SENAI, a Universidade Federal do Maranhão (UFMA), a Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

e o Instituto Federal do Maranhão (IFMA), que contribuem para a formação de mão de obra técnica especializada. Outro diferencial relevante é a localização geográfica privilegiada do Maranhão, com acesso facilitado aos mercados da Europa, América do Norte e África, fator que reduz custos logísticos e amplia a competitividade no comércio exterior. Por fim, as recentes políticas públicas e os projetos em andamento, como o Programa Estadual do Hidrogênio Verde e o Plano Maranhão 2050, sinalizam o comprometimento do governo em transformar essas potencialidades em resultados concretos.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise integrada das entrevistas com especialistas de diversas áreas ligadas à formulação, planejamento e execução de projetos de hidrogênio verde no estado do Maranhão, foi possível identificar uma forte convergência sobre o elevado potencial logístico, energético e geográfico do estado para se posicionar como um dos principais polos de produção e exportação de hidrogênio verde do Brasil.

Os resultados evidenciam que o Maranhão reúne um conjunto de fatores naturais e estruturais estratégicos, como abundância de fontes renováveis (sol, vento e hídrica), vasta disponibilidade de água doce, localização geográfica privilegiada no Atlântico Norte, portos de águas profundas e acesso a importantes corredores logísticos, como ferrovias e rodovias inter-regionais. Adicionalmente, a existência da ZPE de Bacabeira representa uma vantagem competitiva clara, oferecendo incentivos fiscais, infraestrutura energética e hídrica, além de proximidade com centros de exportação.

Apesar das vantagens comparativas, a viabilidade logística para a produção e exportação do hidrogênio verde em larga escala ainda enfrenta desafios estruturais relevantes, sobretudo no que se refere ao transporte e armazenamento seguro do H₂V, à saturação da capacidade portuária existente e à necessidade de formação e retenção de mão de obra especializada. Há também divergências sobre a maturidade de certos projetos anunciados, o que impõe cautela na análise do potencial de curto prazo.

O estudo demonstra que a rota tecnológica mais viável no contexto atual envolve a conversão do hidrogênio em derivados, como amônia, e-metanol e fertilizantes verdes, reduzindo os custos de transporte e aumentando o leque de aplicações industriais e agrícolas. Esse modelo, além de tecnicamente mais seguro, apresenta sinergia direta com cadeias produtivas já consolidadas no Maranhão, como a siderurgia, o agronegócio e a indústria química.

Conclui-se, portanto, que o Maranhão possui condições logísticas, naturais e estratégicas bastante favoráveis para se consolidar como hub nacional e internacional de produção de hidrogênio verde e seus derivados. Contudo, essa potencialidade só será melhor explorada mediante a execução de investimentos em infraestrutura, a articulação entre os setores público e privado, e o fortalecimento de políticas públicas voltadas à capacitação profissional, inovação tecnológica e estabilidade institucional.

A urgência em avançar com a implantação de projetos, a regulamentação estadual e a consolidação de parcerias internacionais se faz necessária para que o estado não apenas acompanhe, mas lidere a transição energética no Brasil. O hidrogênio verde além de uma oportunidade econômica, é também uma chave para o reposicionamento estratégico do Maranhão na nova economia global de baixo carbono.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília, 2013.

AGUIAR, J. **Parque eólico do Maranhão: Nossa equipe conheceu de perto as gigantes instalações**. Click Petróleo e Gás, 2021. Disponível em: <https://clickpetroleogas.com.br/parque-eolico-do-maranhao-nossa-equipe-conheceu-de-perto-as-gigantes-instalacoes/>. Acesso em: 20 maio 2025.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BUSS, Ricardo Niehues; SIQUEIRA, Glécio Machado; JUNIOR, Claudelino Martins Dias. **Impactos do transporte e infraestrutura logística de grãos de soja no Estado do Maranhão (Brasil)**. In: Anais do Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação. Anais...São Paulo(SP) USP, 2020.

CARVALHO, M. A. et al. **The potential of green hydrogen for decarbonization and sustainability in Brazil**. *Journal of Cleaner Production*, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621035691>. Acesso em: 20 maio 2025.

CHEMIM, D. **Amônia verde: hidrogênio verde na produção de amônia**. IBRAFE, 2023. Disponível em: <https://www.ibrafe.org/artigo/amonia-verde-hidrogenio-verde-na-producao-de-amonia>. Acesso em: 20 maio 2025.

CHIAPPINI, L. **Brasil pode atrair siderúrgicas em busca de hidrogênio para aço verde, sugere BloombergNEF**. EPBR, 2024. Disponível em: <https://epbr.com.br/brasil-pode-atrair-siderurgicas-em-busca-de-hidrogenio-para-aco-verde-su-gere-bloombergnef/>. Acesso em: 14 de maio de 2025.

CHIAPPINI, L. **Hidrogênio verde, azul, cinza: entenda o que cada cor significa e as perspectivas de desenvolvimento.** Eixos, 2023. Disponível em: <https://eixos.com.br/hidrogenio/hidrogenio-verde-azul-cinza-entenda-o-que-cada-cor-significa-e-as-perspectivas-de-desenvolvimento/>. Acesso em: 11 abril 2025.

CH2V. **O hidrogênio verde (H2V).** Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2019. Disponível em: <https://ch2v.unifei.edu.br/o-hidrogenio-verde-h2v/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

DYNIWICZ, L.; BULLA, B. **Preço de energia e contratos são desafios para usinas de hidrogênio verde saírem do papel.** Novacana, 2024. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/preco-energia-contratos-desafios-usinas-hidrogenio-verde-sairem-papel-110424>. Acesso em: 03 maio 2025.

FIEMA. **FIEMA integra assinatura de memorando entre Eletrobras e Estado do Maranhão para desenvolvimento de hidrogênio verde.** FIEMA, 2024. Disponível em: <https://www.fiema.org.br/noticia/4789/fiema-integra-assinatura-de-memorando-entre-el-etabras-e-estado-do-maranhao-para-desenvolvimento-de-hidrogenio-verdeMA>. Acesso em: 20 maio 2025.

FUSSUMA, T. M. D. et al. **Análise do potencial de produção e exportação do hidrogênio verde no Nordeste brasileiro.** Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar CBENS, 2024. DOI: 10.59627/cbens.2024.2475. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/2475>. Acesso em: 13 maio 2025.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRUBLER, A. **Energia e mudança climática: uma introdução aos controles geológicos, intervenções e mitigações.** Cambridge: Cambridge University Press, 2018.

IRENA. **Hydrogen: a renewable energy perspective.** Japan, 2019.

KELMAN, J. *et al.* **Hydrogen roadmap for Brazil: assessing potential and challenges.** Madrid: Comillas Pontifical University, 2020. Disponível em: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/56071/IIT-20-189A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 maio 2025.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LIMA, M. M. *et al.* **O potencial das fontes renováveis de energia elétrica no Maranhão.** 2023. 11 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Química, Universidade Federal do Maranhão, Grajaú, 2023.

LINARDI, M. **Hidrogênio e células a combustível: programa brasileiro de I&D.** Ciência & Tecnologia dos Materiais, 2011.

LOPES, R. A. *et al.* **Transição energética e desenvolvimento regional: uma análise para o Brasil.** EMBRAPA, 2022. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1149213/1/Transicao-en-ergetica-e-desenvolvimento.pdf>. Acesso em: 20 maio 2025.

MARANHÃO. GOVERNO DO MARANHÃO. (ed.). **Aprovada a criação da Zona de Processamento de Exportação (ZPE) em Bacabeira**. 2024. Disponível em: <https://www.ma.gov.br/noticias/aprovada-a-criacao-da-zona-de-processamento-de-exportacao-zpe-em-bacabeira>. Acesso em: 15 maio 2025.

MCKINSEY; COMPANY. **Global Energy Perspective 2023: Hydrogen Outlook**. Bruxelas: McKinsey & Company, 2023.

MCKINSEY; COMPANY. **Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade para o Brasil e o mundo**. McKinsey & Company, 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/br/our-insights/hidrogenio-verde-uma-oportunidade-de-geracao-de-riqueza-com-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo>. Acesso em: 20 maio 2025.

MOHAMED ELSHAFEI , A.; MANSOUR , R. **Green Hydrogen as a Potential Solution for Reducing Carbon Emissions: A Review**. Journal of Energy Research and Reviews , v. 13, p. 1–10, 2023. DOI: 10.9734/jenrr/2023/v13i2257. Disponível em: <https://journaljenrr.com/index.php/JENRR/article/view/257>. Acesso em: 13 junho 2025.

NONATO, B. **Aço verde: o que é, como é produzido e quais os benefícios**. Blog AEVO, 2024. Disponível em: <https://blog.aevo.com.br/aco-verde/>. Acesso em: 20 maio 2025.

OLIVEIRA, L. M. de. **O hidrogênio verde como vetor de desenvolvimento sustentável no Brasil: desafios e oportunidades**. Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/server/api/core/bitstreams/c52227b5-f4e1-4a48-9a82-3f4ab3e49e54/content>. Acesso em: 20 maio 2025

RAPOSO, Patricia. **Nordeste tem 5 estados disputando investimentos em hidrogênio verde**. 2023. Disponível em: <https://movimentoeconomico.com.br/estados/2023/06/20/nordeste-tem-5-estados-disputando-investimentos-em-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

RODRIGUES, M. R.; SOUZA, M. S.; TAMBOR, M. C. **Hidrogênio Verde: uma nova perspectiva para a produção de energia renovável no Brasil**. Anais do Seminário Internacional de Etnicidades e Relações Raciais, 2019. Disponível em: https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais_Sem_Int_Etn_Racial/article/view/607. Acesso em: 20 maio 2025.

SANTOS, V.; OHARA, A. **Desafios e oportunidades para o Brasil com o hidrogênio verde**. São Paulo: E+ Transição Energética, 2021.

SILVA, J. M. **O hidrogênio como vetor energético: oportunidades e desafios para o Brasil**. Revista de Políticas Públicas, v. 20, n. 1, p. 145–168, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/260/26046651010.pdf>. Acesso em: 20 maio 2025.

VASCONCELOS, J. S.; MELLO, M. A. **Hidrogênio verde: oportunidades e desafios para o Brasil no contexto da transição energética.** Revista FDV, v. 28, n. 2, p. 122-135, 2021. Disponível em: <https://revistas.faa.edu.br/FDV/article/view/1088/791>. Acesso em: 20 maio 2025.

APÊNDICE A - ROTEIRO DA ENTREVISTA

- 1- O que diferencia o Maranhão de outros estados do nordeste para se tornar um polo de produção e exportação de hidrogênio verde?
- 2- Como a localização geográfica e a proximidade do Maranhão com mercados consumidores influenciam o potencial logístico para a exportação de hidrogênio verde?
- 3- Quais elementos de infraestrutura o Maranhão já possui que podem favorecer a instalação de projetos de hidrogênio verde?
- 4- Como o maranhão pode superar desafios logísticos como transporte e armazenamento para tornar a produção de hidrogênio verde mais eficiente?
- 5- Quais setores da economia a produção pode se beneficiar diretamente da produção e uso do hidrogênio verde no estado do Maranhão?
- 6- Como o Maranhão pode se posicionar no cenário nacional e internacional como um hub de energia limpa no futuro? O que tem sido feito?
- 7- A disponibilidade de fontes renováveis, como energia solar e eólica, no Maranhão é suficiente para sustentar a produção do hidrogênio em larga escala?
- 8- Existe algum projeto ou iniciativa em andamento no Maranhão relacionado à produção de hidrogênio verde?