

# Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará

FORTE, Sérgio H. A. C.  
GAZILLO, Anderson Montenegro

## Resumo

O mundo busca por soluções para a redução dos gases de efeito estufa na atmosfera. Um dos caminhos para viabilizar essa transição energética é através do uso do hidrogênio verde. O Brasil é um país que possui grandes vantagens e o porto do Pecém no Ceará em específico, possui uma localização estratégica, com incentivos tributários diferenciados, elevado fator de produção dos parques geradores eólicos, além de conexão com portos de maiores movimentações da União Europeia. Diante disso, o objetivo geral do trabalho é discutir o potencial do hidrogênio verde no comércio internacional para o estado do Ceará. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, descritiva, com uso de dados secundários. Foram utilizados dados por meio de pesquisas bibliográficas nas bases Google acadêmico, Google livros, EbscoHost e base CAPES. Verificamos que são diversos os investimentos em projetos de empresas internacionais que ultrapassam bilhões no Estado do Ceará, mostrando assim, o grande potencial de exportação do hidrogênio verde no comércio internacional. Nós concluímos que estado do Ceará é o local no Brasil com maiores investimentos de empresas estrangeiras e planos crescentes para produção do hidrogênio verde, podendo, desta forma, identificar seu grande potencial futuro, que contribuirá com a estratégia global de transição energética e descarbonização da economia, assim como ampliará as oportunidades de negócios nacionais e internacionais e a geração de empregos e renda no Ceará.

**Palavras-chave:** Energias renováveis, Hidrogênio verde, Comércio exterior.

## Abstract

The world is looking for solutions to reduce greenhouse gases in the atmosphere. One of the ways to make this energy transition viable is through the use of green hydrogen. Brazil is a country that has great advantages and the port of Pecém in Ceará in particular, has a strategic location, with differentiated tax incentives, high production factor of wind generator parks, in addition to connection with ports with greater movement in the European Union. In view of this, the general objective of the work is to discuss the potential of green hydrogen in international trade for the state of Ceará. This is a qualitative and descriptive research, using secondary data. Data were used through bibliographical research in Google academic databases, Google books, EbscoHost and CAPES database. We verify that there are several investments in projects by international companies, which exceed billions in the State of Ceará, thus showing the great potential for exporting green hydrogen in international trade. We concluded that the state of Ceará is the place in Brazil with the largest investments by foreign companies and growing plans for the production of green hydrogen, thus being able to identify its great future potential, which will contribute to the global strategy of energy transition and decarbonization of the economy, as well as expand national and international business opportunities and the generation of jobs and income in Ceará.

**Keywords:** Renewable energy, Green hydrogen, Foreign trade.

## Resumen

Bioenergía em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.

*Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará*

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

El mundo está buscando soluciones para reducir los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Una de las formas de viabilizar esta transición energética es mediante el uso de hidrógeno verde. Brasil es un país

que tiene grandes ventajas y el puerto de Pecém en Ceará en particular, tiene una ubicación estratégica, con incentivos fiscales diferenciados, alto factor de producción de parques eólicos, además de conexión con puertos de mayor movimiento en la Unión Europea. Frente a eso, el objetivo general del trabajo es discutir el potencial del hidrógeno verde en el comercio internacional para el estado de Ceará. Se trata de una investigación cualitativa, descriptiva, utilizando datos secundarios. Los datos fueron utilizados por medio de pesquisa bibliográfica en las bases de datos académicas de Google, Google books, EbscoHost y base de datos CAPES. Verificamos que existen varias inversiones en proyectos de empresas internacionales, que superan los miles de millones en el Estado de Ceará, mostrando así el gran potencial de exportación de hidrógeno verde en el comercio internacional. Concluimos que el estado de Ceará es el lugar de Brasil con mayores inversiones de empresas extranjeras y crecientes planes para la producción de hidrógeno verde, pudiendo así identificar su gran potencial futuro, que contribuirá a la estrategia global de transición energética. y descarbonización de la economía, así como ampliar las oportunidades de negocios nacionales e internacionales y la generación de empleos y renta en Ceará.

**Palabras clave:** Energías renovables, Hidrógeno verde, Comercio exterior.

## INTRODUÇÃO

O hidrogênio atualmente foi reconhecido como um combustível alternativo, com uma promessa de grande contribuição para a transição energética e essencial no processo de descarbonização e tem atraído a atenção não só de pesquisadores como também de governos. Quando produzido por uma fonte renovável, o hidrogênio pode possibilitar um sistema de energia não poluente mais seguro e econômico (BARROSO et al., 2021)

O gás hidrogênio pode ser empregado em diversas cadeias industriais, como no refino do petróleo, na produção de aço e fertilizantes, no processamento de alimentos e nos transportes (CAPURSO, 2022). Além disso, o gás hidrogênio pode ser usado como um instrumento de armazenamento de energia elétrica renovável (eólica e solar), capaz de ser transportado (no estado sólido, líquido, gasoso e ou via produtos químicos) em longas distâncias, criando conexões entre oferta e demanda, e aumentando a flexibilidade do sistema energético. Este composto tem a capacidade de atuar como um integrador entre a produção de energia elétrica e o seu uso industrial (ABDIN et al., 2020).

Essas características, somadas a expressivas reduções nos custos das fontes de energia renováveis e expectativas de reduções para eletrolisadores, resultam em um contexto político, econômico e de negócios completamente novo para esse setor (CHAVES et al., 2022).

Desta forma, o hidrogênio verde é apontado como a maior aposta para uma produção industrial mais sustentável e o Brasil é um país que possui grande potencial para a geração de hidrogênio verde, justificado pela diversificação de energias renováveis produzidas no país e considerável fração destas na matriz energética, além de possuir expectativas significativas para a capacidade de crescimento da área. Estima-se que, em 2050, a matriz elétrica brasileira terá uma participação de energias renováveis equivalente a 84%, sendo 56,7% proveniente de fonte hidráulica e 27,3% de outras fontes, como biomassa, eólica e solar (GÓES, 2021).

Exemplificando esse crescimento brasileiro, tem-se o anúncio do projeto-piloto para a implementação da primeira usina de hidrogênio verde do país, divulgado em 2021 e que terá suas instalações no Complexo Industrial e Portuário do Pecém, no estado do Ceará. Sendo assim, os países e cidades que têm baixos custos de produção de energias renováveis possuem vantagens competitivas que podem viabilizar suas especializações na produção e exportação de hidrogênio. Ou seja, os países podem optar por exportar hidrogênio e ou criar um *cluster* industrial associado à produção de hidrogênio (GÓES, 2021).

Desse modo, esse estudo busca preencher uma lacuna na literatura com atualizações sobre a temática, pois, apesar de existirem trabalhos na área da economia, engenharia mecânica, elétrica, de produção, comércio, entre outros, a cada dia o assunto se torna mais relevante e as informações sobre a importância, avanços, pesquisas, capitais, empresas investidoras, projetos do governo etc., estão em constantes atualizações nas diversas plataformas de pesquisa, podendo ser de grande valia o preenchimento e sintetização de novas informações na literatura.

Diante do exposto, tendo em vista que os países que conseguirem reduzir ao máximo a participação de fontes fósseis nas suas matrizes energéticas, e dominarem as tecnologias de geração de energia por fontes renováveis, certamente ocuparão papel de liderança no processo de transição energética rumo a uma economia global, que poderá gerar enormes oportunidades de investimentos, tributos, emprego e renda. Assim, este estudo se justifica a aprofundar os conhecimentos sobre a temática, tendo como pergunta norteadora: qual o impacto do hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará?

O objetivo geral do trabalho é discutir o potencial do hidrogênio verde no comércio internacional para o estado do Ceará. A pesquisa tem, ainda, os seguintes objetivos específicos: 1) discutir a importância do hidrogênio verde para o comércio internacional; 2) demonstrar as estratégias e pontos fortes do Brasil como exportador do hidrogênio para o comércio internacional; 3) identificar os projetos e investimentos para produção do hidrogênio e, 4) verificar os planos e avanços do comércio de hidrogênio verde no Estado do Ceará.

Nesse momento de transição de governo no Brasil, onde a preocupação com o meio ambiente é um tema muito presente nos encontros entre os líderes dos países, tem-se buscado encontrar maneiras alternativas e não poluentes de contribuir para a desaceleração e riscos ao nosso ecossistema, ao mesmo tempo em que, também é fundamental contribuir para o aumento da economia e do comércio no país, visando, assim, uma combinação entre o hidrogênio verde e o comércio internacional para englobar dois fatores fundamentais no contexto atual. Inclusive, em novembro de 2022 houve a COP 27, onde foi discutido novamente pelos líderes mundiais sobre a preocupação com o meio ambiente e os meios de reduzir os gases de efeito estufa, propostas de desenvolvimento sustentável e fundos para compensar danos causados por desastres climáticos (CASTRO; LEAL, 2022). As alterações no regime de chuvas e temperaturas, a falta de avanços relacionados à redução de gases de efeito estufa, as mudanças de uso e cobertura do solo associadas ao desmatamento, fogo (incêndios), expansão de atividades agrícolas e pecuária, são exemplos de fatores preocupantes nessas reuniões de cúpula mundial, tendo em vista que afetam não somente as mudanças climáticas, mas também a biodiversidade (GARCIA, 2022).

Ressalta-se, ainda, como relevância contextual, que as empresas estão preocupadas, independentemente da conjuntura econômica originada pela Pandemia da COVID-19, com a sua responsabilidade socioambiental, ou seja, repensar o modelo de negócio atual e trabalhar para uma recuperação econômica mais sustentável (GIZ, 2021). Além disso, ainda existem os recentes conflitos entre Rússia e Ucrânia que aumentaram os preços de energia devido às incertezas nos mercados globais de petróleo e gás, tornando assim os preços da energia insustentáveis para grande parte da população, sendo necessário um meio de baratear a energia para população. Espera-se que este trabalho tenha relevância prática, auxiliando não somente as empresas produtoras e exportadoras do hidrogênio, bem como os demais atores da cadeia exportadora, tanto da esfera governamental federal e estadual, mas também pesquisadores da temática, bancos e empresários investidores na área da energia e governantes que identifiquem a importância do hidrogênio verde e seu papel potencializado da economia do país. Como relevância social, identifica-se o barateamento das energias renováveis associado aos avanços tecnológicos, que estão provocando uma verdadeira revolução econômica.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 Hidrogênio Verde

O hidrogênio é o elemento químico mais abundante na Terra e só pode existir em combinação com outros elementos como a água e o oxigênio, além de se combinar com o carbono para formar hidrocarbonetos, como o gás natural, o carvão e o petróleo. Para que ele possa ser usado como combustível, precisa ser separado de outras moléculas (BONACIN, 2022).

Apesar de abundante, 93% dos átomos do universo, o hidrogênio é muito raramente encontrado na natureza em sua forma pura (LAMEIRAS, 2019). Seu uso como combustível é interessante por alguns motivos; sua combustão, que é essencialmente uma reação química entre hidrogênio gasoso e oxigênio, gera apenas água no processo que também, pode ser “quebrada” em hidrogênio e oxigênio. Dessa forma, é um combustível que pode ser gerado de elementos abundantes (água e oxigênio) e que, ao ser utilizado, gera um produto não poluente e de alto valor (FREITAS, 2022).

De acordo com o Brasil (2021b), o hidrogênio é um elemento químico com grande potencial energético. Se comparado, por exemplo, com o diesel, esse potencial pode ser três vezes superior, ou seja, 1 kg de hidrogênio gera um volume de energia equivalente a três vezes o conteúdo energético de 1 litro de óleo diesel.

Conforme a sua forma de obtenção e de seus níveis de produção de CO<sub>2</sub>, ele pode ser classificado por cores, desde as formas mais poluentes até as com poluição zero, como mostrado no Quadro 1.

**Quadro 1: Classificação do hidrogênio por cores**

Tipo	Caracterização
Hidrogênio Marrom	O hidrogênio marrom é obtido através da gaseificação do carvão mineral, sem a captura do carbono, sendo assim ele é considerado agressivo para o meio ambiente
Hidrogênio Cinza	O hidrogênio cinza é o produzido através da reforma a vapor do gás natural, e também sem a captura do carbono, então ele também é considerado nocivo ao meio ambiente
Hidrogênio Azul	O hidrogênio azul é obtido através da reforma a vapor de combustíveis fósseis, porém com a captura e reutilização do carbono, então ele já é mais eficiente comparado ao cinza e ao marrom.
Hidrogênio Branco	É produzido através da extração do hidrogênio natural, ou geológico.
Hidrogênio Turquesa	Produzido através da pirólise do metano e não gera emissão de carbono
Hidrogênio Verde	O hidrogênio verde é produzido através da eletrólise da água, com a eletricidade utilizada para a eletrólise proveniente de fontes renováveis. Possui zero ou baixa emissão de carbono
Hidrogênio Musgo	Produzido de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS, através de reformas catalíticas, gaseificação ou biodigestão anaeróbica.
Hidrogênio Rosa	Produzido através da eletrólise, porém a energia utilizada é a partir de fontes de energia nuclear.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2021a)

Como pode ser observado, das oito cores demonstradas, uma delas, a verde, é produzida de forma “limpa”, sendo proveniente de energia renovável. Logo, o termo ‘verde’ significa que o hidrogênio é produzido por zero emissão ou baixa emissão de carbono” (DEWAN, 2019). Outro que também é produzido de forma limpa é o hidrogênio branco, sendo este tipo de hidrogênio produzido pela gasificação de resíduos de plástico, biomassa e rejeitos de carvão, porém ele é pouco mencionado pela mídia (ZANCAN, 2022).

O hidrogênio verde é obtido a partir da quebra de moléculas que contêm H<sub>2</sub> em sua composição, mas difere do chamado hidrogênio cinza, por exemplo, já amplamente utilizado na indústria petroquímica e na produção de fertilizantes à base de amônia, que utiliza fontes fósseis, principalmente gás natural (ANDRADE, 2022).

O sistema de produção de hidrogênio verde demanda altos investimentos, visto que a única forma de conseguir a energia para manter o eletrolisador é através de energias renováveis. Caso não sejam utilizadas as energias renováveis o hidrogênio deixaria de ser considerado “verde” já que dependeria de uma forma poluente para manter o eletrolisador ligado (BARROSO et al., 2021).

A produção do hidrogênio através da decomposição da água é uma das formas mais limpas de produção do hidrogênio verde, uma vez que, a eletricidade necessária advém de uma fonte renovável de energia como solar, eólica, maremotriz, geotérmica, entre outras (SOUSA, 2022).

O hidrogênio pode ser utilizado como matéria-prima, combustível ou transportador e armazenamento de energia, e tem muitas aplicações possíveis nos setores de indústria, transporte, energia e edifícios. Mais importante ainda, ele não emite dióxido de carbono e causa pouca ou nenhuma poluição do ar quando em uso. Assim, oferece uma solução para descarbonizar processos industriais e em setores econômicos, em que a redução das emissões de carbono é difícil de alcançar (BEZERRA, 2022).

## **1.2 Hidrogênio Verde e o Comércio Internacional**

O hidrogênio com baixo teor de carbono pode ser um dos impulsionadores da próxima fase das transições de energia limpa da América Latina. O Chile tem a ambição de produzir e exportar o hidrogênio mais competitivo do mundo a partir de eletricidade renovável até 2030, e muitos países da América Latina, inclusive o Brasil, compartilham as condições que podem tornar a região uma líder global na produção de hidrogênio de baixo carbono (IEA, 2021).

No Brasil, a exploração do hidrogênio teve início na década de 1970, quando os sucessivos choques do petróleo tornaram evidentes os impactos da dependência dos combustíveis fósseis, motivando a busca por novas fontes de energia. Nesse sentido, em 1975, foi criado o Laboratório de Hidrogênio (LH<sub>2</sub>), sediado na Universidade de Campinas (Unicamp), em São Paulo (GÓES, 2021).

Naquele momento, a pesquisa em torno do hidrogênio centrava-se na viabilidade de seu uso em motores à combustão. Todavia, com o fim da crise do petróleo e a sua consequente queda de preço, os projetos desenvolvidos foram descontinuados (ANDRADE; LORENZI, 2015).

O futuro hidrogênio verde brasileiro deve ser capaz não só de suprir outros países em suas necessidades, mas, principalmente, o Brasil, beneficiando suas indústrias e sua economia com um energético limpo e competitivo. Para isso, entende-se como mais do que oportuno que no país se

iniciem as reflexões sobre como desenvolver física, técnica, comercial e reguladoramente essa indústria (DELGADO et al., 2021).

Especialistas acreditam que, até 2030, o Brasil terá uma posição de destaque nesse mercado, porém, em um período entre dois e quatro anos, o país já será capaz de gerar uma produção significativa de hidrogênio verde, sendo um dos desafios a redução de custos, já que sua obtenção é quatro vezes mais cara que a do hidrogênio convencional (BONACIN, 2022).

A estratégia do Brasil como futuro exportador de hidrogênio (inclusive o verde) está calcada não só na disponibilidade de vários recursos energéticos dispersos geograficamente no seu território, mas também em um momento oportuno de sérias mudanças de paradigmas em relação ao uso dos hidrocarbonetos como impulsionadores principais da economia global (DELGADO et al., 2021).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2021b), é possível observar ações de políticas públicas relevantes para a implementação da cadeia de produção do hidrogênio a partir do início dos anos 2000, com a criação do Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a economia do hidrogênio.

Em 2022, já se tem dois marcos importantes que afetam o setor de hidrogênio: a publicação do Decreto no 11.075, de 19 de maio de 2022, criando o mercado regulado de carbono no Brasil e o Projeto de Lei (PL) no 725/2022, que inclui o hidrogênio como fonte energética na matriz brasileira e estabelece metas para a sua inserção nos gasodutos nacionais, sendo adicionado até 2032 o percentual mínimo de 5% de hidrogênio na rede de gasodutos, e 10% até 2050. Dentro desses percentuais, 60% deve ser hidrogênio sustentável – de fontes energéticas como solar, eólica, biomassas, biogás e hidráulica até 2032, com aumento de participação de 80% até 2050 (IPEA, 2022).

Além do desenvolvimento de estratégias nacionais, a relevância da cooperação internacional para o desenvolvimento de projetos também é reafirmada a partir da experiência latino-americana. Destaca-se, nesse contexto, o papel da Alemanha, que vem desenvolvendo parcerias energéticas bilaterais (RAMOS et al., 2022).

Uma parceria energética entre Brasil e Alemanha foi relançada em 2017, com ênfase na diversificação da matriz elétrica, modernização do setor e descarbonização. A partir de 2020, com o lançamento da Estratégia Alemã para o Hidrogênio, o Brasil iniciou uma análise voltada para identificação de possibilidades de cooperação com a Alemanha, sobretudo relativas à oferta de hidrogênio verde para atendimento à demanda futura do país europeu. Nesse âmbito, o Estudo de Mapeamento Setorial do Hidrogênio Verde no Brasil foi lançado em 2021, com o objetivo de identificar os principais agentes envolvidos na cadeia de valor do hidrogênio no Brasil e as oportunidades correlatas (BRASIL, 2021b).

Os investimentos anunciados para a construção de usinas de hidrogênio verde no Brasil variam em localização e estão concentrados principalmente nos portos - Pecem no Ceará; Suape, Pernambuco, e Açu, no Rio de Janeiro. O porto do Pecem no Ceará, em específico, possui localização estratégica em uma zona de processamento de exportação, com incentivos tributários diferenciados, além de conexão com o porto de Roterdã, na Holanda – o maior porto marítimo da Europa –, e de disponibilidade de energia renovável. O porto de Roterdã é um sistema que combina produção e consumo de H<sub>2</sub>V e infraestrutura para distribuição aos demais países da Europa. Tendo

como principais atividades: dutos que irão até a Bélgica e a Alemanha, parque de produção, terminal de importação, eletrolisadores de 150 MW (Megawatts) a 250 MW, com fluxo de 20 Mt (milhões de toneladas) de H<sub>2</sub>V até 2050, para tanto é necessária cooperação internacional para garantir uma cadeia de valor bem-sucedida de importação/exportação (IPEA, 2022).

Particularmente para o Ceará, já foram assinados diversos protocolos de intenção entre o Governo do Estado e *players* internacionais e nacionais interessados em investir na cadeia produtiva do hidrogênio, sendo que a intenção é elevar o Ceará a uma posição de destaque no que se refere a energias renováveis no país (SILVA, 2022).

Entre outros, no Brasil, há 23 complexos *offshore* com processos abertos de licenciamento no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), que totalizam 46,6 GW (Gigawatt) de potência instalada. Os portos com eólicas *offshore* são modelos preferidos para H<sub>2</sub>V no Brasil, pois os *clusters* industriais costeiros podem ser portais para a construção de *hubs* de hidrogênio. Sendo assim, são diversas as oportunidades do uso interno e do comércio internacional do H<sub>2</sub>V (IPEA, 2022).

### 1.3 Pesquisas em Hidrogênio Verde

Na área da engenharia de produção, Freitas (2022) identificou, por exemplo, que o Brasil se beneficia de sua matriz energética num contexto de transição energética mundial, afirmando, ainda, que o país possui um grande potencial de ser um exportador de hidrogênio verde mundialmente e especificamente para a União Europeia, independentemente da configuração que fizer para a produção do hidrogênio. Silva (2022), na área de engenharia elétrica, analisou que com a expectativa de escassez do petróleo, existe a necessidade de um novo combustível para sucedê-lo no mercado, tornando o hidrogênio um elemento crucial para este feito. No entanto, ressalta que é imprescindível um melhoramento nos métodos de transporte e armazenamento do hidrogênio sendo necessário diminuir os custos dos eletrolisadores. Entretanto, os problemas com transportes seriam reduzidos, se aplicada a produção através da geração distribuída. Da engenharia mecânica, Sousa (2022), identificou o grande potencial do Ceará como um todo para geração de hidrogênio verde e percebeu que há recursos suficientes para implementação desta tecnologia, uma vez que, no Estado existem diversos recursos renováveis do para geração de hidrogênio verde.

Barroso et al. (2021) constataram que no cenário mundial, o Brasil, por ser um país que já utiliza fontes renováveis de energia, apresenta-se como sendo uma potência para o desenvolvimento dessa nova tecnologia energética sustentável, tanto para o uso interno (pequenas centrais de energias e transporte de passageiros), como para exportação, onde país como Alemanha, já procuram fornecedores brasileiros. Ramos (2022) relatou que outro ponto que deve ser desenvolvido é o do financiamento em longo prazo para a produção de H<sub>2</sub>V e para reconversão industrial. Um modelo de financiamento semelhante ao utilizado para o desenvolvimento das renováveis na década passada pelo BNDES poderá ser adotado com aperfeiçoamentos. Giz (2021) fez um mapeamento da indústria e dos principais atores acadêmicos e institucionais como uma preparação de um *roadmap* brasileiro de hidrogênio verde. Neder (2022) identificou que o BNDES vai entrar no apoio à produção do hidrogênio verde, sendo oferecidos empréstimos para produção tanto destinada ao comércio nacional, quanto o comércio internacional.

Na área da economia, Lã Branca (2021) constatou que existem poucas alternativas ou nenhuma que podem funcionar tão bem como o hidrogênio verde em se tratar de descarbonização da economia, sendo esse o principal fator para redução de gases com efeito estufa e crescimento da economia. Ainda diante da economia, Delgado e Costa (2021) retratam que é importante atentar para a progressão das rotas de hidrogênio, haja vista o “desenvolvimento tecnológico ainda necessário para sua plena competitividade que aparenta ser essencial para possibilitar uma futura mudança de paradigma: de uma economia de combustíveis fósseis para uma economia global do hidrogênio”.

O IPEA (2022), a partir do panorama do hidrogênio no Brasil, identificou que o Brasil está em um grande momento para o hidrogênio como vetor energético, com previsão de investimentos nos próximos anos que já somam mais de US\$ 27 bilhões. Assim, também, Nadaleti, Santos e Lourenço (2020) apresentam o potencial e a viabilidade econômica da produção de hidrogênio, a partir do aproveitamento da energia excedente de hidrelétricas e eólicas no Brasil.

Pode-se verificar que são diversas as vertentes dispostas a analisar e descrever sobre o hidrogênio verde. Diante do contexto que vivemos em relação ao clima e das condições socioeconômicas apresentadas mundialmente, esse assunto traz o frescor da inovação. São diversos os pesquisadores interessados na área, sendo benéfico não só para colaborar na construção do conhecimento, como também incentivar o desenvolvimento de novas descobertas na temática, e induzir a produção e exploração de novos contextos.

## 2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta pesquisa é do tipo teórico-empírica (Demo, 2000), qualitativa (COLLIS; HUSSEY, 2005), descritiva (DEMO, 2000), de corte transversal (WOOLDRIDGE, 2010), bibliográfica (LAKATOS; MARCONI, 2002), com utilização de dados secundários, pois envolve argumentos e métodos teóricos, por meio da literatura, examinando evidências baseadas em dados e resultados empíricos, coletados de forma sistemática.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados dados secundários, extraídos de publicações da área de comércio exterior e economia. A coleta de dados foi obtida a partir de dados coletados nas bases de consulta Google acadêmico, Google livros, EbscoHost e base de dados CAPES, além de entrevistas do *Youtube* e palestra com *expert* na área de hidrogênio verde. Foram utilizadas as palavras chaves a seguir: “energias renováveis”, “hidrogênio verde”, “comércio brasileiro”, “comércio internacional” e “comércio exterior”.

Com base no estabelecimento de critérios para a inclusão e exclusão de estudos/amostragem ou busca na literatura, os parâmetros utilizados para a inclusão dos artigos eram: artigos originais, no idioma português, inglês e espanhol, publicados nos últimos cinco anos (2017-2022), disponíveis na íntegra nas bases de dados selecionadas, capítulos de livros, teses, monografias, dissertações, trabalhos de conclusão de cursos na íntegra.

Para a coleta de também foram utilizadas informações por meio do *Youtube*, extraídas de entrevistas, coletadas nos meses de setembro e outubro 2022, referentes à energia vinda do hidrogênio, e hidrogênio verde e suas relações com o comércio no Brasil e em especial no Ceará,

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.  
*Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará*  
 FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

e, ainda, mediante palestra realizada no dia 07 de dezembro de 2022, ministrada por *expert* na área do hidrogênio verde. Os vídeos e a palestra foram especificados conforme Quadro 2:

VÍDEO	TÍTULO	TEMPO DE DURAÇÃO	DATA	ENTREVISTADOS
<b>Vídeo 1 (V1)</b>	O que é hidrogênio verde?	4min.29seg.	27/08/2022	E1 – Henri Ozi Cukier (cientista político e professor)
<b>Vídeo 2 (V2)</b>	Hidrogênio verde: Ceará possui primeiro pré-contrato para usina.	57min25seg	16 de agosto de 2022	E1) Constantino Frate (Assessor da secretaria executiva da indústria da Secretaria de Desenvolvimento do Ceará) (E2) - Lucio Bonfim (Sócio diretor da Bio Energia) (E3) - Carlos Alberto Nunes (gerente comercial da TC Terminais Portuários Ceará)
<b>Vídeo 3 (V3)</b>	“Energia por Hidrogênio	14min18seg	06 de setembro de 2019.	Entrevistado (E1): Edson Antônio Ticianelli (Pesquisador Eletroquímica)
<b>Vídeo 4 (V4)</b>	Hidrogênio verde: Fundamentos e Perspectivas Brasileiras	2h05min38seg	14 de março de 2022	(E1) - Luiz Augusto H. Nogueira (Coordenador BIOEN - Consultor em estudos energéticos para a Comissão Econômica das Nações Unidas) (E2) - Jamil Haddad (Engenheiro electricista – Professor voluntário)
<b>Palestra 1 (P1)</b>	Ceará a casa do hidrogênio verde no Brasil	-----	07 de dezembro de 2022	Palestrante (P1) – Francisco de Queiroz Maia Junior (Engenheiro Civil – Secretário do Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Estado do Ceará)

**Quadro 2: Vídeos e Palestra**

Fonte: Autores.

A pesquisa foi analisada por meio da técnica de análise de conteúdo (BARDIN, 2016), a qual se pode aplicar em discursos diversos e a todas as formas de comunicação, seja qual for à natureza do seu suporte, estruturadas em três fases: 1) pré-análise; 2) exploração do material, categorização ou codificação; 3) tratamento dos resultados, inferências e interpretação. As análises foram subdivididas quatro categorias, selecionadas, mediante a leitura prévia do material bibliográfico: (1) importância do hidrogênio verde para o comércio internacional; (2) as estratégias da produção do hidrogênio verde para comercialização e pontos fortes do Brasil como exportador do hidrogênio; (3) investimentos no comércio internacional do hidrogênio verde; e (4) os planos e avanços do comércio de hidrogênio verde no Ceará.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Importância do Hidrogênio Verde para o Comércio Internacional

Partindo do hidrogênio produzido por meio da eletrólise com uma fonte energética renovável, a primeira possibilidade seria a utilização deste para suprir possíveis demandas do *grid*, isto é, a “reeletrificação” em momentos de pico. Entretanto, considerando que há outras formas mais interessantes de utilização do ponto de vista industrial e químico e possíveis questões de eficiência energética, considera-se a utilização no setor de energia não será tão usual (FREITAS, 2022).

Por sua vez, Bezerra (2021) identifica que a utilização em outros setores apresenta maiores demandas e potencial de escalabilidade. O hidrogênio verde pode ser usado como matéria-prima, combustível ou transportador e armazenamento de energia, e tem muitas aplicações possíveis nos setores de indústria, transporte, energia e edifícios.

No setor de transportes, pode ser utilizado tanto para produção do metanol e posterior produção de “e-combustível”, quanto utilizado diretamente por células de combustível, ampliando a possibilidade de uso por diferentes modais. Estas últimas apresentam no momento custos que não são competitivos com alternativas do mercado, mas que reduziu cerca de 70% desde 2008 e pode reduzir em mais 70% com economias de escala (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

No V3, E1 afirma que comparando a quilometragem feita nos combustíveis atuais, com o Hidrogênio “*os 8km/L de etanol podem virar até 20km/L de rodagem nos veículos com o hidrogênio*”.

Porém, sua utilização apresenta alguns entraves: os combustíveis sintéticos são caros de produzir, perdem muita energia desde a produção até o consumo e ferozmente exigem mais cuidado no manuseio do que os combustíveis líquidos usuais (FREITAS, 2022).

E1 no V1 ainda acrescenta “*O maior problema hoje da aplicação desse tipo de sistema, são os custos, que estão associados à curta durabilidade dos sistemas, então pesquisas precisam ser feitas para melhorar os aspectos em relação à durabilidade e ao menor uso de catalizadores que possuem alto custo*”.

No setor residencial, pode ser utilizado para aquecimento utilizando a infraestrutura de gás natural existente (atualmente a percentagem de H<sub>2</sub> misturado com gás natural é limitada). No setor industrial, pode ser utilizado para a fabricação de aço, reduzindo significativamente as emissões de gases de efeito estufa desse processo (BHASKAR et al., 2020).

Entretanto, o maior potencial de uso do hidrogênio encontra-se na agricultura: ele pode ser usado para sintetizar amônia junto com nitrogênio no processo Haber-Bosch, onde moléculas de nitrogênio e hidrogênio reagem para formar amônia (Capdefila-Cortada, 2019) ou em algum outro produto similar a este amplamente utilizado na indústria (WEICHENHAIN et al., 2021). Como a amônia é amplamente utilizada na produção de fertilizantes, já existe considerável *expertise* tanto no armazenamento, quanto no transporte dessa substância. Desta forma, tem vantagens sobre o uso de hidrogênio para transporte de longa distância que cobre 45% da demanda global de combustível marítimo em um cenário Net-Zero (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

A importância do hidrogênio verde não está centrada somente nas questões ambientais, como, por exemplo, na redução das emissões de gases tóxicos para atmosfera. Sua importância como pode ser visto, também está na incorporação de novas tecnologias em vários setores, seja no setor de transportes, agricultura etc., beneficiando economicamente os governos que têm como foco a produção do H2V. As vantagens governamentais de investir, planejar e programar trazem benefícios em longo prazo, para o comércio nacional e internacional, economia e inovação dos países que dominarem as tecnologias de geração de energia e produção de hidrogênio verde.

### **3.2 Estratégias e Pontos Fortes do Brasil como Exportador**

A estratégia do Brasil como futuro exportador de hidrogênio verde está calcada não só na disponibilidade de vários recursos energéticos dispersos geograficamente no seu território, mas também em um momento oportuno de sérias mudanças de paradigmas em relação ao uso dos hidrocarbonetos como impulsionadores principais da economia global (IPEA, 2022).

No V1, o E1 analisou que “o Brasil tem uma posição geográfica de vantagem, além *de estar próximo dos grandes mercados do mundo, consumidores de Hidrogênio*”.

No contexto brasileiro, foram identificados pelo Ipea (2022) os principais pontos fortes no desenvolvimento de um mercado nacional e de exportação de hidrogênio sustentável brasileiro. As principais forças competitivas identificadas que evidenciam o potencial de produção de H2V no Brasil são: Disponibilidade de recursos naturais (gás, etanol e água); crescimento da produção de energias renováveis; Facilidade de escoamento da produção e geolocalização; mercado de gás natural em evolução; crescente redução de custos de geração de energia, inclusive em comparação internacional, e o crescimento da produção de energia solar e eólica.

A evolução da capacidade em GWh (Gigawatts-hora), da energia eólica e da energia solar, fazendo uma comparação entre 2019 e 2029, é mais que o dobro da capacidade na energia eólica, enquanto na energia solar é quase seis vezes maior em 2029 (BRASIL, 2021a).

A esse respeito, P1 analisa que “o Brasil pode ter o hidrogênio verde mais barato do mundo”. E que “a nova demanda por hidrogênio em 2050 é de apenas 190 milhões de toneladas métricas em nosso cenário cinza, em comparação com 1.318 milhões de toneladas no cenário verde”

Diante disso, e tendo em vista que já existem diversas políticas e que estão sendo desenhadas novas a todo o momento para o mercado do hidrogênio no Brasil, tem-se identificado por Góes (2021), que essas políticas e incentivos têm buscado: A dinamização da procura e o

escalamento da oferta; o estímulo à pesquisa e desenvolvimento; o aproveitamento da infraestrutura existente; e a cooperação e as parcerias internacionais.

A posição geográfica do Brasil favorável e a disponibilidade da abundância de fontes de energia renováveis são fatores que deixam o Brasil em vantagem competitiva comparada a outros países. Entre outros, são vários pontos fontes que o país possui. Entretanto, a elaboração de estratégias para realização de pesquisas, políticas, para produção e comercialização do hidrogênio verde são necessárias para antecipar as necessidades do comércio. É necessário um planejamento antecipado para ficar à frente, como futuro grande exportador do H<sub>2</sub>V no mundo.

### 3.3 Investimentos do Comércio Internacional no Hidrogênio Verde

Na Europa, é visto que o hidrogênio verde deve representar pelo menos 5,7% de todos os combustíveis até 2030, incluindo 1,2% no setor marítimo. Além disso, 50% da indústria deverá fazer a transição para o hidrogênio verde até 2030, chegando a 70% até 2035 (EPBR, 2022).

A política de hidrogênio na União Europeia é principalmente guiada pelo financiamento em pesquisas e desenvolvimento interno e parcerias internacionais. As parcerias estratégicas englobam países com oferta potencial de hidrogênio verde para exportação (CNI, 2022).

Em setembro de 2022 a Comissão Europeia anunciou a criação de um Banco Europeu do Hidrogênio, que destinará 3 bilhões de euros para alcançar a meta de consumo de 20 milhões de toneladas de hidrogênio verde até 2030, prevista no RePower - programa de substituição do gás natural russo. Dos 20 milhões de toneladas de hidrogênio verde, 10 milhões virão da produção doméstica e outras 10 milhões de toneladas de importação (MONTEIRO et al., 2022).

Além do apresentado acima, no V1, E2 analisou que *“deve-se dar destaque à Europa, que está com problemas com a Ucrânia, e que precisa substituir toda sua dependência do gás natural, logo, o hidrogênio verde cairia como uma luva nesse quesito”*.

Inclusive P1 menciona que as boas condições para produção do hidrogênio verde no Brasil, se devem também devido ao *“aumento de demanda pelo risco de segurança energética do continente europeu motivado pelo cenário da guerra Rússia x Ucrânia”*.

No V4, E1 ainda acrescentou que *“a Alemanha já previa um *shift* do hidrogênio verde antes mesmo de sua popularidade atual, e com a guerra da Ucrânia essa urgência de substituição por outra fonte de energia se tornou ainda maior”*.

Ademais, a necessidade de mudança da hegemonia energética que a Rússia possui na Europa, tem-se também a preocupação ambiental, que buscou meios viáveis economicamente ajudar na situação do planeta. No V2, E2 analisou ainda nesse contexto *“o Brasil como grande beneficiado diante da busca dos países desenvolvidos por alternativas de energia não poluentes do planeta, pois possui grandes vantagens para produção de hidrogênio verde”*, sendo que esse benefício se dá *“principalmente diante da guerra com a Ucrânia em que a dependência do gás Russo fez um alerta grande para os países da Europa”*, como mencionado também em V4E1 e V1E2.

Quanto aos investimentos do governo no desenvolvimento das economias do hidrogênio, estes já totalizam atualmente USD 70 bilhões anunciados. Em relação ao volume total de investimentos em projetos de hidrogênio, o Hydrogen Council reporta (2021) um volume de USD 300 bilhões até 2030. Vale ressaltar que devido à fase inicial de alguns projetos, 75% do volume

anunciado (equivalente a USD 225 bilhões) ainda não tem compromisso de investimento que deverá ser ratificado conforme o desenvolvimento dos projetos. Até 2030, o Hydrogen Council estima US\$ 80 bilhões em investimentos confirmados. Isso inclui US\$ 45 bilhões no estágio de planejamento, o que significa que as empresas estão gastando pesadamente no desenvolvimento de projetos. Outros US\$ 38 bilhões incluem projetos comissionados ou em construção, comissionados ou já em operação (GIZ, 2022). Dos 25 apresentados, 18 deles de empresas internacionais e somente 7 de empresas nacionais. Desses em sua maioria concentrados os investimentos no Estado do Ceará, sendo esse número crescente a cada dia (IPEA, 2022).

Conforme o IPEA (2022), no Brasil, a transição energética exigirá uma colaboração entre os setores público e privado. Os investimentos anunciados para construção de usinas produtoras de hidrogênio verde (H2V) já somam mais de US\$ 27 bilhões, a maioria concentrados em portos – Pecém, no Ceará; Suape, em Pernambuco; e Açú, no Rio de Janeiro. Esses portos combinam uma série de fatores estratégicos para o desenvolvimento da nova cadeia do H2V, como logística para exportação, proximidade de polos industriais e de fontes de energia renovável – utilizada na eletrólise para sintetização do H2V (IPEA 2022).

O complexo do Pecém destaca-se em especial pela sua localização geográfica estratégica, com rotas marítimas conectadas à Europa e aos Estados Unidos, os diversos incentivos fiscais que oferece à área e o fato de que o Pecém é um parque industrial instalado com empresas do “mercado consumidor de hidrogênio”, todas elas grandes poluentes, sendo as mesmas grandes interessadas em utilizar o H2V (ANGELO, 2022).

De acordo com BRASIL (2021a), de 2013 a 2018 foram identificados 91 projetos associados a hidrogênio e pilhas a combustível, com recursos totais na ordem de R\$ 34 milhões financiados pela ANEEL, ANP e ou Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT).

Visto o potencial do país, inclusive projetos pilotos e investimentos sendo feitos na área, o Ministério de Minas e Energia (MME), em agosto de 2021, propôs diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2). Este visa desenvolver em conjunto políticas públicas, tecnologia e mercado, tidos como pilares fundamentais para desenvolvimento de uma economia do hidrogênio (BRASIL, 2021c).

Gurlit et al. (2021) identificaram uma oportunidade total de US\$ 15 bilhões a US\$ 20 bilhões em 2040, com a maior parte desse potencial (US\$ 10 bilhões a US\$ 12 bilhões) para servir ao mercado doméstico – em particular o transporte de carga por caminhões, a siderurgia e outros usos energéticos industriais além dos outros de US\$ 4 bilhões a US\$ 6 bilhões oriundos das exportações de derivados de H2V para a Europa e os Estados Unidos. Para viabilizar esse cenário acelerado, o H2V precisará de US\$ 200 bilhões em investimentos, incluindo 180 GW de capacidade de geração de eletricidade renovável adicional.

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) vai entrar no apoio à produção do hidrogênio verde. Uma nova linha de crédito oferecerá empréstimos de até R\$ 300 milhões para construção de fábricas de produção para o mercado doméstico, tanto para atender a demanda nacional quanto do comércio internacional (NEDER, 2022).

Entretanto, como foi citado pelo economista Sênior de Energia do Banco Mundial, Carlos Costa, alguns desafios que podem vir a dificultar os investimentos. O primeiro é o alto custo dos

hidroeletrizadores, mecanismos que extraem hidrogênio da água. Outro aspecto seria a incerteza sobre a performance técnica do combustível, uma vez que os projetos implementados até o momento envolvem apenas “escalas menores” de produção, “havendo, portanto, risco ao se passar para grandes escalas” (GRIESINGER, 2022).

No V4, E1 questiona sobre essas dificuldades “*Como vamos enfrentar o alto custo do hidrogênio?*”. No entanto, em seguida analisa que “no cenário de grandes transições, o Brasil se destaca e desde já, estão sendo analisadas as possibilidades para resolver as questões conflitantes em relação ao transporte, por exemplo”.

No V2, E1 concorda com a questão da dificuldade de transporte afirmando que “*o hidrogênio como H<sub>2</sub>, é muito difícil de ser transportado, porque teria que ser comprimido à altas pressões, ou liquefeito a temperaturas próximas a -237 graus centígrados, o que seria um grande desperdício de energia*”, entretanto, já continuou descrevendo como seria esse transporte “*a forma de transportar o hidrogênio é o transformando em amônia, refrigerando a -30 graus e assim podendo transportar em navios, sendo essa é a forma atualmente mais econômica do armazenamento e do transporte*”.

Já P1 ameniza, explicando que o H<sub>2</sub>V:

Pode ser transportado sob altas pressões, dentro de cilindros, e líquido, sob altas pressões e baixas temperaturas. Pode também ser transportado em “hidretos metálicos”. Nesse caso, ele é misturado a outros metais, podendo então ser transportado na forma sólida, o que garante maior segurança. A forma mais comumente usada é sob altas pressões, mas há evolução tecnológica principalmente na forma de hidretos metálicos.

Pode-se notar que o crescimento de investimentos no comércio do hidrogênio verde tem aumentado gradativamente a cada ano. A preocupação ambiental mundial é um dos fatores que estão contribuindo positivamente para as modificações necessárias a diminuição dos gases de efeito estufa. Além disso, a guerra da Rússia com Ucrânia trouxe essa urgência da busca por alternativas energéticas, pois a hegemonia que a Rússia possui na Europa, tornou-se um grande problema com a guerra.

Em relação ao Brasil, ele se beneficiou diante das buscas dos países Europeus por alternativas energéticas. Suas vantagens mencionadas anteriormente no capítulo anterior o tornaram um potencial exportador do H<sub>2</sub>V. Com isso, fica claro que cabe ao governo aproveitar as oportunidades econômicas e comerciais, para valorizar seu potencial.

### **3.4 Planos e Avanços do Comércio de Hidrogênio Verde no Ceará**

É perceptível que a disposição geográfica da região Nordeste do país, somada ao elevado fator de produção dos parques geradores eólicos, resultem em um grande potencial para geração de hidrogênio verde para exportação. Tomando como base os portos de maior movimentação na União Europeia (Rotterdam, Hamburgo e Antuérpia), a distância geográfica média entre Fortaleza é de 7,5 mil km, ao passo que a distância de Porto Alegre até tais portos é cerca de 40% maior (10,6 mil km) (GIZ, 2021).

O E1 destacou, ainda, no V1 que:

...devido ao Brasil ter uma vantagem natural, principalmente no Nordeste, com muito sol, vento, água, doce e salgada, nós podemos nos tornar o maior produtor do mundo de hidrogênio verde. Ele pode substituir o hidrogênio convencional, sendo utilizado em fábricas para produção de fertilizantes, amônia, e nos meios de transporte. Beneficiando assim, não somente o comércio nacional como o internacional.

Conforme destacado por Sousa (2022), o Estado do Ceará apresentou o plano Ceará 2050 que por meio de uma plataforma possui uma área de resultados em que engloba o tópico intitulado de “Valor para a sociedade” que está em linha com a agenda 2030 da Organização das Nações Unidas de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Dessa forma, na área do plano de geração de valor para a sociedade existe a subárea de “Cadeias Produtivas”, na qual contempla a reinvenção setorial com o aproveitamento das vantagens competitivas dos setores mais 21 expressivos do estado e dentro deste está englobado energia limpa e renovável e recursos hídricos, de acordo com os objetivos 4 e 6 presentes no relatório de 2018:

Objetivo 4: Consolidar o Ceará como o maior produtor e distribuidor nacional de energia de fontes limpas e renováveis (solar, eólica, biocombustíveis), aproveitando a atuação na cadeia para o desenvolvendo de produtos e serviços de alto valor agregado na indústria e no campo a partir de processos inovadores e sustentáveis.

Objetivo 6: Elevar ao grau de excelência a gestão de recursos hídricos (uso, reuso e reaproveitamento econômico e racional da água) do Ceará e mitigação dos impactos das mudanças climáticas no território do semiárido (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2020).

Em relação às vantagens competitivas que o Ceará tem diante do comércio de H2V, P1 citou em sua apresentação, a estrutura e logística do Estado, detalhada a seguir:

- Elevado potencial de energia eólica *on shore* (94 GW) e *offshore* (117 GW);
- Elevado potencial de energia solar (643 GW);
- Condições adequadas do Porto do Pecém para sediar um *HUB* de H2V;
- Estado com condições fiscais e administrativas confiáveis;
- Existência de Universidades e Institutos Tecnológicos;
- Qualidade da mão de obra;
- Rede de ensino médio e superior para atender a demanda da nova cadeia produtiva;
- 4 (quatro) Siderúrgicas em Operação;
- ZPE – Zona de Processamento de Exportação do Ceará;
- Parceria com Porto de Roterdã.

Após a assinatura com novas empresas em 2022, o estado totalizará 24 companhias interessadas no *Hub* de hidrogênio verde. O empreendimento muda o contexto econômico do estado. A ideia central do projeto, que foi apresentado em meados de fevereiro de 2021, será instalada no Complexo Industrial e Portuário do Pecém. O projeto promete ser um dos maiores do mundo e tem como objetivo reduzir as emissões de poluentes e abrir oportunidades de emprego para moradores do Ceará, impulsionando a economia e fazendo o estado ser destaque no setor (CRUZ, 2022).

Em outubro de 2022, a Casa Civil do Estado do Ceará afirmou que após o Governo do Estado ter assinado mais dois memorandos de entendimento, somando-se os 24 documentos mencionados anteriormente, a intenção com esses projetos é de tornar o Ceará o principal produtor de energia renovável do país (CRUZ, 2022).

O ex-Secretário do Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Estado Ceará, Maia Júnior, destacou em entrevista realizada em outubro de 2022, a importância desse ato de assinatura de mais dois novos documentos para os próximos anos no estado. “Hoje tem uma convicção muito grande que o Ceará vai realizar esses projetos e cumprir o desafio, em até menos de 10 anos, que é consolidar o Ceará em um dos principais locais do mundo em produção de energias renováveis e produção de hidrogênio verde” (CAMPOS, 2022).

Em entrevista divulgada pelo jornal virtual Comex Brasil, o professor Fernando Melo Nunes do Parque Tecnológico da UFC, informou que “Há possibilidades de se ter veículos carregados com hidrogênio, ou fazer o aquecimento de residência e até mesmo utiliza-lo em indústrias que hoje usam carvão”. Deste modo, é constante a busca por investimento, para assim ampliar as oportunidades de negócios nacionais e internacionais e a geração de empregos no Ceará (ECB, 2022).

Um marco regulatório sobre o setor no Ceará, também foi citado pelo economista Sênior de Energia do Banco Mundial, Carlos Costa: “Há também outros desafios por envolver um novo modelo de negócio, mas do mesmo jeito que a Petrobras criou um centro [petrolífero] no Rio de Janeiro, há possibilidades de se fazer algo similar no Ceará”. Tendo acrescentando também que: “Este não é um projeto do Ceará, mas da nação brasileira, tendo o Ceará como leme” (GRIESINGER, 2022).

Conforme destaca Picanço (2021), entre outros, já foram anunciados no estado do Ceará os seguintes projetos (ver Quadro 3):

**Quadro 3 – Projetos anunciados no Estado do Ceará.**

<b>Empresa</b>	<b>Características dos Projetos</b>
White Martins/Linde	<ul style="list-style-type: none"><li>• A White Martins é uma empresa do grupo Linde desde 2019.</li><li>• Aproveita a sinergia da planta de gases da White Martins já existente na Zona de Processamento de Exportação (ZPE).</li><li>• Objetiva desenvolver projeto da cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a intenção de participação em <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades.</li></ul>

Fortescue	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto Brasil 2025: 2GW: 300.000 ton/ano de eletrólise de hidrogênio verde,</li> <li>• Investimento total de USD 6 bilhões.</li> </ul>
Qair Brasil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto Liberdade: 2,24GW: 296.000 ton/ano de eletólise de hidrogênio verde.</li> <li>• Complexo Eólico <i>Offshore</i> Dragão do Mar: 1,22GW.</li> <li>• Investimentos de US\$ 3,95 bilhões em H2V e de US\$ 3 bilhões na eólica <i>offshore</i>.</li> </ul>
EDP Energias do Brasil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto Piloto da 1ª usina hidrogênio do Brasil (Operação em 2022),</li> <li>• Capacidade: 3 MW usina solar; 250 Nm<sup>3</sup>/h de produção de H2V.</li> <li>• Investimento de R\$ 41,9 milhões.</li> </ul>
Diferencial Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opera no setor elétrico brasileiro na comercialização de energia, projetos de geração e consultoria.</li> <li>• Intenção de participação em <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades a ser desenvolvido e implantado no HUB do Pécem.</li> </ul>
H2Helium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvedores de projetos de Blue/Green H2/NH3.</li> <li>• Objetiva desenvolver projeto de cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a possibilidade de estudar a participação de <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades.</li> </ul>
Hytron	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comercializa e projeta soluções inovadoras para produção de hidrogênio.</li> <li>• Objetiva desenvolver e buscar a viabilidade de um Projeto Piloto para a produção de Hidrogênio Verde de até 5 MW, que será localizado no Porto do Pécem.</li> </ul>
Eneva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A maior operadora de gás natural do país. Tem parque térmico de 2,8 GW de capacidade contratada.</li> <li>• Objetiva desenvolver projeto da cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a intenção de participação em <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades.</li> </ul>
Neoenergia/Iberdrola	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É uma empresa integrada de energia que atua nos quatro segmentos do setor elétrico: geração, transmissão, distribuição e comercialização.</li> <li>• Objetiva realizar análise de viabilidade de um projeto de mobilidade urbana com utilização de veículos para transporte público movidos à hidrogênio verde.</li> </ul>
Engie Brasil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tem seu foco principal a exportação do hidrogênio verde, no entanto, também está sendo avaliado seu uso em mobilidade pesada, na indústria do aço, produção de químicos e mistura para as redes de transporte de gases, o que permitiria transformar o projeto em um <i>hub</i> de hidrogênio verde</li> <li>• Objetiva produzir entre 100 e 150 MW em um prazo de até cinco anos e em seguida desenvolver outras fases até chegar à uma escala maior, acompanhando a expansão dos mercados locais e internacionais</li> </ul>
Transhydrogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formado pelas empresas Proton Ventures, Trammo, Global Energy Storage e VARO.</li> <li>• Objetiva a produção de 500 mil toneladas de hidrogênio verde por ano.</li> <li>• Investimento inicial de US\$ 2 bilhões.</li> </ul>
AES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objetiva estudo de viabilidade para construção de uma planta com capacidade inicial de 1 GW de energia renovável.</li> <li>• Estima produção de até 500 mil ton/ano de amônia verde para exportação.</li> <li>• Investimento estimado em até US\$ 2 bilhões, nos cinco primeiros anos.</li> </ul>
Enel Green Power	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto contará com algumas fases até a sua finalização, mas a companhia energética pretende aproveitar o potencial produtivo desde a primeira etapa e vai instalar o projeto Green Hydrogen Fortaleza</li> <li>• Capacidade de até 400 MW de eletrolisadores já na primeira fase.</li> </ul>
Cactus Energia Verde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão de construção para início de 2023</li> <li>• Capacidade para produzir 10.500 toneladas de hidrogênio e 5.250 toneladas de oxigênio verdes por mês.</li> <li>• Investimento é de 5 bilhões de Euros.</li> </ul>
Nexway	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresa tem a intenção de participar do <i>pool</i> de armazenamento de amônia, no futuro HUB de H2V no Porto do Pécem.</li> </ul>

Energix Energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objetiva produzir mais de 600 milhões de kg/ano de hidrogênio verde a partir de 3,4GW de potência, advindos projetos eólicos e solares combinados.</li> <li>• Investimento de U\$ 5,4 bilhões</li> </ul>
mitsui	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acordo voltado à mobilidade</li> <li>• Com Mitsui e a fabricante de carrocerias CaetanoBus, o interesse é desenvolver a cadeia produtiva de hidrogênio e amônia em Pecém, incluindo projetos de mobilidade com células a combustíveis.</li> </ul>
ALUPAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresa tem interesse em desenvolver projeto da cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a intenção da avaliação da participação em <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades a ser desenvolvido e implantado no futuro <i>Hub</i>.</li> </ul>
Casa dos Ventos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objetiva a instalação de unidade fabril de produção de hidrogênio e amônia verde.</li> <li>• Primeira fase prevista para iniciar operação em 2026.</li> <li>• Capacidade de até 2,4 GW de eletrólise, produzindo mais de mil toneladas de hidrogênio por dia.</li> <li>• Projeto, que já vem sendo trabalhado desde 2021 entre as partes, agora segue para a fase de licenciamento ambiental e projeto básico para iniciar sua implantação que será dividida em etapas.</li> </ul>

Picanço (2021).

No Quadro 3, identificam-se algumas das empresas e os projetos de produção do hidrogênio verde que foram anunciados a serem desenvolvidos no Ceará. Além das mencionadas acima, temos também a empresa Total Eren do Brasil; Stolthaven Santos; a H2 Grenn Power; ASEA Brown Boveri; e a HDF Energy, totalizando as 24 empresas com assinaturas de memorandos de entendimento.

A empresa australiana Energix Energy por exemplo, pretende instalar uma usina para produzir H2V no Complexo do Pecém para desenvolver no Complexo de Pecém o projeto “*Base One*”, o maior projeto de hidrogênio do mundo, com potencial para abastecer com energia mais de 200 milhões de pessoas nas economias em desenvolvimento (CNI, 2022).

Outra empresa de destaque é a White Martins, que também assinou um Memorando de Entendimento com o Complexo de Pecém visando estabelecer e desenvolver as potencialidades da produção local de Hidrogênio verde, voltada prioritariamente à exportação para a Europa (CNI, 2022). Essa mesma empresa foi mencionada no V2, com a fala de E3 “*com apoio da empresa White Martins planeja-se trocar o carvão pelo hidrogênio, e isso dará um mix para o Estado do Ceará com o hidrogênio, tanto como exportador como importador que vai equilibrar o mercado para atender nas duas vertentes*”.

A Qair Brasil já desenvolve a planta de produção de hidrogênio verde com energia elétrica gerada através do Complexo Eólico Marítimo Dragão do Mar e de um parque de energia eólica *offshore* (dentro do mar). O investimento total previsto é de US\$ 6,95 bilhões, com geração de 2 mil empregos durante a construção das plantas, e 600 empregos diretos quando da plena operação dos projetos (CASA CIVIL, 2022b).

Com isso, a empresa multinacional com sede no Ceará está envolvida no projeto que, a partir de 2023, produzirá, armazenará, transportará e comercializará o hidrogênio verde (CASA CIVIL, 2022b).

Entre outros, são diversos investimentos em projetos de empresas internacionais que ultrapassam bilhões, mostrando, assim, o grande potencial de exportação do hidrogênio verde no comércio internacional dentro do Estado do Ceará, inclusive, a Zona de Processamento de Exportação do Ceará – ZPE Ceará, parte do Complexo do Pecém, foi destaque com duas menções

honrosas na nona edição do prêmio *Global Free Zones of the Year 2022*, publicada pelo jornal britânico Financial Times nas categorias “Hidrogênio Verde” e “Aceleração na Adoção de Hidrogênio”.

O reconhecimento é referente ao projeto do *Hub* de Hidrogênio Verde, uma estratégia do Governo do Ceará e do Porto de Roterdã em parceria com a Federação das Indústrias do Ceará (Fiec) e a Universidade Federal do Ceará (UFC) (ZPE CEARÁ, 2022).

Sobre a ZPE Ceará, P1 descreve que “é a primeira zona de processamento de exportação do Brasil, tem localização estratégica para exportação e importação e possui parceria com o porto de Rotterdam, o maior na Europa pronto para operar com hidrogênio verde”. Desta forma, menciona ainda que “o complexo de Pecém almeja ser o principal *hub* industrial, portuário e logístico do Brasil até 2050, gerando valor acrescentado para os clientes com foco em inovação, sustentabilidade e eficiência operacional”.

Em novembro de 2022, a multinacional australiana Fortescue assinou um memorando de investimento e o pré-contrato com Governo do Estado do Ceará e a Companhia do Desenvolvimento do Complexo do Pecém, ao projeto de instalação de uma unidade de produção de Hidrogênio Verde no estado, onde se planeja construir a primeira usina de hidrogênio verde da empresa no mundo (CASA CIVIL, 2022a). Este memorando também abre espaço para colaboração com universidades locais para desenvolver programas de pesquisa de modo a promover tecnologias relacionadas ao hidrogênio (CNI, 2022).

A estimativa é de um investimento de cerca de US\$ 6 bilhões de dólares no Estado. A previsão é gerar 2.500 empregos na fase de construção e 800 durante a operação da unidade e que as operações devem começar em 2025 e até 2030 que sejam produzidos 15 milhões de toneladas do combustível (CASA CIVIL, 2022a).

No V2, E1 afirma que “*existe uma empresa perto de assinar um memorando, que vai produzir células a combustível para ônibus e caminhões. Atingindo assim um crescimento de empregos, rendas, impostos para o Ceará*” e finaliza que “*isso vai transformar o Estado do Ceará*”

Ao consolidar o Ceará como o principal produtor e exportador de H2V do Brasil, o *Hub* de Hidrogênio Verde contribuirá com a estratégia global de transição energética e descarbonização da economia por meio do uso de energias renováveis.

Como reflexão, explana-se com V2, na fala de E2, que “*o Governo precisa melhorar cada vez mais o planejamento e apostar nas energias renováveis, pois além da relação econômica favorável, evita-se uma emissão de carbono para atmosfera, beneficiando o planeta*”.

Ao final da construção desse trabalho, já se somavam 24 memorandos de entendimento com empresas interessadas em investir no hidrogênio verde no Ceará. Em sua maioria, empresas internacionais, objetivando desenvolver projetos da cadeia produtiva do H2V, incluindo a possibilidade de estudar a participação de *pool* de armazenamento de amônia e de utilidades, além de estudos de viabilidade de projetos de mobilidade urbana com utilização de veículos para transporte público movidos à H2V e também aqueles com foco principal na exportação do mesmo.

Esse número de memorandos é crescente, e diante do evidenciado, mais empresas demonstrarão interesse, mostrando assim, o grande potencial do Ceará para o comércio internacional do hidrogênio verde.

## CONCLUSÃO

A partir desse estudo é possível concluir que o hidrogênio verde se apresenta atualmente como um grande aliado para diminuição dos gases de efeito estufa no mundo, sendo fundamental sua utilização como fonte de energia renovável, substituindo os combustíveis fósseis, para que os objetivos da COP 27 sejam atingidos no período preconizado, e possam ser evitados mais danos ao ecossistema.

Entretanto, seus benefícios não são somente sociais e ambientais. Podem-se verificar com esse trabalho, os diversos benefícios econômicos para os países produtores e exportadores dessa fonte de energia, sendo o Brasil bastante favorecido pela disponibilidade de recursos naturais, devido às condições climáticas e geográficas favoráveis para a produção, pelo crescimento da produção de energia fotovoltaica e eólica que também pode ser utilizada para desenvolver H2V, pela utilização de H2V como armazenamento de energias renováveis, devido à facilidade de escoamento da produção, entre outros.

Dessa forma, nota-se o grande potencial que o Brasil tem para produção e exportação do H2V, dando destaque ao Ceará. Podendo ser identificado nessa pesquisa, que já existem numerosos investimentos e projetos em prática, tanto para o comércio nacional, quanto para o comércio internacional, assim como, diversos planos para o futuro.

Verificou-se o estado do Ceará como sendo o local no Brasil com maiores investimentos de empresas estrangeiras, com várias empresas que já estão investindo, e os planos para produção são cada vez mais crescentes. Logo, como foi citado anteriormente, o plano está sendo consolidar o Ceará como um dos principais locais do mundo em produção do H2V, pois assim contribuirá com as oportunidades de negócios nacionais e internacionais e a geração de empregos e renda do Estado.

Diante desses avanços, as estratégias de comércio e as pesquisas na área precisam ser constantes, pois, aliando a temática do hidrogênio verde com o comércio internacional, foi possível identificar a positiva transição energética e a descarbonização da economia por meio do uso de energias renováveis, sendo assim, existe uma visão potencial de benefícios econômicos e ambientais.

Esta pesquisa tem suas limitações, como não ter coletado dados primários, mas tentou-se mitigar essa ação como uso de entrevistas de *expertises* em *youtube* e literatura dos últimos cinco anos.

Como trabalhos futuros, sugerem-se os seguintes estudos: (1) verificar quais os impactos ambientais que a industrialização de hidrogênio verde no Ceará poderia resultar no futuro; (2) analisar a evolução econômica do Brasil com o início da produção do hidrogênio verde, e (3) verificar a viabilidade econômica da produção do hidrogênio verde comparado com outros tipos de hidrogênio.

## REFERÊNCIAS

ABDIN, Z., et al. Hydrogen as an energy vector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V. 120, n. 109620, p. 32, mar. 2020.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.

*Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará*

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

ANDRADE, F. Hidrogênio verde: brasil pode assumir lugar de destaque na produção de novo combustível. *Instituto de Física São Carlos*, p. 2, ago. 2022. Disponível em:

<https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/hidrogenio-verde-brasil-pode-assumir-lugar-de-destaque-na-producao-de-novo-combustivel/#:~:text=A%20implementa%C3%A7%C3%A3o%20de%20tecnologias%20em,poi%C3%A7%C3%A3o%20de%20destaque%20nesse%20mercado>. Acesso em 15 out. 2022.

ANDRADE, T. N.; LORENZI, B. R. Política energética e agentes científicos: O caso das pesquisas em células a combustível no Brasil. *Revista Sociedade e Estado*, v. 30, n. 3, set./dez. 2015.

ANDRADE, T. N.; LORENZI, B. R. Política energética e agentes científicos: O caso das pesquisas em células a combustível no Brasil. *Revista Sociedade e Estado*, v. 30, n. 3, set./dez. 2015.

ANGELO, M. Hub de hidrogênio verde no Ceará tem parceria com mineradora australiana, generosos incentivos fiscais, e impactos desconsiderados. *Observatório da Mineração*, jul. 2022.

BARROSO, A. M. R.; et al. Obtenção do Hidrogênio verde a partir de energias renováveis. In: *Anais do IV Congresso Multidisciplinar de Arte, Ciência e Tecnologia* (Revista arte, ciência e tecnologia). Piauí, p. 1-13, 2021.

BEZERRA, F. D. Hidrogênio verde: nasce um gigante no setor de energia. *Caderno Setorial ETENE*, n. 212, p. 1-13, dez. 2021.

BHASKAR, Abhinav; ASSADI, Mohsen; SOMEHSARAEI, Homam Nikpey. Decarbonization of the iron and steel industry with direct reduction of iron ore with green hydrogen. *Energies*, vol. 13, n. 3, 2020.

BONACIN, Juliano Alves e MONTABONE, Paulo e GONÇALVES, Renato

Vitalino. Hidrogênio verde: como o Brasil pode se tornar polo de produção do 'combustível do futuro' [Entrevista a Igor Savenhago]. *G1: O Portal de Notícias da Globo*, 2022. São Carlos: Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2022. Disponível em:

<https://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/estacao-agro/noticia/2022/08/08/hidrogenio-verde-como-o-brasil-pode-se-tornar-polo-de-producao-do-combustivel-do-futuro.ghtml>. Acesso em: 18 set. 2022.

BRASIL. EPE, Empresa de Pesquisa Energética. *Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2021a.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro: Panorama Atual e Potenciais para o Hidrogênio Verde*, Brasília, 2021b.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EPE; MCTI. *Programa Nacional do Hidrogênio - Proposta de Diretrizes*. [S. l.: s. n.], jul. 2021c.

CAMPOS, I. Governo do Ceará chega a 24 memorandos de entendimento assinados sobre energia renovável. *Portal do Governo (Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho)*. Governo do Estado do Ceará – ADECE, out, 2022. Disponível em:

<https://www.adece.ce.gov.br/2022/10/27/governo-do-ceara-chega-a-24-memorandos-de-entendimento-assinados-sobre-energia-renovavel/> Acesso em: 28 nov. 2022.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.

*Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará*

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

CAPDEVILA-CORTADA, M. Eletrizando o Haber-Bosch. *Nat Catal* 2, v. 1055, 2019.

CAPURSO, T.; et al. Perspective of the role of hydrogen in the 21st century energy transition. *Energy Conversion and Management*, v. 251, p. 114898, 2022.

CASA CIVIL. COP27: Fortescue reafirma compromisso com governo do Ceará para instalar usina de hidrogênio verde. *Portal do Governo*, nov. 2022a. Disponível em:

<https://www.ceara.gov.br/2022/11/09/cop27-fortescue-reafirma-compromisso-com-governo-do-ceara-para-instalar-usina-de-hidrogenio-verde/> Acesso em 03 dez. 2022.

CASA CIVIL. Governo do Ceará e Qair Brasil assinam acordo para desenvolvimento de projetos de energias renováveis com investimento de us\$ 6,95 bilhões e geração de 2.600 empregos. *Portal do governo*, jul. 2022b. Disponível em: <https://www.casacivil.ce.gov.br/2021/07/12/governo-do-ceara-e-qair-brasil-assinam-acordo-para-desenvolvimento-de-projetos-de-energias-renovaveis-com-investimento-de-us-695-bilhoes-e-geracao-de-2-600-empregos/> Acesso em 01 dez. 2022.

CASTRO, N. J.; LEAL, L. M. COP 27: Transição Energética e o Hidrogênio Verde no Brasil.

*Agência Canal Energia*, dez. 2022. Disponível em: [https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2022/12/Castro\\_2022\\_11\\_29.pdf](https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2022/12/Castro_2022_11_29.pdf) Acesso em: 07 de dez 2022.

CHAVES, A. C.; AQUINO, T.; IVO, R. O papel do financiamento nos projetos de hidrogênio verde na União Europeia: um exemplo a ser seguido. *Agência Canal Energia*, jun. 2022. Disponível em: [https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/48\\_Chaves\\_2022\\_06\\_30.pdf](https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/48_Chaves_2022_06_30.pdf) Acesso em: 12 set. 2022.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. *Hidrogênio sustentável: perspectivas e potencial para a indústria brasileira*. Brasília, 2022.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. *Pesquisa em administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

CRUZ, J. HUB de hidrogênio verde: Governo do Ceará assina memorando de entendimento com empresas a serem instaladas no complexo do Pecém. *Portal do Governo (Casa Civil – Governo do Estado do Ceará)*, mai, 2022. Disponível em: <https://www.casacivil.ce.gov.br/2022/05/02/hub-de-hidrogenio-verde-governo-do-ceara-assina-memorandos-de-entendimento-com-empresas-a-serem-instaladas-no-complexo-do-pecem/> Acesso em: 29 out 2022.

DELGADO, F.; COSTA, A. M. Os caminhos do país na construção da economia global do hidrogênio. *Conjuntura Econômica*, v. 75, n. 03, mar, 2021.

DEWAN, A. Hidrogênio verde pode ser o combustível do futuro. Mas ainda não deve resolver todos os problemas. *CNN Brasil*, ago. 2021. Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/business/o-hidrogenio-verde-pode-ser-o-combustivel-do-futuro-mas-ainda-nao-deve-resolver-todos-os-problemas/> Acesso em: 15 out. 2022.

DEMO, P. *Metodologia do conhecimento científico*. São Paulo: Atlas, 2000.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.

*Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará*

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

ECB - Equipe Comex Brasil. Ceará projeta hub para produzir e exportar 500 mil toneladas de hidrogênio verde por ano. *Revista Comex do Brasil*, jan. 2022. Disponível em:

<https://www.comexdobrasil.com/ceara-projeta-hub-para-produzir-e-exportar-500-mil-toneladas-de-hidrogenio-verde-por-ano/> Acesso em 18 nov. 2022.

EPBR. Hidrogênio verde, mas nem tanto. *Agência EPBR*, set, 2022. Disponível em:

<https://epbr.com.br/hidrogenio-verde-mas-nem-tanto/>. Acesso em: 15 out 2022

FREITAS, G. M. T. *Hidrogênio verde: estudo de caso sobre o potencial brasileiro como exportador para União Europeia utilizando programação linear*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2022.

GARCIA, E. COP15 E COP27: por que biodiversidade e clima são indissociáveis. *TNC*

*Brasil/Revista Galileu*, dez, 2022. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/colunistas/tnc-brasil/coluna/2022/12/cop15-e-cop27-por-que-biodiversidade-e-clima-sao-indissociaveis.ghtml>

Acesso em 30 nov. 2022.

GIZ – GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. *Mapeamento do setor de hidrogênio brasileiro*. Brasília: GIZ, oct. 2021.

GÓES, G. S. *A geopolítica da energia no século XXI*. 1. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2021. P. 392.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. *Plataforma Ceará 2050 Programa Estratégico Energia e*

*Negócios*, SEPLAG-CE, 2020. Disponível em: <https://www.seplag.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/14/2020/07/Energia-e-Negocios.pdf> Acesso em 15 nov. 2022.

GRIESINGER, D. Especialistas veem potencial brasileiro para hidrogênio verde. *Agência Brasil*, ago. 2022.

GURLIT, W. et al. Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo. *McKinsey & Company*, 25 nov. 2021.

HYDROGEN COUNCIL. *How hydrogen empowers the energy transition*. 2017. Disponível em:

<https://hydrogencouncil.com/wpcontent/uploads/2017/06/Hydrogen-Council-VisionDocument.pdf>. Acesso em 23 de set. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, IEA. *Global Hydrogen Review 2021*. Paris: [s. n.], out. 2021.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Panorama do hidrogênio no Brasil*. Brasília: Ipea, 2022.

LÃ BRANCA, D. S. *O futuro do hidrogênio verde em Portugal*. Dissertação (Mestrado em em Economia e Gestão de Ciência Tecnologia E Inovação) – Liscen School of Economics & Management, Universidade de Lisboa, Lisboa, p. 86, 2021.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.

*Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará*

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Técnicas de Pesquisa*. 5. ed. São Paulo, Atlas, 2002.

LAMEIRAS, F. L. *O hidrogênio como vetor de energia / CMG (RM1-T)*. - Rio de Janeiro: ESG, 2019.

MONTEIRO, L.; LIMA, P. V. Governo aplaude criação do banco europeu de hidrogênio. *Revista Renascença*. Set, 2022. Disponível em: <https://rr.sapo.pt/noticia/politica/2022/09/14/governo-aplaude-criacao-do-banco-europeu-de-hidrogenio/299714/>. Acesso em: 11 out 2022.

NADALETI, W. C.; SANTOS, G. B. dos; LOURENÇO, V. A. The potential and economic viability of hydrogen production from the use of hydroelectric and wind farms surplus energy in Brazil: a national and pioneering analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 45, n. 3, p. 1373-1384, jan. 2020.

NEDER, V. Hidrogênio verde: BNDS dará crédito de até R\$ 300 milhões para fábricas do combustível. *Revista Economia & Negócios*, jul 2022.

PICANÇO, Jurandir. *Apresentação proferida em 26 de outubro de 2021 para o Banco do Nordeste*, 2021.

RAMOS, C. C.; CANTARINO, V. B. P.; AQUINO, T. C. N.; CASTRO, N. J.; SENA, A. T. O. Financiamento internacional da economia do hidrogênio: uma visão a partir dos países importadores. In: *Anais do VI Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação (ENEI): "Indústria e pesquisa para Inovação: novos desafios ao desenvolvimento sustentável"*. São Paulo: Blucher, 2022, v. 9, n. 01, p. 1158-1179.

SILVA, T. A. *O hidrogênio na geração distribuída: desafios e possibilidades*. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Elétrica) - Unidade Acadêmica de Processos Industriais, Instituto Federal de Educação da Paraíba, Paraíba, p. 56, 2022.

SOUSA, L. M. S. *Potencial do Ceará para obtenção de hidrogênio verde via eletrólise da água residual através da energia eólica*. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em engenharia) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, p. 75, 2022.

WEICHENHAIN, Uwe; ALBERS, Bram; BILLEN, Dieter; BERNARDO, Antonio. Hydrogen transportation. *The key to unlocking the clean hydrogen economy*. Munique: [s. n.], out. 2021.

WOOLDRIDGE, J. M. *Econometric analysis of cross section and panel data*. 2. ed. London: MIT Press. 2010.

ZANCAN, F. Na energia, o branco também é verde. *Revista Energia Hoje*, ago, 2022. Disponível em: <https://energiahoje.editorabrazilenergia.com.br/na-energia-o-branco-tambem-e-verde/> Acesso em 30 nov. 2022.

ZPE CEARÁ. Com hub de hidrogênio verde, zpe ceará é premiada no global free zones of the year 2022. *Portal do Governo*, nov. 2022. Disponível em: <https://www.complexodopecem.com.br/com-hub-de-hidrogenio-verde-zpe-ceara-e-premiada-no-global-free-zones-of-the-year-2022/> Acesso em: 30 nov. 2022.

**1 FORTE, Sérgio Henrique Arruda Cavalcante. Engenheiro Civil (UFC) e Administrador de Empresas (UECE). Mestre e Doutor em Administração pela FGV/EAESP. Coordenador do Grupo de Pesquisas de Estudos Avançados e Aplicados de Estratégia e Coordenador do Mestrado em Administração UNIFOR/CIESA. Professor titular do Programa de Pós-graduação em Administração (PPGA) da Universidade de Fortaleza (UNIFOR). E-mail: sergioforte@unifor.br**

**2 GAZILLO, Anderson Montenegro Bacharel em Comércio Exterior pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR) e graduando em Economia pela UNIFOR. E-mail: anderson.mg@yahoo.com**