



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO CEARÁ (IFCE)**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM PROPRIEDADE INTELECTUAL E TRANSFERÊNCIA DE
TECNOLOGIA PARA INOVAÇÃO (PROFNIT)**

RELATÓRIO TÉCNICO

TECNOLOGIAS APLICÁVEIS À CADEIA DE HIDROGÊNIO VERDE (H2V) NO ESTADO DO CEARÁ

**PROSPECÇÃO DE TECNOLOGIAS APLICÁVEIS AO
HUB DE H2V**

2024

Autores

TOMÁS DAHAS JORGE MUNIZ

Mestrando do Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação (PROFNIT)
<http://lattes.cnpq.br/7746326080850958>

DRA. JOELIA MARQUES DE CARVALHO

Orientadora

Docente do Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação (PROFNIT)
<http://lattes.cnpq.br/2587702233031964>

DR. EDILSON MINEIRO SÁ JUNIOR

Coorientador

Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
<http://lattes.cnpq.br/4828845714096699>

Produto Tecnológico apresentado ao Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação - PROFNIT, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE) - Campus Fortaleza, desenvolvido a partir da dissertação intitulada “Tecnologias aplicáveis à Cadeia de Hidrogênio Verde no Estado do Ceará”, elaborada sob Orientação da Profª Dra. Joelia Marques de Carvalho e Coorientação do Prof. Dr. Edilson Mineiro Sá Junior.

Sumário

- 01. INTRODUÇÃO
- 02. JUSTIFICATIVA
- 03. OBJETIVOS
- 04. METODOLOGIA
- 05. REFERENCIAL TEÓRICO
- 06. RESULTADOS E DISCUSSÃO
- 07. CONCLUSÃO
- 08. PERSPECTIVAS FUTURAS

Introdução

Movido pela transição energética global e acelerado por tensões geopolíticas entre Ucrânia e Rússia, estima-se que o hidrogênio verde (H2V) e de baixo carbono será economicamente competitivo até 2030. No entanto, para que isso aconteça, esta nova cadeia produtiva exigirá uma forte e contínua união dos países para uma maior e mais rápida abrangência do mercado e construção de logística e infraestrutura necessária para sua produção e comercialização.

O mundo e as principais potências, sejam como consumidores ou produtores desse insumo, estão se preparando para esta transição e se posicionando estrategicamente para este mercado em ascensão. Para viabilizar a transição energética e a produção em grande escala de hidrogênio, são necessários avanços tecnológicos na produção, no uso, no transporte e no armazenamento do hidrogênio; definição de marcos regulatórios adequados nos países produtores e consumidores e a adoção de políticas e estratégias econômicas que viabilizem e estimulem a criação de novas cadeias de produção baseadas em hidrogênio verde (DINIZ BEZERRA, 2023).

O Brasil se destaca como potencial produtor de quatro FREs: hidráulica, biocombustível (o etanol, o biodiesel e o biogás), eólica e solar (NASCIMENTO, 2017). Segundo o último Balanço Energético Nacional (BEN, 2023), com dados de 2022, a matriz energética brasileira é composta por 47,4% de energia oriunda de FREs, principalmente biocombustível (34,9%), hidráulica (12,5%), e eólica e solar (3,5%), valor maior do que o percentual global (15%). Neste cenário, o Ceará vem assumindo um protagonismo, pois ao longo dos últimos anos tem se tornado o berço do setor de energia renovável no país, graças a seu enorme potencial de energia eólica e solar. A vantagem competitiva enquanto produtor de hidrogênio verde vem justamente do grande potencial em relação às FREs e o barateamento dessa commodity energética, viabilizando grandes investimentos no setor.

Dessa forma, foi elaborado o presente relatório técnico conclusivo sobre Transferência de Tecnologia para Inovação Tecnológica, apresentando uma prospecção de tecnologias aplicáveis ao HUB de hidrogênio verde no Estado do Ceará, com foco nas tecnologias de eletrólise.

Esta análise científico-tecnológica buscou investigar a cadeia produtiva do H2V, realizando o mapeamento das tecnologias aplicáveis para o HUB em desenvolvimento no Ceará, através de pesquisas de prospecção tecnológica em buscadores patentários e não-patentários.

Justificativa

Para alcançar as metas globais de transição energética até 2050, estima-se que os investimentos em energias renováveis no planeta devem ser triplicados nos próximos anos, evidenciando a urgência da necessidade de descarbonização da matriz elétrica global.

Nesse sentido, o tema sobre Hidrogênio Verde (H2V) tem ganhado muita força no mundo, por conta de sua potencial contribuição em acelerar o alcance das metas de transição energética.

Além disso, é um tema que contribui diretamente para alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

Atende diretamente com os objetivos:

- ODS 7: Assegura o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos;
- ODS 9: Constrói infraestruturas resilientes, promove a industrialização inclusiva e sustentável e fomenta a inovação;
- ODS 11: Torna as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
- ODS 13: Toma medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.



**ESTRATÉGIA ODS
ONU**



**Energia limpa e
acessível (7)**



**Indústria,
inovação e
infraestrutura (9)**



**Cidades e
comunidades
sustentáveis (11)**



**Ação contra a
mudança global
do clima (13)**

Objetivos

O trabalho teve como objetivo conduzir uma estudo prospectivo na cadeia produtiva do H2V, realizando o mapeamento das tecnologias aplicáveis para o HUB no Estado do Ceará, focando em tecnologias de eletrólise, através de pesquisas em buscadores patentários e não-patentários.

Visando o atendimento ao objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

1 **Prospecção Tecnológica**

Realização de uma prospecção científico-tecnológica em principais buscadores patentários e não-patentários.

2 **Grau de maturidade**

Verificação do grau de maturidade das tecnologias de eletrólise aplicáveis ao HUB de Hidrogênio Verde em desenvolvimento no Ceará.

3 **Desafios e Potencialidades do Brasil para H2V**

Identificação dos desafios e potencialidades da indústria brasileira para desenvolvimento de tecnologias aplicáveis à eletrólise para produção de H2v.

Metodologia

O trabalho propôs-se a conduzir uma prospecção científico-tecnológica com o intuito de investigar a cadeia produtiva de H2V, através de um mapeamento de tecnologias aplicáveis para o HUB de H2V no Ceará, com foco em tecnologias de eletrólise, por meio de buscadores patentários e não-patentários. A busca delimitou-se ao período entre 2010, ano em que foi observado um maior número de depósito de patentes de tecnologias variadas, até o ano de 2023.

Essas pesquisas foram realizadas nos seguintes buscadores patentários e não patentários:

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Não patentários:<ul style="list-style-type: none">○ <i>Science Direct</i>;○ <i>Scopus</i>;○ Periódicos Capes. | <ul style="list-style-type: none">• Patentários:<ul style="list-style-type: none">○ Base de Patentes do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI);○ <i>Patent Scope</i>;○ <i>Espacenet</i>;○ <i>Google Patents</i>;○ <i>Orbit Intelligence</i>. |
|---|---|

As palavras-chaves definidas para busca dos documentos foram “green hydrogen” e “electrolysis”. A utilização das aspas duplas direcionou a busca pela expressão, retornando resultados com os dois termos unidos, na ordem em que aparecem.

A estratégia de busca utilizada neste estudo baseou-se no levantamento de classificações (CPC e IPC) e de termos relacionados à produção de hidrogênio, com foco na produção de hidrogênio verde.

Referencial Teórico

Classificação da Produção de H₂

O hidrogênio verde (H₂V) consiste no resultado da reação de eletrólise da água (quebra da partícula de água por meio de eletricidade). A reação supracitada deve ser alimentada, obrigatoriamente, por energia produzida a partir de fontes renováveis (i.e., eólio-elétrica, solar fotovoltaica, hidráulica), acarretando nenhuma emissão de dióxido de carbono na atmosfera.

Embora sem consenso, nos últimos anos, um código de cores tem sido usado para simplificar a classificação do hidrogênio de acordo com a fonte de energia usada para produzi-lo e, às vezes, também de acordo com o processo de produção ou se há uso de tecnologias de captura de carbono (Carbon Capture, Utilisation and Storage – CCUS). A tabela abaixo apresenta os tipos de hidrogênio mencionados nesta classificação, de acordo com a literatura relacionada ao tema

Cor	Classificação	Descrição
	hidrogênio preto	produzido de carvão mineral (antracito) sem CCUS
	hidrogênio marrom	produzido de carvão mineral (hulha), sem CCUS
	hidrogênio cinza	produzido do gás natural sem CCUS
	hidrogênio azul	produzido a partir de gás natural (eventualmente, também a partir de outros combustíveis fósseis) com CCUS
	hidrogênio verde	produzido a partir de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar) via eletrólise da água.
	hidrogênio branco	hidrogênio natural ou geológico
	hidrogênio turquesa	produzido por craqueamento térmico do metano, sem gerar CO ₂
	hidrogênio musgo	produzido de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS, através de reformas catalíticas, gaseificação ou biodigestão anaeróbica

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2021.

Referencial Teórico

Potencial de H2V no Ceará

A consolidação do H2V como um vetor para transição energética limpa e sustentável enfrenta diversos desafios em todo o mundo, principalmente relacionados à logística e aos custos de produção. A cadeia produtiva global vai muito além da planta de produção de hidrogênio. Envolve desde a extração da matéria prima necessária para fabricação de equipamentos de eletrólise, como a platina e o irídio, por exemplo, até o estudo de materiais e revestimentos adequados para o transporte de hidrogênio via dutos. Estima-se que cerca de 70% dos custos na produção de hidrogênio são atribuídos ao elevado consumo energético (McKinsey, 2021).

O Brasil apresenta condições iniciais extremamente favoráveis para sua inserção na economia do hidrogênio (H2). O reconhecimento da importância e das possibilidades da economia do H2 é recente e tardio, se comparado a outros países. A partir de 2018, com a publicação do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE), aprovado em dezembro de 2020, o H2 passou a compor a estratégia energética brasileira (EPE, 2021).

Nesse contexto, o Estado do Ceará tem posição de destaque na geração de energia solar e eólica, sendo o 4º estado que mais produziu energia eólica no ano de 2023 (7,46 TWh) e o 4º estado com maior potência instalada de usinas solares fotovoltaicas (cerca de 1,25 GW), entre as usinas em operação comercial (Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA, 2023).

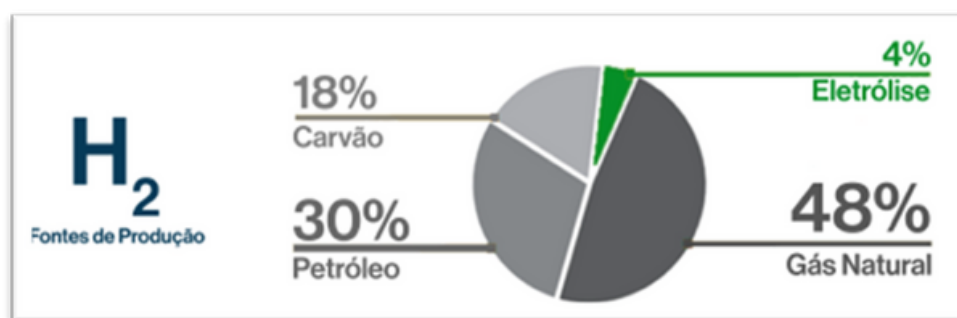
Além disso, ainda tem como diferencial o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), com localização estratégica em uma zona de processamento de exportação (ZPE), com incentivos tributários diferenciados, além de conexão com o porto de Roterdã, na Holanda – maior porto marítimo da Europa (SIGA ANEEL, 2023).

Com isso, foi idealizado pelo governo estadual o HUB de hidrogênio verde do Ceará, a ser instalado dentro do complexo portuário do Pecém. Seu lançamento ocorreu a partir da assinatura do primeiro memorando de entendimento com uma multinacional para a construção de uma planta de produção de H2V. De acordo com estudos elaborados pela consultoria americana IXL Center para o Governo do Ceará, os investimentos que serão efetivados até 2031 totalizam uma capacidade construtiva de eletrólise de até 11,8 GW instalados no CIPP.

Referencial Teórico

Eletrólise da Água

Atualmente, cerca de 4% do hidrogênio mundial é produzido pela eletrólise da água, número ainda baixo causado pela operação de equipamentos mais antigos nos sistemas de produção e pelo custo maior quando comparado com a reforma do gás natural. Dado que os eletrolisadores podem atualmente representar 30% a 40% do custo final da produção de hidrogênio, a criação de economias de escala na fabricação de eletrolisadores e a melhoria do desempenho dos eletrolisadores serão essenciais para alcançar a competitividade em termos de custos do hidrogênio limpo (IRENA, 2022).



De acordo com a literatura, as principais tecnologias de eletrólise são (CNI, 2022): Eletrólise alcalina (ALK), Eletrólise em membrana de troca de prótons (PEM – Proton Exchange Membrane), Eletrólise com óxidos sólidos (SOEC – Solid Oxide Electrolysis Cell) e a Eletrólise em membrana de troca aniônica (AEM) (KUMAR, 2019). A Tabela 1 destaca essas tecnologias e seus aspectos técnicos.

Os fabricantes de eletrolisadores são concentrados em poucos países. De acordo com Klevstrand (2022), citando levantamento realizado pela BloombergNEF, os principais fabricantes de eletrolisadores encontram-se nos Estados Unidos, China, Europa e Índia (BNEF, 2022).

Referencial Teórico

Eletrólise da Água

Tecnologias de Eletrólise			
Tipo	Descrição	Prós	Contras
ALK	Eletrólizador que utiliza soluções alcalinas como eletrólito, como KOH ou NaOH.	Tecnologia madura	Velocidade de reação lenta
		Custos baixos de materiais	Purificação rigorosa da água para evitar degradação.
PEM	Utiliza uma membrana sólida polimérica que conduz prótons, em condições ácidas.	H2 produzido com alta pureza	Custo elevado devido ao uso de metais nobres (Pt e Ir) como catalisadores
		Maior eficiência e densidade de corrente, permitindo tamanhos mais compactos	Desafios de durabilidade e degradação da membrana em condições operacionais
SOEC	Utiliza material cerâmico como eletrólito, operando em altas temperaturas e baixas pressões.	Consumo menor de energia	Falta de estabilidade e alta degradação devido a altas temperaturas
		Alto grau de pureza e eficiência maior	Tecnologicamente menos desenvolvido (durabilidade e desempenho ainda em avaliação)
AEM	Utiliza membrana que permite apenas o fluxo de ânions, operando em condições alcalinas sem um eletrólito líquido.	Custos reduzidos com catalisadores não preciosos	Problemas com estabilidade da membrana e impurezas na água
		Une a eficiência eletroquímica do PEM com a simplicidade e economia do ALK	Tecnologia muito nova (durabilidade e desempenho ainda em avaliação)

Resultados e Discussão

O estudo prospectivo realizado resultou na análise de inúmeros documentos relacionados ao tema, utilizando filtros e focando em H2V e tecnologias de eletrólise. Desta forma os documentos de artigos científicos e de patentes foram resumidos nas tabelas abaixo:

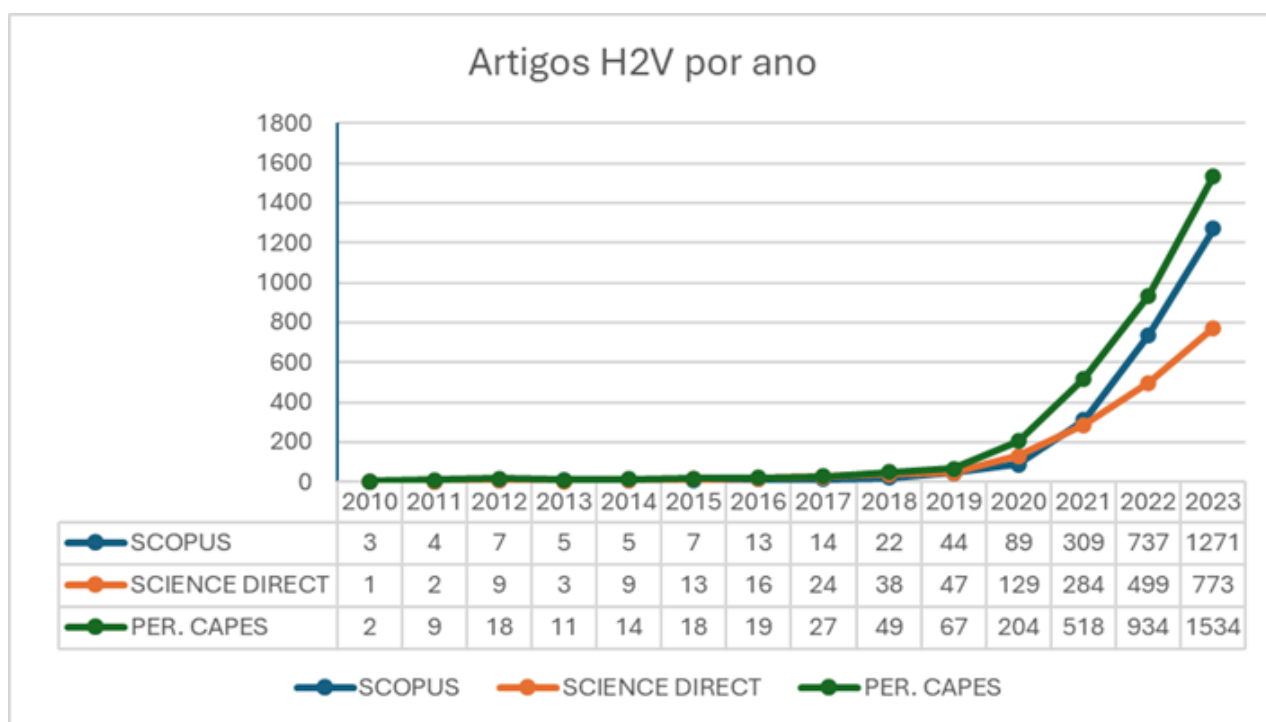
Palavras-chave	ARTIGOS CIENTÍFICOS			
	SCOPUS	SCIENCE DIRECT	PERIÓDICOS CAPES	TOTAL ARTIGOS
Green Hydrogen	2530	1847	1890	6267
Electrolysis	1043	588	577	2208

Palavras-chave	PATENTES					
	INPI	ESPACENET (EPO)	PATENT SCOPE (PCT)	GOOGLE PATENTS (WO)	ORBIT INTELLIGENCE	TOTAL PATENTES
Green Hydrogen	3	350	468	491	345	1657
Electrolysis	14	109	492	503	126	1244

Resultados e Discussão

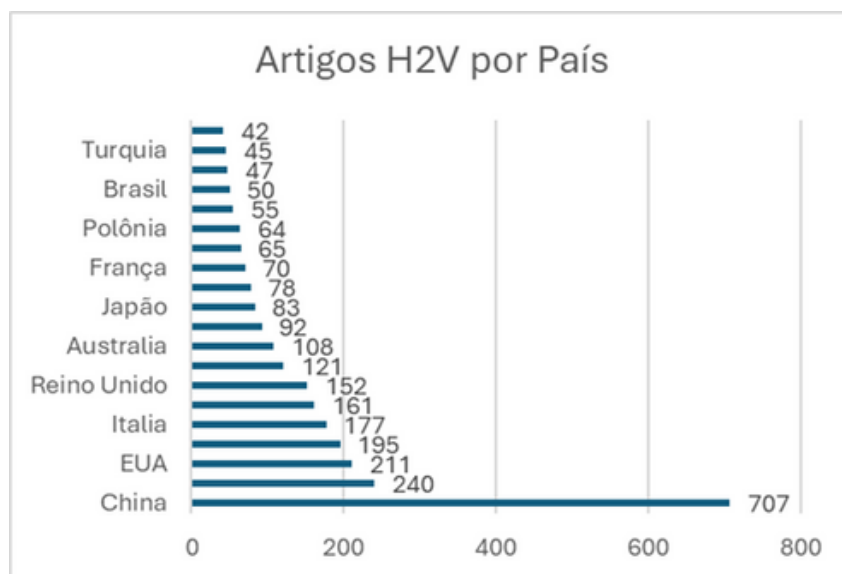
Esta diferença entre a quantidade de documentos científicos e tecnológicos resultantes das buscas realizadas indica que as pesquisas envolvendo o H2V e sua produção ainda estão em escala de laboratório, estando assim ligado ao desenvolvimento industrial de médio e longo prazo. Isso indica também que essas tecnologias envolvidas na produção de H2V ainda são bem recentes.

Na pesquisa por artigos científicos, foi possível constatar que os documentos científicos selecionados foram dedicados a investigar o H2V com base em uma pesquisa, divulgando os resultados internacionalmente e contribuindo para o desenvolvimento de ideias, métodos, técnicas e processos relacionados à sua produção. Nos buscadores utilizados, foi possível analisar a evolução histórica das pesquisas relacionadas ao tema, conforme mostra o gráfico abaixo:

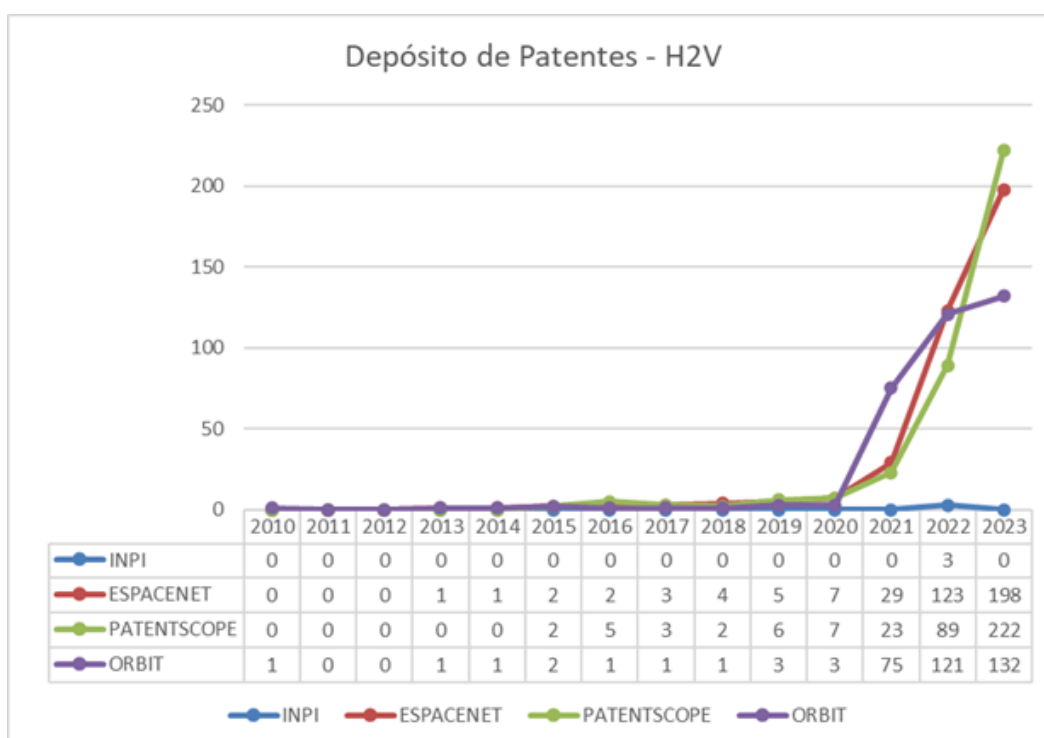


Resultados e Discussão

Para análise geográfica das pesquisas e filtrando pelos documentos que repetiam nas três buscas, foram avaliados também os países de origem das publicações científicas, conforme mostra o gráfico de artigos sobre H2V por país abaixo:

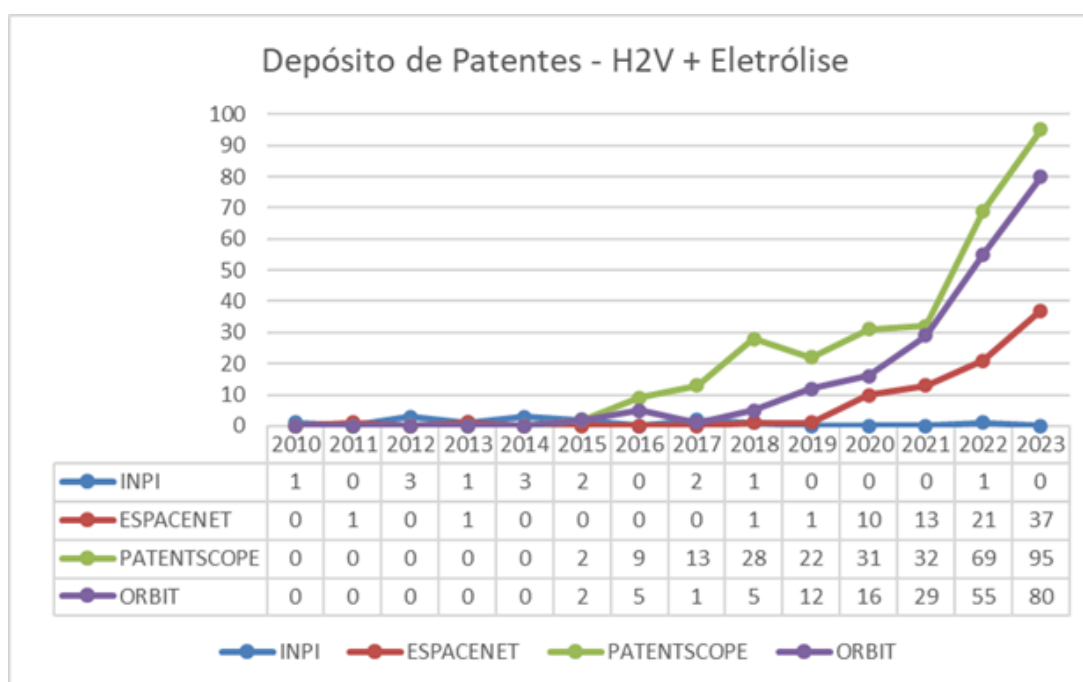


Com relação ao ano de depósito dos pedidos de patente identificados na amostra, o número de depósitos feitos em tecnologias relacionadas ao H2V, até 2023, último ano apresentado na série histórica, seguiu um forte crescimento, principalmente nos últimos 5 anos.



Resultados e Discussão

De maneira similar, a pesquisa foi aplicada para tecnologias de hidrogênio verde e eletrólise/eletrolisadores, por meio do uso das palavras-chave “green hydrogen” e “electrolysis”, com a tendência de evolução no número de pedidos sendo mantida.



As tecnologias predominantes em todos os estágios temporais foram ALK, correspondente aos eletrolisadores alcalinos, e PEM, referente aos eletrolisadores por membrana de polímeros. Esses dois tipos de eletrolisadores estão em fase comercial, enquanto os eletrolisadores de óxido sólido (SOEC) e por membrana de troca aniônica (AEM) encontram-se em escala de demonstração e laboratorial (ZHOU et al., 2022).

No Brasil, foi observado uma procura maior para os projetos de eletrolisadores alcalinos, principalmente por seu custo mais acessível, sua robustez e sua maior maturidade tecnológica. Porém, considerando a localização do Ceará e sua abundância em geração de energia solar e eólica, sistemas com uso de eletrolisadores do tipo PEM apresentam uma aplicabilidade bem interessante, tendo em vista sua eficácia de operação em condições dinâmicas de rede elétrica, como são os casos de sistemas com estas fontes de energia. Além disso, tem vantagem também quanto a sua compactação e alta flexibilidade e uma boa maturidade tecnológica.

Resultados e Discussão

O estado do Ceará possui uma característica que deve ser um dos principais desafios para este novo mercado: sua histórica escassez de água. Seja dessalinizada, vinda de poços ou de reuso, esta água deve chegar aos eletrolisadores com alto grau de pureza e em grandes volumes, sendo necessário também a busca por inovações para estes componentes, de modo a se alcançar uma produção de hidrogênio verde eficiente e econômica, com um bom custo nivelado de hidrogênio (LCOH), frente a outros países.

Buscando a aplicabilidade para o Ceará, foi possível identificar algumas tecnologias de eletrolisadores que podem apresentar boas condições de operar no estado, visto que já são consideradas tecnologias consolidadas em ambientes similares ao do estado. Alguns exemplos são citados na tabela abaixo, obtidos através da pesquisa de patentes, para eletrolisadores que podem atender aos projetos futuros de forma eficiente.

Código CIP	Patente	Descrição	Data de Publicação e País	Grau de Maturidade Tecnológica
WO2021199057A1 WIPO (PCT)	Geração de hidrogênio a partir de águas residuais usando eletrodos de "autocura" (<i>Hydrogen Generation from Waste Water Using Self-Healing Electrodes</i>)	Esta patente aborda a geração de hidrogênio a partir de água residual utilizando eletrodos auto-regenerativos, uma tecnologia avançada que melhora a eficiência e durabilidade do processo de eletrólise. Eletrolisador tipo PEM.	07/10/2021 Índia (IN)	Alta, devido à inovação dos eletrodos auto-regenerativos e o foco na sustentabilidade.
CN116553479A China	Sistema de produção de hidrogênio de circulação direta de água do mar utilizando baixa qualidade (<i>Seawater Direct Circulation Hydrogen Production System Utilizing Low-Quality</i>)	Sistema de produção de hidrogênio que utiliza água do mar dessalinizada com foco em baixo consumo de energia.	08/08/2023 China (CN)	Alta. A ênfase na eficiência energética e no uso direto de água do mar indica um alto nível de desenvolvimento.

Resultados e Discussão

Código CIP	Patente	Descrição	Data de Publicação e País	Grau de Maturidade Tecnológica
CN219731071U China	Sistema de Preparação e Fornecimento para Produção de Hidrogênio em Energia Eólica Offshore (<i>Preparation and Supply System for Offshore Wind Power Hydrogen Production</i>)	Sistema que integra produção de hidrogênio com energia eólica offshore usando água dessalinizada. Eletrolisador tipo PEM.	22/09/2023 China (CN)	Alta. A integração com energia renovável e a aplicação offshore indicam um alto nível de maturidade tecnológica.
CN106661740B China	A produção de Amônia através da eletrólise (<i>The Electrolysis Production of Ammonia</i>)	A patente discute o desenvolvimento de materiais catalíticos avançados para a produção de hidrogênio por eletrólise, com foco na síntese eletrocatalítica de amônia em pressão atmosférica.	22-03-2019 China (CN)	Alta, devido ao avanço nos materiais catalíticos e à aplicação em processos industriais estabelecidos.

Fonte: Elaboração própria, através dos documentos de patentes prospectados.

Essas tecnologias aproveitam o potencial energético renovável do Ceará, principalmente solar e eólico, além de utilizarem a água do mar dessalinizada, que é abundante na região. A combinação dessas vantagens torna essas tecnologias viáveis e promissoras para a produção de hidrogênio verde no estado.

Das tecnologias prospectadas, a tecnologia PEM atualmente é uma que pode apresentar bons resultados no ponto de vista técnico e financeiro para o Ceará. É adequada para produção de hidrogênio de alta pureza utilizando água dessalinizada, além de ser uma tecnologia madura e consolidada no mundo. Sua facilidade de compactação (permitindo escalabilidade em plantas de grande porte), alta densidade de corrente e fácil manutenção são fatores que ainda tornam esse tipo de eletrolisador uma potencial tecnologia a ser empregada em projetos do HUB cearense.

Resultados e Discussão

A partir dos resultados, é possível avaliar para o HUB de hidrogênio um cenário de forças, oportunidades, fraquezas e ameaças, e esboçando em uma matriz. Essa é uma ferramenta que auxilia no planejamento estratégico de determinados assuntos e projetos, identificando e analisando de forma resumida os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças sobre aquele tema específico. Essa análise ajuda a entender os fatores internos e externos que podem impactar a realização dos objetivos, permitindo a formulação de estratégias mais eficazes

	AJUDA	ATRAPALHA
INTERNA (Organização)	FORÇAS: 1) Abundância de recursos naturais: o estado cearense possui um alto potencial para a geração de energia eólica e solar, fundamentais para produção de H₂V; 2) Disponibilidade de água do mar: a proximidade com o mar facilita o uso de água dessalinizada em eletrólisadores, como os de membrana de troca de prótons (PEM); 3) Tecnologias inovadoras identificadas: o levantamento do estudo identificou tecnologias avançadas, que são eficientes e adequadas para o contexto local; 4) Infraestrutura de pesquisa: parcerias com universidades e centros de pesquisa locais podem acelerar a inovação e a implementação de novas tecnologias; 5) Cadeia produtiva versátil (combustível, fertilizantes, siderurgia, etc.); 6) Grande potencial de desenvolvimento, mercado em ascensão.	FRAQUEZAS: 1) Custo elevado para produção: os eletrólisadores PEM, embora eficientes, possuem custos elevados de fabricação e manutenção; 2) Necessidade de água de alta pureza: a necessidade de água desionizada para eletrólisadores pode aumentar os custos operacionais devido aos sistemas de purificação de água; 3) Dependência de políticas de incentivo: a implementação de tecnologias de hidrogênio verde depende fortemente de incentivos governamentais e políticas públicas eficazes; 4) Desafios na infraestrutura de armazenamento e transporte: a falta de infraestrutura para produção, armazenamento e transporte de hidrogênio pode limitar a escalabilidade de projetos. 5) Indefinições quanto à certificação do hidrogênio verde ou de baixo carbono.

Resultados e Discussão

EXTERNA (Ambiente)	OPORTUNIDADES:	AMEAÇAS:
	1) Investimentos em energias renováveis: o aumento dos invesimentos em energia solar e eólica pode impulsionar a produção de hidrogênio verde no Ceará; 2) Exportação de H2V: a possibilidade de exportar hidrogênio verde para mercados internacionais representa uma oportunidade econômica significativa, principalmente levando em consideração o desabastecimento de gás na Europa; 3) Parcerias internacionais: colaborações com países e empresas líderes em tecnologia de hidrogênio podem trazer inovações e financiamento para o estado; 4) Desenvolvimento de políticas favoráveis: implementação de políticas públicas de apoio, como subsídios e incentivos fiscais, pode acelerar o desenvolvimento do setor de hidrogênio verde. 5) Possibilidade de uso da infraestrutura existente de indústrias de Óleo & Gás; 6) Alguns nichos de transporte onde as células a combustível podem trabalhar (aviação, transporte marítimo, rodoviário e ferroviário).	1) Concorrência internacional: países como China e Estados Unidos estão avançando rapidamente na tecnologia de hidrogênio, representando uma forte concorrência; 2) Flutuações econômicas: instabilidades econômicas e políticas podem afetar os investimentos em projetos de hidrogênio verde; 3) Desafios técnicos: problemas técnicos na implementação e operação de novas tecnologias de eletrólise podem atrasar ou encarecer os projetos; 4) Dependência de importações: a dependência de componentes importados para a fabricação de eletrólisadores pode aumentar os custos e afetar a viabilidade dos projetos; 5) Logística de armazenamento e transporte; 6) Dificuldade na transmissão de energia, devido ao alto volume de projetos anunciados; 7) Políticas de certificação do hidrogênio de baixo carbono; 8) Complexidade no fornecimento de água (alto custo com dessalinização); 9) Aumento de burocracia para obtenção de licenças ambientais.

A matriz SWOT apresentada destaca que o Ceará possui um potencial significativo para se tornar um líder na produção de hidrogênio verde, desde que sejam adotadas estratégias eficazes para superar as fraquezas e mitigar as ameaças. O fortalecimento das políticas públicas, o investimento em pesquisa e desenvolvimento e a construção de infraestrutura adequada são essenciais para aproveitar as oportunidades identificadas. Com os recursos naturais abundantes e o avanço das tecnologias de eletrólise, o estado pode se posicionar como um importante hub de hidrogênio verde no Brasil e no mundo.

Conclusão

A tarefa de fornecer dados que apoiem a tomada de decisões neste novo setor, que é um dos alvos do uso estratégico da informação tecnológica contida em patentes, constitui ferramenta importante e necessária para subsidiar as decisões de investimentos públicos e privados no setor de produção de hidrogênio no Ceará. O mapeamento realizado e a análise das patentes existentes e a identificação das tecnologias de eletrólise mais adequadas ao contexto cearense destacam várias oportunidades e desafios.

O panorama apresentado neste trabalho pode auxiliar no estabelecimento de políticas públicas que visem estimular o desenvolvimento do setor, tão importante para alcançarmos não só objetivo global de utilização de energias cada vez mais sustentáveis, como também as metas estabelecidas pelo País em termos de sua matriz energética e dos desafios da descarbonização até 2050, de acordo com o Plano Nacional de Energia.

Destaque 1

O estudo ressalta a complementaridade das fontes de energia solar e eólica, abundantes na região. A integração dessas energias intermitentes com sistemas de eletrólise pode garantir um fornecimento contínuo e sustentável de energia para a produção de hidrogênio. O Ceará, com seu alto potencial solar e eólico, está estrategicamente posicionado para se tornar um HUB de produção de hidrogênio verde, aproveitando a sinergia entre essas fontes renováveis.

Destaque 2

Os eletrolisadores de membrana de troca de prótons (PEM) emergem como uma tecnologia viável, dada sua alta eficiência, densidade de corrente elevada e capacidade de produzir hidrogênio de alta pureza. No entanto, os desafios relacionados aos altos custos de fabricação e à necessidade de água de alta pureza deve ser considerados. A utilização de água dessalinizada, abundante devido à proximidade com o mar, é uma solução viável para atender às exigências de pureza da água para os eletrolisadores PEM. Isso não só facilita a produção de hidrogênio verde, mas também se alinha com os recursos naturais disponíveis no Ceará.

Conclusão

Destaque 3

O desenvolvimento de infraestrutura adequada para transporte e armazenamento de hidrogênio, juntamente com políticas públicas favoráveis e incentivos econômicos, é crucial para a implementação bem-sucedida dessas tecnologias. A colaboração entre governo, indústria e instituições de pesquisa será essencial para superar os desafios técnicos e econômicos, garantindo que o hidrogênio verde se torne uma realidade no Ceará.

O hidrogênio verde é apontado como a principal opção para descarbonizar o planeta, devido à sua produção a partir de fontes renováveis de energia e sua versatilidade para múltiplos usos. O estudo sugere que a produção de H₂V, ainda que incipiente, tende a crescer exponencialmente nos próximos anos, necessitando de vultosos investimentos em toda a sua cadeia produtiva e gerando oportunidades para a dinamização da economia.

Para viabilizar economicamente o desenvolvimento do setor de hidrogênio verde, faz-se necessário alavancar a escala das tecnologias. Nesse sentido, o desenvolvimento do mercado nacional para tecnologias de hidrogênio no Ceará é fundamental, gerando novos empregos, capacitando mão-de-obra, inovando e atraindo investimentos em toda a cadeia de valor do hidrogênio verde.

Em suma, o estudo conclui que o Ceará possui um grande potencial para a produção de hidrogênio verde, desde que sejam feitos investimentos estratégicos em tecnologias de eletrólise adequadas e infraestrutura de suporte. A combinação de recursos naturais abundantes, tecnologias inovadoras e políticas de apoio pode posicionar o estado como um líder na transição energética sustentável, contribuindo significativamente para a redução das emissões de carbono e o desenvolvimento econômico regional.

Conclusão

Por último, é importante destacar a necessidade que haja um entendimento melhor que o trabalho científico não se encerra com a publicação de artigos científicos, mas que é fundamental haver uma comunicação melhor com as necessidades da sociedade, produzindo soluções para vida prática. Dado o exposto, verifica-se a necessidade de incentivar pesquisas voltadas para as áreas de tecnologia e inovação, além da necessidade de criação de mecanismos que favoreçam a comunicação entre a comunidade acadêmica e as empresas de tecnologia.

Perspectivas Futuras

Como perspectivas futuras, é interessante considerar estudos que abordem inovações que podem influenciar no desenvolvimento e implementação dos melhores eletrolisadores nos sistemas de produção de hidrogênio verde. Baseando-se nas tendências atuais e previsões para o setor de hidrogênio verde no Brasil, algumas sugestões podem ser avaliadas, como em relação a avanços tecnológicos e redução de custos em desenvolvimento de novos materiais – pesquisas contínuas em novos materiais catalíticos e membranas podem reduzir custos e melhorar a eficiência dos eletrolisadores dos tipos PEM e AEM, por exemplo. Além disso, pode-se pensar também em aprimorar tecnologias digitais para monitoramento em tempo real visando o aumento da eficiência operacional e redução de custos na manutenção.

Deve-se pensar em pesquisas e estudos visando melhorias na infraestrutura e logística, para adequar da melhor forma possível a estrutura do CIPP quanto a transporte e armazenamento do hidrogênio e seus outros produtos, como amônia, incluindo gasodutos e sistemas de armazenamento de alta capacidade, sendo fundamental em se tratar de um HUB desse porte para o Brasil, considerando a proximidade com mercados internacionais e portos.

Melhorar políticas públicas e incentivos também podem ser aprimorados, buscando monitorar e influenciar políticas públicas que incentivem a produção e o uso de hidrogênio verde, incluindo subsídios, isenções fiscais e programas de financiamento, bem como aumentar a participação em programas internacionais de cooperação para o desenvolvimento de tecnologias de hidrogênio e a atração de investimentos estrangeiros.