

# Observatório de Hidrogênio

Nº 11

---

1º TRIMESTRE  
2023



**GESEL**

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

# Observatório de Hidrogênio N° 11

## **Organizadores**

Nivalde de Castro

Sayonara Elizário

Kalyne Brito

## **Equipe de Pesquisa**

Bruno Elizeu

Sofia Paoli

## **Revisão Geral**

Pablo Sathler

Bianca Castro

Julho de 2023

# Sumário

Introdução.....	4
Políticas Públicas e Financiamentos.....	5
Projetos.....	14
Armazenamento e Transporte.....	17
Uso Final.....	19
Tecnologia e Inovação.....	23
Considerações Finais.....	26

# Introdução

---

O hidrogênio ( $H_2$ ) é reconhecido como um importante vetor energético, capaz de promover uma profunda descarbonização da economia mundial, especialmente, em setores de difícil redução de emissões, como o industrial e o de transportes. Nesse contexto, a transição energética de uma economia composta, majoritariamente, por combustíveis fósseis de hidrogênio verde ou de baixo carbono irá transformar, significativamente, o setor energético e ainda, atender a dois requisitos centrais do Acordo de Paris: segurança energética e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Diante das potencialidades do  $H_2$ , diversos países estão estimulando o desenvolvimento da economia do hidrogênio, conforme se observa o crescente anúncio de políticas públicas e projetos em toda cadeia de valor do hidrogênio.

Posto isso, e considerando a evolução exponencial da economia do hidrogênio, o presente relatório tem como objetivo central apresentar um estudo analítico e sistemático do setor, apresentado no [Informativo Setorial de Hidrogênio do GESEL](#), atentando assim, para as principais políticas públicas, diretrizes, projetos, inovações tecnológicas e regulatórias de toda cadeia de valor do hidrogênio.

Destaca-se que este Observatório de Hidrogênio apresenta uma série de pontos importantes do período de análise, passando por novas políticas públicas e financiamentos, bem como anúncio de novos projetos de produção, armazenamento e uso final, além de novas pesquisas inovadoras para o mercado.

# Políticas Públicas e Financiamentos

---

## BRASIL

Atualmente, o Brasil encontra-se em um momento de grande interesse e investimentos no setor de energia rumo ao desenvolvimento de uma cadeia de valor de hidrogênio. Com objetivo de alcançar uma transição energética segura e a descarbonização de setores altamente poluentes, o governo federal, através de algumas estratégias, busca incentivar a produção e o uso do hidrogênio (H<sub>2</sub>). A exemplo disso, temos a abertura da Consulta Pública n. ° 147/2022 para obter contribuições para o Plano Trienal do Programa Nacional de Hidrogênio (PNH<sub>2</sub>), que visa oferecer informações objetivas para os agentes do mercado e a sociedade em geral. Além disso, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) também se prepara para a abertura do mercado livre de energia, com a intenção de estabelecer critérios e metodologias para garantir a entrada, manutenção e saída de agentes do mercado, bem como certificar a energia renovável e o H<sub>2</sub>. Tudo isso aponta para um cenário promissor e desafiador para o desenvolvimento do setor no Brasil. Soma-se a isso, o potencial para alavancar a economia, gerar empregos e contribuir para a sustentabilidade do país.

O 1. ° Trimestre de 2023 foi marcado por uma série de avanços regulatórios que tornam favorável o desenvolvimento do mercado de H<sub>2</sub> no Brasil. O novo Ministro de Minas e Energia, Alexandre Silveira, anunciou a criação da [Secretaria da Transição Energética](#) com o objetivo de posicionar uma matriz sustentável e de evidenciar o comprometimento do governo com a energia limpa e a ampliação das fontes renováveis, como é o caso da energia solar e eólica. Com a criação da Secretaria da Transição Energética, o governo se preocupa em impulsionar a transição energética do país e fortalecer o setor elétrico, favorecendo a produção do H<sub>2</sub> a partir da eletrólise.

Uma das iniciativas mais importantes para o setor é o PNH<sub>2</sub>. Trata-se de uma estratégia do governo brasileiro que visa promover o desenvolvimento do mercado de hidrogênio no país como parte de seu plano de transição energética.

# Políticas Públicas e Financiamentos

---

O PNH2 busca fomentar o desenvolvimento de uma economia baseada no hidrogênio no Brasil utilizando o gás como combustível limpo para a geração de eletricidade, atendendo à demanda de energia no setor de transporte e industrial. Tendo em vista a relevância dessa política para o setor, o Ministério de Minas e Energia (MME) abriu uma consulta pública a fim de obter contribuições para o [Plano de Trabalho Trienal do PNH2](#) em dezembro de 2022. Assim, a consulta foi encerrada em fevereiro de 2023.

A elaboração do Plano de Trabalho Trienal do PNH2 contou com a participação do [Centro de Pesquisas de Energia Elétrica](#) (CEPEL). O plano está estruturado em cinco câmaras temáticas, sendo que o CEPEL participa ativamente das câmaras de Planejamento Energético e de Crescimento e Competitividade do Mercado, apresentando projetos em andamento e executando outros projetos relacionados ao desenvolvimento do mercado de hidrogênio. Os especialistas do centro, destacam a importância dos eixos Tecnologia e Mercado para o sucesso do programa, bem como os possíveis resultados futuros no âmbito do PNH2 relacionado aos eixos. De modo geral, a participação do CEPEL no programa é vital para o avanço do mercado de hidrogênio no Brasil, dada a expertise do centro em pesquisa e desenvolvimento (P&D) tecnológico do setor elétrico.

O Plano Trienal 2023–2025 do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) tem como objetivo estabelecer metas e estratégias para o desenvolvimento da cadeia produtiva do hidrogênio, incluindo a implantação de projetos piloto em diferentes setores, como o fortalecimento da pesquisa e inovação, criação de condições favoráveis para investimentos privados e redução das emissões de gases de efeito estufa. A consulta pública sobre o plano foi uma oportunidade para que a sociedade civil e o setor privado contribuíssem com sugestões e críticas, enriquecendo o documento com diferentes perspectivas, tornando-o mais completo e efetivo.

Além de discussões associadas ao PNH2, a abertura do mercado livre de energia tem sido um importante tema no setor elétrico brasileiro nos últimos anos e a CCEE vem se preparando para a entrada de novos agentes e produtos no mercado. Desse modo, a CCEE visa estabelecer critérios para entrada, manutenção e saída de agentes, bem como a implementação de metodologias de garantia financeira para o Mercado de Curto Prazo (MCP). Além disso, a instituição pretende focar nas certificações de energia renovável e hidrogênio, a fim de organizar o mercado e evitar a dupla contagem. Atualmente, a CCEE possui pequenos projetos em andamento e pretende desenvolver [um projeto-piloto para certificação de hidrogênio ao longo de 2023](#), visando a criação de um produto para certificação. Tais medidas são importantes incentivar o uso de fontes limpas e renováveis.



# Políticas Públicas e Financiamentos

Dado o momento em que o mercado de H<sub>2</sub> no Brasil vem ganhando destaque, o país criou um grupo de trabalho interministerial para desenvolver políticas públicas voltadas para esse vetor energético. No entanto, o desenvolvimento desse mercado requer investimentos em infraestrutura elétrica, redes de gasodutos e políticas industriais que impulsionem a produção nacional de equipamentos para produção de hidrogênio verde. O Instituto Nacional de Energia Limpa apresentou uma carteira de projetos que totalizam US\$ 30 bilhões aos ministros responsáveis pela iniciativa, incluindo projetos de produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio verde em diferentes setores. A expectativa é que o mercado de hidrogênio verde cresça significativamente em 2023 à medida que a Europa começa a lançar suas primeiras concorrências internacionais para aquisição desse vetor energético. Fato esse que reforça ainda mais a necessidade de políticas governamentais para estimular seu desenvolvimento no Brasil.

## **Artigo GESEL: “A Economia do Hidrogênio no Brasil e o Plano Trienal do Programa Nacional de Hidrogênio”**

Em artigo publicado pelo Portal de Hidrogênio Verde da Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha (AHK), Nivalde José de Castro (Coordenador do GESEL), Luiza Masseno Leal (Pesquisadora do GESEL-UFRJ) e Vinicius José da Costa (Pesquisador Júnior do GESEL-UFRJ) abordaram os esforços necessários para incentivar e garantir o desenvolvimento da indústria nascente de H<sub>2</sub>V. Segundo os autores, *“o potencial de reindustrialização do país a partir das exportações de produtos verdes e futuros mecanismos de precificação do carbono amplia a sensação de emergência para o aproveitamento dessa estratégica janela de oportunidade para a economia brasileira”*.

Para ler o artigo na íntegra, clique [aqui](#).

# Políticas Públicas e Financiamentos

## COOPERAÇÃO

Devido a sua dependência por combustíveis fósseis, a Alemanha busca alternativas para garantir a estabilidade de abastecimento de energia. Nesse contexto, [Brasil surge como um potencial fornecedor de hidrogênio verde](#), combustível considerado essencial para a neutralidade das emissões de carbono (*net zero*) e para a transição energética global. Em parceria com a Alemanha, o selecionou oito projetos para receber, cada um, subsídios financeiros de até EUR 1,20 milhão para o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis relacionadas ao hidrogênio verde. Esses projetos incluem o uso de hidrogênio em transporte pesado; produção a partir de resíduos agropecuários; sistema híbrido utilizando células de dessalinização e conversão de resíduos plásticos em combustíveis. A implementação eficiente de políticas públicas e a harmonização de políticas tributárias e aduaneiras são fundamentais para garantir a segurança jurídica e a governança setorial necessárias para impulsionar a economia do hidrogênio verde no Brasil e contribuir para a transição energética global.

Por outro lado, a [cooperação entre a Alemanha e a Bélgica](#) na área de energia também se expande para novas possibilidades, como o acordo para conectar suas redes de hidrogênio; explorar CCS e desenvolver infraestrutura de hidrogênio. Essa iniciativa demonstra a ambição de ambos os países em reduzir a emissão de gases de efeito estufa e avançar na transição energética. Além disso, o plano de dobrar o fluxo de GNL para a Alemanha e examinar a possibilidade de um segundo interconector de eletricidade de alta tensão para fluxos transfronteiriços, reflete a preocupação em garantir a estabilidade de abastecimento de energia. A cooperação em energia *offshore* no Mar do Norte e o foco em projetos conjuntos híbridos e transfronteiriços *offshore* são exemplos dessa cooperação que se iniciou anos atrás e agora ganha novos contornos. A intensificação dessas iniciativas pode gerar benefícios econômicos e ambientais para ambos os países, além de contribuir para o avanço da transição energética no mundo.

A [parceria entre a Austrália e a Alemanha](#) também é relevante para a transição energética global. Os quatro novos projetos conjuntos anunciados como parte da Incubadora de Inovação e Tecnologia de Hidrogênio Alemanha-Austrália ([HyGATE](#)) receberão um investimento total de US\$ 50 milhões e € 50 milhões da Austrália e Alemanha, respectivamente. A colaboração entre os países ajudará a impulsionar a inovação tecnológica na indústria de hidrogênio e a reduzir o custo da produção de hidrogênio renovável.



# Políticas Públicas e Financiamentos

Certamente, existe um aumento significativo na cooperação internacional para o desenvolvimento de tecnologias de energia limpa, especialmente em relação ao hidrogênio verde. Outro exemplo de colaborações é a assinatura do Memorando de Entendimento entre a [Austrália e a Holanda](#) em março de 2023. O acordo tem como objetivo criar uma cadeia de abastecimento de hidrogênio renovável da Austrália para a Europa, aproveitando a abundância de energia renovável disponível no país. A colaboração destaca como o hidrogênio renovável está se tornando, cada vez mais, uma solução importante para a transição energética global e como os países podem aproveitar as oportunidades em um mercado em rápido crescimento.

Outro caso de cooperação importante, foi a assinatura do Memorando de Entendimento entre a [Noruega e o Reino Unido](#) no mesmo mês. O acordo tem como objetivo fortalecer a parceria em hidrogênio entre os países, permitindo a troca regular de conhecimento e experiência na produção, transporte e armazenamento de hidrogênio de baixo carbono. Destaca-se desta colaboração, o compartilhamento e aprendizado mútuo na transição para um futuro com baixa emissão de carbono, buscando parcerias que ajudem a alcançar as metas de redução das emissões globais.

Os [Emirados Árabes Unidos e a França](#) estão colaborando para acelerar a transição para a energia limpa mediante um programa bilateral de colaboração. O objetivo do programa é desenvolver oportunidades comerciais e de investimento para acelerar a descarbonização de indústrias, principalmente na produção de hidrogênio de baixo carbono e combustível sustentável com foco na mobilidade.

Igualmente, a [Índia e o Panamá](#) estão explorando oportunidades de colaboração em tecnologias renováveis, especialmente no desenvolvimento do hidrogênio verde como combustível alternativo para navegação. A colaboração entre os países pode ser benéfica para o desenvolvimento de tecnologias de hidrogênio verde, bem como para a economia e o comércio de ambos os países. O Panamá lançou em janeiro de 2022 o "*Green Hydrogen Roadmap*" que identifica o hidrogênio como o futuro combustível e cujo objetivo é posicionar o país como a "Rota Global do Hidrogênio Verde" da região. A Índia, por sua vez, tem ambição semelhante de aumentar a participação de hidrogênio verde em sua matriz energética.

Por fim, o acordo assinado entre o [Banco Europeu de Investimento \(BEI\) e o Quênia](#) para cooperação em hidrogênio verde, cujo objetivo é apoiar o Plano Energético do Quênia até 2040 e contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa. A parceria também visa fortalecer a colaboração entre as partes na busca por um futuro sustentável, além de promover a criação de empregos e o crescimento econômico no Quênia.

# Políticas Públicas e Financiamentos

---

O BEI tem histórico de apoio no desenvolvimento de energia renovável no país, tendo investido mais de € 300 milhões em diversos projetos desde 2015. A cooperação na infraestrutura de hidrogênio verde é uma importante iniciativa para o Quênia, uma vez que, o país busca aumentar a participação de fontes renováveis em sua matriz energética e se posicionar como líder no desenvolvimento sustentável na região.

Esses exemplos de cooperação destacam como os países estão trabalhando em conjunto para aproveitar as oportunidades oferecidas pelas tecnologias de energia limpa e hidrogênio verde, compartilhando conhecimento e experiência para alcançar as metas globais de redução de emissões e mitigação das mudanças climáticas. Essas parcerias internacionais são fundamentais para acelerar a transição para o futuro mais sustentável, onde a energia limpa e renovável desempenha um papel de extrema importância.

## EUROPA

A possibilidade de uso do hidrogênio nos sistemas de aquecimento está em discussão como parte dos esforços da União Europeia para reduzir, pela metade, as emissões até o final desta década e se tornar neutra em carbono até 2050. No entanto, a implementação do hidrogênio nos sistemas de aquecimento requer tecnologias limpas e avançadas que ainda estão indisponíveis em grande escala. A discussão surgiu com a reformulação da [Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios da União Europeia](#), levantando a possibilidade do uso do hidrogênio nos sistemas de aquecimento. No entanto, a maioria dos especialistas é cética em relação a essa opção, porque existem preocupações quanto à segurança e eficiência desse sistema. A decisão em relação a essa questão terá implicações significativas no setor de energia e no progresso do bloco em direção a um futuro mais sustentável.

Seguindo os contínuos esforços rumo à transição de baixo carbono, o [Parlamento Europeu e o Conselho Europeu](#) fecharam um acordo para aumentar a implantação de postos de abastecimento de hidrogênio na União Europeia, representando um passo importante para o desenvolvimento da infraestrutura de hidrogênio na região. Além do desenvolvimento da infraestrutura, a Europa tem desenvolvido e anunciado outras iniciativas para incentivar o desenvolvimento de novas tecnologias e inovação para o setor de hidrogênio.

A iniciativa *Clean Hydrogen Partnership*, por exemplo, abriu uma [chamada de propostas](#) de projetos para a criação de tecnologias para hidrogênio limpo. A iniciativa é uma oportunidade para pesquisadores, empresas e outras organizações inovarem em áreas como armazenamento, transporte, produção e utilização de hidrogênio limpo.

# Políticas Públicas e Financiamentos

Além disso, no 1.º trimestre de 2023, a Comissão Europeia anunciou a criação do [Banco Europeu de Hidrogênio](#) (BEH), que tem como objetivo financiar projetos de hidrogênio renovável na região como parte de sua Lei da Indústria *Net Zero*. Será necessário um investimento total entre € 334-471 bilhões (US\$ 353-498 bilhões) para alcançar a meta de produção de 10 milhões de toneladas (Mt) de hidrogênio renovável doméstico até 2030. O Banco será responsável por fornecer suporte proativo às indústrias de hidrogênio renovável, incluindo financiamento para a implantação de infraestrutura de produção, armazenamento e transporte de hidrogênio, bem como para a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de hidrogênio verde. Além disso, o Banco também buscará parcerias público-privadas para facilitar o desenvolvimento de projetos de hidrogênio renovável em toda a União Europeia.

Para alcançar o objetivo de produzir 10 Mt de hidrogênio, a Comissão Europeia [definiu novas regras para o hidrogênio renovável](#) por meio de dois atos:

- a) 1.º Ato Delegado: define em que condições o hidrogênio, os combustíveis à base de hidrogênio ou outros portadores de energia podem ser considerados combustível renovável de origem não biológica (CRONB). A Lei também esclarece o princípio de “adicionalidade” para o hidrogênio estabelecido na Diretiva de Energia Renovável da UE;
- b) 2.º Ato Delegado: fornece uma metodologia para calcular as emissões de gases de efeito estufa em todo o ciclo de vida dos CRONB, incluindo emissões *upstream*, essas emissões estão associadas à retirada de eletricidade da rede, do processamento e aquelas associadas ao transporte desses combustíveis até o consumidor final.

# Políticas Públicas e Financiamentos

## FINANCIAMENTO

O interesse em tecnologias de hidrogênio e células a combustível tem crescido, significativamente, em todo o mundo. Com isso, governos têm investido, cada vez mais, em incentivos e financiamentos para a pesquisa, desenvolvimento e demonstração dessas tecnologias. Recentemente, nos Estados Unidos, o [Escritório de Eficiência Energética e Energia Renovável](#) (EERE) do Departamento de Energia lançou uma nova oportunidade de financiamento para apoiar a pesquisa e desenvolvimento (P&D) de tecnologias de hidrogênio e células a combustível, com foco em tecnologias para a distribuição e o armazenamento de hidrogênio, assim como de células a combustível duráveis, para caminhões pesados. Essa iniciativa é uma das ações de curto prazo que o Departamento de Energia pretende atingir até 2025.

Outro exemplo de investimento em tecnologias de hidrogênio vem da Califórnia, onde a *Yosemite Clean Energy* recebeu um subsídio de

. Os projetos financiados apoiarão o manejo florestal sustentável, reduzindo o risco de incêndios florestais e fornecendo combustíveis com zero emissões e com carbono negativo para o setor de transporte. Esse financiamento é a primeira rodada de um programa de doações em duas fases que concederá de 2 a 4 prêmios entre US\$ 10 e US\$ 20 milhões para a construção de projetos.

No Canadá, Ontário está lançando um com um investimento de US\$ 15 milhões nos próximos três anos para desenvolver oportunidades de integração de hidrogênio no sistema elétrico da província, incluindo o armazenamento de eletricidade na forma de hidrogênio. O fundo contribuirá para o desenvolvimento da economia de hidrogênio em Ontário e apoiará sua posição como centro de manufatura limpa. O Centro de Hidrogênio de Niagara, liderado pela Atura Power, que aumentará a produção de hidrogênio de baixo carbono em oito vezes em Ontário, também está sendo desenvolvido.

Na Índia, o governo aprovou um para impulsionar seu desenvolvimento de hidrogênio verde, refletindo as medidas tomadas nos Estados Unidos e na Europa. O plano de incentivo financeiro visa a fabricação doméstica de eletrolisadores e a produção de hidrogênio verde, com o objetivo de reduzir as emissões de carbono e impulsionar as exportações. Esses exemplos de investimentos em tecnologias de hidrogênio mostram que o mundo está buscando alternativas mais limpas e sustentáveis para a produção de energia e que diversos governos estão dispostos a investir em tecnologias que possam ajudar a alcançar esses objetivos.

# Políticas Públicas e Financiamentos

Além disso, o Reino Unido está trabalhando em uma iniciativa global para reduzir as emissões de carbono do setor marítimo em todo o mundo. O governo britânico está liderando a Coalizão Marítima para Ação Climática, uma aliança de mais de 150 organizações marítimas que se comprometeram a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em pelo menos 50% até 2050. Essa iniciativa visa incentivar a inovação e o desenvolvimento de tecnologias limpas no setor marítimo em todo o mundo, além de promover a adoção de medidas de eficiência energética e combustíveis alternativos. Com esses esforços, o Reino Unido está estabelecendo um caminho sólido para um futuro mais sustentável para o transporte marítimo.

Por último, o governo da Austrália do Sul lançou [uma solicitação internacional de propostas](#) (RFP) para parceiros da indústria ajudarem a entregar uma usina de hidrogênio verde de 250 MW, que produzirá 3,6 mil toneladas de hidrogênio e custará US\$ 398 milhões. O objetivo é que a usina esteja em operação até dezembro de 2025 e que forneça capacidade de consolidação para a rede estadual. A RFP se concentra no fornecimento, construção e operação da usina de hidrogênio, bem como na busca de interessados na compra do hidrogênio produzido na instalação. O ministro da Energia do estado, Tom Koutsantonis, enfatizou que a Austrália do Sul já é líder em energia limpa, mas agora busca se tornar líder global em hidrogênio verde, com a usina de hidrogênio desempenhando um papel importante no estado como um *player* significativo na produção de hidrogênio verde. Isso pode atrair empregos associados à cadeia de suprimentos, manutenção contínua e possivelmente manufatura.

## PLANOS E METAS

A Índia e a Turquia anunciaram planos de desenvolvimento de hidrogênio verde como parte de seus esforços para alcançar metas de emissões líquidas zero até 2070 e 2053, respectivamente. A Índia estabeleceu metas de consumo de hidrogênio verde para algumas indústrias, a fim de gerar demanda por combustíveis mais limpos. Para atender a essas metas, o governo aprovou um [plano de incentivos](#) no valor de mais de US\$ 2 bilhões para desenvolver a capacidade de produção de hidrogênio verde. A Turquia, por sua vez, anunciou seu "[Plano Nacional de Energia](#)" e sua "Estratégia e Roteiro de Tecnologias de Hidrogênio" para atender as próprias metas de zero emissões líquidas até 2053. O plano visa aumentar a participação de fontes renováveis de energia em seu consumo de energia primária e expandir sua potência instalada em eletricidade. Ambos os países reconhecem a importância do hidrogênio verde na descarbonização de setores como petróleo e fertilizantes e estão promovendo o desenvolvimento de projetos de hidrogênio verde.



# Projetos

O Observatório de Hidrogênio do 1.º trimestre de 2023, buscou sintetizar os principais projetos relacionados à produção de hidrogênio no mundo, analisando as principais matérias-primas utilizadas e os países que anunciaram as iniciativas. De maneira geral, a Europa, com seus esforços contínuos de descarbonizar a sua economia, tem anunciado, cada vez mais, projetos de hidrogênio. Além da Europa, a América do Norte e a Ásia também estão empenhados no desenvolvimento da economia do hidrogênio, sendo representado pelo crescente número de projetos de hidrogênio anunciados (Figura 1).

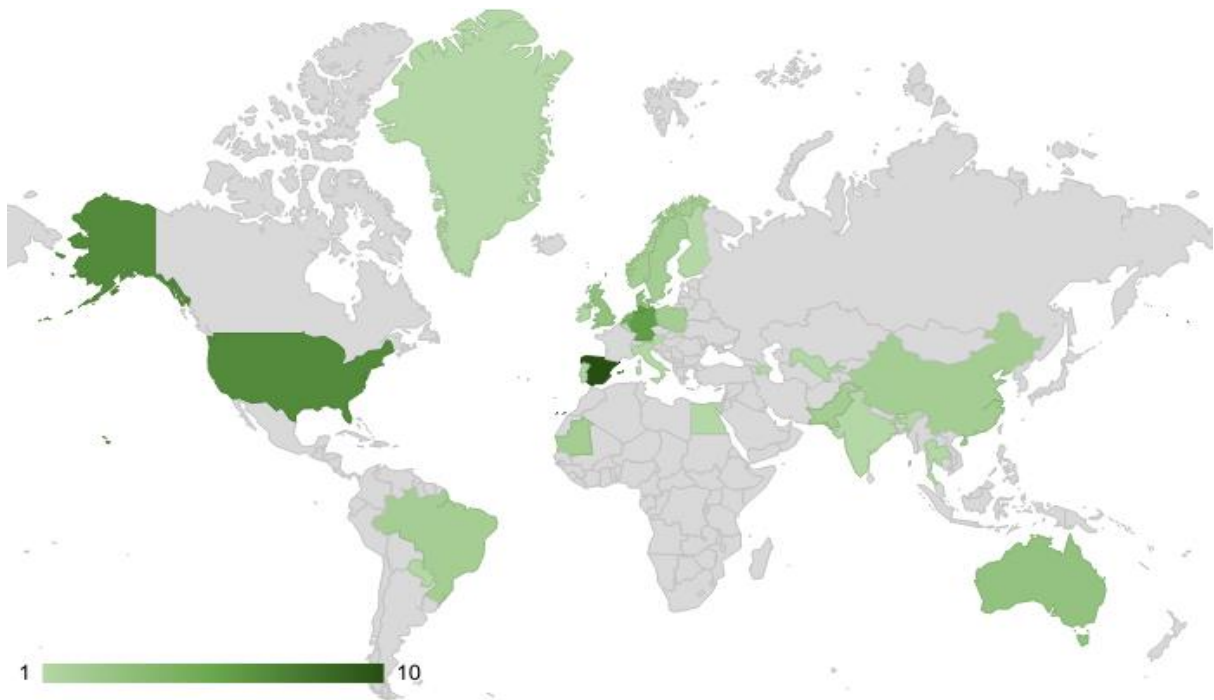


Figura 1. Distribuição dos projetos identificados no 1.º trimestre de 2023.

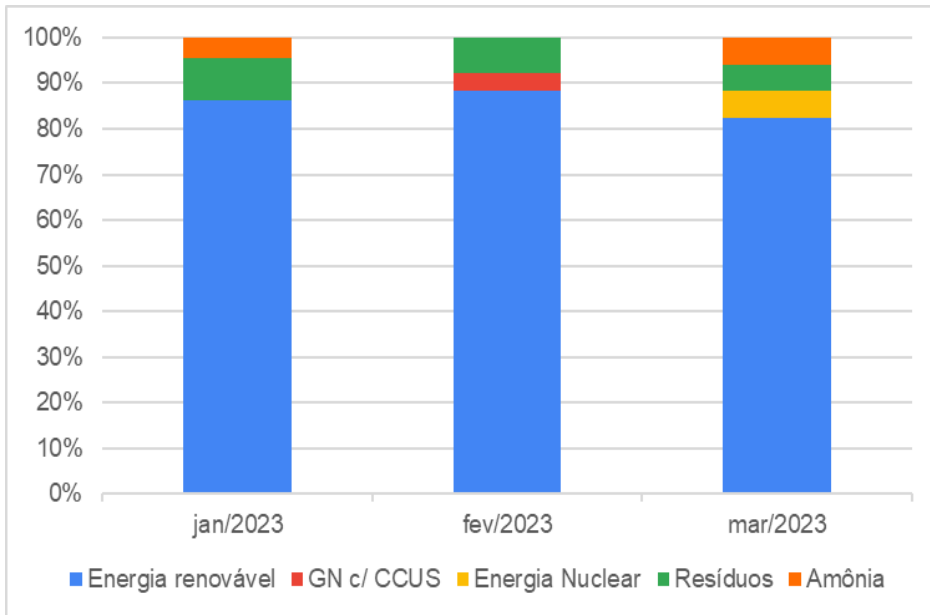
Fonte: Elaboração própria

Em relação ao 4.º trimestre de 2022, houve um maior número de anúncios de projetos de hidrogênio limpo produzido com o uso de resíduos (plásticos, papel e biomassa) e hidrogênio produzido através do craqueamento da amônia (Gráfico 1). O craqueamento da amônia tem atraído mais atenção em razão da possibilidade do seu uso como portador de hidrogênio somado as expectativas com o desenvolvimento



# Projetos

de um mercado internacional de hidrogênio. Ainda assim, a maioria dos projetos anunciados no 1.º trimestre de 2023 visa a produção de hidrogênio a partir da eletrólise da água com o uso de energias renováveis, como energia solar, eólica *onshore* e *offshore*, assim como de energia hídrica. Embora grande número de projetos sejam anunciados, a maioria deles estará em operação apenas nos próximos anos ou, ainda em fase de estudo, sem previsão para entrar em operação.

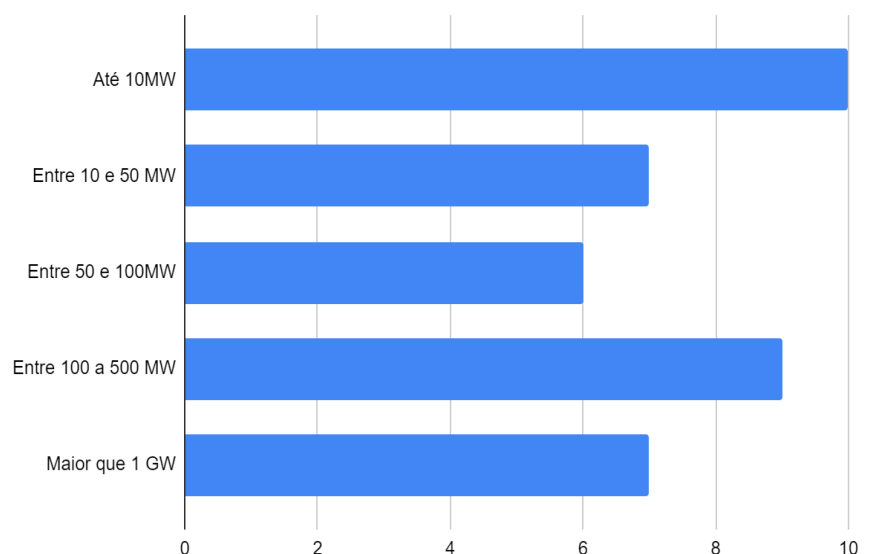


**Gráfico 1.** Matéria-prima usada na produção de hidrogênio.  
Fonte: Elaboração própria

A maioria dos anúncios de projetos não especifica o tipo de eletrolisador que será utilizado na produção de hidrogênio, mas destaca-se a menção dos eletrolisadores *proton-exchange membrane* (PEM), alcalinos e do eletrolisador de alta temperatura. Os eletrolisadores dos projetos anunciados têm potências que variam de 150 kW a 3,8 GW, com maior número de

projetos concentrados na faixa de até 10 MW, seguida pela faixa de 100 a 500 MW (Gráfico 2). Ressalta-se que, nem todos os projetos anunciados divulgaram dados relacionados à capacidade do eletrolisador que será utilizado no projeto.

Segundo o estudo da [LCP Delt](#), publicado em fevereiro de 2023, até o final do mesmo ano, haverá pelo menos 7,3 GW de projetos hidrogênio verde que precisarão alcançar a decisão final de investimento para atender aos seus cronogramas de entrada em operação. Os avanços de novos mecanismos e esquemas, como a criação do BEH; as novas definições de regras para o hidrogênio renovável; o desenvolvimento



**Gráfico 2.** Distribuição da capacidade dos eletrolisadores por faixa de potência.  
Fonte: Elaboração própria

# Projetos

de novos fundos de investimento, apoiam o desenvolvimento do hidrogênio limpo e incentiva o desenvolvimento de novos projetos. No entanto, um gargalo de projetos que busca a decisão final de investimento está se formando, pois os projetistas e investidores aguardam mais clareza sobre as diretrizes desses projetos.

O estudo também aponta que a Alemanha continuará liderando a instalação de capacidade, seguida pela Espanha e pelo Reino Unido. Além disso, espera-se que a energia eólica e a solar sejam responsáveis por mais de 70% da capacidade instalada de hidrogênio da Europa até 2025.

## **Brasil: O estado de Minas Gerais terá fábrica de geradores de hidrogênio**

O grupo Neuman & Esser anunciou um investimento de R\$ 70 milhões para expandir seu parque industrial em Belo Horizonte e construir a primeira fábrica de geradores de hidrogênio verde na América do Sul. O empreendimento está localizado no bairro Olhos D'Água em Belo Horizonte. Espera-se 75 empregos diretos e 200 empregos indiretos com tal iniciativa. A fábrica vai produzir equipamentos como eletrolisadores do tipo PEM e Alcalino, além de reformadores de etanol e de biometano ou gás natural, que podem ser usados como fontes para produção de hidrogênio verde. Serão produzidos, inicialmente, módulos de 1 a 5 MW de potência, "containerizados", com capacidade total de 70 MW por ano. Para saber mais, acesse: [Portal Hidrogênio Verde](#) e [Agência Minas](#)

## **PROJETO EM DESTAQUE**

### **Bélgica: Air Liquide vai construir planta industrial de craqueamento da amônia em escala industrial**

A Air Liquide anunciou a construção de uma planta de craqueamento de amônia verde em escala industrial no Porto de Antuérpia, na Bélgica. Utilizando tecnologia inovadora, a planta permitirá converter, com uma pegada de carbono otimizada, a amônia em  $H_2$ . A inovadora planta piloto é planejada para entrar em operação em 2024 e combina um eficiente processo junto as tecnologias proprietárias da Air Liquide. O governo flamengo, por meio da VLAIO (Agência Flamenga de Inovação e Empreendedorismo), confirmou o apoio financeiro ao projeto. Um elemento chave do processo de craqueamento da amônia é o craqueador. Trata-se de um forno de craqueamento catalítico, no qual a reação de síntese da amônia é revertida em altas temperaturas. O gás obtido é, principalmente, nitrogênio e hidrogênio, que passa por etapa de separação gerando o hidrogênio purificado. Para saber mais, acesse: [Air Liquide](#) e [Ammonia Cracking](#)

# Armazenamento e transporte

O armazenamento e o transporte do H<sub>2</sub> são de extrema importância para o desenvolvimento dessa economia. Diante disso, esta seção apresenta o estágio atual de desenvolvimento do setor. Nesse contexto, alguns países estão investindo em reformas na infraestrutura para suportar importações e exportações de H<sub>2</sub>, além de visar o desenvolvimento de projetos e estudos de viabilidade, conforme os observados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Projetos e estudos de armazenamento de H<sub>2</sub> em destaque.

Forma de armazenamento	País	Instituição	Atividade	Status	Nome do Projeto
Sólido	Estados Unidos	<a href="#">PG&amp;E e Energy Vault</a>	Implantação e operação de um sistema de armazenamento de energia de hidrogênio verde, composto por uma bateria de grande escala e um sistema de armazenamento de energia de longa duração.	Em estudo	-
	Alemanha e Noruega	<a href="#">Governos</a>	Criação do primeiro gasoduto de hidrogênio na Europa.	Em desenvolvimento	Parceria Estratégica sobre Energia Renovável, Climática e Indústria Verde
	Holanda	<a href="#">Thyssengas e Arcadis</a>	Empresa adquire gasoduto de gás natural para transporte de hidrogênio.	Em estudo	GET H2
Gasoduto	Espanha, França, Portugal e Alemanha	<a href="#">Governos</a>	Estabelecer um corredor verde submarino.	Em operação	
	Austrália	<a href="#">Governo</a>	Construção de um novo gasoduto de hidrogênio com financiamento de US\$ 983 milhões.	Em desenvolvimento	-
	Europa	TSOs: <a href="#">Enagás</a> , <a href="#">GRTgaz</a> , <a href="#">REN</a> e <a href="#">Teréga</a>	Acordo para impulsionar a transformação da rede de gás em uma rede de hidrogênio.	Em operação	Green2TSO

# Armazenamento e transporte

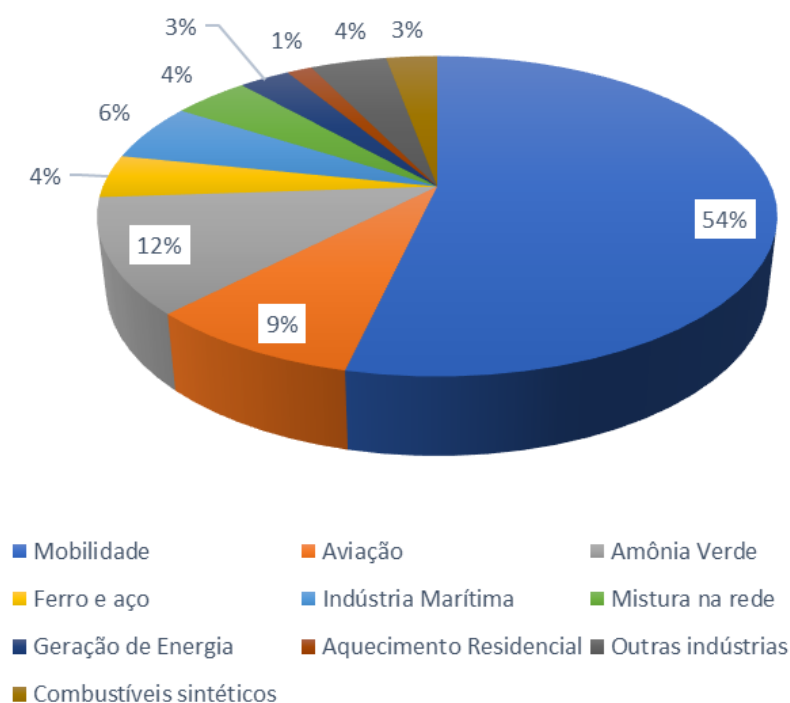
**Tabela 1 (continuação).** Projetos e estudos de armazenamento de H<sub>2</sub> em destaque.

Forma de armazenamento	País	Instituição	Atividade	Status	Nome do Projeto
Gasodutos	Reino Unido	<a href="#">Worley</a>	Estudo preliminar para gasoduto de hidrogênio.	Em operação	ECHP
		<a href="#">SGN e NGT</a>	Realização de três estudos preliminares para adaptação de gasodutos existentes.	Em operação	H <sub>2</sub> Caledonia, H <sub>2</sub> Connect e Project Union
Oleoduto	Europa (Mar do Norte)	<a href="#">Gascade e Fluxys</a>	Construção de um oleoduto offshore.	Em operação	AquaDuctus
	Dinamarca e Alemanha	<a href="#">Governos</a>	Construção de um oleoduto terrestre, da Dinamarca para a Alemanha.	Em estudo	-
Cavernas de Sal	Alemanha	<a href="#">Gasunie</a>	Análise de duas cavernas de sal para garantir que elas sejam adequadas para armazenamento de hidrogênio.	Em desenvolvimento	H2CAST
Subterrâneo	Reino Unido	<a href="#">Gravitricity e VSL Systems UK</a>	Construção do primeiro poço de armazenamento de hidrogênio no Reino Unido.	Em desenvolvimento	-
Comprimido	Europa	<a href="#">Aciturri</a>	Fabricar e testar um demonstrador de tanque de hidrogênio líquido para aviação.	Em operação	H2ELIOS
	Estados Unidos	<a href="#">Genh2 e Chart Industries</a>	Parceria para comercializar e distribuir, globalmente, tecnologias de liquefação de hidrogênio em pequena escala.	Em operação	-
	Coréia do Sul	<a href="#">WEG Motors</a>	Empresa instalou uma planta de produção de hidrogênio liquefeito.	Conclusão prevista em 2023	-
Carreador orgânico	Austrália	<a href="#">Eneos</a>	Empresa construiu uma planta de demonstração para produzir metilciclohexano (MCH)	Em desenvolvimento	-
	França	<a href="#">HySiLabs</a>	Instituição arrecada 13 €M para projeto de siloxano.		-

Fonte: Elaborado própria, a partir do IFE H<sub>2</sub>.

# Uso Final

A partir da sistematização das notícias dos Informativos Setoriais de H<sub>2</sub> durante o 1.º trimestre de 2023, buscou-se visualizar os avanços internacionais relacionados ao uso final de H<sub>2</sub>, identificando os tipos de usos finais das iniciativas (Gráfico 3) e os países/continentes que mais participaram na mudança.



**Gráfico 3.** Participação dos tipos de usos finais para o hidrogênio no 1º trimestre de 2023.  
Fonte: Elaboração própria, a partir de IFE H<sub>2</sub>.

No 1.º trimestre de 2023 não foram anunciadas iniciativas de cogeração, diferente do 4.º trimestre de 2022, em que 2,9% representavam essa atividade. No entanto, destaca-se o maior número de anúncios de projetos que buscam a produção de combustíveis sintéticos à base de hidrogênio, como os combustíveis sustentáveis de aviação (SAF, em inglês) e outros hidrocarbonetos (BOX 1). Além da amônia, os combustíveis sintéticos estão sendo analisados como possíveis portadores de hidrogênio para viabilizar a exportação do vetor energético, o que pode explicar o aumento das iniciativas nesse campo, principalmente, com o programa H2Global incentivando investimentos em projetos de produção de SAF.

# Uso Final

O segundo uso final com maior participação foi a produção de amônia verde, com 12%, um aumento comparado ao 4.º trimestre de 2022, em que foram apenas 4,4%. Ainda comparado ao trimestre anterior, houve queda significativa no anúncio de projetos de geração de energia com o hidrogênio, passando de 16,2% para 3% no 1.º trimestre deste ano. Em terceiro lugar está o setor da aviação, com 9% de participação, apresentando destaque em relação aos meses anteriores em que a participação do setor era de 2%, aproximadamente.

## BOX 1: Finlândia terá usina de metano sintético

A Enersense e a Q Power assinaram um acordo para a entrega de estruturas de aço para módulos de reator de uma planta de produção de metano sintético. O acordo visa a construção de uma planta conectada à uma usina de produção de hidrogênio verde entregue pela Q Power à P2X Solutions em Harjavalta, Finlândia. A produção de hidrogênio verde e metano sintético da P2X são pioneiras na economia de hidrogênio finlandesa e na produção de combustíveis sintéticos no país. Alguns dos hidrogênios produzidos em Harjavalta serão processados em metano sintético na planta de metanização fornecida pela Q Power, que será entregue e comissionada em 2024. As estruturas modulares serão fabricadas nas instalações de produção da Enersense em Mäntyluoto ([Enersense - Março de 2023](#))

Observa-se que o setor da mobilidade ainda lidera os projetos e iniciativas para a aplicação do hidrogênio na indústria. No entanto, comparado ao 4.º trimestre de 2022, houve aumento de 4 pontos percentuais, atingindo 54% das iniciativas no 1.º trimestre de 2023. O setor de mobilidade inclui os modais de transporte rodoviário e ferroviário. No Gráfico 4, observa-se a divisão das iniciativas no setor de mobilidade, com o desenvolvimento de estações de abastecimento de hidrogênio com maior participação (68%), seguida pela entrega de veículos e outras iniciativas, com 21% e 11%, respectivamente.

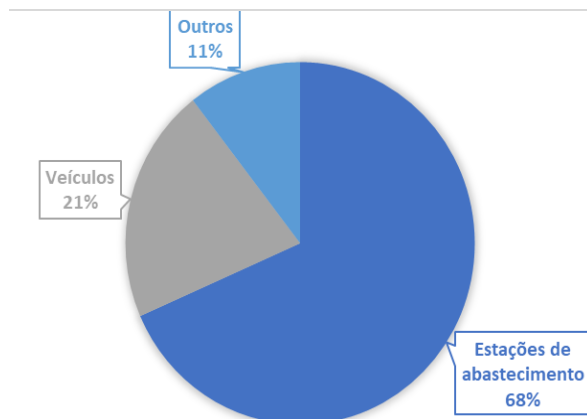


Gráfico 4. Participação das iniciativas de mobilidade limpa no 1º trimestre de 2023.

Fonte: Elaboração própria, a partir de IFE H<sub>2</sub>.



# Uso Final

No 1.º trimestre de 2023, foram anunciadas a intenção de fornecer mais de 175 estações de reabastecimento e a inauguração de 4 novas estações de reabastecimento, das quais 3 estações estão localizadas na Europa e uma na China. Esta última é a primeira estação de reabastecimento *methanol-to-hydrogen* que começou a operar.

## **BOX 2: China inicia operação da primeira estação de reabastecimento *methanol-to-hydrogen***

A China Petroleum & Chemical Corporation (Sinopec) lançou, oficialmente, a primeira estação de serviço de *methanol-to-hydrogen* (M2H) e de reabastecimento de hidrogênio da China, em Dalian

O complexo integrado, que substitui a antiga estação de abastecimento de combustível, que oferecia serviços de óleo, gás, hidrogênio e carga elétrica, pode produzir 1.000 quilogramas de hidrogênio por dia com uma pureza de 99,999%. O processo de produção de hidrogênio da planta da Sinopec tem a vantagem de cobrir uma área pequena, ter um tempo de construção curto e um processo de produção verde e sustentável.



Fonte: [SINOPEC \(2023\)](#).

Além disso, a tecnologia M2H da estação de serviço solucionou questões como, capacidades de transporte limitadas, altos custos e tempos de carga longos, tornando-a mais eficiente em termos de custo do que as estações de abastecimento de hidrogênio tradicionais. Como parte do compromisso da Sinopec em se tornar a principal empresa de energia de hidrogênio da China, a empresa construiu nove centros de fornecimento de células a combustível de hidrogênio em todo o país ([GreenCarCongress -Fevereiro de 2023](#)).

Outras iniciativas no setor da mobilidade (11%) incluem: venda de células a combustível; estudos e inovações na área e; avanços no transporte ferroviário movido a hidrogênio. Assim, a Índia planejou operar cerca de 35 trens movidos a hidrogênio na Índia pelo projeto "[Hydrogen for Heritage](#)".

# Uso Final

Na Tabela 2, a seguir, podemos analisar em quais continentes determinados usos finais possuem maior enfoque.

**Tabela 2.** Participação das iniciativas relacionadas aos usos finais do hidrogênio por região.

Continente	Mobilidade (%)	Amônia Verde (%)	Aviação (%)
Europa	73	12,50	54,50
América do Norte	13,5	12,50	27,3
América do Sul	0	25	0
Oceania	0	0	0
Ásia	13,5	37,50	18,2
África	0	12,50	0
Número Total de Notícias	37	8	6

Fonte: Elaborado própria, a partir do IFE H<sub>2</sub>.

A Europa mostrou fortes incentivos em todos os segmentos, com destaque no setor da mobilidade, atingindo 73% das iniciativas ao redor do mundo. Na América do Norte e na Ásia o setor teve por volta de 13,50%. A geração de amônia verde foi destaque neste trimestre com 37,50% de participação na Ásia; 25% na América do Sul; 12,50% na Europa, América do Norte e África. Percebe-se uma colaboração maior da Ásia, América do Sul e África, comparado aos outros usos finais. Isso se deve, principalmente, à natureza dos projetos de produção de amônia verde que, em tais lugares, são voltados, principalmente, à exportação.

## **Brasil: Casa Dos Ventos, Comerc e THA assinam MoU para a exportação de amônia verde do Brasil**

A Casa dos Ventos e a Comerc assinaram um Memorando de Entendimento (MoU) com a TransHydrogen Alliance (THA) para produção e exportação de amônia no Brasil. O acordo prevê a exportação da amônia verde produzida no Complexo Industrial e Portuário do Pecém, no Ceará, para o Porto de Roterdã até 2026. A usina de Pecém terá capacidade de até 2,4 GW de eletrólise, produzindo 960 toneladas de hidrogênio por dia. A THA afirma que o mercado de produção de hidrogênio verde no Brasil pode valer, anualmente, entre US\$ 15 bilhões e US\$ 20 bilhões até 2040. A produção de hidrogênio verde no Brasil pode colocar o país no mercado internacional de hidrogênio, aproveitando seu vasto potencial de energia renovável ([Casa dos Ventos - Fevereiro de 2023](#)).

# Tecnologia e Inovação

---

É importante destacar que a tecnologia de células a combustível de hidrogênio tem sido alvo de atenção em todo o mundo. O [EH Group](#), por exemplo, estabeleceu, recentemente, uma posição importante na Índia com sua subsidiária integral EH Group Systems Pvt Ltd. Com sede no prestigiado IIT Madras Research Park, seu novo Laboratório de Inovação servirá para desenvolver ainda mais suas tecnologias de células a combustível e apoiar sua crescente base de clientes na Índia. O Laboratório de Inovação concentra-se, principalmente, em seu software proprietário de sistemas de controle, a fim de acelerar o desenvolvimento de seus produtos de células a combustível. A implantação da tecnologia na Índia e o recente compromisso político do país com o hidrogênio verde são sinais da importância crescente das células a combustível no país.

De fato, a tecnologia de hidrogênio é vista como uma solução importante para a transição global para uma economia de baixo carbono. Segundo o relatório [Global Hydrogen Technology Outlook 2020-2030](#), as principais tendências em tecnologias de hidrogênio de 2011 a 2020, constatam que o patenteamento global do vetor energético é [crescente](#), que respondem por 28% e 24%, respectivamente, dos termos de famílias de patentes internacionais (IPFs). Na Europa, a Alemanha (11%), França (6%) e a Holanda (3%) são os líderes. Os Estados Unidos, com 20% de todas as patentes, é o único grande centro de inovação a observar os pedidos internacionais de patentes de insumo declinarem. Além disso, quase 80% das patentes relacionadas a hidrogênio em 2020 foram motivadas por preocupações climáticas.

O estudo abrange todas as tecnologias de H<sub>2</sub>, desde o fornecimento até o armazenamento, distribuição e transformação, além de aplicações de uso final, fornecendo uma visão valiosa das tendências e inovações nesta área. Portanto, é importante que empresas e governos continuem a investir em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de hidrogênio, a fim de acelerar a transição para uma economia de baixo carbono e atingir as metas climáticas globais.

# Tecnologia e Inovação

## PRODUÇÃO DE H<sub>2</sub>

Como principal forma de alcançar uma economia mais limpa e sustentável, inovações tecnológicas para produção de hidrogênio verde ganham cada vez mais espaço. A Austrália é um dos países que vêm desenvolvendo tecnologias para aumentar a eficiência da produção de hidrogênio. Engenheiros da [RMIT University em Melbourne](#) conseguiram, por meio de vibrações de alta frequência, durante o processo de eletrólise, liberar 14 vezes mais hidrogênio em comparação com as técnicas de eletrólise padrão. Ao produzir uma onda sonora durante o processo, os pesquisadores evitam o acúmulo de bolhas de hidrogênio e oxigênio nos eletrodos, melhorando a condutividade e a estabilidade do processo.

Na China, pesquisadores da [Universidade de Shenzhen e da Nanjing Tech University](#) desenvolveram um sistema de eletrólise para a produção de hidrogênio a partir de água salgada. O novo método funciona por meio de migração de água auto-conduzida, evitando a necessidade do processo de dessalinização separado. O consumo de energia é comparável ao da eletrólise alcalina industrial com água pura.

No Reino Unido, engenheiros químicos do [Imperial College London e do Materials Processing Institute](#) trabalham em um projeto para criar hidrogênio a partir do lodo de indústrias siderúrgicas. O projeto envolve a utilização de um eletrolisador alimentado por energia renovável para transformar o lodo em hidrogênio e reduzir a quantidade de resíduos gerados pela indústria do aço.

Além disso, a [Constellation](#) iniciou a produção de hidrogênio limpo movida a energia nuclear nos Estados Unidos. A empresa está trabalhando com entidades públicas e privadas para buscar o desenvolvimento de centros regionais de produção e distribuição de hidrogênio e se comprometeu a investir US\$ 900 milhões até 2025 para a produção comercial de hidrogênio limpo usando energia nuclear. A empresa utiliza o eletrolisador PEM da Hydrogen Generation System, fabricado pela Nel Hydrogen, que utiliza eletricidade limpa e sem emissões na Estação Nuclear Nine Mile Point para separar átomos de hidrogênio e oxigênio na água.

Por fim, pesquisadores da [Universidade da Carolina do Norte nos Estados Unidos](#) projetaram nanofios de silício para converter a luz solar em eletricidade e dividir a água em hidrogênio e oxigênio, oferecendo um caminho para a produção eficiente e acessível de combustível de hidrogênio. Os nanofios de silício foram projetados para ter várias células solares ao longo de seu eixo, permitindo que produzam a energia necessária para a divisão da água. Essa tecnologia pode ser uma alternativa aos reatores de suspensão de partículas de separação de água, que não podem absorver luz visível e infravermelha.



# Tecnologia e Inovação

## USO DE H<sub>2</sub>

Além de inovações para produção de hidrogênio verde, destaca-se também seu uso pelo consumidor final. A China, por exemplo, está investindo em [bicicletas movidas a hidrogênio](#), no desenvolvimento de um protótipo que possui uma célula a combustível de hidrogênio e um dispositivo de armazenamento de hidrogênio de baixa pressão. Essa bicicleta pode fornecer energia de acordo com a velocidade na qual o ciclista pedala e, diferentemente das bicicletas elétricas convencionais que usam baterias de lítio, a célula a combustível de hidrogênio é mais ecológica e tem uma vida útil mais longa.

Na Alemanha, o hidrogênio tem sido utilizado em projetos inovadores, como na produção de lenços livres de CO<sub>2</sub> pela [Essity](#), empresa de higiene e saúde. A Essity é a primeira empresa do setor a produzir lenços em um processo de produção que utiliza hidrogênio renovável em vez de gás natural no processo de secagem do papel. A energia renovável não era uma alternativa viável para o processo de secagem, mas a empresa conseguiu demonstrar que os processos de produção com uso intensivo de energia também podem se tornar isentos de emissão de CO<sub>2</sub>.

Além disso, a [Fendt](#), empresa alemã de tratores, apresentou um protótipo de trator movido a hidrogênio na cúpula de hidrogênio realizada pelo Ministério Estatal da Baviera para Assuntos Econômicos, Desenvolvimento Regional e Energia. A Fendt também está participando do projeto modelo agrícola H2Agrar na Baixa Saxônia para pesquisar uma infraestrutura de hidrogênio para uso agrícola. O projeto visa investigar o potencial de usabilidade e desempenho do hidrogênio para máquinas agrícolas, bem como determinar o consumo de hidrogênio dos tratores.

Nos Estados Unidos, a [BAE Systems](#), empresa britânica de defesa e segurança, anunciou que fornecerá seu sistema de transmissão elétrica Gen3 para 10 ônibus movidos a hidrogênio que serão operados pela MTA, a Autoridade Metropolitana de Transporte de Nova York. O Gen3 é um sistema de propulsão elétrico que, combinado com um motor de célula a combustível de hidrogênio, pode proporcionar alta eficiência e zero emissões de poluentes.

Todos esses projetos mostram o potencial do hidrogênio como uma alternativa sustentável às fontes de energia convencionais. A infraestrutura necessária para a produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio é atualmente limitada, o que pode tornar sua implantação em grande escala mais desafiadora. No entanto, com investimentos adequados em tecnologia e infraestrutura, o hidrogênio pode se tornar uma alternativa viável e sustentável às fontes de energia convencionais.

# Considerações Finais

---

Após a análise, evidencia-se um forte avanço no desenvolvimento de políticas públicas, mecanismos de financiamento, apoio à P&D e na cooperação internacional para impulsionar o mercado de hidrogênio no Brasil e no Mundo. Observa-se, um número significativo de iniciativas e projetos que buscam desenvolver infraestruturas para o armazenamento, transporte e distribuição do hidrogênio. Com destaque para as iniciativas com os portadores de hidrogênio, como amônia e SAF, para a viabilizar a exportação do vetor energético. Um dos pontos fundamentais para o armazenamento/transporte do hidrogênio através dos seus derivados é a etapa de craqueamento (desidrogenação), que ainda não está em plena capacidade tecnológica. Sendo assim, os projetos desenvolvidos nesta área irão fornecer informações cruciais para ampliar os avanços desta tecnologia.

Com os avanços nas políticas públicas para o hidrogênio, aumenta-se a segurança para o desenvolvimento de iniciativas e projetos pilotos no setor. Assim, avaliando a cadeia de valor do hidrogênio desde a produção até o uso final, percebe-se o papel fundamental das políticas públicas e de financiamento para proporcionar o desenvolvimento da demanda e da oferta desse mercado. Além disso, existe desenvolvimento de novas pesquisas no que tange ao armazenamento de H<sub>2</sub>, que contribuem diretamente para experiências de desenvolvimento de novos usos para o hidrogênio, bem como a ampliação da pública e redução de custos.

De maneira geral, deve-se destacar o quanto a economia de hidrogênio vem se desenvolvendo. Os crescentes investimentos atrelados a projetos de P&D e à implementação de projetos piloto impulsionarão o mercado do hidrogênio para que as metas climáticas sejam alcançadas.





# GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

## Observatório de Hidrogênio



@geselufrj