



Observatório de Hidrogênio

Nº 03

NOVEMBRO
2021

Observatório de Hidrogênio N° 3

Organizadores

Nivalde de Castro

Sayonara Elizário

Luiza Masseno

Bianca Castro

Equipe de Pesquisa

Allyson Thomas

José Vinicius Freitas

Kalyne Brito

Luana Bezerra

Vinicius Botelho

Novembro
2021

Sumário

Introdução.....	4
1. Cenário Brasileiro.....	5
1.1 Investimentos na Economia do Hidrogênio	6
1.2 Aceitação Pública e Formação de Recursos Humanos.....	7
1.3 H2 no Plano Nacional de Energia 2050	7
2. Cenário Internacional.....	9
2.1 H2 no World Energy Outlook 2021	10
2.2 Global Hydrogen Review 2021	14
2.3 Green Hydrogen Compact Catalogue	22
2.4 A Economia de Hidrogênio no Mundo	25
2.4.1 Projetos de Hidrogênio	25
2.4.2 Uso Final do Hidrogênio.....	28
2.4.3 Armazenamento e Transporte	32
2.4.4 Políticas Públicas e Financiamentos.....	35
3. Considerações Finais.....	39

Introdução

O hidrogênio (H₂) tem sido 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 para o 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 H₂, diversos países estão estimulando o desenvolvimento da economia do hidrogênio, como pode-se observar pelo crescente anúncio de políticas públicas e projetos demonstrativos em toda cadeia de valor do hidrogênio.

Posto isto e considerando a evolução exponencial da economia do hidrogênio, o presente relatório tem como objetivo central apresentar um estudo analítico do acompanhamento sistemático do setor, apresentado no [Informativo Setorial de Hidrogênio do GESEL](#), atentando 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 documentos lançados em Outubro, com destaque para o Global Hydrogen Review e o World Energy Outlook, da International Energy Agency (IEA)

Cenário Brasileiro

O Brasil possui características singulares, em comparação com o resto do mundo, para se tornar um hub de hidrogênio. Segundo Castro (2021), esta possibilidade está baseada em dois vetores. O primeiro se refere à capacidade de produção total das energias eólica e solar, estimada em 1.300 GW e que, atualmente, possuem 20 GW e 4,7 GW de capacidade instalada, respectivamente, demonstrando o enorme potencial que o país ainda pode atingir. O outro vetor está relacionado à robustez do modelo de contratação e do marco regulatório do Setor Elétrico Brasileiro, os quais proporcionam um baixo risco de investimentos devido à sua fundamentação e segurança.

Diante das perspectivas de desenvolvimento, o potencial de produção de hidrogênio verde (H2V) no Brasil poderá atender a demanda interna de diversos países, notadamente da União Europeia (UE) que, por apresentar um baixo potencial para energias renováveis, terá que importa-lo para atingir a neutralidade de emissão de CO₂, em 2050. Para estruturar esta indústria nascente, o país tem realizado diversas iniciativas, como investimentos em P&D, formulação de intenções, formação de recursos humanos e promoção da aceitação pública por meio de eventos, congressos, webinars e documentos. Dentre estes documentos, destaca-se o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, que apresenta as inúmeras potencialidades e oportunidades para o desenvolvimento da economia de hidrogênio no Brasil.

Cenário Brasileiro

Investimentos na Economia do Hidrogênio

As potencialidades para o Brasil se tornar um dos principais exportadores de hidrogênio do mundo tem chamado atenção dos principais atores desta cadeia produtiva. Estes têm anunciado inúmeros memorandos de entendimento, especialmente em áreas portuárias, para promover, no futuro, a estruturação da economia do hidrogênio no país.

De acordo com notícia veiculada na página Petronotícias, o Ministro de Minas e Energia, Bento Albuquerque, afirmou que o Programa Nacional de Hidrogênio já aponta para cerca de R\$ 30 bilhões de investimentos relacionados à produção de H2V. Deste investimento, grande parte foi anunciado para o Ceará, estado que, com o Porto de Pecém, tem se despontado como um dos principais hubs em estruturação para a produção e exportação de H2V. Outros portos que vêm chamando atenção são os Portos do Açu e de Aratu, localizados nos estados do Rio de Janeiro e da Bahia, respectivamente.

É importante salientar que, apesar das perspectivas serem promissoras, o Brasil precisa acelerar na estruturação de projetos de hidrogênio efetivos, capazes de promover o desenvolvimento de toda a sua cadeia produtiva. Por se tratar de uma economia nascente, inúmeras barreiras e desafios precisam ser rompidos para viabilizar projetos em maior escala e que buscam a exportação. Em suma, para estruturação de uma mercado de exportação forte, o Brasil precisa promover, o mais rápido possível, o desenvolvimento do mercado interno de H2V. Esta é uma iniciativa crucial para que o país se posicione entre os principais players do mundo. Nesta direção, a Chamada Pública Missão Estratégica Hidrogênio Verde, da CTG Brasil em conjunto com SENAI, propôs a prospecção e a priorização de projetos de P&D+I para a avaliação de arranjos técnicos, comerciais e tecnologias de H2V

[Petronotícias - Hidrogênio: Investimentos Anunciados para o Brasil.](#)

[CTG Brasil - Missão Estratégica Hidrogênio Verde.](#)

Cenário Brasileiro

Aceitação Pública e Formação de Recursos Humanos

As iniciativas de promoção da aceitação pública e de formação de recursos humanos continuam sendo desenvolvidas no Brasil. Cabe destacar que este é um aspecto essencial para a utilização ampla do hidrogênio na economia, uma vez que a conscientização sobre os problemas climáticos e suas respectivas soluções serão determinantes para o sucesso deste novo mercado. Neste sentido, o 2º Congresso Brasil-Alemanha de Hidrogênio Verde apresentou o contexto e o progresso das atividades bilaterais e locais, bem como os principais desafios e oportunidades já identificados a partir de projetos pilotos. Outro tema abordado no evento foram os critérios de sustentabilidade e certificações para o H2V, além das principais inovações que podem potencializar a sua competitividade.

Para acessar a gravação do evento, clique em:

[2º Congresso Brasil Alemanha de Hidrogênio Verde](#)

Hidrogênio no PNE 2050

O [Plano Nacional de Energia 2050](#) é um documento que tem como objetivo apresentar um conjunto de estudos e diretrizes para o desenho de uma estratégia de longo prazo para o setor energético brasileiro. Tendo em vista a abundância de recursos energéticos renováveis que o Brasil detém, o PNE possui elevada relevância no que tange ao direcionamento de iniciativas e políticas para os próximos anos.

Nesta ótica, as metas climáticas pautadas na descarbonização dos sistemas energéticos têm norteado o desenvolvimento de novas tecnologias e soluções disruptivas, como o aproveitamento do hidrogênio.

O hidrogênio, como um vetor energético, é visto como uma tecnologia disruptiva por ser capaz de descarbonizar e integrar diversos setores produtivos, promovendo uma mudança profunda no setor energético, em especial nos setores de difícil redução de emissões, como o industrial e o de transportes.

Conciliar todo o potencial de produção e uso do hidrogênio e a sua exportação ao mercado externo será uma tarefa árdua, considerando a premissa de garantia de competição para todas as soluções que atendam às necessidades do sistema. Este será o papel do Programa Nacional de Hidrogênio do Brasil, haja vista que se vislumbra aproveitar as múltiplas rotas de produção e, no que diz respeito ao uso final, todas as alternativas sustentáveis estão sendo propostas.

Para a produção de hidrogênio, o PNE 2050 apresenta a rota do H₂V, produzido através da eletrólise da água com a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, como a mais relevante ao país. Todavia, rotas alternativas, como a de resíduos e biomassa, energia nuclear e reforma do metano associada à captura e armazenamento de carbono, também estão sendo analisadas.

No que tange aos usos finais pretendidos para este vetor energético, a aplicação nas indústrias, no transporte, no armazenamento de energia e em aplicações por meio de outros subprodutos, com a rota Power-to-X, são as principais alternativas para o mercado interno. Entretanto, as potencialidades do Brasil para a produção do H₂V a custos competitivos colocam o país como uma dos principais players para exportação, sendo este o grande mercado no futuro.

A estruturação de uma economia de hidrogênio precisa romper diversas barreiras, sendo a econômica uma das principais. A busca pela redução de custos de eletricidade e dos elementos da cadeia produtiva, como eletrolisadores e armazenamento, é um aspecto essencial para que se produza hidrogênio com preços competitivos. Neste sentido, o PNE 2050 indica que a nacionalização da produção de eletrolisadores seria um caminho para atingir esse objetivo, notadamente por meio da rota da eletrolise alcalina, que tem os eletrodos à base de níquel, uma matéria prima abundante no Brasil. Diante do contexto de alternativas apresentado, o PNE 2050 expõe os principais desafios e recomendações para esta temática no país, que são:

1. Elaborar as normatizações para uso, transporte e armazenamento do hidrogênio;
2. Desenhar aprimoramentos regulatórios relacionados à qualidade, à segurança, à infraestrutura de transporte, ao armazenamento, ao abastecimento, ao incentivo e à utilização de novas tecnologias; e
3. Estabelecer cooperações internacionais com outras instituições que tenham iniciativas na área de hidrogênio.

Cenário Internacional

O mundo passa por um processo de transformação dos padrões de produção e consumo em que o principal driver é a descarbonização. Isso se deve ao aumento da conscientização humana sobre os impactos socioambientais advindo das ações antrópicas. Neste sentido, o Acordo de Paris, firmado em 2015, é considerado um marco histórico na busca pelo desenvolvimento sustentável, haja vista que os países tiveram de se comprometer a reduzir, de forma acentuada, as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Para atingir tais metas se faz necessária uma transição energética profunda, capaz de descarbonizar, inclusive, o setor de transporte e a indústria, responsáveis, em conjunto, por cerca de 46% das emissões de GEE.

Neste contexto, o hidrogênio surge como a principal alternativa para descarbonizar, de forma profunda e transversal, o setor energético. O hidrogênio é um elemento capaz de promover um acoplamento setorial, podendo, gradativamente, substituir o petróleo.

Este movimento de transformação tem sido liderado pelos países da União Europeia, grandes consumidores de energia fóssil, provenientes do gás natural e do carvão, por exemplo. Porém, devido à perspectiva de enorme demanda de hidrogênio de baixo carbono e da falta de potencial para produção deste elemento, emerge o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

O desenvolvimento desta economia faz com que surja países produtores e exportadores de hidrogênio, bem como aqueles que, por necessidade, desejam importar o H₂. Destaca-se que esse cenário apresenta uma nova oportunidade para países com elevado potencial de produção de energia renovável, como Brasil, Chile, Austrália, Arábia Saudita, países do norte da África, dentre outros, tendo em vista que podem produzir e exportar hidrogênio verde ou de baixo carbono.

World Energy Outlook 2021

O relatório [*World Energy Outlook 2021*](#), publicado pela Agência Internacional de Energia (IEA), fornece um guia indispensável com as oportunidades, os benefícios e os riscos associados à transição energética, tendo como pano de fundo a 26ª Conferência das Partes (COP 26). O documento fornece percepções críticas sobre a oferta e a demanda global de energia em diferentes cenários e suas implicações para a segurança energéticas, as metas climáticas e o desenvolvimento econômico. As análises realizadas pelo estudo consideram toda a diversidade das circunstâncias do país, bem como os recursos, as tecnologias e as opções de políticas potenciais em seu exame das projeções dos cenários.

Os principais cenários analisados no relatório são:

- Cenário de emissões líquidas zero até 2050 (NZE), que estabelece um caminho estreito, mas viável para o setor de energia global neutralizar as emissões de CO₂ até 2050.
- Cenário de compromissos anunciados (APS), que pressupõe que todos os compromissos climáticos assumidos por governos ao redor do mundo, incluindo Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e metas de neutralização das emissões a longo prazo, serão cumpridos integralmente e dentro do prazo.
- Cenário de Políticas Declaradas (STEPS), que reflete as configurações de política atuais, com base em uma avaliação setor a setor das políticas específicas em vigor e daquelas que foram anunciadas por governos em todo o mundo.

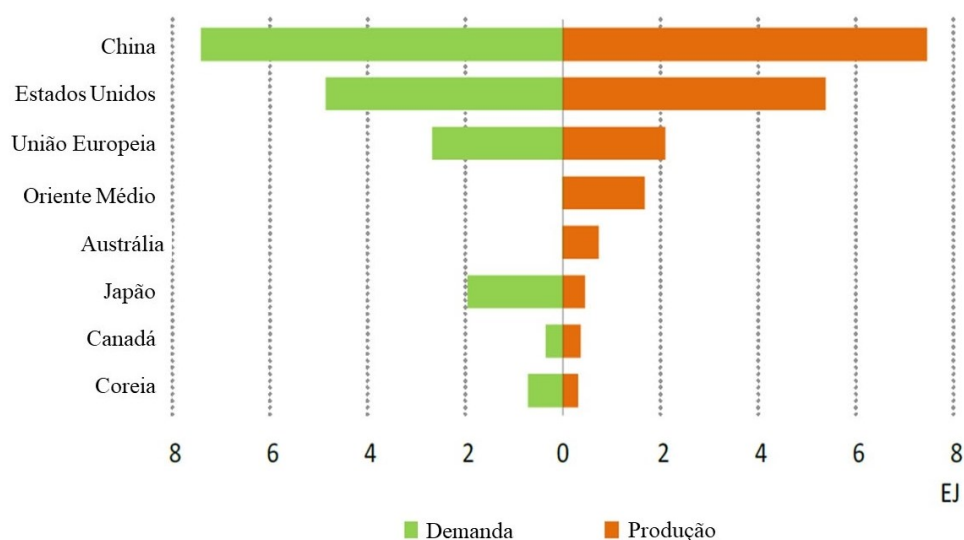
Hidrogênio de Baixo Carbono

Em 2020, a produção mundial de hidrogênio atingiu 90 Mt, principalmente para uso na indústria química e de refino, com apenas 1% sendo de baixo carbono. O hidrogênio de baixo carbono pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) com a substituição dos combustíveis fósseis, de modo a atender nova demanda por combustíveis de baixas emissões e matérias-primas industriais. Além disso, ao converter eletricidade em combustível armazenável, o hidrogênio de baixo carbono auxilia a integração do sistema de energias renováveis, bem como pode ser convertido em outros combustíveis à base de hidrogênio, como metano sintético e amônia.

Considerando os cenários apresentados até 2030, no cenário STEPS, há uma demanda limitada de hidrogênio com baixo teor de carbono. Estima-se que a produção global será de cerca de 0,2 EJ, o equivalente a 0,05% do consumo final de energia ou, aproximadamente, 1,6 Mt de hidrogênio. Destaca-se que a maior parte do hidrogênio produzido advém da eletrólise da água, visando o aproveitamento de recursos de energia renovável. Em 2050, a demanda será equivalente a 15% do uso total de hidrogênio, que, atualmente, é destinado para matérias-primas industriais e para o refino do petróleo.

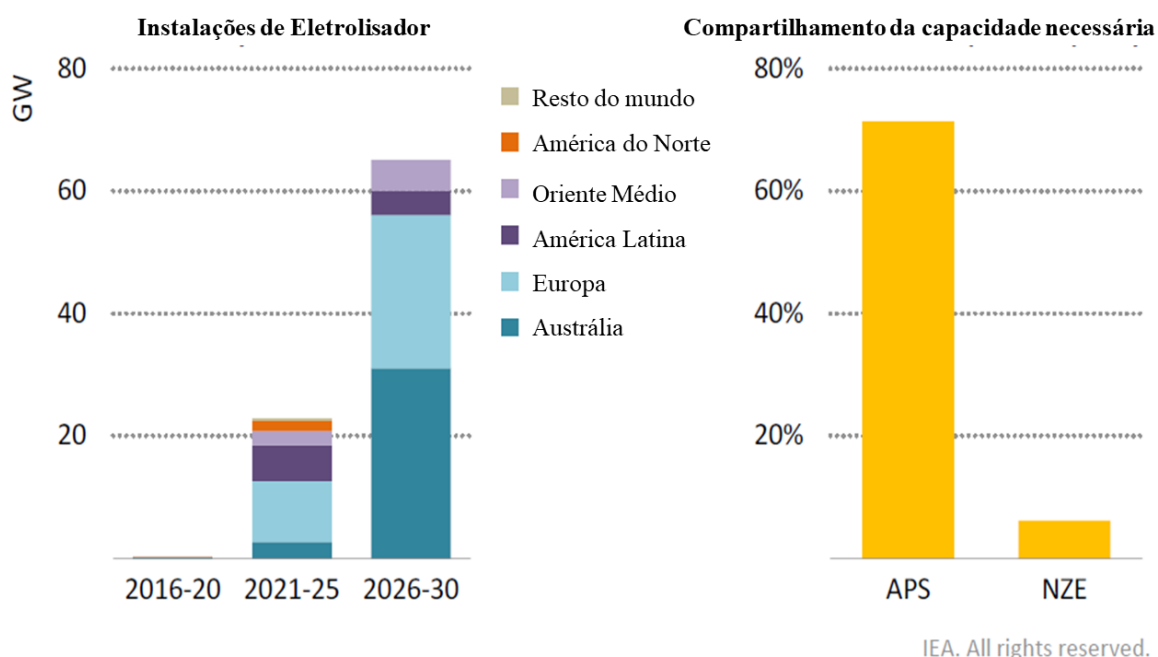
No APS, essa produção teria um aumento significativo, equivalendo a cerca de 2 EJ (16Mt) em 2030. Destes, aproximadamente 40% serão utilizados em setores de transformação, bem como para fornecer flexibilidade para o setor elétrico e para produzir combustíveis à base de hidrogênio. Observa-se, então, uma lacuna entre os dois cenários, que pode ser eliminada por meio de políticas de demanda adicionais. Ainda sobre o cenário APS, em 2030, mais 0,5 EJ é usado na indústria e 0,3 EJ consumido no setor de transporte, principalmente por caminhões pesados. Para atender a demanda de hidrogênio neste cenário, serão necessários mais projetos para desenvolver eletrolisadores. Em 2050, a produção de hidrogênio de baixo carbono aumentará para 20 EJ. Esta demanda de hidrogênio de baixo carbono é centrada, principalmente, no Japão, na Coreia do Sul, na Alemanha e em outros países da Europa. Estes países, mesmo desenvolvendo uma produção doméstica de hidrogênio, ainda dependerão de importações para atender a demanda interna. O Gráfico 1 apresenta a demanda e a produção de algumas regiões em 2050 no cenário APS (compromissos anunciados).

Gráfico 1 - Demanda e produção de hidrogênio de baixo carbono no cenário APS (2050)



Com a busca crescente pelo desenvolvimento sustentável, entre 2020 e 2021, houve um aumento considerável no fluxo de projetos de produção de hidrogênio, de forma que, se todos os projetos de eletrolisador planejados e anunciados fossem concluídos, se teria uma capacidade instalada mundial de cerca de 90 GW até 2030, produzindo 1 EJ de hidrogênio de baixo carbono. Apesar do aumento considerável no nível de produção atual, a capacidade de produção estaria em torno de 50% daquela desejada para o cenário APS e cerca de 5% da produção projetadas para o NZE, conforme apresenta o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Instalações planejadas e anunciadas de eletrolisador para 2030 e a sua proporção de adições necessárias (2021-2030)



Fonte: IEA (2021).

No cenário NZE, a produção total de hidrogênio de baixo de carbono aumenta para 17 EJ, em 2030, com cerca de um terço utilizado no setor de energia, 25% na indústria, pouco mais de 15% convertido em combustíveis à base de hidrogênio e o restante empregado em edifícios e transporte. Neste cenário, metade da produção de hidrogênio é proveniente da eletrólise e a outra metade da produção de hidrogênio a partir do carvão e do gás natural com CCUS (captura, armazenamento e uso do carbono). Em 2050, essa produção atingirá 60 EJ, com cerca de 25% convertido de combustíveis à base de hidrogênio. O NZE é o único cenário em que ocorre um aumento notável na produção de metano sintético.

Combustíveis à base de hidrogênio

Os combustíveis de baixo carbono à base de hidrogênio, incluindo amônia, metanol e outros hidrocarbonetos sintéticos produzidos com hidrogênio, oferecem uma alternativa ao uso do petróleo. Atualmente, existem seis projetos de demonstração em construção para a produção de combustíveis sintéticos deste tipo e outros 38 projetos piloto e de demonstração que estão em fase de planejamento. Há uma variedade de projetos que visam a produção da amônia principalmente para uso na indústria de fertilizantes, como combustível e, em alguns casos, para exportação.

No cenário STEPS, até 2030 a absorção global de combustíveis à base de hidrogênio será limitada, pois há poucas políticas que apoiam seu uso. No APS, 0,15 EJ de combustíveis à base de hidrogênio serão consumidos, principalmente no transporte marítimo, na forma de amônia. Com a finalidade de fechar a lacuna de implementação entre os dois cenários, grandes investimentos em inovação serão necessários para reduzir os custos de produção e transporte e, assim, garantir que novos equipamentos e veículos estejam prontamente disponíveis no mercado. No NZE, o consumo de combustíveis à base de hidrogênio no setor de transporte aumentará para 1,3 EJ em 2030, sendo a maior parte utilizada no transporte marítimo.

Após 2030, no STEPS, a implantação ainda permanece a níveis baixos. Contudo, no que se refere aos cenários APS e NZE, políticas e inovações regulatórias serão essenciais para proporcionar a redução de custos e, deste modo, aumentar a produção e o uso dos combustíveis à base de hidrogênio.

No transporte marítimo, a implantação de instalações de produção de amônia e de navios movidos à amônia aumentará substancialmente na década de 2030. Observa-se que a amônia será responsável por quase metade da demanda de energia de transporte no cenário NZE, em 2050. Na aviação, o uso de querosene sintético cresce substancialmente a partir de 2030 e atende a cerca de 30% da demanda total de combustível de aviação, em 2050, no NZE.

Global Hydrogen Review

Este ano, a International Energy Agency (IEA) lançou uma nova publicação, o relatório “Global Review Hydrogen 2021”, visando acompanhar o progresso em todas as áreas relacionadas ao hidrogênio.

O relatório é resultado da Iniciativa Ministerial de Energia Limpa sobre Hidrogênio (CEM H2I) e tem como objetivo informar as partes interessadas do setor de energia sobre a situação e as perspectivas futuras do hidrogênio, contribuindo para as discussões na Reunião Ministerial de Energia de Hidrogênio (HEM) organizada pelo Japão.

O documento acompanha o progresso na produção e demanda de hidrogênio, bem como em outras áreas críticas, como política, regulamentação, investimentos, inovação e desenvolvimento de infraestrutura. Neste sentido, o relatório examina qual será o progresso internacional do hidrogênio necessário para ajudar a abordar as mudanças climáticas e compara os desenvolvimentos do mundo real com as ambições declaradas por governos e indústria e com as principais ações no âmbito da Agenda de Ação Global, lançada no HEM, em 2019.

O documento foi lançado como preparação para a 26ª Conferência das Partes da ONU, a COP 26, na qual vários países estariam discutindo sobre suas metas para atingir emissões líquidas zero de GEE, nas próximas décadas. Destaca-se que o atingimento dessas metas exige uma ação imediata para transformar a década de 2020 em uma década de expansão consistente de energia limpa.

Com foco no uso do hidrogênio para atender às metas climáticas, o relatório objetivou auxiliar os tomadores de decisão no ajuste fino de estratégias para atrair investimentos e facilitar a implantação de tecnologias de hidrogênio, ao mesmo tempo em que cria uma demanda por hidrogênio e combustíveis à base de hidrogênio. Por isso, o documento baseia-se em três indicadores para seguir o progresso na produção e na utilização de hidrogênio:

- (i) Progresso concreto no desenvolvimento da tecnologia do hidrogênio;
- (ii) Ambições governamentais de integrar o hidrogênio em suas estratégias energéticas a longo prazo; e
- (iii) Lacunas entre o progresso realizado, as ambições dos governos e as necessidades de transição energética projetadas.

Global Hydrogen Review

A revisão da IEA acompanha e relata os progressos nestas áreas, com o objetivo de informar os governos e as partes interessadas sobre o ritmo de mudança necessário na elaboração das políticas que envolvem hidrogênio. O relatório destaca, ainda, as novas políticas a serem adotadas em todo o mundo, avaliando o seu impacto e identificando potenciais lacunas.

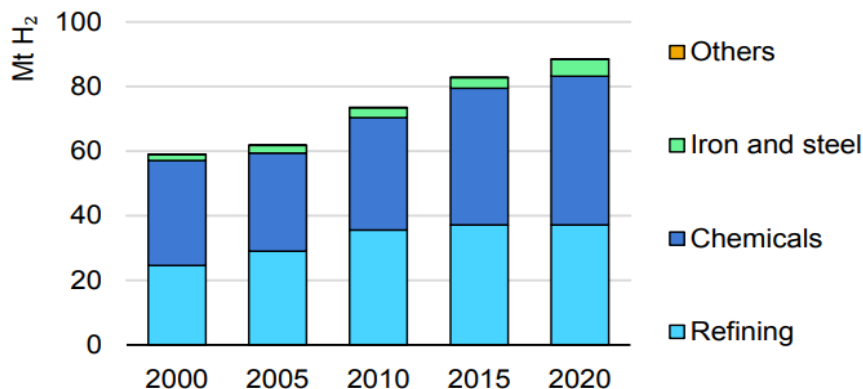
De maneira geral, o estudo relata que, devido ao surgimento de novos projetos, o investimento em projetos internacionais de produção está aumentando significativamente e de forma rápida. Diversos países anunciaram suas estratégias nacionais para o hidrogênio e foi observado como as diferentes nações estão comprometidas. De 2019 até este ano, o número de países que já possui estratégias nacionais para o uso do gás aumentou de três para 17, enquanto mais de 20 outros anunciaram publicamente que estão planejando e trabalhando nos seus planos. Deste modo, para remover as barreiras do desenvolvimento da economia do hidrogênio, alguns países tomaram os primeiros passos para adaptar os seus regulamentos.

Nota-se que a procura de hidrogênio tem crescido fortemente desde 2000, particularmente na refinação e indústria. Mesmo assim, a utilização de combustível à base de hidrogênio ainda deve expandir para atingir objetivos climáticos e energéticos ambiciosos. O caminho para a redução das emissões a zero até 2050 requer uma utilização substancialmente mais ampla de hidrogênio em aplicações existentes e uma significativa absorção de hidrogênio na área de combustíveis para novas aplicações na indústria pesada, no transporte rodoviário pesado, na navegação e na aviação.

Demanda de Hidrogênio

No relatório da IEA, também são discutidos os setores nos quais a inserção do hidrogênio deve aumentar ou necessita de maior atenção. Em geral, pode-se classificar a demanda de hidrogênio como usos existentes ou futuros, de modo que os usos existentes são aqueles que já possuem maturidade tecnológica e mercado, mas precisam converter suas matrizes produtivas para reduzir as emissões de carbono. De 2000 a 2020, a demanda de hidrogênio refere-se, majoritariamente, a dois grandes mercados, a indústria química e as refinarias. Em 2020, a demanda de hidrogênio foi de, aproximadamente, 90 Mt e, quando comparada ao início do século, apresentou pouco crescimento e quase nenhuma diversificação no mercado, como mostra a Figura 1.

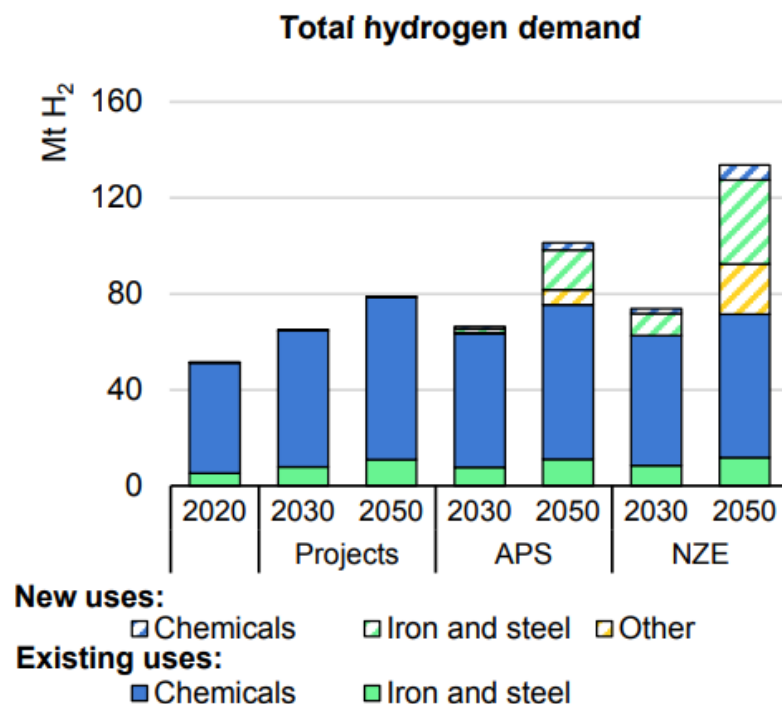
Figura 1 – Demanda de hidrogênio de 2000 a 2020



Fonte: IEA (2021).

Portanto, considerando que se trata de uma indústria nascente e com inúmeras barreiras de implementação, no curto prazo a produção deverá ter como principais destinos os setores da indústria química e refinarias. Destaca-se que, na indústria química, a principal destinação do hidrogênio é a produção de amônia. Para o longo prazo, há perspectivas de introdução de novos usos, o que é essencial para promover uma descarbonização profunda da economia. A Figura 2 apresenta as perspectivas de evolução da demanda total de hidrogênio para 2030 e 2050, nos cenários anteriormente descritos.

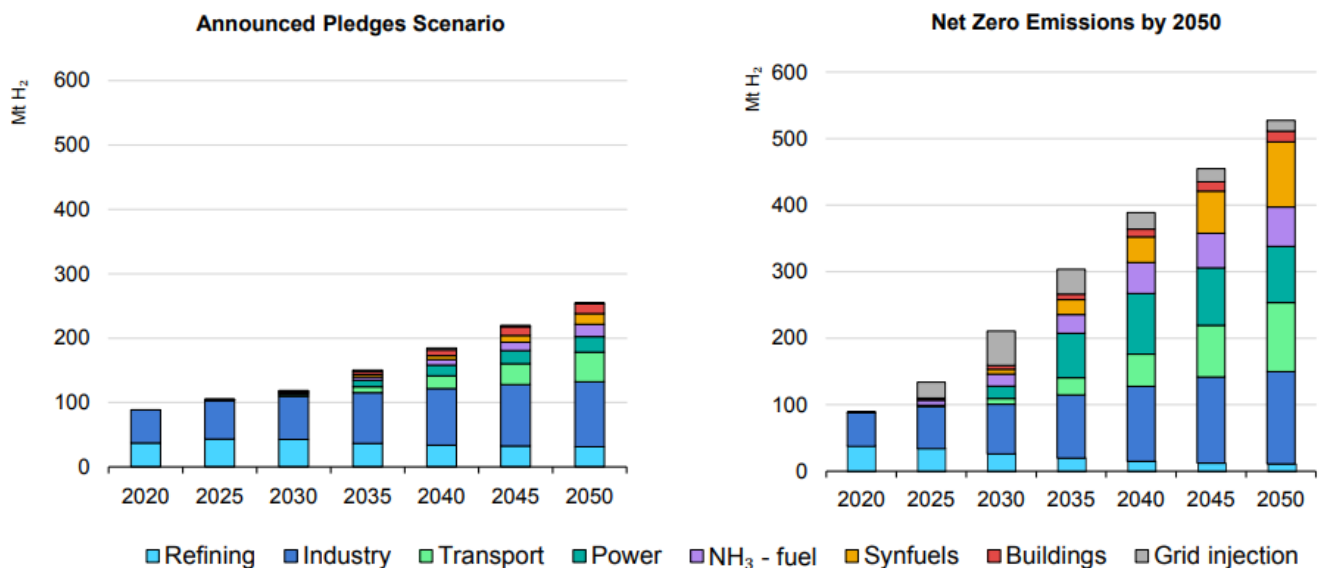
Figura 2 – Perspectivas da demanda total de hidrogênio para os três cenários (2030 e 2050)



Fonte: IEA (2021).

Já a Figura 3 apresenta, até 2050, a demanda de forma mais detalhada, demonstrando a importância dos setores de amônia, metanol e aço, no curto prazo, para os diferentes cenários, e o surgimento de novas alternativas com o passar dos anos.

Figura 3 – Demanda de hidrogênio detalhada por uso final até 2050



Fonte: IEA, 2021.

Para os novos usos, destaca-se a importância da contribuição que o hidrogênio pode fornecer ao setor de transportes, notadamente os pesados. Contudo, para o longo prazo, também há a projeção de uso nos transportes médios e leves, como apresentado ao cenário atual no Observatório de Hidrogênio nº 2. Outro setor que se projeta como um mercado futuro é o setor de combustíveis sintéticos, vistos como essenciais para a descarbonização do transporte marítimo e da aviação.

Mesmo com essas projeções, o cenário de demanda anunciado é menor do que o esperado em quase todos os setores, sendo o refino a única a exceção. No caso da indústria, uma vez que a maior utilização de hidrogênio é como matéria-prima, o crescimento da demanda é robusto em ambos os cenários, embora seja 30% menor do que a determinada pela IEA para alcance das emissões líquidas zero (cenário NZE). Portanto, o maior esforço para promoção da economia do hidrogênio deverá ser para aumentar a sua utilização como novo vetor energético, pois pode demorar décadas para que um novo combustível seja significativamente capaz de penetrar no setor energético. Assim, são necessárias ações imediatas para facilitar o processo de escalonamento e a criação de condições para assegurar que as tecnologias do hidrogênio possam ser amplamente difundidas até 2030 e sejam realmente utilizadas, a longo prazo, na transição de energia limpa.

Produção de Hidrogênio

Atualmente, o principal obstáculo para uma maior implementação do hidrogênio verde no mercado ainda é o custo de sua produção, intimamente relacionado ao custo da eletricidade, que deve ter origem em fontes de energias renováveis. O custo dos eletrolisadores também compromete o preço final do hidrogênio e esta tecnologia precisa ganhar escala para estimular a redução do CAPEX. Neste sentido, a capacidade global de eletrolisadores evoluiu consideravelmente e dobrou nos últimos cinco anos.

Se todos os projetos de eletrolisadores atualmente em desenvolvimento forem realizados, o suprimento global de hidrogênio alcançaria 8 milhões de toneladas em 2030, muito maior do que é hoje produzido (50.000 toneladas). De qualquer forma, o nível ainda permaneceria bem abaixo do esperado pela IEA, que afirma que 80 milhões de toneladas são necessárias para auxiliar no alcance da neutralidade climática até 2050, devendo ocorrer um crescimento de mais de 10 vezes após 2030.

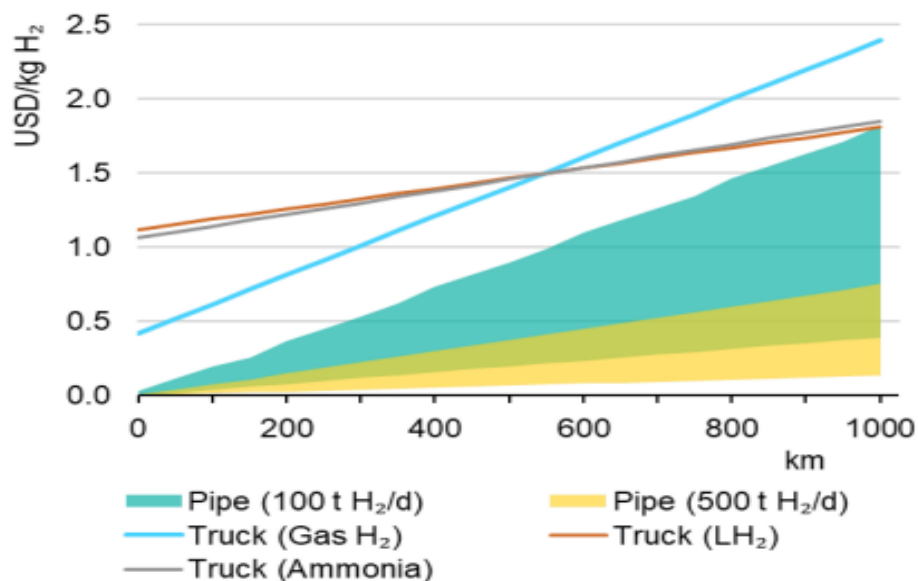
A competitividade em termos de custos para aplicação de hidrogênio com baixo teor de carbono é determinada principalmente pelos gastos de capital e custos de energia, com uma disputa entre o gás natural e a eletricidade. Tanto para a amônia, a redução direta de ferro ou a geração de energia, o hidrogênio pode ser produzido com baixo teor de carbono utilizando gás natural ou eletricidade. Destaca-se que, atualmente, a eletrólise não consegue competir nem com o gás natural, uma vez que o preço desse está na faixa de US\$ 2-10/MBtu com CCUS, devido aos seus custos a US\$ 20-40/MWh. Dependendo dos seus preços regionais, o custo nivelado do hidrogênio a partir do gás natural varia entre US\$ 0,5 e 1,7/kg. Contudo, a utilização de tecnologias CCUS para reduzir as emissões de CO₂ aumenta o custo de produção nivelado para cerca de US\$ 1 a 2/kg. Por fim, a utilização de eletricidade renovável para produzir hidrogênio custa de US\$ 3 a 8/kg. Estes valores corroboram a necessidade de criação de uma precificação de carbono efetiva, capaz de estimular as inovações e a respectiva redução das emissões de GEE.

Transporte e Armazenamento de Hidrogênio

O relatório da IEA também realiza uma estimativa dos custos dos diferentes tipos de transporte por unidade de hidrogênio. Atualmente, o hidrogênio é geralmente armazenado como gás comprimido ou na sua forma liquefeita em tanques para uso local em pequena escala.

No entanto, será necessária uma maior variedade de operações de armazenamento para se conseguir viabilizar um comércio internacional ininterrupto. Neste sentido, espera-se que, nos terminais de importação, o armazenamento de hidrogênio seja provavelmente necessário como medida de precaução em caso de rupturas de abastecimento, semelhante à abordagem para o GNL. Considerando que os custos de armazenamento e transporte são elevados e impactarão diretamente no LCOH (custo nivelado do hidrogênio), o relatório apresenta uma estimativa desses custos, apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Estimativa dos custos de diferentes tipos de transporte por unidade de hidrogênio



Fonte: IEA, 2021.

Na Figura 4, observa-se que, conforme há uma variação na distância entre a produção e o consumo, diferentes rotas se tornam mais ou menos competitivas. Em geral, os custos de transporte via gásodutos demonstram-se menos impactantes, porém nem sempre é uma alternativa viável do ponto de vista técnico e ambiental. Assim, analisando as outras alternativas, percebe-se que, para menores distâncias, o uso do transporte de hidrogênio gasoso é mais viável. Já, para longas distâncias, o transporte via hidrogênio liquefeito ou amônia se mostra mais competitivo, notadamente para usuários finais que estejam a mais de 600 km.

Experiência Internacional

Além de questões técnicas e econômicas, o relatório da IEA aborda as iniciativas e os avanços de países com destaque. Em um cenário de comércio internacional desta nova commodity, os países que têm capacidades nacionais limitadas para produzir hidrogênio com baixo teor de carbono a partir de energias renováveis, energia nuclear ou combustíveis fósseis com CCUS, ou que considerem estes processos demasiadamente caros, podem se beneficiar da importação. Por outro lado, para países com excelente disponibilidade de recursos renováveis e infraestrutura adequada, o comércio internacional pode proporcionar uma oportunidade de exportar recursos renováveis que, de outra forma, não poderiam ser explorados. Do mesmo modo, os países produtores de gás ou de carvão podem entrar no mercado exportando hidrogênio produzido a partir de combustíveis fósseis com CCUS.

Estados Unidos

Os EUA têm intensificado os esforços para desenvolver as tecnologias do hidrogênio devido às suas grandes demandas nos setores de refino (dois terços) e indústria química (um terço). Atualmente, o país já é um dos maiores produtores e consumidores de hidrogênio, que é produzido majoritariamente a partir da reforma do gás natural, representando 13% da procura global. Destaca-se que os EUA têm sido, desde o início do século, um defensor relevante da aplicação do hidrogênio como um vetor energético e do desenvolvimento tecnológico necessário para a estruturação da sua economia.

União Europeia

Em 2020, a Estratégia de Hidrogênio da União Europeia (UE) estabeleceu as bases do vetor para o bloco. Porém, para o cumprimento dos objetivos de emissões líquidas zero, uma ação ambiciosa na próxima década é necessária. Atualmente, a UE conta com diversos projetos pilotos e demonstrativos, que estão estimulando o desenvolvimento de vários elos da cadeia produtiva do hidrogênio. Dentre as principais avaliações estão o blending de hidrogênio na rede de gás e o transporte com veículos de célula a combustível.

Destaca-se que, em maio 2021, a Alemanha anunciou um fundo de financiamento de € 8 bilhões, no escopo dos Projetos Importantes de Interesse Comum Europeu (IPCEI), destinado a 62 grandes projetos, para a promoção do desenvolvimento da economia do hidrogênio e a realização de avaliações mais detalhadas de barreiras e oportunidades.

Experiência Internacional

Outros Países

O Japão, a China, que tem centrado os seus objetivos no setor de transporte, e o Canadá anunciaram novos projetos e trazem metas ambiciosas, com um papel crítico para as emissões líquidas zero e para o crescimento econômico através do mercado de exportações. O relatório da IEA também destaca outras regiões com grandes potenciais e que estão caminhando para entrar na economia do hidrogênio, como a Austrália, com um vasto histórico de projetos ambiciosos e diversos acordos com outros países. Ademais, países da África, a Coreia do Sul, a Índia, países da América Latina, como o Brasil e o Chile, e países da região do Mena também apresentam uma combinação de fatores promissores que podem criar complementaridades e sinergias no mundo. Neste sentido, será importante estabelecer uma cooperação eficaz entre os países em busca de soluções para os desafios da adoção do hidrogênio como combustível limpo atrelado ao crescimento econômico.

Recomendações de Políticas para o Hidrogênio

Por fim, para auxiliar os tomadores de decisões, é apresentado uma série de marcos norteadores que deveriam ser estabelecidos pelos governos e precisam de ser alcançados até 2030, a fim de estimular ao máximo o potencial do hidrogênio. Estes marcos cobrem a cadeia de valor do hidrogênio em sua totalidade, incluindo produção, infraestrutura, transformação em combustíveis e usos finais. Os marcos irão auxiliar na criação de confiança entre investidores, indústrias, cidadãos e países, incitando colaborações para desencadear a adoção do hidrogênio de forma conjunta.

Observa-se que, para atingir as metas climáticas, os governos devem assumir um papel de liderança na facilitação da transição para energia limpa, através do estabelecimento de quadros políticos que estimulem ações integradas. Assim, algumas recomendações políticas foram listadas para auxiliar a transição (IEA, 2021):

- (i) Desenvolver estratégias e roteiros sobre o papel do H₂ nos sistemas de energia, com metas e posicionamentos concretos;
- (ii) Criar fortes incentivos para a utilização de H₂ de baixo teor de carbono em substituição aos combustíveis fósseis;
- (iii) Mobilizar o investimento em bens de produção, infraestruturas e fábricas;
- (iv) Fornecer apoio a projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) atrelados à inovação para assegurar que as tecnologias críticas ganhem maturidade; e
- (v) Estabelecer uma certificação, normalização e regulamentação adequadas.

Green Hydrogen Compact Catalogue

Com o aumento da temperatura global, a busca por formas de mitigar as emissões de carbono está se expandindo. Desta maneira, no setor de energia, diversas empresas estão desenvolvendo um portfólio com, cada vez mais, energias renováveis. Em conjunto com as energias renováveis primárias, um vetor energético que está em grande ascensão é o hidrogênio verde, considerado essencial para a transição energética e, mais especificamente, para a descarbonização das matrizes energéticas. Neste contexto, o documento [Green Hydrogen Compact Catalogue](#) teve como principal finalidade analisar como as empresas estão comprometidas com o hidrogênio verde e quais são suas visões para que o mercado deste vetor energético seja desenvolvido ao longo dos próximos anos.

Fortescue Future Industries

A Fortescue Future Industries (FFI) é uma empresa que, no que tange à economia do hidrogênio verde, tem como objetivo maior tornar o vetor energético, produzido de maneira renovável, a commodity de energia mais comercializada do mundo. Para tornar isso realidade, a empresa está atuando em todos os elos da cadeia de valor do H2V, ou seja, em produção, armazenamento e distribuição. Ademais, a FFI também está investindo no avanço de tecnologias que otimizem o processo de produção, para, assim, tornar o preço do hidrogênio mais competitivo e viável no mercado.

A empresa almeja ter uma produção de 15 milhões de toneladas de hidrogênio verde por ano em 2030 e, para tanto, está realizando um aumento contínuo em seu portfólio de energias renováveis. Com o intuito de conquistar suas metas, a FFI está desenvolvendo diversos projetos de hidrogênio verde combinados com a produção de energia renovável, para obter uma capacidade instalada da ordem de 150 GW.

Contudo, apesar de todo o investimento realizado em hidrogênio por parte da FFI, ainda há um entrave no que tange à precificação de carbono da indústria de combustíveis fósseis. A empresa retrata que há uma grande dificuldade do mercado de H2V se desenvolver enquanto os gases de efeito estufa não forem taxados a um preço equivalente ao necessário.

Iberdrola

A Iberdrola é uma empresa espanhola que atua na distribuição de gás natural e na geração e distribuição de energia elétrica. Todavia, com o processo de transição energética atrelado à descarbonização, a companhia está diversificando o seu portfólio e apostando no hidrogênio verde como um vetor energético essencial para a descarbonização da matriz energética na Espanha e no mundo

Iberdrola (continuação)

Atualmente, a Iberdrola está desenvolvendo a cadeia de valor de hidrogênio na Espanha com dois projetos principais: o Projeto TMB e um projeto em conjunto com a Fertiberia em Puertollano I. O Projeto TMB construirá uma planta de hidrogênio com capacidade de eletrólise de 5,5 MW e será alimentada por energias renováveis, para, assim, produzir H₂V, em Barcelona. No que tange ao uso final, o hidrogênio será distribuído para um posto de reabastecimento e utilizado na frota de ônibus urbanos.

O segundo projeto possui a mesma finalidade do projeto anterior: construir uma planta de hidrogênio verde. Em sua fase inicial, esta planta contará com uma capacidade de eletrólise de 20 MW e, com relação ao uso final, o hidrogênio será utilizado na produção de amônia verde.

Haldor Topsøe

A Haldor Topsøe é uma empresa dinamarquesa, fundada em 1940, que atua no desenvolvimento de tecnologias que visam a redução de emissões de carbono. No que diz respeito ao hidrogênio, a Haldor está desenvolvendo catalisadores e eletrolisadores de óxido sólido que trabalham em alta temperatura para a produção de H₂V, proporcionando maior eficiência.

Atualmente, para conseguir estimular o mercado de hidrogênio e se destacar como empresa líder em tecnologia nesta área, a Haldor está desenvolvendo a primeira célula de eletrólise de óxido sólido com uma capacidade de produção de 500 MW. A companhia espera terminar o desenvolvimento deste equipamento ainda em 2023.

RWE

A RWE é uma empresa alemã que fornece soluções de energias renováveis para a promoção da descarbonização. No mercado de H₂V, a RWE está atuando com a rota de produção a partir da eletrólise, destinando o hidrogênio para indústrias eletrointensivas, como as de aço e as petroquímicas.

Neste sentido, destacam-se três projetos de hidrogênio. O primeiro, denominado “Eemshydrogen”, concentra-se no desenvolvimento de um eletrolisador em grande escala para demonstrar o potencial da produção de H₂V e a respectiva redução de emissões de carbono na indústria química. A decisão final de investimentos será tomada em 2022 e, caso seja prosseguido, o projeto possuirá, em 2024, 50 MW de potência em operação. Destaca-se que este é um projeto fundamental para o desenvolvimento de um gasoduto entre Eemshaven e o cluster industrial de Delfzijl.

RWE (continuação)

O segundo projeto, denominado “GET H2 IPCEI”, propõe a construção de uma cadeia de valor transeuropeia de H2V, que compreende um duto dedicado ao hidrogênio, com 360 km de extensão e acesso não discriminatório. O consórcio responsável pelo projeto tem como objetivo impulsionar a economia do hidrogênio e, deste modo, permitir o desenvolvimento crescente desta nova economia. A previsão é que, em 2026, estejam instalados 400 MW de eletrolisadores, com perspectiva de escalabilidade para 2030, atingindo 2 GW. Para a primeira fase, estima-se que a produção seja de até 28 Mt de H2V por ano, reduzindo, anualmente, as emissões de carbono em 530.000 tCO₂.

Por fim, o terceiro projeto, “HyTech Harbour Rostock”, propõe transformar a cidade de Rostock e seu porto marítimo em um hub sustentável. Para isso, uma das rotas propostas é a produção de hidrogênio através de uma planta de 100 MW associada à produção de amônia. A amônia verde produzida será transportada para uma instalação de armazenamento existente e utilizada em uma fábrica de fertilizantes local. A perspectiva é que os 100 MW estejam operacionais até 2025, podendo expandir para 1 GW até 2030.

EDP

A EDP é uma empresa do setor energético que está promovendo, a partir de suas metas estratégicas, a descarbonização da produção de energia, bem como investindo em novos negócios, como o hidrogênio.

Atualmente, a EDP está desenvolvendo alguns projetos de hidrogênio, que vão de iniciativas de P&D a projetos piloto e até projetos de grande porte. Como exemplos, pode-se citar o Projeto FlexnConfu, o Projeto BeHyond e o Projeto Pecém H2, este no Brasil. Destaca-se que a empresa pretende alcançar 250 MW de potência instalada de eletrolisadores até 2025.

Conclusão

Portanto, avalia-se que é perceptível o crescente envolvimento das empresas do setor energético na promoção da descarbonização. Neste sentido, o hidrogênio verde tem se destacado como vetor estratégico para se atingir as metas climáticas, de forma que as empresas têm anunciado objetivos ambiciosos já para esta década.

Do ponto de vista prático e de implementação dos projetos pilotos, é unânime que a viabilização desta economia ocorrerá através do ganho de escala, da precificação de carbono, do desenvolvimento de políticas públicas e da regulação adequada.

A Economia de Hidrogênio no Mundo

Projetos de Hidrogênio

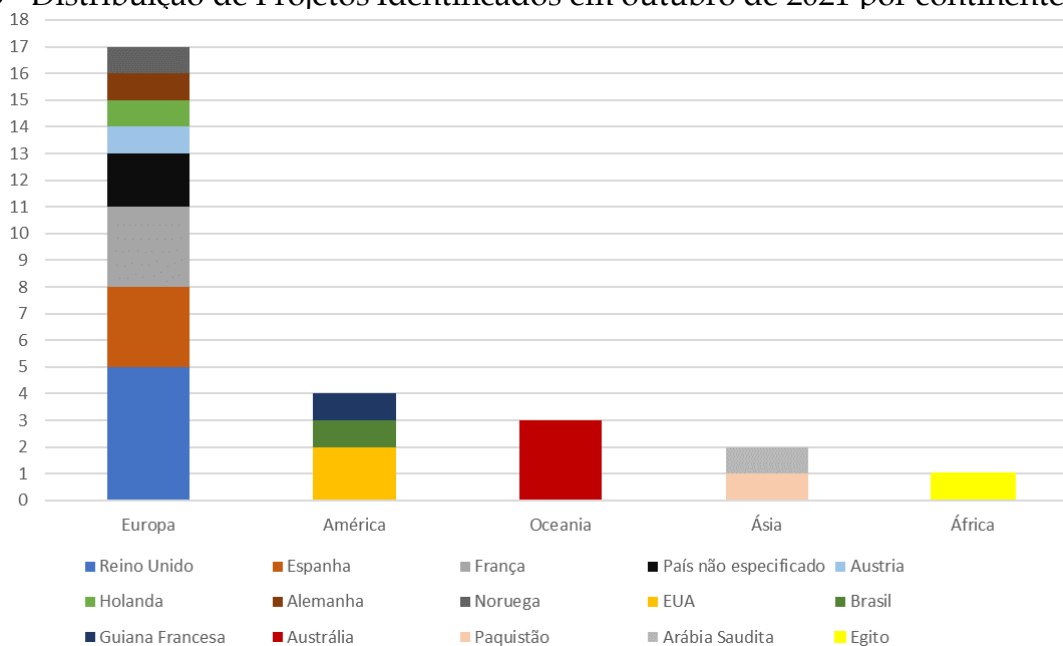
O desenvolvimento do mercado de hidrogênio é de suma importância para o contexto atual de transição energética. Portanto, para que haja a construção da infraestrutura e, conseqüentemente, do mercado de hidrogênio, é necessário que haja o desenvolvimento de projetos que atuem desde a sua produção até os usos finais, promovendo toda a cadeia produtiva.

Ao analisar especificamente o mês de outubro, é possível constatar que o mercado de hidrogênio está cada vez mais próximo de se tornar uma realidade a nível mundial, pois diversos projetos estão sendo desenvolvidos e, até mesmo, já entrando em operação. Dentre os projetos anunciados, os principais objetivos são:

- (i) Demonstrar a produção eficaz, técnica e econômica do H₂;
- (ii) Desenvolver pesquisas e inovação;
- (iii) Proporcionar o desenvolvimento da infraestrutura do hidrogênio; e
- (iv) Descarboxionar os processos industriais.

Contudo, apesar de todos os continentes estarem se comprometendo com o desenvolvimento do hidrogênio, é notável que a maior parte dos projetos vem se realizando na Europa. Outrossim, também é possível analisar que a África é o continente que menos desenvolve projetos de hidrogênio atualmente, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Distribuição de Projetos Identificados em outubro de 2021 por continentes e países.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O continente europeu merece ser destacado, já que apresentou 17 desenvolvimentos e avanços de projetos de hidrogênio, representando 63% do total identificado no mês de outubro. Apesar do fato de que diversos países situados na Europa não apresentam potencial para a produção de hidrogênio por meios sustentáveis, a região vem sendo, há muito tempo, o continente que mais desenvolve projetos de hidrogênio.

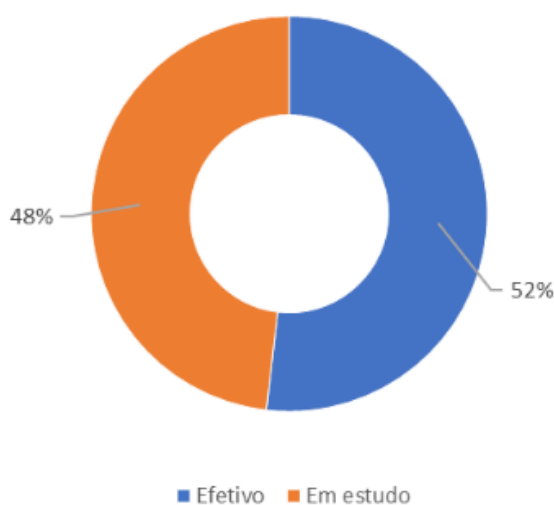
No contexto europeu, um dos países que merece destaque é o Reino Unido. Composto por quatro nações, Inglaterra, Escócia, Irlanda do Norte e País de Gales, foram identificados cinco novos projetos no país. Ademais, é válido salientar que todos os projetos identificados são da rota de produção de H₂V, o que demonstra o comprometimento do país para com a descarbonização e a transição energética.

Desviando-se da realidade europeia, outro continente que merece ser destacado é a América, pois é o segundo com maior número de projetos identificados no mês de referência. O continente apresenta quatro novos projetos, um percentual de quase 15% ao comparar com todo o mundo. Destes projetos, três vão produzir o hidrogênio através de fontes renováveis, particularmente a partir de energia eólica e solar, e o outro produzirá o hidrogênio rosa.

Ainda na América, o Brasil merece destaque por estar apresentando inúmeros memorandos de intenções, bem como projetos efetivos, como o Projeto Pecém H₂, da EDP Brasil. Este cenário tende a ser crescente, haja vista o potencial de produção de hidrogênio por meio de fontes renováveis de energia no país.

Por ser uma economia emergente, muitos projetos limitam-se apenas a memorandos de entendimento ou estudos preliminares, mas há aqueles que já possuem um desenvolvimento concreto. A Figura 6 apresenta a distribuição do percentual de projetos em estudo ou efetivos

Figura 6 - Classificação dos projetos identificados pelo status de desenvolvimento.

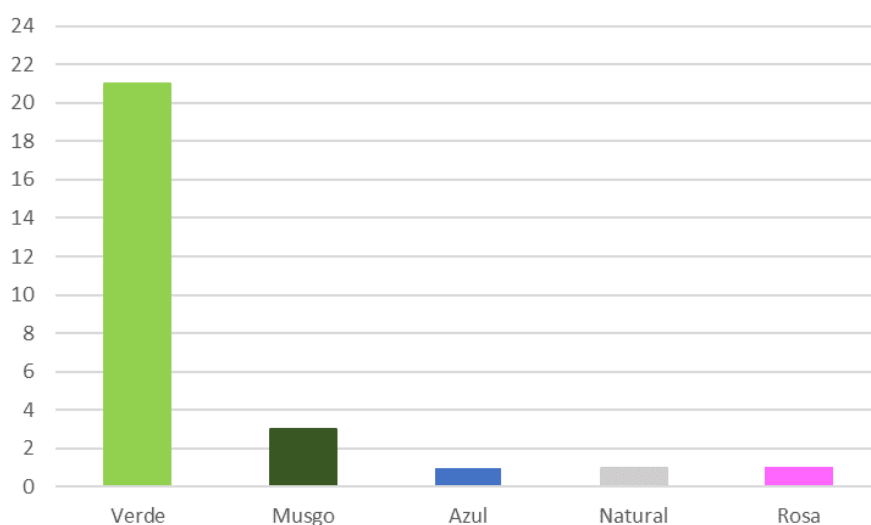


Fonte: Elaborado pelos autores.

No mês analisado, 27 projetos foram identificados, sendo 14 já em fase de efetivação e os restantes ainda em fase de estudo. Ademais, dos projetos efetivos, vale ressaltar que todos são projetos pilotos e o mesmo cabe aos projetos na fase de estudo. Também foi possível identificar a predominância de projetos de hidrogênio verde nas duas fases.

Com o comprometimento mundial na promoção da transição energética, os países vêm desenvolvendo, em sua maioria, projetos que visam produzir o hidrogênio de maneira limpa. Dos novos projetos identificados, todos visam produzir o hidrogênio com uma pegada baixa ou sem emissão de dióxido de carbono. Destes novos projetos, 21 são de hidrogênio verde, três são de hidrogênio musgo, um de hidrogênio azul, um de hidrogênio natural e o último de hidrogênio rosa, como demonstra a Figura 7.

Figura 7 – Classificação da cor do hidrogênio dos Projetos Identificados



Fonte: Elaborado pelos autores.

No que diz respeito aos projetos de hidrogênio verde, a origem da energia é bastante variada, podendo ser hidrelétrica, solar ou eólica, com ênfase, principalmente, às duas últimas. Nos projetos de hidrogênio musgo, por sua vez, a produção é originada da gaseificação da biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS. Ademais, no que concerne ao hidrogênio azul, foi utilizado o gás natural submetido ao processo de reforma a vapor com a posterior captura de carbono pelo método do CCS, que captura uma quantia de, aproximadamente, 90% do carbono que a reforma a vapor emite.

Outros projetos que merecem ser definidos são aqueles que visam a produção do hidrogênio natural e do hidrogênio rosa. O hidrogênio natural, também conhecido como hidrogênio geológico, é aquele que pode ser obtido sem o gasto de energia, pois já é encontrado de forma isolada em cavernas. Já o hidrogênio rosa é produzido a partir da tecnologia de eletrólise em alta temperatura, alimentada por energia nuclear.

Uso Final do Hidrogênio

O hidrogênio é um vetor energético essencial para promover a descarbonização da economia, notadamente em setores de difícil redução de emissões, como a indústria e o transporte. Segundo dados da [IEA \(2020\)](#), cada um desses setores é responsável por cerca de 23% das emissões de CO₂ a nível mundial, ficando atrás apenas do setor de eletricidade, responsável por 40% das emissões. Desta forma, para que as metas firmadas no Acordo de Paris sejam cumpridas, faz-se necessária a utilização ampla do hidrogênio no setor energético, especialmente nos mencionados setores.

No mês de outubro, foram identificados alguns desenvolvimentos notórios no que diz respeito às aplicações de hidrogênio, com destaque aos projetos apresentados anteriormente e a outras aplicações no setor de transporte e da indústria.

Cenário Internacional de Mobilidade com H₂ - FCEVs

Iniciativas em Destaque

Estados Unidos

Califórnia ganhará mais cinco ônibus de célula a combustível de hidrogênio

Diante do cenário de eventos climático extremos em todo mundo, foi anunciado que serão fornecidos [cinco novos ônibus](#) movidos a hidrogênio no estado da Califórnia. Os veículos movidos à células a combustível ajudarão a descarbonizar o setor de transporte público, já que não emitem gases de efeito estufa. O modelo [Xcelsior CHARGE H₂™](#) é um ônibus elétrico à bateria que utiliza hidrogênio comprimido como fonte de energia, junto com a tecnologia de célula a combustível da Ballard Power Systems. Os veículos serão entregues ao Departamento de Serviços Gerais da Califórnia, uma vez que a agência pretende cumprir seu plano de lançamento de ônibus com emissão zero, com a esperança de ter uma frota com 100% de emissão zero até 2040. Nota-se o grande esforço do governo para incentivar, cada vez mais, a inserção de hidrogênio na mobilidade local, garantindo a redução das emissões de gases poluentes.

Suécia

Revelados planos de estação de hidrogênio para uma cidade no país

Foram divulgados planos de uma [nova estação de abastecimento de hidrogênio](#) em Borlänge, na Suécia, no dia 30 de setembro, para apoiar veículos pesados, denominada H2Station™. A Nel Hydrogen Fueling fornecerá a estação, tendo recebido um pedido do transportador e construtor sueco MaserDrakt, como parte dos objetivos de descarbonização da empresa para expandir a rede de estações do país. A H2Station™ será capaz de abastecer veículos pesados em menos de quinze minutos e estará operacional no quarto trimestre de 2022.

Mundo

As células de combustível Ballard PEM têm alimentado veículos rodoviários por mais de 100 milhões de quilômetros

A empresa Ballard Power Systems atingiu um marco significativo no mês de outubro, tendo em vista que as suas células a combustível de membrana de troca de prótons (PEM) alimentaram veículos por mais de 100 milhões de quilômetros nas estradas em todo o mundo. Este é um número expressivo, pois, em apenas 12 meses, a companhia mais do que dobrou os seus quilômetros rodados em serviços. As células de combustível da empresa atualmente abastecem aproximadamente 3.500 ônibus e caminhões em uma dezena de países.

Para acessar a notícias na íntegra, clique [aqui](#).

A Figura 8 mostra a quantidade de postos de abastecimento de hidrogênio em cada país na Europa.

Figura 8 - Quantidade de postos de abastecimento de hidrogênio na Europa



Fonte: [H2.Live](#).

Nota-se, pela figura 8, o grande esforço dos governos europeus para ministrar incentivos econômicos e regulatórios, com a finalidade de que a iniciativa privada invista, cada vez mais, nas tecnologias de uso final do hidrogênio. A disponibilidade crescente do vetor energético para a mobilidade europeia, reduzindo seu preço, implica na sua maior utilização e, conseqüentemente, no melhor estado da matriz energética, de modo a aumentar a sua segurança e diminuir as suas emissões.

Cenário Internacional de Mobilidade com H2 - Trens

Iniciativas em Destaque

Europa

Trem de hidrogênio Talgo chegará aos mercados em 2023

Um novo [trem movido a hidrogênio](#) deve chegar aos mercados em 2023, com demonstrações programadas para começar em 2022. A fabricante de trens de passageiros Talgo está por trás da inovação e, no dia 12 de outubro, a empresa fechou um novo acordo que utilizará os serviços da Ballard Power Systems para produzir oito módulos de célula a combustível FCmove™-HD de 70 kW cada. A implantação de trens a hidrogênio irá melhorar a mobilidade e gerar um impacto positivo no meio ambiente ao substituir a tecnologia do diesel. A iniciativa é apenas uma de várias espalhadas pela Europa que foram anunciadas no mês seguinte, durante a COP26, marcando um avanço para a eletrificação da mobilidade e a conseqüente redução de emissões deste setor.

Estônia

40 locomotivas a diesel serão reformadas para utilizar energia de célula de combustível

Na Estônia, [40 locomotivas de carga a diesel serão convertidas em elétricas de célula a combustível-hidrogênio](#), com o objetivo de entregar trens de emissão zero no país. A empresa Stargate Hydrogen realizará o processo conversão para a proponente Operail. Como parte deste processo, os grupos geradores a diesel que atualmente movem as locomotivas serão substituídos por um *powertrain* de emissão zero movido por uma célula a combustível de membrana de eletrólito de polímero, o que ajudará a descarbonizar o setor de transporte ferroviário.

A parceria está planejada em duas fases, com um protótipo inicial de uma locomotiva de célula a combustível planejada para ser construída até o final de 2022. Na segunda fase do projeto, as partes pretendem converter mais 40 locomotivas em células de combustível, com cada trem definido para economizar 370 toneladas de emissões de carbono por ano.

Uso Industrial

Iniciativas em Destaque

Reino Unido

MPA e Hanson UK experimentam com sucesso o hidrogênio em um forno de cimento

Um forno de cimento do Reino Unido operou com sucesso utilizando a tecnologia de hidrogênio, para se tornar o primeiro do mundo a empregar esta tecnologia para produção de cimento, segundo a Associação de Produtos Minerais (MPA). Liderado pela MPA e pela Hanson UK e apoiado com £ 3,2 milhões (US\$ 4,32 milhões) pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial (BEIS), o teste abre com sucesso o caminho para a operação zero líquido mediante a utilização de hidrogênio.

Observa-se que, ao utilizar hidrogênio para a fabricação de cimento em escala comercial, a mistura no teste consistia em hidrogênio entregue por caminhão-tanque, bem como farinha de carne e ossos (MBM) e glicerina. Se o hidrogênio for totalmente implementado para todo o sistema do forno, estima-se que cerca de 180.000 toneladas de dióxido de carbono poderiam ser economizadas, a cada ano, apenas no local de Ribblesdale.

Austrália | Coreia do Sul

BHP e POSCO pesquisam em conjunto a tecnologia de redução direta à base de hidrogênio na produção de aço

A BHP e a POSCO assinaram um [novo acordo](#) para descarbonizar a indústria siderúrgica, por meio de compartilhamento de pesquisas em várias tecnologias de carbono zero, como o hidrogênio. A BHP investirá até US\$ 10 milhões nos próximos cinco anos para o progresso das tecnologias de produção de aço com carbono zero, o que poderia ajudar a acelerar a adoção do transportador de energia limpa. A empresa anunciou recentemente uma meta de buscar emissões líquidas zero do Escopo 3 até 2050 e está comprometida em trabalhar com os líderes da indústria de produção de aço para lidar com este setor difícil de redução.

Reino Unido

Teste de hidrogênio para aquecer residências e universidades foi um sucesso.

A mistura de hidrogênio está se tornando uma tecnologia cada vez mais popular para alimentar sistemas domésticos e eletrodomésticos. No Reino Unido, os pesquisadores por trás do projeto *HyDeploy*, o primeiro a propor a mistura nos gasodutos no país, realizaram um estudo e apontaram que um *blend* de até 28,3% de hidrogênio não causaria a necessidade de alterar a infraestrutura, ainda sendo segura a sua utilização nas redes.

Este resultado, assomado à realização de projetos em outros países com uma mistura composta por até 23% de hidrogênio, garantiu que o *HyDeploy* obtivesse uma [permissão para uma mistura de 20%](#) de hidrogênio com 80% de metano na rede de gás da Keele University. Com 18 meses, [o projeto](#) entregou mais de 42.000 m³ de hidrogênio a 130 casas e prédios de professores.

Os técnicos mediram o desempenho de eletrodomésticos comuns, como fogões e aquecedores de parede, quando alimentados com uma mistura de hidrogênio e gás natural, e foram aprovados. Destaca-se que a uma mistura de 20% de hidrogênio para 23 milhões de casas e edifícios que são aquecidos a gás em todo o Reino Unido evitaria cerca de 6 milhões de toneladas de emissões de dióxido de carbono, ou 7% de suas emissões atuais.

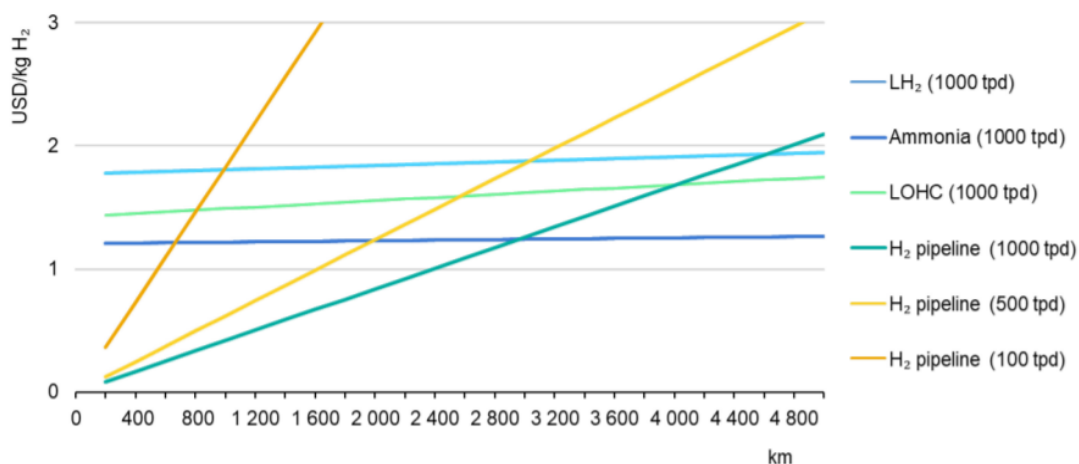
Armazenamento e Transporte

O armazenamento e o transporte do hidrogênio é de extrema importância para o desenvolvimento desta economia, de forma que romper os desafios técnicos e econômicos para viabilizar a exportação e promover a transição gradual do suprimento de gás natural a partir do blending com o hidrogênio verde são essenciais. Neste contexto, esta seção apresenta o estágio atual de desenvolvimento setorial destes segmentos, com destaque para alguns projetos e iniciativas.

Transportador de hidrogênio orgânico líquido

Uma análise integrada do sistema é necessária para projetar uma infraestrutura eficiente para produzir hidrogênio e transportá-lo até os usuários finais. Dentre as opções de transporte, tem-se o transportador de hidrogênio orgânico líquido (LOHC), o qual, para distâncias maiores do que 4.000 km, pode vir a ser, em 2030, uma alternativa mais atraente para o transporte, como indica na Figura 9.

Figura 9 – Custos de entrega de H₂V por pipeline e LH₂, LOHC e amônia por navio (2030)



IEA. All rights reserved.

Fonte: IEA (2021).

Os LOHCs são uma opção de transporte de alta densidade, na qual o hidrogênio em moléculas orgânicas possui propriedades semelhantes às do petróleo bruto e dos derivados de petróleo, de forma que sua principal vantagem é a possibilidade de ser transportado sem liquefação. Os processos de conversão, reconversão e purificação são caros e, dependendo da composição molecular básica de um LOHC, os problemas de toxicidade podem ser relevantes. Além disso, as moléculas transportadoras de um LOHC são frequentemente caras e, após serem utilizadas para transportar hidrogênio até o seu destino, precisam ser enviadas de volta ao seu local de origem, o que reduz a competitividade pelo nível de maturidade incipiente desta tecnologia.

É importante ressaltar que os custos apresentados na Figura 9, acima, incluem a conversão no terminal de exportação, a expedição no terminal de importação e a reconversão para cada sistema transportador. Os custos de armazenamento, por outro lado, estão incluídos nas despesas dos terminais de importação e exportação. Por fim, pressupões a construção de um novo gasoduto.

Em 2020, um progresso significativo foi realizado na demonstração do comércio internacional de hidrogênio. A Advanced Hydrogen Power Chain Association for Technology Development produziu e comercializou com sucesso hidrogênio por tecnologia LOHC para uso como combustível em turbinas a gás, transportado de Brunei ao Japão através de contêineres.

Segundo dados do [Global Hydrogen Review 2021](#), o custo projetado de entrega de LOHC, da Austrália para o Japão e do Oriente Médio para a Europa, contando com a produção até a reconversão, ficaria por volta de US\$ 3 a 4/kg de hidrogênio. Este valor fica ainda atrás do transporte por amônia, porém possui vantagens sob o transporte de hidrogênio liquefeito. Ademais, de acordo com o Global Hydrogen Review 2021, a tecnologias de LOHCs possui um nível de maturidade tecnológica intermediária (5), de modo que ainda precisa avançar para ganhar competitividade.

Armazenamento Subterrâneo

Em futuros sistemas de energia renovável, o hidrogênio pode desempenhar um papel fundamental no transporte e no armazenamento de energia. O armazenamento se tornará mais importante em decorrência das características das fontes de energia renováveis, como a eólica e solar, uma vez que nem sempre estão disponíveis quando necessárias. Neste contexto, o hidrogênio produzido pelas fontes renováveis intermitentes poderia ser armazenado no subsolo em grandes quantidades e por um longo tempo para ser utilizado posteriormente, quando necessário.

O hidrogênio já está armazenado no subsolo em cavernas de sal em alguns lugares no Reino Unido e nos Estados Unidos, mas esses locais não foram testados para se verificar se o gás poderia ser injetado e extraído rapidamente conforme variam o vento e a luz do sol.

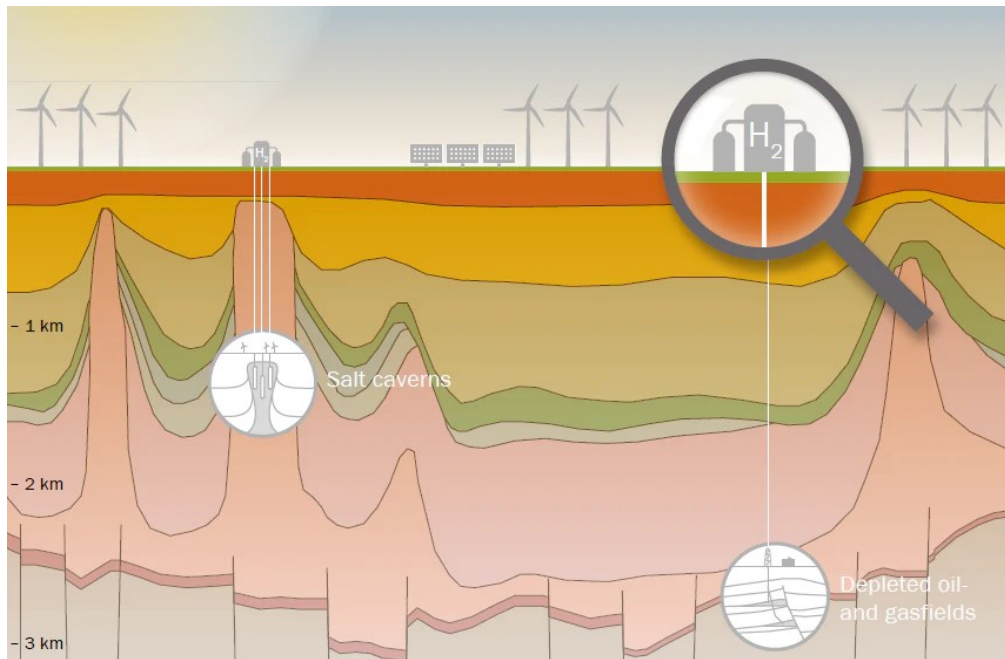
Diante deste contexto, o projeto Hydrogen TCP foca na demonstração das viabilidades técnica, econômica e social do armazenamento subterrâneo de hidrogênio (UHS). O projeto apoia a aceleração da implementação segura do UHS por meio da colaboração coordenada e da disseminação de conhecimento, reunindo organizações de pesquisa e indústria em todo o mundo e vinculando disciplinas científicas industriais e sociais relacionadas.

Três projetos pilotos já estão sendo testados no âmbito desta iniciativa, o HyStock, na Holanda, o Sun Storage (RAG), na Áustria, e o Hychico, na Argentina. Nestes projetos, pretende-se responder as seguintes questões centrais:

- (i) Como o hidrogênio interage quimicamente com as rochas nas quais está armazenado?
- (ii) Os micróbios nos reservatórios subterrâneos consumirão o hidrogênio, introduzindo impurezas?
- (iii) Como o hidrogênio se move nos poros do reservatório subterrâneo?
- (iv) Quanto hidrogênio é perdido quando é injetado e extraído?

Essas e outras questões são centrais na busca da compreensão do real potencial desta rota tecnológica para armazenamento e das condições em que ela apresenta aplicações. A Figura 10 apresenta uma ilustração do processo de armazenamento em cavernas.

Figura 10 - Seção transversal da subsuperfície mostrando formações onde o hidrogênio pode ser armazenado com segurança



Fonte: IEA (2021).

Para ler a pesquisa na íntegra, acesse:

- [Artigo: Provando a viabilidade do armazenamento subterrâneo de hidrogênio](#)

- [Vídeo sobre o projeto](#)

Políticas Públicas de Incentivo

A economia de hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento e, portanto, o seu sucesso dependerá de ações conjuntas entre a iniciativa privada e os governos. O setor privado é responsável, principalmente, pelo desenvolvimento tecnológico e sua respectiva produção e implementação. Já com relação ao papel público, os governos devem atuar como um agente catalisador do mercado, garantindo incentivos adequados e reduzindo, assim, incertezas de caráter técnico, econômico e socioambiental (VIEIRA et al., 2021). Apesar dessa interação e do reconhecimento do hidrogênio como um vetor energético fundamental para a descarbonização, atualmente, os seguintes fatores são identificados como as principais barreiras para o desenvolvimento da sua economia:

- (i) Aspectos normativos e regulatórios;
- (ii) Alto custo de investimento;
- (iii) Incertezas tecnológicas; e
- (iv) Infraestruturas incipientes em toda a sua cadeia de valor.

Diante disso, políticas públicas de incentivo são essenciais para viabilizar o desenvolvimento da economia do hidrogênio.

Alemanha

Segundo o [World Energy Outlook 2021](#), publicado pela IEA em outubro, embora o governo alemão esteja focado em uma expansão massiva de energias renováveis, a eliminação gradual da geração nuclear e de carvão aumentará a demanda do país por gás natural na geração de energia, inclusive como fonte de combustível reserva para energias renováveis. Por isso, o hidrogênio derivado de fontes renováveis possui o potencial de representar uma solução de longo prazo.

Esta situação proporciona, como uma forma de transição, a oportunidade de desenvolvimento de projetos de hidrogênio azul. Neste sentido, a Revisão de Políticas Energéticas da Alemanha, publicada em 2020 pela IEA, destaca que há seis projetos de demonstração em construção que irão produzir combustíveis à base de hidrogênio com baixo teor de carbono e outros 38 projetos piloto e de demonstração que estão em fase de planejamento. Existe, também, um grande número de iniciativas visando a produção de amônia, principalmente para uso como fertilizante, mas também como combustível, incluindo alguns que buscam o desenvolvimento do mercado externo a partir da sua exportação.

É importante salientar que a Alemanha está explorando opções para expandir o apoio aos combustíveis à base de hidrogênio, como na exigência de que 2% do uso de combustível na aviação seja baseado em hidrogênio até 2030. Isso mostra um grande comprometimento da nação para com a descarbonização da matriz energética e da futura neutralidade carbônica, utilizando o hidrogênio como ferramenta para atingir tais objetivos.

Ainda no que tange aos incentivos ao desenvolvimento da economia de hidrogênio, porém em escala mundial, no mês de outubro, o governo alemão apresentou as [diretrizes de financiamento](#) para apoiar projetos internacionais de hidrogênio, nas áreas de produção e processamento de H₂V, bem como armazenamento, transporte e uso de hidrogênio em países fora da eu, por meio de uma subvenção de investimento para as usinas. Os objetivos da iniciativa são promover o uso de tecnologias alemãs no exterior, contribuir para o desenvolvimento oportuno e direcionado de um mercado global de H₂V e preparar estruturas para a importação de hidrogênio. Para esta iniciativa, está disponível um financiamento de € 350 milhões a ser utilizado até o final de 2024. Destaca-se a importância dos investimentos estatais, uma vez que garantem o crescimento da economia do hidrogênio, o qual, por ser um vetor energético limpo, contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa, diminuindo, assim, os efeitos do aquecimento global. Para acessar o documento na íntegra, clique [aqui](#).

Tratando especificamente da parceria Brasil-Alemanha, merece ser destacado o anúncio realizado pela Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ), durante o evento [3º Dia de Energia Brasil-Alemanha](#), organizado pela Câmara Brasil-Alemanha (AHK), sobre o investimento de € 34 milhões para o desenvolvimento de projetos de produção de H2V no Brasil. A iniciativa, chamada H2 Brasil, disponibilizará recursos ao longo dos próximos dois anos para a construção de uma planta piloto de eletrólise com capacidade de 5 MW. Além disso, o governo alemão espera colaborar na instituição de um marco regulatório de H2V no Brasil, dando prosseguimento ao Programa Nacional de Hidrogênio do Ministério de Minas e Energia (MME). O compromisso de reduzir suas emissões de carbono em 55% nos próximos cinco anos e ser neutra até 2045 tem levado o país europeu a investir pesado no desenvolvimento do mercado de H2V, com especial interesse pelo Brasil. Com a destinação de € 9 bilhões para desenvolvimento de tecnologias ligadas ao vetor energético, sendo € 2 bilhões para parcerias internacionais, a Alemanha deixa cada vez mais clara a importância do hidrogênio para a sustentabilidade mundial.

Austrália

A Austrália constantemente aprova novas políticas públicas e financiamentos para desenvolver o seu mercado de hidrogênio, sendo um dos países que já possui uma estratégia nacional sobre o tema. Neste sentido, o governo de Nova Gales do Sul (NGS) revelou uma estratégia estadual de hidrogênio, que espera gerar mais de AUD\$ 80 bilhões (US\$ 51 bilhões) de investimento para estabelecer a região como uma superpotência de energia limpa. Incluído na estratégia está um sistema de incentivos que pode fornecer até AUD\$ 3 bilhões (US\$ 2,2 bilhões) para apoiar as empresas que procuram fazer a transição da energia de combustível fóssil para o hidrogênio. O governo estadual acredita que auxiliará o país a alcançar vários alvos principais que apoiarão a Estratégia Nacional de Hidrogênio da Austrália, como a redução do custo do H2V em AUD\$ 5,80/kg de hidrogênio(US\$ 4,26/kg) na próxima década e o alcance da meta de entregar 110.000 toneladas de H2V até 2030, ao mesmo tempo em que fornece um meio de descarbonização dos setores de transportes, industriais e energéticos, considerados como de difícil redução de emissões.

No mesmo caminho, o [Território do Norte da Austrália](#) deve receber um grande impulso para o seu ecossistema de hidrogênio, uma vez que o governo territorial lançou um [Plano Diretor de Hidrogênio Renovável](#) para orientar o seu desenvolvimento e desbloquear AUD\$ 3,5 bilhões (US\$ 2,5 bilhões) para a economia. O interesse pela região se deve, principalmente, às grandes áreas de terra da região, à alta irradiância solar, à proximidade de mercados de exportação e a uma produção de energia e indústria de exportação já estabelecidas.

O Plano é dividido em duas partes: lançar as bases e estruturar a cadeia produtiva para exportação de hidrogênio renovável. A primeira parte construirá a vantagem competitiva do Território e identificará as áreas que requerem maior desenvolvimento para otimizar o investimento do governo e do setor privado. A segunda parte será baseada em uma avaliação detalhada do mercado internacional de hidrogênio e de suas cadeias de abastecimento. Espera-se que o Plano se baseie na visão estratégica de hidrogênio renovável do governo, realizada em 2019, com o Território do Norte bem posicionado na vanguarda desta economia.

Por fim, destaca-se que o [Australian Hydrogen Council](#) (AHC) aprofundou o debate sobre políticas de energia renovável com seu primeiro [White paper](#), documento de referência que traça o caminho para o país alcançar emissões líquidas zero, com a ajuda da indústria emergente de hidrogênio. O documento afirma que a indústria australiana possui a capacidade, intenções e matérias-primas em abundância, de forma que cabe ao governo federal providenciar os planos e a entrada dos benefícios futuros para que se desenvolva completamente a economia do hidrogênio no país. É preciso de um órgão nacional para fornecer informações de planejamento líquido zero, com a finalidade de auxiliar os setores privado e o público a tomar decisões informadas sobre a indústria de hidrogênio da Austrália.

Considerações Finais

Após a análise, é perceptível a evolução do setor de hidrogênio e isto é corroborado pelo constante anúncio de projetos e pela crescente importância que tem se dado ao hidrogênio nas publicações das agências internacionais, bem como a nível nacional, as considerações feitas no Plano Nacional de Energia 2050, publicado pelo Ministério de Minas e Energia.

Em linhas gerais, cabe salientar a importância do desenvolvimento de toda cadeia de valor do hidrogênio, da produção ao uso final. Neste sentido, o desenvolvimento de projetos pilotos é visto como essencial para proporcionar experiências de desenvolvimento de novos usos para o hidrogênio, bem como estimular a substituição do hidrogênio cinza pelo hidrogênio verde nos processos em que o uso do hidrogênio é já feito.

Em consonância a estes direcionamentos, foi possível observar o anúncio de projetos relacionados à mobilidade, aço, cimento e aquecimento, todos considerados como novas aplicações de hidrogênio. Ainda em nível de maturidade mais baixo também é possível verificar iniciativas como o desenvolvimento do armazenamento subterrâneo e o transporte por meio de LOHCs. Salienta-se que todos estes desenvolvimento serão essenciais para o desenvolvimento dos mercados internos e de exportação.

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



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio



@geselufrj