

Observatório de Hidrogênio

Nº 07

MARÇO
2022



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Observatório de Hidrogênio N° 7

Organizadores

Nivalde de Castro

Sayonara Elizário

Vinicius Botelho

Bianca Castro

Equipe de Pesquisa

Allyson Thomas

José Vinicius Freitas

Kalyne Brito

Luana Bezerra

Sofia Paoli

ISBN: 978-65-86614-54-1

Março

2022

Sumário

Introdução.....	4
Cenário Brasileiro.....	5
Cenário Internacional.....	11
Projetos de Hidrogênio.....	11
Políticas Públicas e Financiamentos.....	17
Uso Final.....	23
Tecnologia e Inovação.....	27
Artigos e Estudos.....	29
Considerações Finais.....	32

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.

Cenário Nacional

As potencialidades do Brasil conjecturam um posicionamento importante no mercado de hidrogênio verde (H2V) no futuro, de forma que iniciativas para promover a estruturação da economia de hidrogênio (H2) no país têm se intensificado. Enquanto se aguarda a publicação do Programa Nacional de Hidrogênio, é perceptível o avanço no que se diz respeito à aceitação pública, estimulada por meio da conscientização da população através de notas técnicas, eventos (presenciais e *online*) e artigos, científicos e opinião. Estas ações têm buscado apresentar a relevância, as potencialidades e os desafios da estruturação desta indústria nascente.

Um evento importante, realizado em fevereiro de 2022, foi o 1º Congresso Brasileiro de Hidrogênio, organizado pela Associação Brasileira de Hidrogênio (ABH2) e pela New Energy. O evento foi uma ponte importante para o mercado nacional e internacional, estabelecendo as oportunidades do país na produção e exportação de H2V.

Além disso, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tem realizado esforços para avaliação de toda a cadeia de valor do H2 no Brasil, iniciando pela publicação de duas notas técnicas sobre hidrogênio, uma referente ao hidrogênio cinza e outra ao hidrogênio azul. Salienta-se que, em ambas, foram apresentadas extensas revisões bibliográficas de todos os elos da cadeia de valor, inclusive sobre aspectos econômicos e estudos de caso.

Nota Técnica EPE

Hidrogênio Cinza: Produção a partir da reforma a vapor do gás natural

A título de contextualização e introdução à economia do hidrogênio, a [Nota Técnica de Hidrogênio Cinza](#) apresenta uma revisão bibliográfica sobre as perspectivas de mercado, as formas de produção do H₂ com foco na reforma a vapor do gás natural, tecnologias para o uso, aspectos logísticos e econômicos, além de um estudo de caso.

Aspectos Econômicos

Comparada às técnicas de produção de H₂ renovável e de baixo carbono, a rota tecnológica do hidrogênio cinza atualmente é a dominante e mais competitiva, além de apresentar maior maturidade. A análise da viabilidade econômica apresentada no estudo baseia-se no Custo do Ciclo de Vida (CVV), no qual se inclui os custos de produção, distribuição e consumo, que, no caso em análise, será como combustível em veículos. A Figura 1 apresenta a estrutura e estratégia de CVV proposta.

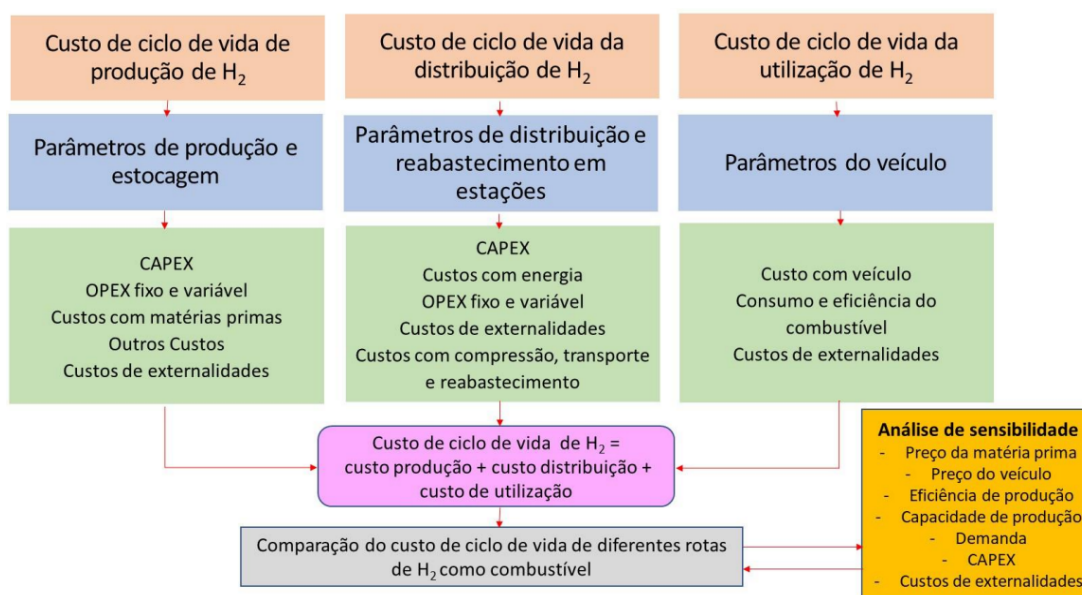


Figura 1: Estrutura do modelo para análise do Custo do Ciclo de Vida do hidrogênio para uso como combustível veicular

Fonte: [EPE \(2022a\)](#).

Em geral, o custo médio de produção do hidrogênio cinza é influenciado majoritariamente pelo preço do gás natural, pelo CAPEX e pelo OPEX. Nota-se que a variação de região para região ocorre, principalmente, em virtude do preço do gás natural e das infraestruturas de abastecimentos necessárias para as plantas de hidrogênio. A Figura 2 apresenta o custo de produção de hidrogênio cinza para diferentes regiões do mundo.

Nota Técnica EPE - Hidrogênio Cinza: Produção a partir da reforma a vapor do gás natural

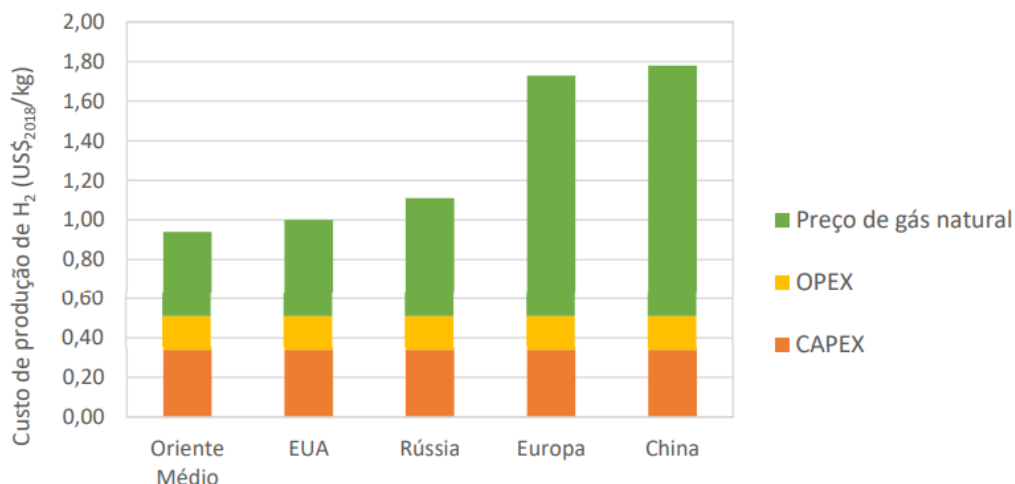


Figura 2: Composição do custo de produção de hidrogênio cinza em diferentes regiões (US\$/2018)
 Fonte: [EPE \(2022a\)](#).

Em relação ao CAPEX, foram analisadas as composições de duas rotas de produção de hidrogênio cinza, a reforma a vapor do metano (*steam methane reforming* - SMR) e a tecnologia de reforma autotérmica do metano (*autothermal reforming* - ATR), as quais, apesar de apresentarem custos finais semelhantes, possuem uma composição diversa, como mostra a Figura 3, com destaque para a maior participação da unidade de reforma na rota de produção por SMR.

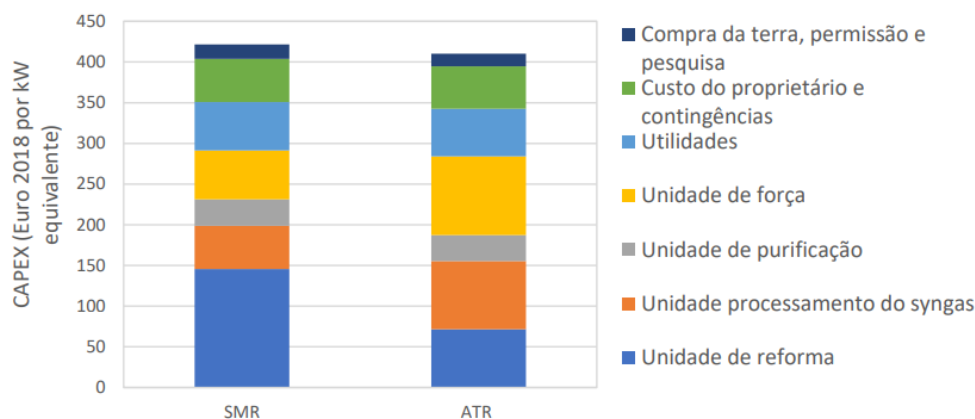


Figura 3: Composição do CAPEX para diferentes rotas de produção de hidrogênio cinza
 Fonte: [EPE \(2022a\)](#).

Além dos aspectos expostos, o custo do hidrogênio cinza dependerá se a instalação é centralizada ou descentralizada, se há infraestrutura de transporte de gás natural existente, dentre outros fatores. Em suma, estações centralizadas podem se beneficiar da economia de escala, mas necessitarão de investimentos em infraestruturas de transporte e armazenamento mais robustas. Já plantas descentralizadas apresentam a vantagem de serem modulares e de poderem se adequar à disponibilidade da distribuição local de gás natural.

Para mais detalhes da Nota Técnica de Hidrogênio Cinza, acesse [Nota Técnica de Hidrogênio Cinza](#).

Nota Técnica EPE

Hidrogênio Cinza: Produção a partir da reforma a vapor do gás natural

O hidrogênio azul, assim como o cinza, é produzido a partir do gás natural. O que difere as duas rotas de produção, porém, é a adição da etapa de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS) para reduzir as emissões durante o processo. A obtenção de maiores taxas de captura de carbono depende de uma série de características da cadeia, que envolvem, por exemplo, a destinação do CO₂. Por compartilharem da mesma matéria prima, as tecnologias de produção do hidrogênio cinza e azul são as mesmas: a reforma a vapor do metano (*steam methane reforming* - SMR) e a reforma auto térmica do metano (*autothermal reforming* - ATR).

A tecnologia SMR é a mais utilizada atualmente, sendo uma tecnologia madura que pode suprir a demanda de hidrogênio no curto prazo. A tecnologia ATR, por outro lado, tem sido bastante estudada devido à maior compatibilidade com as tecnologias CCUS. Neste sentido, no que diz respeito às expectativas futuras para a produção do hidrogênio azul, tende-se a apontar a tecnologia ATR como a mais competitiva. Isto se deve ao fato de que esta tecnologia produz todo o CO₂ da planta no reator. Na tecnologia SMR, contudo, cerca de 55% a 60% do CO₂ é produzido no reator e os 35% a 40% restantes na combustão do gás natural, externamente ao reator (EPE, 2022b). A captura do CO₂ nos gases de exaustão é mais complexa, tendo custos cerca de 100% maiores em relação à captura do CO₂ diretamente a partir da mistura gasosa proveniente das reações de produção do hidrogênio.

Aspectos Econômicos

Os custos das tecnologias CCUS apresentam grande variação, pois dependem da fonte de CO₂. Além disso, existem tecnologias que já são utilizadas em escala e outras que ainda estão em desenvolvimento. A Figura 4 apresenta o custo de captura de carbono para diferentes setores. Como pode ser observado, a captura pode custar até US\$ 120 por tonelada na produção de cimento e até US\$ 350 por tonelada para a captura de CO₂ diretamente do ar, o que reflete a dificuldade deste processo devido às baixas concentrações deste gás no ar.

Nota Técnica EPE – Hidrogênio azul: produção a partir da reforma do gás natural com CCUS

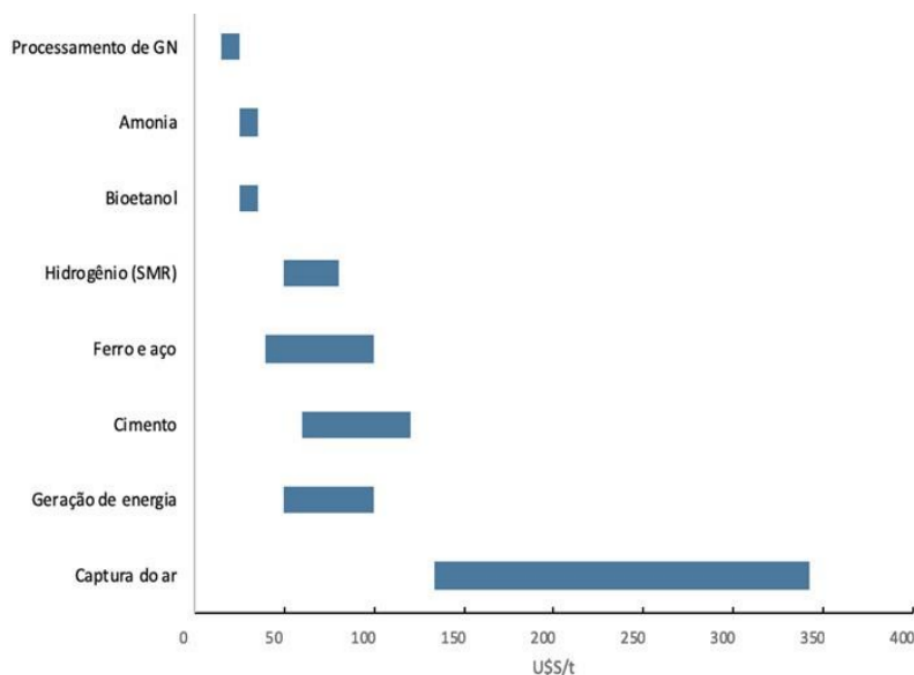


Figura 4: Custos de captura de CO₂ por setor (US\$/2019)

Fonte: [EPE \(2022b\)](#).

Nota-se que o aumento dos preços do carbono está impulsionando a melhoria e o desenvolvimento das tecnologias para captura, transporte e armazenamento das emissões de gases do efeito estufa (GEE). Neste sentido, acredita-se que a alta no preço da tonelada de carbono no mercado internacional pode contribuir para impulsionar as tecnologias de CCUS, uma vez que a receita proveniente do crédito de carbono pode tornar estes projetos viáveis economicamente.

Segundo a [Nota Técnica de Hidrogênio Azul](#), o preço do carbono mais do que dobrou entre 2020 e 2021 e se espera que, em meados desta década, o preço do carbono atinja US\$ 118. Desta forma, a tecnologia poderá se tornar mais atrativa e ser mais difundida em escala global, tendo em vista que governos de todos os continentes devem pressionar os agentes econômicos a neutralizar as suas emissões. Além da taxação do carbono, estima-se que os custos sejam reduzidos à medida que os empreendimentos sejam implementados em todo o mundo e os projetos CCUS ganhem escala, aumentando a competitividade da tecnologia.

Já o custo da produção de hidrogênio azul deve depender de diferentes variáveis, como os custos de captura, transporte e armazenamento de CO₂, bem como o custo do gás natural. Segundo a EPE (2022b), o custo do H₂ azul é mais sensível à capacidade instalada de sua cadeia de valor do que ao custo do gás natural.

Nota Técnica EPE - Hidrogênio azul: produção a partir da reforma do gás natural com CCUS

Quando se compara o hidrogênio azul com o gás natural no cenário de capacidade máxima da planta, os resultados mostram que, em média, para o ambiente *onshore* e sem a comercialização de CO₂, o preço do H₂ azul é cerca de três vezes maior do que o do gás natural. Com o preço máximo de comercialização do CO₂, o preço passa a ser cerca de dois vezes maior do que o do gás natural. Fazendo esta mesma comparação com o hidrogênio cinza, a EPE estimou que o preço do hidrogênio azul é, aproximadamente, 20% maior, custando, em média, US\$ 3/MMBtu.

Por fim, a nota técnica da EPE demonstrou que o custo de produção do hidrogênio azul tem alta sensibilidade à capacidade instalada do empreendimento e, quanto maior este for, menor é o custo de produção.

Do ponto de vista logístico do H₂, será necessário o desenvolvimento de uma malha de transporte, a partir da adaptação dos atuais gasodutos, da determinação de uma mistura ideal de hidrogênio com o gás natural, para que o transporte não demande investimentos expressivos adicionais, ou da construção de dutos dedicados ao H₂ (“hidrogenodutos”). Para a implementação da última alternativa, serão necessários altos investimentos e a indústria de gás pode desempenhar um papel importante.

Apesar das discussões se concentrarem no H₂V, o Brasil tem uma indústria de óleo e gás consolidada, representando uma oportunidade para a produção de hidrogênio azul no país. Mesmo com um cenário favorável, ainda existem incertezas, como questões relacionadas às estratégias de financiamento, modelos de negócios e estruturas de parceria. Além disso, os riscos associados aos investimentos precisam ser mitigados. Para a EPE, a mitigação de tais riscos poderia ser feita a partir de parâmetros de escala e através da adaptação e do aproveitamento de infraestruturas existentes. Tais estratégias podem ser favorecidas pelo estabelecimento de *clusters* industriais (de oferta de gás natural ou de captura de CO₂) e de *hubs* para o transporte e o armazenamento do CO₂.

De maneira geral, a geração e a valorização do hidrogênio azul pode ser entendida como uma estratégia para a manutenção e a expansão da indústria de gás natural. Além disso, a sua produção tende a ser favorecida pela pressão para a descarbonização da economia.

Para mais detalhes, acesse [Nota Técnica de Hidrogênio Azul](#).

Cenário Internacional

Projetos de Hidrogênio

O desenvolvimento do mercado de hidrogênio é de suma importância para o contexto atual da transição energética, visto que este pode ser utilizado em diversos segmentos da matriz energética, incluindo os setores de difícil eletrificação. Ademais, quando produzido de maneira limpa, o H₂ é um vetor de descarbonização, podendo mitigar as emissões de carbono em todos os setores no qual for incluído. Neste sentido, para que um mercado de H₂ limpo seja desenvolvido e as metas climáticas sejam atingidas, é necessária a estruturação de projetos em toda a sua cadeia de valor, que inclui a produção, o armazenamento, o transporte e o uso final.

Ao analisar especificamente o mês de fevereiro, é possível constatar que o mercado de hidrogênio está cada vez mais próximo de se tornar uma realidade a nível mundial. Nesse mês, diversos projetos apresentaram avanços, sejam eles em fase de estudos ou já em fase de desenvolvimento. No mais, o mês de fevereiro também trouxe vários novos projetos ao redor do mundo, vide a Figura 5, e em diversas áreas da cadeia de valor do hidrogênio, com um maior foco, entretanto, para projetos de produção.

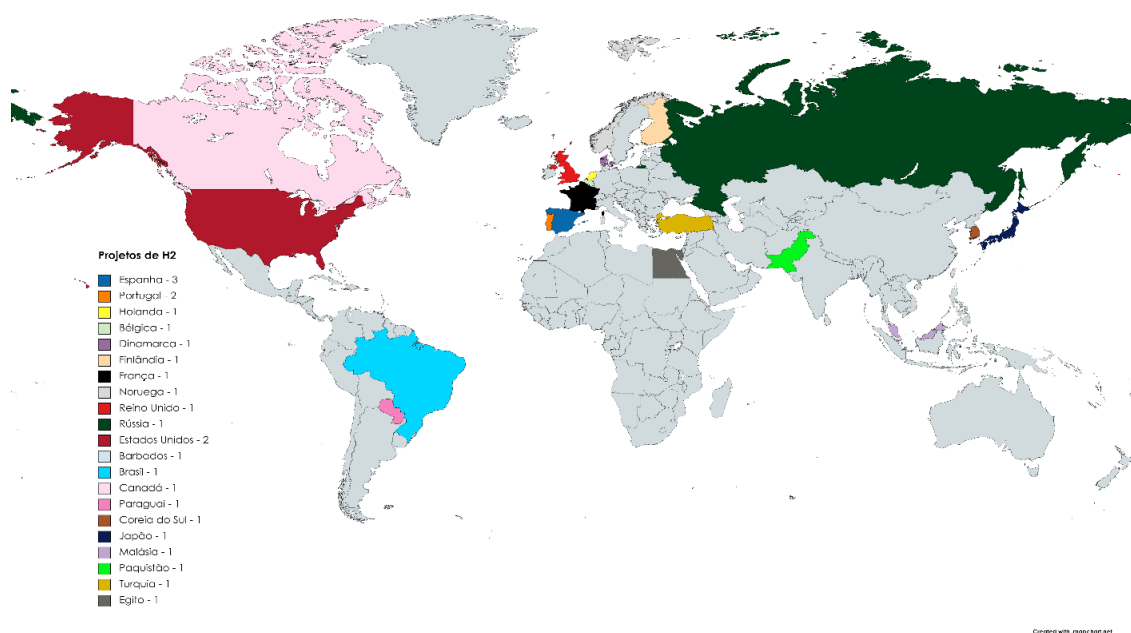


Figura 5: Mapa da distribuição de projetos identificados em fevereiro de 2022 no mundo

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ademais, verifica-se que os principais objetivos dos projetos estão associados a:

- i) Demonstração da produção eficaz, técnica e econômica do H₂;
- ii) Desenvolvimento de pesquisas;
- iii) Desenvolvimento da infraestrutura do H₂ na região local; e
- iv) Descarbonização de processos industriais.

Por fim, é necessário distinguir o desenvolvimento de projetos no que concerne à sua quantidade por país e por continente. Após uma análise realizada a partir dos informativos setoriais de H₂ do GESEL, publicados semanalmente, referentes ao mês de fevereiro, é perceptível que, apesar de todos os continentes estarem se comprometendo com o desenvolvimento do hidrogênio, a maior parte dos projetos é realizada no continente europeu. Outrossim, foi verificado que a América e a Ásia também são continentes que estão desenvolvendo diversos projetos. Por último, vale ressaltar que a Oceania e a África são os continentes que menos desenvolvem projetos de hidrogênio, tendo este apresentando um projeto no mês de fevereiro e aquele nenhum, como demonstra o Gráfico 1.

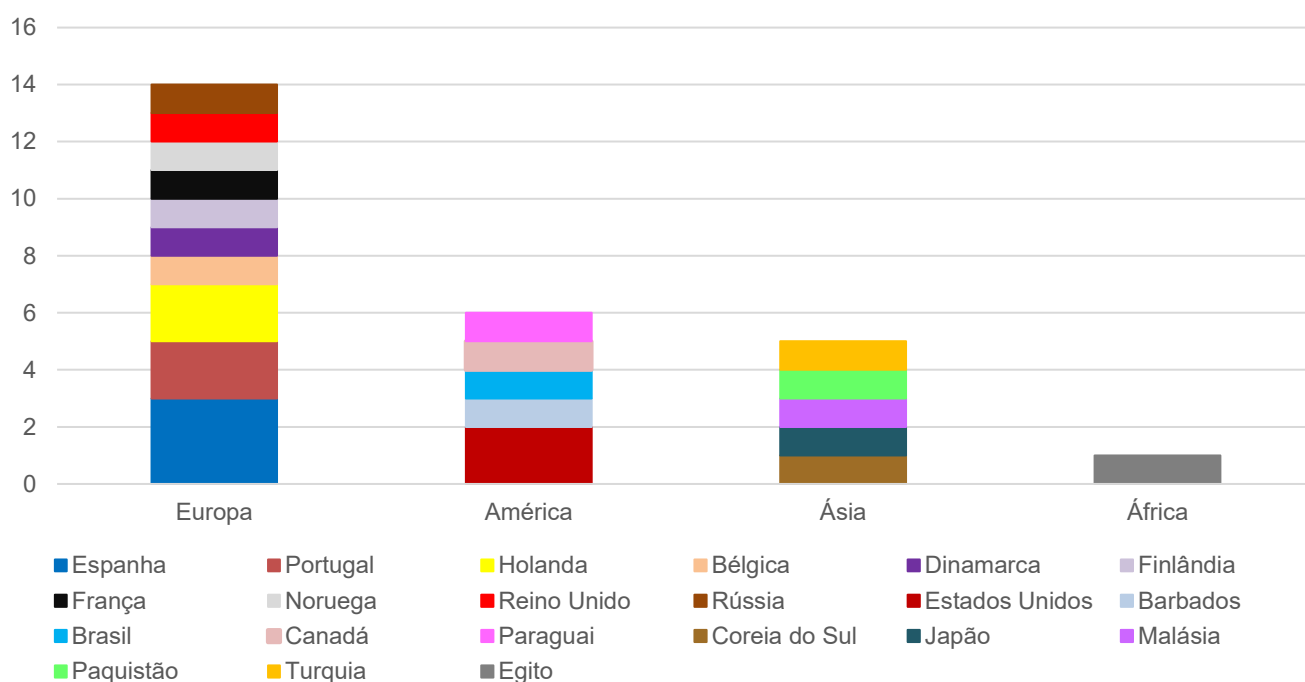


Gráfico 1: Distribuição de projetos identificados em fevereiro de 2022 por continentes e países
Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que o mês de referência obteve uma grande quantidade de projetos (26), localizados em 21 países diferentes. Ao aprofundar a análise, vale salientar que, dentre todos os observatórios de hidrogênio realizados pelo GESEL, este é o que mais apresentou projetos e países dentro desta seção. Este fato é um ponto bastante positivo, uma vez que é possível compreender que os projetos de H₂ estão tomando rumos maiores, além de que diversos países estão gradualmente verificando a sua importância para com a transição energética.

Dentre todos os continentes, a Europa merece destaque, uma vez que a região apresentou 14 projetos no mês de fevereiro, ou seja, cerca de 54% do total. Outro mérito que merece ser destacado à Europa é o fato de que diversos países do continente não apresentam potencial para a produção de hidrogênio em larga escala e por meios sustentáveis, devido ao baixo potencial eólico e solar disponível. Entretanto, apesar disso, a Europa vem sendo, por muito tempo, o continente que mais desenvolve projetos de H₂V, demonstrando, assim, o seu compromisso com o aprimoramento da cadeia de valor.

Na Europa, deve-se destacar a Espanha, onde foram identificados três novos projetos. Além disso, é válido salientar que todos os projetos identificados da Espanha produzem H₂V, o que demonstra o comprometimento do país para com a descarbonização e a transição energética.

Desviando-se da realidade europeia, a América também merece destaque, pois é o segundo continente que mais apresentou novos projetos no mês de referência. O continente possui seis novos projetos, representando 15% em relação ao total anunciado. No continente americano, o país com maior destaque é os Estados Unidos, já que anunciou dois novos projetos, sendo o segundo país, em conjunto com Portugal, que mais apresentou projetos de H₂ no mês de referência.

Com o comprometimento mundial para com a transição energética, os países vêm desenvolvendo, em sua maioria, projetos que objetivam produzir o hidrogênio de maneira limpa. Dos novos projetos identificados, destaca-se que todos visam produzir o H₂ com uma pegada baixa ou sem emissão de dióxido de carbono. Dos 26 projetos identificados no mês de referência, 23 são de hidrogênio verde e os restantes estão classificados como hidrogênio azul, musgo ou rosa, como mostra o Gráfico 2, a seguir.

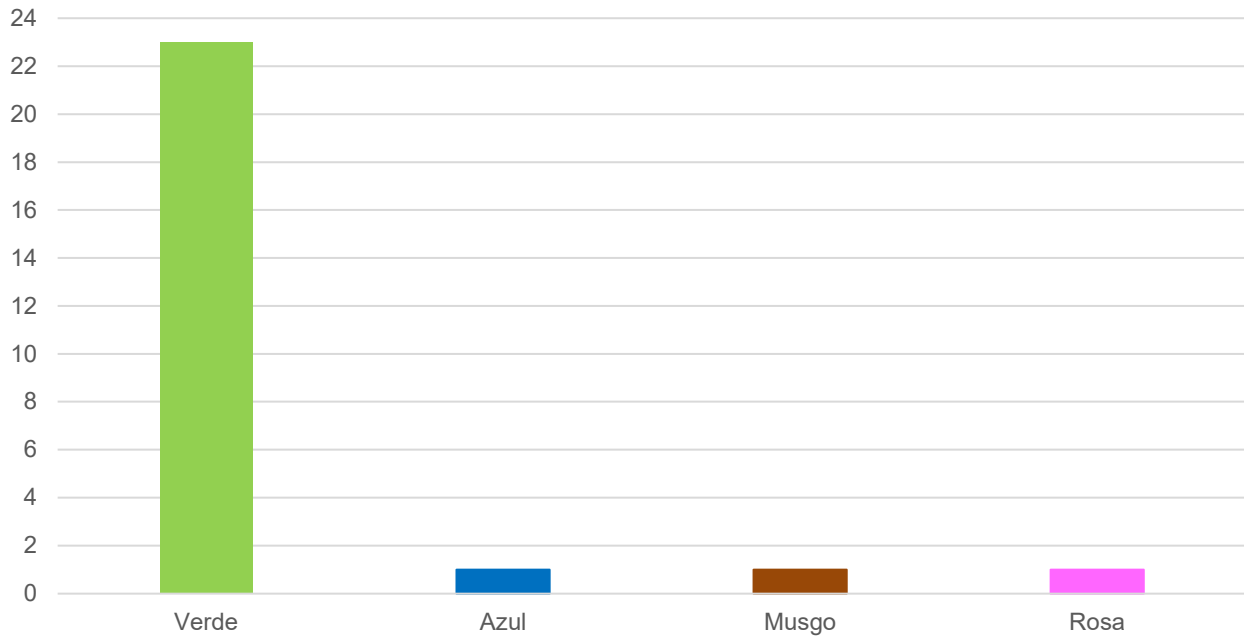


Gráfico 2: Classificação da cor do hidrogênio dos projetos identificados











Fonte: Elaborado pelos autores.






Consoante aos projetos de hidrogênio verde, é importante informar sobre a origem da energia, que é bastante variada, podendo ser proveniente de fontes hídrica, solar ou eólica, com ênfase, principalmente, nas duas últimas energias primárias citadas.






No que concerne ao hidrogênio azul, foi utilizado o gás natural submetido à reforma a vapor com a posterior captura de carbono pelo método do CCUS, que captura uma quantia de aproximadamente 90% do carbono emitido pelo processo.

Ademais, no que tange ao hidrogênio musgo, é de suma importância mencionar a sua origem. De acordo com a EPE, o hidrogênio musgo é aquele produzido de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS, através de reformas catalíticas, gaseificação ou biodigestão anaeróbica. No projeto identificado neste observatório, a produção do hidrogênio será a partir da biomassa e sem utilização de CCUS. Por fim, ainda ao tratar das classificações, vale salientar que o hidrogênio rosa é aquele produzido a partir da energia nuclear.

Em síntese, a Figura 6 apresenta a rota tecnológica adotada pelos países de acordo com os projetos identificados no mês de fevereiro. Esta análise reflete, em linhas gerais, as estratégias propostas pelos projetos e de que forma têm sido implementadas no curto prazo.

		EUROPA									
		 Espanha	 Portugal	 Holanda	 Bélgica	 Dinamarca	 Finlândia	 França	 Noruega	 Reino Unido	 Rússia
Rotas de Produção dos projetos	Eletrólise Renovável										
	Fóssil com CCUS										
	Biomassa										
	Nuclear										

		AMÉRICA				
		 EUA	 Barbados	 Brasil	 Canadá	 Paraguai
Rotas de Produção dos projetos	Eletrólise Renovável					
	Fóssil com CCUS					
	Biomassa					
	Nuclear					

		ÁSIA				
		 Coreia do Sul	 Japão	 Malásia	 Paquistão	 Turquia
Rotas de Produção dos projetos	Eletrólise Renovável					
	Fóssil com CCUS					
	Biomassa					
	Nuclear					


		ÁFRICA
		 Egito
Rotas de Produção dos projetos	Eletrólise Renovável	
	Fóssil com CCUS	
	Biomassa	
	Nuclear	

Figura 6: Rotas de produção dos projetos identificados referente a fevereiro de 2022

Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da Figura 6, é possível verificar que, no mês de referência, apenas a Europa não apresentou projetos referentes a outro processo de produção que não seja eletrólise renovável. Destaca-se que, apesar do baixo potencial de produção de energias renováveis, estas têm crescido nas matrizes elétricas, proporcionando a descarbonização de processos produtivos, como o do hidrogênio, o qual é visto como essencial para a descarbonização da indústria e do transporte. É importante considerar o fato de que o mercado se encontra em estágio nascente e a baixa demanda de hidrogênio renovável faz com que os países dependam, no momento, da importação.

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 Gráfico 3 apresenta, de acordo com os projetos identificados no mês de análise, a distribuição percentual daqueles que estão em estudo ou são efetivos.

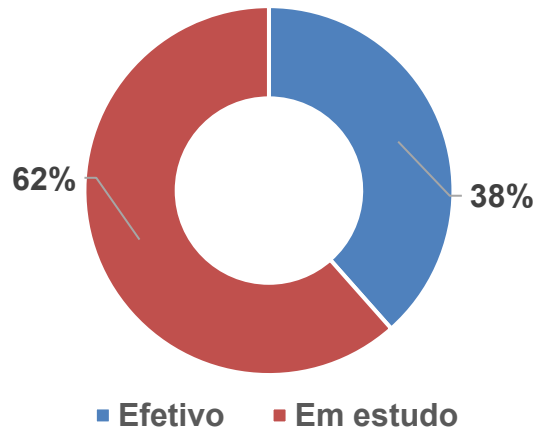


Gráfico 3: Classificação dos projetos identificados pelo status de desenvolvimento
Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao analisar o Gráfico 3, é possível compreender que novos projetos, todos classificados como piloto no estágio atual, bem como memorandos de entendimento, estão sendo anunciados em grandes quantidades, uma vez que as iniciativas são recentes e ainda estão em estudo. Assim, observa-se que, dos 26 projetos identificados, 16 ainda estão em fase de estudos, um processo que muitas das vezes costuma ser demorado, especialmente para um mercado recente que precisa ser muito estudado. Ademais, os outros 10 projetos já estão em fase de efetivação.

Cenário Internacional

Políticas Públicas e Financiamentos

A economia de hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento e, por isso, o seu sucesso depende da ação conjunta entre as iniciativas públicas e privadas. O setor privado é responsável, principalmente, pelo desenvolvimento tecnológico e por sua respectiva produção e implementação. Já com relação ao papel do poder público, este atua como um agente catalisador do mercado, garantindo os incentivos adequados e, assim, reduzindo as 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 cadeia de valor.

Diante disso, políticas públicas de incentivo são essenciais para viabilizar o desenvolvimento da economia do hidrogênio. Neste sentido, o mapa apresentado na Figura 7 representa o avanço das regulações acerca da cadeia de valor do vetor energético nos países do mundo.

Estados Unidos

Os Estados Unidos é um dos países mais avançados na economia do hidrogênio, possuindo diversos incentivos e financiamentos federais e estaduais para desenvolver a sua cadeia de valor, que será focada no mercado interno, ou seja, na autossuficiência. Destaca-se que, embora haja uma regulamentação e financiamentos federais no país, os estados possuem legislação própria, sendo de igual importância investimentos e comprometimentos públicos no âmbito estadual.

Estado do Novo México reforça compromisso com a Lei de Desenvolvimento de Hub de Hidrogênio

O estado do Novo México receberá um impulso expressivo na sua cadeia de hidrogênio a partir da Lei de Desenvolvimento de *Hubs* de Hidrogênio, pretendendo reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa no local, através do incentivo à produção do hidrogênio com baixo teor de carbono. O governo federal dos EUA alocou US\$ 8 bilhões para incentivar o desenvolvimento desses *hubs*, que são especificamente quatro centros regionais de hidrogênio, que devem servir de apoio a vários setores.

Ao aprovar este projeto de lei, a crescente economia do hidrogênio se alinha com as metas climáticas dentro do estado, além de ajudar na criação de empregos de energia limpa. Várias áreas-chave da indústria serão afetadas pelo projeto de lei através do qual o hidrogênio de baixo carbono poderá ser utilizado em caminhões, manufatura, mineração, construção e geração de energia.

Para saber mais da Lei de Desenvolvimento de *Hubs* de Hidrogênio, acesse [Governo do Estado do Novo México](#).

Departamento de Energia anuncia US\$ 28 milhões para desenvolver hidrogênio limpo

O Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) é um importante agente regulador e financiador da transição energética, que constantemente auxilia o desenvolvimento da economia de hidrogênio no país, através da Hydrogen Shot. Esta iniciativa possui a ambição de chegar ao custo nivelado da produção de hidrogênio renovável (LCOH) de US\$ 1 até o final da década [DOE \(2021\)](#).

Estados Unidos

Nesse íterim, no dia 07 de fevereiro, o Departamento de Energia Fóssil e Gestão de Carbono (FECM), seção interna do DOE, anunciou US\$ 28 milhões em financiamento federal para projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e *design* de engenharia de ponta (FEED), que auxiliarão o avanço do hidrogênio limpo como combustível livre de carbono para transporte, uso industrial e produção de eletricidade.

A maior parte do hidrogênio nos Estados Unidos é tradicionalmente produzida com gás natural sem captura de carbono (hidrogênio cinza), não sendo considerada uma tecnologia limpa. Este anúncio de oportunidade de financiamento alavancará abordagens inovadoras para produzir hidrogênio limpo a custos mais baixos, a partir de materiais que incluem resíduos sólidos urbanos, resíduos de carvão legados, resíduos plásticos e biomassa com captura e armazenamento de carbono. Essas tecnologias de hidrogênio de próxima geração desempenharão um papel significativo na descarbonização da economia dos EUA e no avanço da meta da administração presidencial de emissões líquidas zero de gases de efeito estufa, até 2050.

Para saber mais, acesse [Governo dos EUA - Departamento de Energia](#).

Austrália

A Austrália é um dos países líderes na economia de hidrogênio, se situando como um grande produtor do vetor energético, tanto para o mercado interno quanto para exportação ([WEC, 2021](#)). Desde a publicação da estratégia nacional, em 2019, o governo australiano vem investindo quantias robustas no desenvolvimento da cadeia de valor do vetor, tendo como principal agente financiador a Agência Australiana de Energias Renováveis (ARENA), a qual, até o ano de 2021, injetou 64 milhões de dólares australianos na economia do hidrogênio ([ARENA, 2021](#)). Além disso, o país possui algumas medidas regulatórias de incentivo ao uso de hidrogênio, tais como precificação e taxaço de carbono, redução dos impostos sobre combustíveis produzidos a partir de hidrogênio, bem como subsídios através de mecanismos de certificação de energia renovável para a produção de hidrogênio verde ([Greenwoods, 2021](#)).

Programa de financiamento para veículos de emissão zero

A Austrália assumiu o compromisso de reduzir as emissões do setor de transporte e lançou um programa de financiamento de US\$ 127,9 milhões para apoiar a mudança para veículos movidos a hidrogênio nos próximos quatro anos. Revelado no dia 19 de fevereiro pela ARENA, o Programa de Combustíveis do Futuro é direcionado à implantação de veículos a células a combustível e à infraestrutura de apoio. No geral, o esforço funcionará como um programa competitivo, aberto e contínuo que apoiará os operadores de veículos e as várias metas de descarbonização estabelecidas pelo governo australiano.

Darren Miller, CEO da ARENA, reafirmou a importância de ajudar os usuários da malha rodoviária a migrar para veículos sem emissões, já que isso significa colocar mais carros e caminhões nas estradas, levando o setor a um futuro com zero emissões. Desde 2016, a ARENA comprometeu mais de US\$ 78 milhões em tecnologias para veículos zero emissões e infraestruturas, de forma que continua a apoiar a economia de hidrogênio, em evolução na Austrália. Esta nova fase marca a segunda etapa da Estratégia de Combustíveis e Veículos do Futuro lançada pelo governo australiano em novembro de 2021.

Para saber mais, acesse [ARENA: Future Fuels Program](#).

Portugal

Portugal lançou sua estratégia nacional no ano de 2020 e, de maneira geral, posiciona-se como um país que busca autossuficiência e o desenvolvimento da exportação de hidrogênio. Atualmente, já possui desenvolvimentos e parcerias em projetos piloto com países europeus e busca, por meio da cooperação internacional, reduzir o gargalo tecnológico e a latência do mercado do vetor energético, fazendo requerimentos de financiamentos europeus e realizando projetos de P&D com outras nações.

Regulamento de apoio à produção de hidrogênio renovável

O governo português aprovou o regulamento do sistema de incentivos para a produção de hidrogênio renovável e outros gases, no âmbito do Plano de Recuperação e Resiliência. Neste projeto, aprovado pela Portaria nº 98-A/2022, Portugal definiu investimentos e reformas que contribuem para as seguintes dimensões: resiliência, transição climática e transição digital.

Os projetos abrangidos por este sistema dizem respeito à produção de gases de origem renovável, referentes ao desenvolvimento de novas tecnologias ou com tecnologias testadas e que não estejam ainda suficientemente disseminadas. Para usufruírem dos apoios, os beneficiários (pessoas coletivas, públicas ou privadas) devem estar legalmente constituídos, ter a situação tributária e contributiva regularizada, poder desenvolver atividades no território português, possuir os meios técnicos, físicos e financeiros para o desenvolvimento das operações e apresentar uma situação econômico-financeira equilibrada.

Destaca-se que a iniciativa é muito bem vinda ao desenvolvimento da economia de hidrogênio, pois sua implantação irá proporcionar uma maior oferta do produto, reduzindo o seu preço. Além disso, o governo português pretende ser um dos líderes mundiais na política do vetor energético ([República Portuguesa, 2020](#)), auxiliando a maximizar a transição energética rumo à neutralidade carbônica.

Para saber mais, acesse [Governo Português](#).

Cenário Internacional

Uso Final

O desenvolvimento de diferentes usos para o hidrogênio limpo será a única maneira de viabilizar a descarbonização por meio deste vetor energético. Contudo, por estarem em estágio nascente, as novas tecnologias que envolvem o seu uso precisam passar por um processo de testes e ganho de maturidade, haja vista que o hidrogênio possui propriedades específicas que implicam em desafios de adaptação de tecnologia existentes. Neste contexto, dois novos usos importantes para o hidrogênio são a mistura nas redes de gás natural para uso doméstico ou industrial e a aplicação em transportes pesados como caminhões, navios e aviação.

Neste Observatório de Hidrogênio, foram identificados avanços relacionados a tais segmentos e, notadamente, para o transporte, os destaques são relativos ao uso do hidrogênio na aviação.

Gasodutos

A tecnologia de mistura de hidrogênio nas redes de gás natural está se tornando uma realidade para alimentar sistemas domésticos, haja vista que esta é uma forma de implementação gradual e, ao mesmo tempo, imediata do vetor, desde que os limites máximos de injeção sejam respeitados.

De acordo com dados do [IEA Bioenergy \(2022\)](#), em 2006, a indústria europeia já havia preparado recomendações para a injeção de gases de fontes não convencionais nas redes de gás, analisando os efeitos da injeção de hidrogênio e discutiu resultados e limites regulatórios para a sua admissão em infraestruturas de gás natural já existentes. Seguindo na mesma direção, a Austrália tem avaliado a mistura de 10% em volume de hidrogênio em redes de gás natural para cidades regionais. Na França e na Alemanha, foram apresentados estudos que comprovam uma tolerância de até 10% de hidrogênio sem modificações nas redes e de 20% com pequenos ajustes.

O mesmo ocorre no Reino Unido, que pode operar com uma mistura de 20% de hidrogênio com bom desempenho e sem necessidade de ajustes. Neste país, destacam-se alguns projetos que avaliaram essa mistura e pretendem implementar a conversão de uma rede de gás natural já existente para 100% de hidrogênio, como o *The H21 Leeds CityGate* e o *HyDeploy*. Em consonância com esses projetos, a Wales & West Utilities estará pronta para começar a misturar hidrogênio em sua rede de gás a partir de 2023, apoiando as comunidades com suprimentos de energia mais seguros e locais.

Juntamente com o restante das redes de gás da Grã-Bretanha, a Wales & West Utilities estabeleceu como meta fornecer, a partir de 2023, um gás com mistura de até 20% de hidrogênio para residências e empresas em todo o país, substituindo, assim, o gás natural e reduzindo as emissões.

Para saber mais sobre os avanços da Wales & West Utilities e o plano de misturas de hidrogênio nas redes de gás do Reino Unido, acesse [Reino Unido - Blending de Hidrogênio nas Redes de Gás Natural](#).

Transporte - Aviação

Devido à pandemia da Covid-19, as emissões de CO2 do setor de transporte global caíram mais de 10% em 2020. As restrições alteraram os padrões de mobilidade, a cadeia de suprimentos, bem como as viagens domésticas e internacionais, reduzindo as emissões de 8,5 Gt, em 2019, para 7,2 Gt CO2, em 2020. Embora seja estimado que em 2021 a demanda por transporte se recupere, com o aumento seja do número de passageiros, seja da quantidade de carga, o Cenário de Zero Emissões Líquidas exige uma queda de 20% em emissões totais, atingindo 5,7 Gt CO2 até 2030. Portanto, para atingir esse cenário, políticas públicas são fundamentais a fim de descarbonizar a mobilidade e obter maior eficiência energética operacional em todo tipo de transporte.

No setor da aviação, o tráfego de carga aérea já ultrapassou os níveis pré-crise em 10% no mês de maio de 2021, embora seja esperado que o número de passageiros retorne aos níveis pré-crise apenas em 2023. No Gráfico 4, são apresentadas as emissões globais de CO2 de transporte por subsetor, de 2000 até a previsão de 2030 (IEA, 2021).

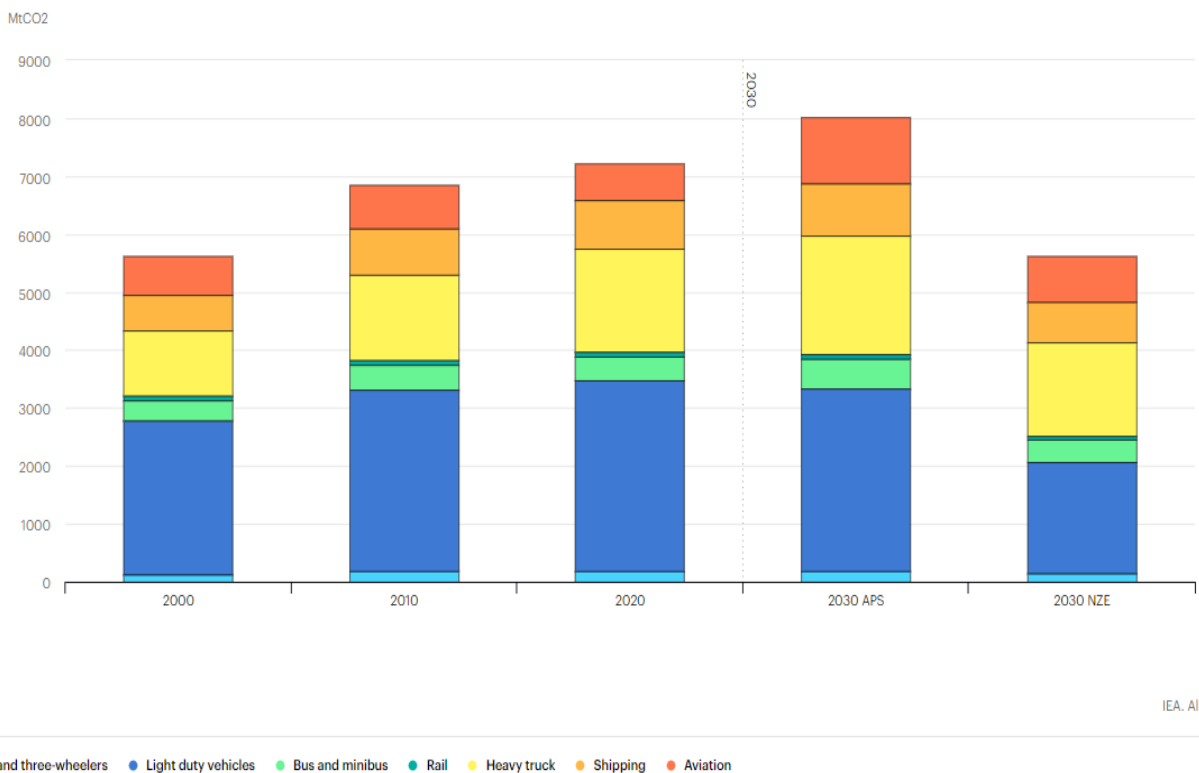


Gráfico 4: Total de emissões de CO2 no setor de transporte, 2000-2030

Fonte: IEA (2021).

Transporte - Aviação

Em World Energy Council (2021), apresenta-se o avanço das estratégias nacionais de hidrogênio dos países, tanto em fase de discussão inicial, quanto de preparação ou já publicada. O Japão e a França, por exemplo, já publicaram sua estratégia nacional de hidrogênio. No setor da aviação, o Japão apresenta uma baixa prioridade, enquanto a França demonstra uma prioridade imediata de descarbonizar o setor através do hidrogênio, embora ambos os países já tenham apresentado iniciativas na esfera (WEC, 2021).

A França garantiu um acordo com a Universal Hydrogen e a Amelia, a fim de proporcionar ao país aeronaves movidas a hidrogênio. As partes interessadas assinaram uma carta de intenção para apoiar, por meio do fornecimento de três kits de conversão de hidrogênio para a companhia aérea francesa, o desenvolvimento de pesquisas no centro de engenharia europeu em Toulouse. Essas terão como objetivo desenvolver kits de conversão e cápsulas modulares de armazenamento.

No Japão, o Ministério da Educação e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) pretendem desenvolver um motor a hidrogênio de última geração para aeronaves. A indústria do setor no país não possui tecnologias para desenvolver aeronaves movidas a hidrogênio totalmente por conta própria, portanto a Mitsubishi Heavy Industries afirma seu interesse em efetuar essa expansão tecnológica. O objetivo do projeto é ser concluído ainda no ano de 2022, com a utilização do hidrogênio líquido como combustível.

Para saber mais sobre o desenvolvimento e incentivo na área da aviação na França e no Japão, acesse [Desenvolvimento de motor a hidrogênio no Japão](#) e [Novas aeronaves movidas a hidrogênio na França](#).

Cenário Internacional

Tecnologia e Inovação

Estados Unidos

H2 Matchmaker Map

O Departamento de Energia dos EUA (DOE) lançou o *H2 Matchmaker Map* para apoiar o crescente setor de hidrogênio nacional. O *H2 Matchmaker* é um recurso que ajuda produtores de hidrogênio limpo, usuários finais, dentre outros, a encontrar oportunidades para desenvolver redes de produção, armazenamento e infraestrutura de transporte. O mapa possui informações recebidas por meio de um formulário que as partes interessadas podem usar para se conectar com outras pessoas próximas. Ao fazê-lo, o mapa ajuda empresas interessadas no setor de hidrogênio a trabalharem juntas para apoiar projetos na América do Norte. De acordo com o DOE, o *matchmaker* irá aumentar a conscientização regional sobre o hidrogênio e as células a combustível, apoiar desenvolvedores e fornecedores de tecnologia, bem como estimular o desenvolvimento do setor privado de produção de hidrogênio, armazenamento e infraestrutura de transporte e a implantação de células a combustível nas regiões. Destaca-se que as empresas podem incluir seus próprios projetos no mapa apenas preenchendo o formulário da plataforma.

Para mais informações, acesse [H2 Matchmaker](#).

Software de gerenciamento da produção de hidrogênio

A Tersus Power e a BB2 Labs (uma empresa do BB2 Technology Group) estão desenvolvendo uma solução de software de gerenciamento de produção de hidrogênio proativa que oferece o primeiro modelo operacional “zero-touch” do setor. O software fornece uma base para um mecanismo de análise avançada e irá apoiar o gerenciamento das instalações de produção de maneira mais eficiente. Tais funcionalidades permitem que o mecanismo aprenda a demanda, o armazenamento e o perfil comportamental de produção de cada unidade, promovendo uma otimização sistêmica. Isso inclui reduzir a sobrecarga de recursos humanos operacionais, ajustar automaticamente os níveis de produção para melhor atender às demandas gerais de distribuição e estender significativamente a vida útil operacional das unidades de produção, minimizando os ciclos liga/desliga de alto impacto, de modo a proporcionar um melhor retorno financeiro.

Para mais informações, acesse [Tersus Power](#).

Noruega - Alemanha

Projeto “FlatHyStor”: Inovação em Armazenamento de Hidrogênio para Mobilidade

O projeto *FlatHyStor*, explorado pela parceria entre BMW AG, Robert Bosch GmbH, TesTneT Engineering GmbH e Hexagon Purus, tem como objetivo desenvolver uma solução inovadora de sistema de armazenamento de hidrogênio para futuros carros de passageiros com célula de combustível. O projeto está sendo financiado pelo BMWi (Ministério Federal de Assuntos Econômicos e Energia da Alemanha), com um orçamento total de € 6 milhões. Destaca-se que os primeiros protótipos dos sistemas de armazenamento de alta pressão de 700 bar devem ser entregues até o final de 2022.

Para mais informações, acesse [Hexagon Purus](#).

Cenário Internacional

Artigos e Estudos

Ready4H₂: Europe's Local Hydrogen Networks - The value of local hydrogen distribution networks in a decarbonised Europe

As redes locais de gás na Europa têm a capacidade de realizar um fornecimento confiável, econômico e seguro por meio de gasodutos para milhões de clientes. Neste contexto, a Ready4H₂ Alliance, representante de 90 empresas europeias de distribuição de gás, pretende combinar a experiência e o conhecimento em hidrogênio destes agentes, para contribuir com a transição energética na Europa. A aliança acredita que as redes locais de gás, em coordenação com a sua infraestrutura de transporte e armazenamento, são fundamentais para alcançar o potencial do hidrogênio.

Entende-se que a transição energética irá transformar radicalmente como a energia é gerada, transportada, armazenada, distribuída e consumida. Na Europa, este processo irá exigir hidrogênio e metano verde em larga escala, em conjunto com eficiência energética e eletrificação. As moléculas verdes podem ser um vetor de energia limpa, versátil e flexível para a transição e desempenharão um papel fundamental para atingir o “net zero”.

Segundo a Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking, só o hidrogênio poderá compor até 24% da matriz energética na União Europeia. Com a adição do biometano, a Ready4H₂ espera um maior potencial em alguns cenários para as moléculas verdes.

Ademais, a Ready4H₂ acredita que as infraestruturas de gás podem contribuir para gerenciar a produção de energia renovável e atender aos picos de demanda sazonais, são *hubs* flexíveis que conectam oferta e demanda e podem ser convertidas para o hidrogênio, bem como facilitarão um mercado competitivo de hidrogênio.

No que se refere ao gerenciamento da produção de energia renovável, a infraestrutura de gás pode ser utilizada para armazenar energia na forma de hidrogênio. Este é um fator importante, considerando que, com o crescimento das fontes renováveis, a Europa será cada vez mais dependente da geração de energia não despachável e terá o seu fornecimento de energia impactado pela intermitência das fontes de energia, necessitando de mecanismos para garantir a estabilidade.

Neste contexto, o armazenamento fornecido pela infraestrutura de gás será essencial para o gerenciamento da produção de energia. Segundo a Ready4H2, as instalações de armazenamento subterrâneo de grande escala conectadas às redes de gás oferecem uma capacidade de armazenamento de ação rápida e em escala. Nota-se que o armazenamento de gás em vários países europeus é suficiente para atender à demanda de gás por três meses. O armazenamento de eletricidade, por sua vez, pode atender a menos de um dia de demanda de energia elétrica.

Destaca-se, ainda, que muitas das instalações de armazenamento de gás podem ser reaproveitadas para o hidrogênio, garantindo o fornecimento contínuo deste gás aos usuários. Além disso, os equipamentos que utilizam o hidrogênio não sobrecarregariam o sistema elétrico, reduzindo os desligamentos de energia. Neste sentido, a infraestrutura de gás pode fortalecer a cadeia de fornecimento de hidrogênio e apoiar a produção e o uso de energias renováveis.

Além do gerenciamento da produção de energia, a infraestrutura de gás local é capaz de lidar com os picos de demanda sazonais. Grande parte da demanda de gás da Europa é utilizada para o aquecimento durante os períodos de inverno, ou seja, reflete a sazonalidade da necessidade de calor, com a demanda média mensal fluando entre o verão e o inverno por um fator de 2 a 6. Deste modo, é possível perceber que a infraestrutura foi projetada para lidar com a sazonalidade, proporcionando um fornecimento confiável mesmo em invernos mais frios. Se, eletrificar o aquecimento traria desafios e investimentos significativos para a geração, o armazenamento, a transmissão e a distribuição de eletricidade.

Observa-se que as redes locais de gás são flexíveis e podem distribuir e gerenciar misturas variadas de gases, dependendo da oferta e demanda. Além disso, são responsáveis por conectar milhões de usuários finais e fornecem opções para a descarbonização dos sistemas de energia e produtos de hidrogênio e biometano, assim como uma rota econômica para o mercado.

Dada a relevância do hidrogênio, o quadro da União Europeia para descarbonizar os mercados de gás estabelece que os planos nacionais de desenvolvimento da rede devem ser baseados em um cenário conjunto para eletricidade, gás e hidrogênio, visando atender toda a demanda energética. As redes locais de gás são fundamentais para gerenciar a complexidade do planejamento conjunto, pois são os *hubs* cruciais que conectam várias fontes de fornecimento (locais) de hidrogênio com a maioria dos usuários finais, facilitando um mercado competitivo do vetor, o que significa mais oferta para os usuários a um preço mais barato. Ao conectar mais usuários em toda a Europa, as redes locais de gás podem ajudar a aumentar o tamanho e a competitividade do mercado de hidrogênio, reduzindo os custos para os consumidores.

Em resumo, a infraestrutura de gás na Europa conecta produtores de gases de baixo carbono com clientes de todos os setores, visando a descarbonização por meio de estruturas de distribuição flexíveis. Deste modo, ao adaptar a infraestrutura, será possível fornecer hidrogênio para milhões de clientes europeus, permitindo o desenvolvimento do mercado, o que é essencial para garantir que o continente atinja a meta de neutralidade das emissões.

Considerações finais

Feita a análise, é notável o desenvolvimento da cadeia de valor do hidrogênio, em âmbito nacional e mundial, e isto é corroborado a partir do constante anúncio de projetos e pela crescente importância que tem se dado ao hidrogênio. Percebe-se a forte presença da Europa, com seu constante anúncio de projetos, bem como destacam-se as Notas Técnicas divulgadas nacionalmente pela EPE.

Assim, avaliando a cadeia de valor do hidrogênio desde a produção ao 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 do armazenamento de hidrogênio em compostos orgânicos, que contribui diretamente para ampliar as redes de transporte e reduzir seus custos. Além disso, observa-se um grande esforço dos Estados Unidos no âmbito regulatório e de financiamentos, gerando bastante desenvolvimento da economia do vetor energético..

Neste observatório, as principais iniciativas identificadas foram relacionadas a transporte e uso final, com maior foco respectivamente em gasodutos e na aviação. Ambas as tecnologias são estudadas pela ciência em busca de inovações, além de também serem observadas por governos para ampliar a transição energética.

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



Observatório de Hidrogênio



@geselufrj