

Hidrogênio Verde: Perspectivas de Mercado e Oportunidades de Investimento no Brasil

Green Hydrogen: Market Perspectives and Investment Opportunities in Brazil

Hidrógeno Verde: Perspectivas de Mercado y Oportunidades de Inversión en Brasil

Sidney Antonio Cardoso Júnior¹

Mario Luiz Nunes da Silva²

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo analisar o mercado global e nacional de hidrogênio verde, com foco em seu potencial de desenvolvimento, competitividade e atração de investimentos. A pergunta central da pesquisa é: “Quais fatores impulsionam o crescimento do mercado de hidrogênio verde e qual o posicionamento do Brasil nesse contexto?” A metodologia utilizada foi de caráter exploratório e descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica, análise de relatórios internacionais (como da Agência Internacional de Energia) e levantamento de dados sobre transações empresariais e investimentos no setor. Os resultados indicam que o hidrogênio verde tem se consolidado como um dos principais vetores da transição energética, com expansão acelerada impulsionada por políticas públicas e pela redução dos custos tecnológicos. O Brasil destaca-se como potencial líder global, devido à sua matriz elétrica majoritariamente renovável e às vantagens competitivas em custos de produção e logística.

Palavras-chave: Hidrogênio verde. Transição energética. Investimentos. Sustentabilidade; Brasil.

Abstract: This study aims to analyze the global and Brazilian green hydrogen market, focusing on its development potential, competitiveness, and investment attractiveness. The main research question is: “Which factors drive the growth of the green hydrogen market, and how is Brazil positioned in this scenario?” The methodology is exploratory and descriptive, based on a literature review, analysis of international energy reports, and data collection on corporate transactions and investments in the sector. The results show that green hydrogen is consolidating as one of the main drivers of the energy transition, with accelerated growth supported by public policies and technological cost reductions. Brazil stands out as a potential global leader due to its predominantly renewable energy matrix and competitive advantages in production and logistics.

Keywords: Green hydrogen. Energy transition. Investment. Sustainability. Brazil.

Resumen: El presente estudio tiene como objetivo analizar el mercado mundial y brasileño del hidrógeno verde, con énfasis en su potencial de desarrollo, competitividad y atracción de inversiones. La pregunta central de la investigación es: “¿Qué factores impulsan el crecimiento del mercado del hidrógeno verde y cuál es la posición de Brasil en este contexto?” La metodología empleada fue de carácter exploratorio y descriptivo, basada en la revisión bibliográfica, el análisis de informes internacionales y la recopilación de datos sobre transacciones corporativas e inversiones en el sector. Los resultados muestran que el hidrógeno verde se consolida como uno de los principales pilares de la transición energética, impulsado por políticas públicas y la reducción de los costos tecnológicos. Brasil se destaca como posible líder global debido a su matriz energética renovable y a sus ventajas competitivas en costos de producción y logística.

Palabras-clave: Hidrógeno verde. Transición energética. Inversiones. Sostenibilidad. Brasil.

Submetido 13/03/2026

Acceto 21/07/2026

Publicado 04/08/2026

¹ Graduando em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal de São Paulo. IFSP ORCID. E-mail: sidneycardoso444@gmail.com

² Doutor em Engenharia Mecânica, Instituto Federal de São Paulo. ORCID: 0000-0001-6275-5159. E-mail: marioluiznunes@ifsp.edu.br

Considerações iniciais

O Hidrogênio Verde (H2V), produzido por meio da eletrólise da água utilizando fontes renováveis como eólica e solar, emerge como uma alternativa promissora e crucial para a transição energética global (Iberdrola, 2021). Ele impulsiona a descarbonização de setores intensivos em emissões, como siderurgia, transporte e petroquímica, atraindo grandes investimentos globais (McKinsey & Company, 2021).

O Brasil possui notáveis diferenciais competitivos para liderar este mercado, incluindo uma vasta abundância de recursos naturais, uma matriz energética já predominantemente renovável (cerca de 83,6% da eletricidade) e uma localização geográfica favorável à exportação (Insper, 2024; SergipeTec, 2024). Essas características conferem ao país uma posição estratégica para competir por até 10% do mercado global de H2V até 2050 (Insper, 2024).

Este trabalho tem como objetivo analisar o mercado de H2V no Brasil sob uma perspectiva setorial, destacando seu potencial e os desafios regulatórios, estruturais e financeiros que precisam ser superados para viabilizar seu crescimento sustentável. A pesquisa, que combina abordagens qualitativas e quantitativas (revisão bibliográfica, análise de dados e estudos de caso), visa fornecer um panorama sobre a viabilidade econômica e a competitividade brasileira no cenário internacional (SergipeTec, 2024).

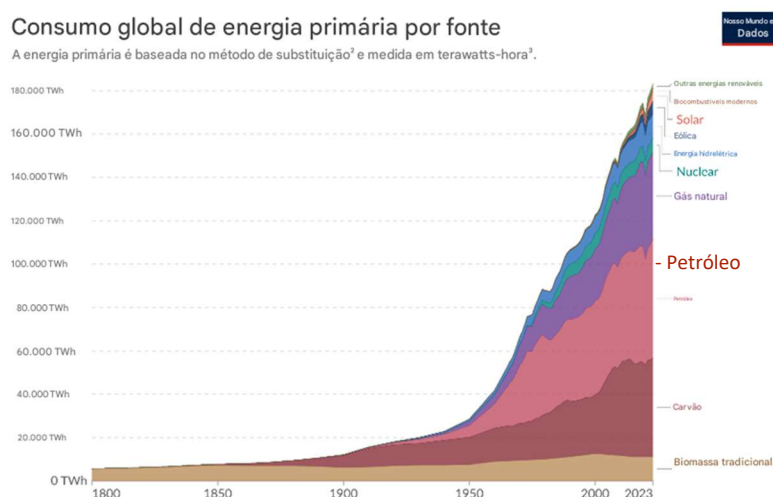
A importância do estudo é reforçada pela crescente necessidade de fontes energéticas sustentáveis e pelo interesse de grandes agentes do setor e investidores institucionais, que veem no H2V uma solução estratégica para diversificação da matriz e descarbonização (GESEL/UFRJ, 2023). A superação dos desafios regulatórios é fundamental, com o Governo Federal já estabelecendo o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), com metas de consolidação de centro do recurso até 2035, visando transformar promessas em negócios concretos e consolidar o Brasil como potência mundial no setor (Ministério de Minas e Energia, IEE USP, 2024). O estudo contribuirá, assim, para a compreensão das dinâmicas do setor e auxiliará na criação de um ambiente favorável para o avanço do H2V no país.

A Busca por um Novo Combustível e a Transição Energética

A intensificação das mudanças climáticas e a urgência em reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) têm provocado uma profunda transformação na matriz energética global. O

modelo energético vigente, historicamente sustentado pela exploração intensiva de combustíveis fósseis desde a Revolução Industrial, vem sendo cada vez mais questionado devido aos seus impactos ambientais e à sua insustentabilidade no longo prazo. De acordo com dados do Energy Institute, a matriz energética mundial ainda é amplamente dominada por fontes não renováveis. Essa dependência é ilustrada na Figura 1, que, com base no Statistical Review of World Energy (2024) do Energy Institute, evidencia a elevada predominância de carvão, petróleo e gás natural como principais fontes de energia primária

Figura 1: Consumo global de energia primária por fonte

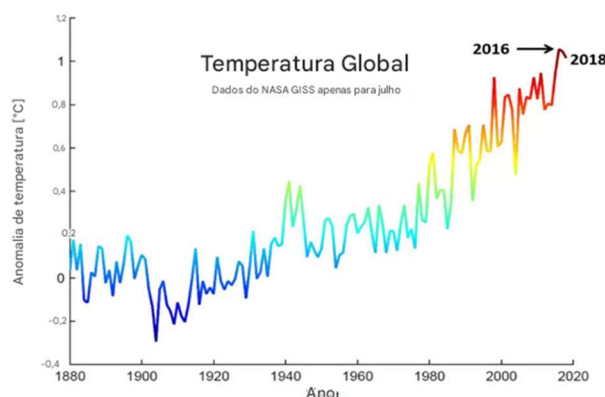


Fonte: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

O aquecimento global configura-se como um dos maiores desafios ambientais enfrentados pela humanidade na atualidade. De acordo com os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a temperatura média global já se elevou aproximadamente 1,1°C em relação aos níveis pré-industriais. As projeções indicam que, na ausência de ações eficazes para mitigar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa, esse aumento poderá ultrapassar 2°C nas próximas décadas, o que, segundo a comunidade científica, pode desencadear efeitos ambientais irreversíveis.

Esse cenário é ilustrado pelo gráfico apresentado a seguir (Figura 2), que evidencia a trajetória histórica de aumento da temperatura global nas últimas décadas.

Figura 2: Temperatura global



Fonte: Nasa (2018)

Diante desse cenário, a descarbonização da economia tornou-se uma prioridade estratégica para governos, empresas e instituições multilaterais. Em resposta, o Acordo de Paris, firmado em 2015, estabeleceu metas ambiciosas para conter o aumento da temperatura global a bem abaixo de 2°C, promovendo a transição para fontes renováveis de energia e tecnologias limpas (ONU, 2015).

As energias renováveis desempenham um papel crucial na redução das emissões de carbono e na construção de uma matriz energética sustentável (IEA, 2025). Atualmente, as principais fontes renováveis incluem:

- Energia solar fotovoltaica, que converte a luz do sol em eletricidade por meio de células fotovoltaicas;
- Energia eólica, gerada a partir do movimento das turbinas impulsionadas pelo vento;
- Energia hidrelétrica, obtida pela movimentação da água em barragens e usinas fluviais;
- Biomassa e biogás, produzidos a partir da decomposição de matéria orgânica;
- Geotermia, que aproveita o calor interno da Terra para geração de eletricidade.

Essas fontes renováveis têm sido amplamente adotadas em diversos países, contribuindo para a substituição progressiva dos combustíveis fósseis (IEA, 2025). É nesse contexto que o hidrogênio verde desponta como um aliado estratégico na transição energética. Produzido por meio da eletrólise da água, utilizando eletricidade proveniente de fontes renováveis, como solar e eólica, o hidrogênio verde pode atuar como vetor de armazenamento de energia, permitindo

sua utilização posterior em momentos de baixa geração intermitente (IRENA, 2023; BNDES, 2022).

Conceitos Fundamentais sobre Hidrogênio

O hidrogênio (H_2) é o elemento químico mais abundante do universo, representando aproximadamente 75% de toda a massa bariônica (Züttel, 2004). No entanto, na Terra, ele é encontrado majoritariamente combinado a outros elementos, como na composição da água (H_2O) e de diversos compostos orgânicos (Dincer & Acar, 2015). Em seu estado molecular isolado, o hidrogênio é um gás incolor, inodoro, insípido e altamente inflamável, com características que exigem cuidados específicos no seu manuseio e armazenamento (IEA, 2019).

Do ponto de vista energético, o hidrogênio é classificado como um portador de energia, e não como uma fonte primária. Isso ocorre porque ele não é encontrado livremente na natureza em grandes quantidades e, portanto, precisa ser produzido a partir de fontes energéticas primárias, como a eletrólise da água ou a reforma de gás natural (IEA, 2021). Entre suas principais vantagens destaca-se a elevada densidade de energia por unidade de massa (Tabela 1), o que é significativamente superior à densidade energética dos combustíveis fósseis convencionais, como a gasolina (IEA, 2021).

Tabela 1: Valor calorífico dos principais combustíveis

Combustível	Calor liberado (kJ/g)
Hidrogênio	141,9
Metano	55,5
Propano	50,4
Gasolina	40,5
Diesel	44,8

Fonte: Adaptado de Blog de química

Entretanto, sua baixa densidade volumétrica, mesmo no estado gasoso comprimido ou líquido, impõe desafios técnicos para seu armazenamento e transporte. Soluções como compressão a altas pressões, liquefação a temperaturas extremamente baixas ou armazenamento em materiais sólidos, como hidretos metálicos, estão em desenvolvimento para tornar o hidrogênio mais viável logisticamente (Hydrogen Council, 2020).

Produção do Hidrogênio

A produção de hidrogênio pode ser realizada por diferentes métodos, variando conforme a fonte de energia e o processo empregado. Atualmente, a rota predominante é a reforma a vapor do gás natural (Steam Methane Reforming — SMR), em que o metano (CH_4) reage com vapor d'água em alta temperatura, produzindo hidrogênio e dióxido de carbono (CO_2) como subproduto. Apesar de consolidada economicamente, essa tecnologia é altamente emissora de gases de efeito estufa (IEA, 2019). Alternativamente, a eletrólise da água vem ganhando destaque como opção sustentável.

Nesse processo, a molécula de H_2O é dissociada em hidrogênio e oxigênio por meio da eletricidade. Quando essa eletricidade provém de fontes renováveis como energia solar ou eólica o produto final é o hidrogênio verde, considerado essencial para a descarbonização e a transição energética global (IRENA, 2020). Além dessas rotas, a gaseificação de biomassa também se apresenta como alternativa promissora, permitindo a conversão de materiais orgânicos em hidrogênio e outros gases (Dincer & Acar, 2015).

Em paralelo, pesquisas recentes exploram a pirólise do metano, capaz de gerar hidrogênio sem emissão direta de CO_2 , tendo o carbono sólido como subproduto (Hydrogen Council, 2021). Esses diferentes métodos, que refletem a evolução tecnológica e a busca mundial por



soluções limpas e economicamente competitivas para a produção de hidrogênio, são sumarizados na Figura 3.

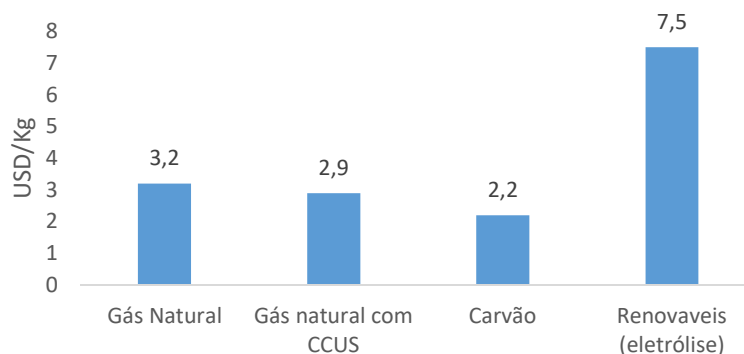
Figura 3: Principais métodos de produção de hidrogênio



Fonte: Proped (2022)

Apesar da variedade de métodos, cada tecnologia enfrenta desafios técnicos e econômicos que impactam sua competitividade. Atualmente, o custo da eletrolise ainda é superior ao da reforma do gás natural e outras fontes, mas projeções indicam que, com a expansão da capacidade de energias renováveis e inovações tecnológicas, a tendência é de queda nos preços do hidrogênio verde nos próximos anos (BloombergNEF, 2021). Essa disparidade e a projeção de convergência dos custos de produção são ilustradas na Figura 4.

Figura 4: Custo de produção de hidrogênio por fonte



Fonte: IEA (Adaptada, 2018)

Diferentes tipos de Hidrogênio

A crescente necessidade de descarbonizar a matriz energética mundial e a busca por alternativas sustentáveis impulsionaram a diversificação das rotas de produção de hidrogênio. Para melhor distinguir os diferentes métodos e suas implicações ambientais, convencionou-se uma classificação baseada em cores, refletindo as emissões associadas a cada processo (IRENA, 2020; IEA, 2019)

- **Hidrogênio Azul:** O Hidrogênio Azul é de baixo carbono, produzido a partir do gás natural via Reforma a Vapor do Metano (SMR), mas com a aplicação de tecnologias de Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono (CCUS). Isso evita a liberação do dióxido de carbono CO₂ na atmosfera, resultando em uma redução de emissões entre 60% e 90% nos projetos mais eficientes (IRENA, 2020)
- **Hidrogênio Verde:** Considerado a solução mais sustentável, o Hidrogênio Verde é produzido pela eletrólise da água utilizando exclusivamente eletricidade de fontes renováveis (solar, eólica, hidrelétrica). Esse processo não emite CO₂ e contribui

duplamente para o armazenamento de energia renovável intermitente e para a descarbonização de setores de difícil eletrificação (IEA, 2019; BNDES, 2022).

- **Hidrogênio Marrom:** O Hidrogênio Marrom é H_2 obtido pela gaseificação do carvão mineral (lignito) em altas temperaturas e pressões (IEA, 2019). O processo é altamente poluente, gerando grandes quantidades de CO_2 e outros gases de efeito estufa.
- **Hidrogênio Cinza:** O Hidrogênio Cinza é o H_2 mais comum e de alto carbono, produzido pela Reforma a Vapor do Metano CH_4 utilizando gás natural (IEA, 2019). O processo libera o CO_2 diretamente na atmosfera, sendo o principal responsável pelas emissões de carbono da indústria do H_2 (IRENA, 2020). Essa rota é economicamente estabelecida, mas insustentável ambientalmente.

Aplicações do hidrogênio na indústria e nos transportes

O hidrogênio H_2 tem se destacado como um vetor energético fundamental para a transição para uma economia de baixo carbono. Suas características físico-químicas, como a elevada densidade energética por massa e a combustão limpa (que resulta apenas em água), tornam o H_2 particularmente atrativo para a descarbonização de setores de difícil mitigação, incluindo a indústria pesada (como siderurgia e cimento) e os transportes de longa distância (marítimo e aviação) (IEA, 2019; IRENA, 2020).

Principais utilizações do hidrogênio na indústria

Indústria Siderúrgica

A siderurgia tradicionalmente utiliza o carvão metalúrgico como redutor químico para converter o minério de ferro (Fe_2O_3) em ferro metálico (Fe), um processo que libera grandes quantidades de CO_2 . A substituição do carvão por hidrogênio verde viabiliza uma rota limpa, em que o subproduto da reação é vapor d'água, não dióxido de carbono.

- **Siderurgia:** A rota limpa do hidrogênio verde permite a substituição do carvão metalúrgico, tradicionalmente usado como redutor químico para converter minério de

ferro Fe_2O_3 em ferro metálico Fe. Com o H_2 o subproduto da reação é vapor d'água e não CO_2 (IEA, 2019).

- **Produção de Amônia:** A amônia NH_3 , essencial para a indústria de fertilizantes, tem sua produção atual dependente de hidrogênio obtido via SMR (Reforma a Vapor do Gás Natural), o que gera CO_2 . A substituição por H_2 verde descarboniza esse setor, que é responsável por cerca de 1,8% das emissões globais de CO_2 (IEA, 2019). Além disso, a amônia é estrategicamente considerada um portador de hidrogênio, facilitando o transporte do H_2 puro.
- **Indústria Petroquímica:** No refino de petróleo, o hidrogênio é usado no hidrotratamento e hidrocrackeamento para remover impurezas. Em um futuro de transição, esse setor pode alavancar a produção de combustíveis sintéticos (e-fuels), combinando hidrogênio verde com CO_2 capturado da atmosfera, promovendo uma economia circular de carbono (European Commission, 2020).
- **Indústrias de Vidro, Cimento e Cerâmica:** Setores que dependem de processos térmicos a altas temperaturas, tradicionalmente alimentados por combustíveis fósseis, podem migrar para o hidrogênio, substituindo o gás natural e reduzindo drasticamente as emissões. Essa transição, no entanto, exige a adaptação de fornos e sistemas de combustão para lidar com as propriedades do H_2 (Hydrogen Council & McKinsey, 2020).

Principais utilizações do hidrogênio nos transportes

O setor de transportes, responsável por cerca de 25% das emissões globais de gases de efeito estufa, encontra no hidrogênio uma solução eficiente para modais de alta demanda energética, onde veículos elétricos a bateria é menos viável.

- **Transporte Rodoviário:** Pesado para caminhões de longa distância, o hidrogênio é promissor devido à necessidade de alta autonomia e reabastecimento rápido. Células a combustível (fuel cells) movidas a H_2 já estão sendo desenvolvidas por grandes

fabricantes (Toyota, Hyundai, Nikola Motors), e a tecnologia pode alcançar custos competitivos até 2030, especialmente em rotas pesadas (ICCT, 2021).

- **Transporte Ferroviário:** Em infraestruturas não eletrificadas, como na Europa e América Latina, trens movidos a H_2 são alternativas limpas ao diesel. O trem Alstom Coradia iLint, por exemplo, já opera na Alemanha desde 2018, utilizando células a combustível e emitindo apenas vapor d'água (Alstom, 2022).
- **Transporte Marítimo:** Responsável por quase 3% das emissões globais de CO_2 , o setor marítimo foca em derivados do hidrogênio, como a amônia e o metanol verdes, como combustíveis alternativos promissores (IEA, 2019). A Maersk, por exemplo, já encomendou navios movidos a metanol verde para operar a partir de 2024 (Maersk, 2021).
- **Transporte Aéreo:** Devido à necessidade de alta densidade energética e ao peso das baterias, o H_2 é proposto para voos regionais e de médio alcance. A Airbus, com seu projeto ZEROe, estima lançar aeronaves movidas a hidrogênio até 2035 como solução para a descarbonização aérea (Airbus, 2020).

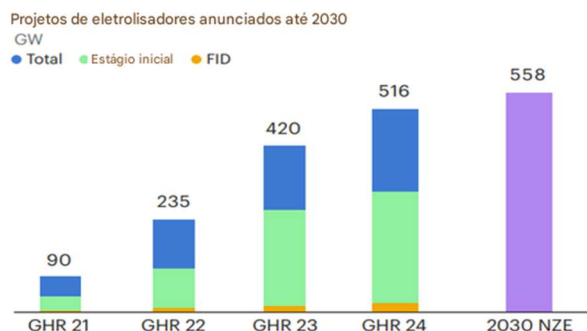
O Mercado Global de Hidrogênio Verde

O mercado global de hidrogênio verde vem ganhando destaque como elemento estratégico na transição energética. De acordo com projeções da McKinsey & Company (2021), a capacidade global de produção de hidrogênio limpo poderá alcançar até 500 milhões de toneladas anuais até 2050, dos quais uma parcela significativa virá do hidrogênio verde.

Um reflexo direto desse avanço tecnológico e regulatório é a rápida expansão dos projetos de eletrólise ao redor do mundo. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2024), a capacidade eletrolítica anunciada para produção de hidrogênio com baixa emissão já ultrapassa 520 GW globalmente, impulsionada por políticas públicas como o Lei de Redução de Inflação (IRA) nos Estados Unidos e o programa REPowerEU (plano para reforçar a autonomia energética) na União Europeia. A curva de crescimento projetada para esses projetos aponta para uma aceleração significativa até 2030, indicando a transição do hidrogênio verde

de uma solução promissora para uma infraestrutura em escala industrial. Essa aceleração é demonstrada na Figura 5.

Figura 5: Projetos anunciados de eletrólise até 2030



Fonte: IEA (2024)

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2024), a demanda global por hidrogênio atingiu 97 milhões de toneladas em 2023, ainda majoritariamente suprida por fontes fósseis. Contudo, os projetos de hidrogênio limpo têm avançado rapidamente. A produção de hidrogênio de baixa emissão, que foi inferior a 1 Mt em 2023, pode chegar a 49 Mt por ano até 2030 com base nos projetos anunciados, um aumento de quase 30% em relação ao ano anterior (IEA, 2024). A distribuição geográfica e a escala desses investimentos globais em novas rotas de produção de hidrogênio com baixas emissões estão representadas na Figura 6.

Figura 6: Mapa dos projetos anunciados de produção de hidrogênio com baixas emissões,

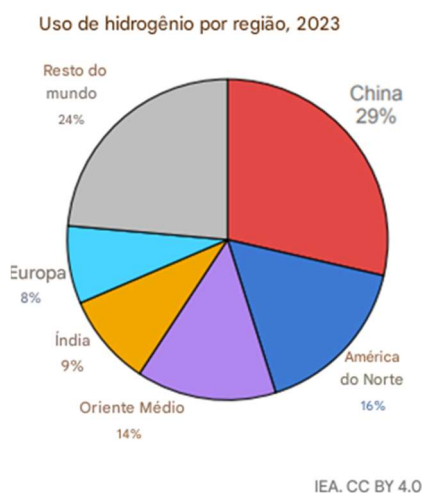


Fonte: IEA (2024)

O consumo de hidrogênio (H_2) apresenta uma concentração geográfica significativa, sendo dominado por regiões com cadeias industriais robustas e políticas energéticas ativas, conforme detalhado no relatório Global Hydrogen Review 2024 da Agência Internacional de Energia (IEA, 2024). A Ásia lidera o uso global, com a China e a Índia utilizando o H_2 intensivamente nos setores de refino de petróleo e produção de amônia e metanol, alinhando-se à estratégia chinesa de descarbonização e autossuficiência. A Europa se destaca não apenas como consumidora, mas como líder regulatória e tecnológica, com países como Alemanha, Países Baixos e Espanha investindo ambiciosamente em infraestrutura de eletrólise e integração energética. Por sua vez, a América do Norte demonstra um crescimento expressivo, impulsionado por políticas federais como o Lei de Redução de Inflação (IRA) nos Estados Unidos, que oferece subsídios para a produção de hidrogênio limpo, combinando demanda industrial forte com produção competitiva (IEA, 2024).

Essa distribuição evidencia que o mercado de hidrogênio verde e de baixa emissão está sendo liderado por países com alto consumo energético, capacidade de investimento e estrutura industrial consolidada. Ao mesmo tempo, países com alto potencial renovável se posicionam como futuros exportadores estratégicos nesse novo panorama energético global. A participação de cada país no consumo total de hidrogênio, refletindo essa concentração de demanda, é detalhada na Figura 7.

Figura 7: % de Hidrogênio usado por país

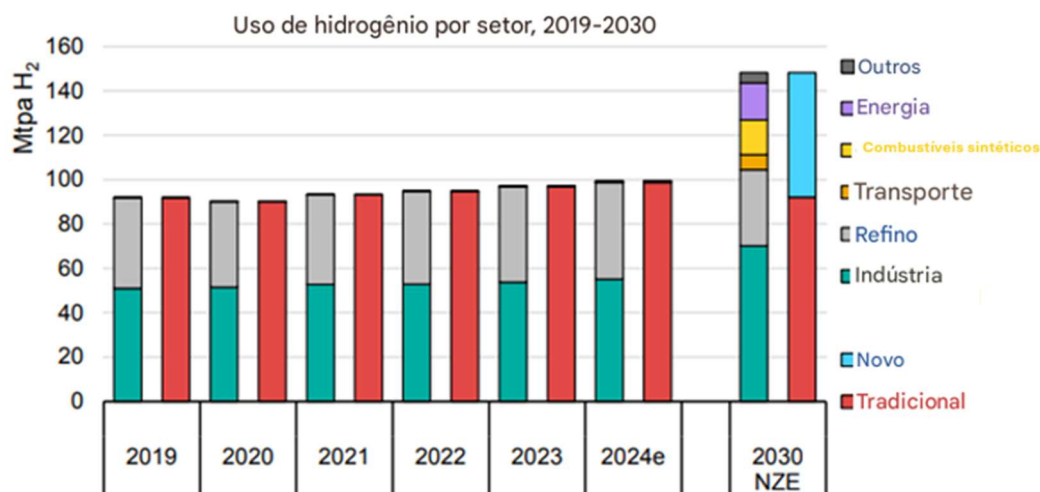


Fonte: IEA (2024)

Oferta e Demanda Global de Hidrogênio

A demanda global por hidrogênio encontra-se em um processo de reconfiguração significativa. Atualmente, seu consumo permanece predominantemente concentrado em aplicações industriais já estabelecidas, como o refino de petróleo e a produção de amônia e metanol. Notavelmente, essa demanda é majoritariamente atendida por hidrogênio de origem fóssil, especialmente aquele derivado do gás natural sem captura de carbono, conforme dados recentes da Agência Internacional de Energia (IEA, 2024). A distribuição setorial dessa demanda global de hidrogênio é ilustrada na Figura 8.

Figura 8: Hidrogênio usado por setor



Fonte: IEA (2024)

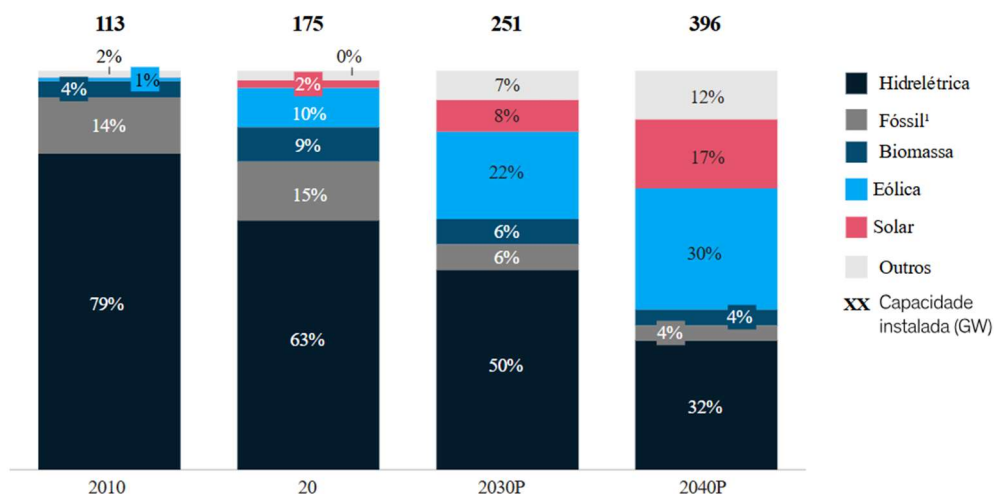
Nesse contexto, emerge uma oportunidade estratégica para o hidrogênio verde. Sua expansão será intrinsecamente impulsionada pela incorporação em setores de difícil descarbonização, como a siderurgia, a indústria química pesada, o transporte de longa distância (marítimo, rodoviário e aéreo) e o armazenamento de energia em larga escala. Esses segmentos demandam soluções energéticas de alta densidade e flexibilidade, atributos que posicionam o hidrogênio verde como uma alternativa viável e superior às limitações da eletrificação convencional.

O Brasil no Mercado de Hidrogênio Verde

Com capacidade total de geração de 175 GW em 2021, o Brasil ocupa a posição de 7º maior país do mundo em capacidade instalada de geração de energia e figura como o 3º maior produtor de energia renovável, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e da China. Diferentemente desses países, no entanto, o Brasil apresenta uma proporção muito mais elevada de fontes renováveis em sua matriz elétrica, alcançando cerca de 85% do total gerado (McKinsey, 2021). A matriz elétrica brasileira tem sua base histórica nas hidrelétricas, as quais representam cerca de 63% da capacidade instalada (EPE, 2024). A composição dessa matriz é detalhada na Figura 9. Contudo, essa predominância está em declínio devido à expansão acelerada das fontes solar

fotovoltaica e eólica, notavelmente na região Nordeste, que apresenta um fator de capacidade altamente competitivo globalmente. Essa diversificação energética (EPE, 2024; IRENA, 2023) estabelece condições favoráveis para a produção de hidrogênio verde H_2 , pois garante maior estabilidade no suprimento elétrico e contribui para a redução dos custos da eletrólise. Dessa forma, o Brasil não só possui uma das matrizes mais limpas do mundo, mas também reúne condições estruturais para se posicionar como um líder global na produção de H_2 , integrando sua consolidada expertise em energias renováveis com novos investimentos estratégicos em eletrólise e exportação de seus derivados (BNDES, 2022).

Figura 9: Matriz elétrica brasileira



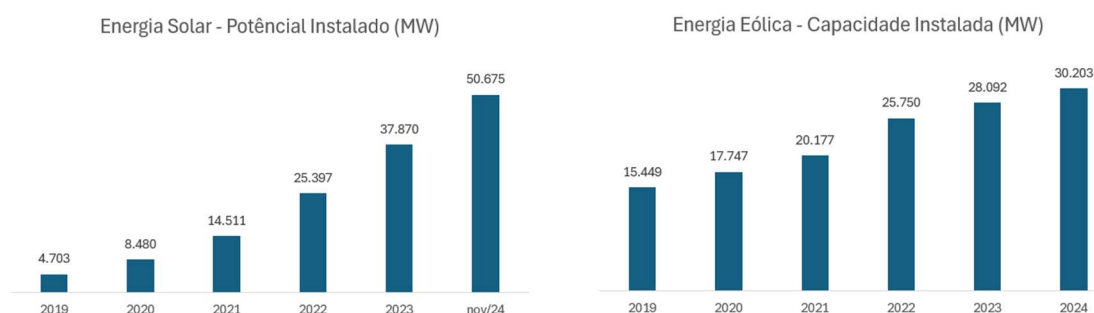
Fonte: McKinsey (2021)

Crescimento da energia solar e eólica

O Brasil apresenta um cenário de rápido avanço da energia eólica e solar na sua matriz elétrica, fontes que, juntas, devem saltar de 12% em 2020 para 47% da capacidade instalada até 2040 (McKinsey, 2021). Esse crescimento é impulsionado pela queda contínua do Custo Nivelado de Energia (LCOE), a métrica padrão para comparar a viabilidade de diferentes fontes. As projeções mais recentes são altamente promissoras: o LCOE da solar no Nordeste, por exemplo, deve cair cerca de 46% até 2040, atingindo valores entre US\$ 13-17/MWh, um patamar que a tornará mais barata até mesmo que a eólica no médio prazo (McKinsey, 2021).

Essa vantagem de custo é potencializada pela complementaridade geográfica e técnica dos recursos: a alta insolação (observada em regiões como Piauí e Bahia) e o regime de ventos constantes (Ceará e Rio Grande do Norte) permitem a criação de projetos híbridos de renováveis (BNDES, 2022). Essa integração solar-eólica em uma mesma infraestrutura não apenas garante maior estabilidade no fornecimento de energia elétrica para os eletrolisadores, mas também reduz o custo final de produção do hidrogênio verde, conferindo ao Brasil um diferencial competitivo essencial para a liderança global do setor (MME, 2023). O forte crescimento da capacidade instalada dessas duas fontes é visualizado na Figura 10.

Figura 10: Crescimento do Potencial instalado em Energia Solar e Capacitada instalada para Energia Eólica.

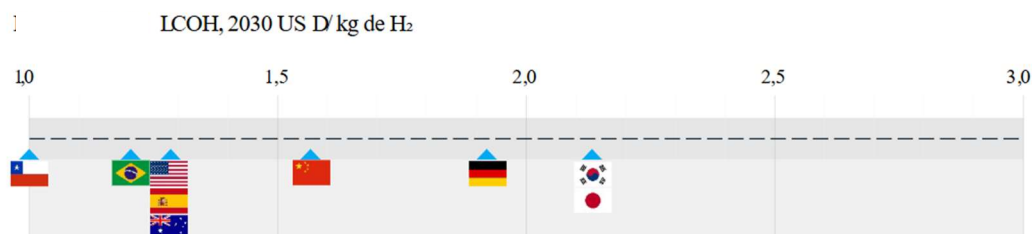


Fonte: ABSOLAR e ANEEL

Custo do hidrogênio verde brasileiro

O Brasil se destaca globalmente na produção de hidrogênio verde. Segundo a McKinsey & Company (2023), o Custo Nivelado do Hidrogênio (LCOH) no país pode atingir cerca de US\$ 1,50/kg até 2030, patamar competitivo com os líderes globais (EUA, Austrália, Arábia Saudita). Para 2040, a projeção é de uma redução ainda maior, chegando a US\$ 1,25/kg de H₂ (Figura 11), consolidando a liderança brasileira em custo.

Figura 11: Custo da produção de hidrogênio verde Brasil vs outros países



Fonte: McKinsey, (2021)

O custo nivelado do hidrogênio (LCOH) abrange os principais componentes de custo de produção, incluindo a geração de eletricidade (solar e eólica), o consumo de água, os investimentos de capital (CAPEX) em eletrolisadores e os custos operacionais (OPEX) (IRENA, 2020). Embora o LCOH não inclua despesas de infraestrutura (transporte, armazenamento e logística de exportação), o Brasil detém vantagens para minimizar custos adicionais. A abundância simultânea de sol e vento no Nordeste viabiliza projetos desconectados da rede elétrica principal (autônomos), que otimizam a operação dos eletrolisadores e reduzem a necessidade de investimentos em transmissão (BNDES, 2022). Em contraste com regiões como Europa e Ásia, onde os custos projetados tendem a permanecer acima de US\$ 2,5–4,0/kg até 2030, a competitividade brasileira se destaca, reforçando o potencial do país como exportador líquido de hidrogênio verde e derivados (amônia, metanol), atendendo mercados com metas de descarbonização rigorosas (IEA, 2024).

Centro logísticos e exportação estruturada

O sucesso do Brasil como exportador de hidrogênio verde dependerá não apenas de sua competitividade em custos de produção, mas também da formação de centros logísticos integrados capazes de conectar a produção local com os principais mercados consumidores. Nesse sentido, alguns portos e polos industriais brasileiros já despontam como estratégicos para atrair investimentos internacionais. Abaixo os principais centros:

- **Porto de Pecém (CE):** O Complexo Industrial e Portuário do Pecém, localizado no Ceará, é atualmente o centro mais avançado do Brasil para a produção e exportação de

hidrogênio verde. Situado em uma Zona de Processamento de Exportação (ZPE), o porto oferece incentivos fiscais atrativos e vantagens logísticas, incluindo proximidade geográfica com a Europa, principal mercado consumidor em potencial. O Pecém conta com mais de 30 memorandos de entendimento assinados com empresas internacionais, consolidando-se como polo estratégico no Hemisfério Sul. A região se destaca pela abundância de recursos solar e eólico, com potencial significativo para projetos de geração em terra (onshore) e no ambiente oceânico (offshore), que garantem energia renovável de baixo custo para os projetos de eletrólise. Entre os investimentos em destaque, está o da Fortescue Metals Group, que prevê US\$ 6 bilhões para a instalação de uma planta de 1,2 GW de capacidade e produção de cerca de 900 mil toneladas de amônia verde por ano (McKinsey, 2023; NeoFeed, 2024; Governo do Ceará, 2024).

- **Porto do Açu (RJ):** É um dos maiores complexos portuários privados do Brasil, destacando-se por sua infraestrutura de classe mundial e áreas industriais integradas (Prumo Logística, 2024). Sua relevância estratégica reside na combinação de acesso direto a linhas de transmissão e na proximidade com o Sudeste industrial, o que facilita a integração local do hidrogênio antes da exportação. O porto já atua como um polo energético consolidado, o que cria sinergias logísticas e industriais para novos projetos de H₂ verde. Um exemplo disso é a parceria entre a Eletrobras e a Prumo Logística, que visa viabilizar a produção de H₂V e derivados no local, reforçando a posição do Açu como um polo nacional estratégico de exportação de baixo carbono (Eletrobras, 2024; Prumo Logística, 2023).
- **Polo do Piauí:** Se estabelece como uma nova fronteira para o hidrogênio verde H₂V no Brasil. O estado possui um diferencial competitivo único ao concentrar alguns dos melhores fatores de capacidade de energia solar e eólica combinadas do mundo, principalmente no sertão. Essa complementaridade dos recursos garante um suprimento de energia mais estável e de custo mais baixo para os eletrolisadores (GEP, 2024; Eletrobras, 2023). A atratividade para investidores é alta: o projeto GEP prevê até 10,8 GW de eletrólise e almeja um custo de produção de H₂ estimado entre os menores do mundo, potencialmente abaixo de US\$ 1,50/kg no longo prazo (GEP, 2024). Projetos em destaque incluem a parceria do GEP com empresas como a Vale, avaliando o uso

do H₂V na siderurgia de baixo carbono, além de planos robustos de exportação de amônia verde para diversos mercados globais (Vale, 2024)

Panorama do Mercado Brasileiro de Hidrogênio Verde

O desenvolvimento do mercado brasileiro de H₂V está concentrado em centros regionais (polos) estrategicamente localizados perto de infraestrutura portuária e áreas industriais (MME, 2023). O principal é o Centro de Pecém (CE), que atrai grandes players multinacionais como Fortescue Future Industries (FFI) e Enegix, facilitando a exportação via seu Complexo Portuário para mercados como Europa e América do Norte. Outro destaque é o Porto de Suape (PE), focado em amônia e fertilizantes verdes, onde a Unigel se tornou pioneira ao inaugurar em 2023 a primeira planta de H₂V em escala industrial no Brasil (Unigel, 2023). O país tem atraído grandes empresas nacionais (Petrobras) e multinacionais (Shell, Engie), que visam tanto a exportação quanto a descarbonização da indústria doméstica (aço, fertilizantes e transporte). Esse setor é apoiado pelo Programa Nacional do Hidrogênio H₂V e por crescente financiamento de bancos multilaterais (BNDES e BEI), além de um ecossistema de startups em inovação (BNDES, 2022). O Brasil se destaca globalmente pela combinação de energia limpa e barata, sua forte vocação exportadora e um ambiente regulatório em evolução, o que o consolida como um agente competitivo no mercado global. Os principais projetos em andamento que reforçam essa posição estão detalhados na Tabela 2.

Tabela 2: Principais projetos de hidrogênio verde no Brasil

Projeto	Localização	Capacidade / Fase	Investimento estimado / Detalhes	Data prevista / Status
Brasil Fortescue Sustainable Industries	ZPE de Pecém, Ceará	Capacidade de produção de cerca de 1,2 GW (fase inicial), podendo chegar a 2,1 GW numa fase posterior. (Serviços e Informações do Brasil)	R\$ 17,5 bilhões	Implementação autorizada em outubro de 2024, com início de operações previsto para agosto de 2028. (Serviços e Informações do Brasil)



Ceará Green Hydrogen Hub (REI / CIF)	Complexo Industrial e Portuário de Pecém, Ceará	Projeto para destravar investimentos privados, fortalecer competitividade e estruturar cadeia de valor para hidrogênio verde. (Serviços e Informações do Brasil)	US\$ 35 milhões do Climate Investment Funds (CIF) + cofinanciamento de US\$ 90 milhões.	Projeto aprovado em dezembro de 2024. (Serviços e Informações do Brasil)
Projeto Jepri no Ceará	Ceará (Pecém)	Meta de produzir ~1.200.000 toneladas/ano de hidrogênio verde. (SDE Ceará)	Investimento projetado de € 3,3 bilhões. (SDE Ceará)	Início da construção previsto para 2025; produção estimada entre fim de 2026 e início de 2027. (SDE Ceará)
Projeto Cactus no Pecém	Setor 2 da ZPE do Pecém, Ceará	Eletrolise de ~1,12 GW; produção de aproximadamente 190 kilotons de hidrogênio renovável e mais de 1 milhão de toneladas de amônia renovável por ano. (SDE Ceará)	Investimento estimado de US\$ 2 bilhões. (SDE Ceará)	Operações previstas para iniciar em 2027. (SDE Ceará)
Shell / Porto do Açu (planta piloto)	Porto do Açu, RJ	Capacidade inicial de 10 MW, expansível para ~100 MW. (Canal Energia)	Parceria de desenvolvimento entre Shell Brasil e Porto do Açu; destina-se a funcionar como laboratório/teste para aprender com operação e tecnologias no país. (Canal Energia)	Plantada para entrar em operação em 2025 como piloto. (Canal Energia)



AES Brasil — Projeto no Pecém	Pecém, Ceará	Produção estimada de amônia verde de ~800 mil toneladas/ano (com ~2,5 GW de energia renovável) em futura instalação. (SDE Ceará)	Estudo de Impacto Ambiental já apresentado. (SDE Ceará)	Em fase estudantil, ainda pendente licenciamento e detalhes operacionais. (SDE Ceará)
-------------------------------------	-----------------	--	--	---

Fonte: IEA, BRASIL. Ministério da Fazenda, Secretária do Desenvolvimento do Ceará, Canal Energia

Metodologia

Para fornecer uma visão de mercado aprofundada, este trabalho emprega uma metodologia da avaliação relativa, que é o método mais comum e pragmático para estimar o valor econômico de empresas em setores emergentes, nos quais os fundamentos operacionais tradicionais (como o lucro líquido) ainda são incipientes (PwC, 2024). A combinação da análise de competidores com as duas abordagens de comparação de pares é crucial para capturar tanto a percepção atual do mercado quanto os preços efetivos de transação.

Avaliação Relativa

A avaliação relativa é o método mais comum para determinar o valor econômico de empresas em setores emergentes como o hidrogênio verde (PwC, 2024). Baseada na comparação de pares por múltiplos financeiros, ela utiliza dois instrumentos chave: Comparáveis de Mercado (Trading Comps), que analisa empresas listadas para estimar o valor de mercado em tempo real (Damodaran, 2023); e Comparações de Transações Precedentes (Transaction Comps), que usa dados de fusões e aquisições concluídas, refletindo o preço efetivo pago por investidores (EY,

2024). A combinação dessas análises é crucial para valuation e estudos de atratividade de mercado (McKinsey & Company, 2023).

Principais Indicadores Utilizados

Para a avaliação de empresas de hidrogênio, aplicam-se os seguintes múltiplos e métricas de mercado:

- **Enterprise Value (EV):** Representa o valor total da empresa (capital próprio + dívida líquida - caixa), sendo a métrica usada para calcular o custo total de aquisição de uma companhia (PwC, 2024).
- **EV/EBITDA:** Relaciona o EV com a geração de caixa operacional (EBITDA), indicando quantas vezes o lucro operacional o mercado paga pela empresa. É ideal para comparar negócios de infraestrutura e energia com diferentes estruturas de capital (EY, 2024).
- **EV/Receita (EV/Sales):** Múltiplo crucial para empresas em estágio inicial ou com lucros negativos (comum em H₂ Verde), indicando o quanto o mercado precifica o potencial de crescimento por unidade de receita (BloombergNEF, 2024).
- **Preço/Lucro (P/L):** Menos representativo no setor, pois muitas empresas ainda não geram lucro contábil. Contudo, será um indicador futuro da eficiência e retorno em fases mais maduras (Damodaran, 2023).

Comparações de Transações Precedentes

Entre 2023 e 2025, o setor de hidrogênio verde registrou forte consolidação, com 15 operações focadas em eletrólise, infraestrutura e mobilidade. Destacam-se a separação da unidade da Siemens Energy India e as aquisições da CMB.TECH NV (US\$ 3,6 bi) e Permascand Top Holding AB (US\$ 1,03 bi). Os múltiplos dessas transações mostram altas expectativas: o EV/EBITDA tem mediana de 14x, refletindo a precificação da geração de caixa futura; já o

EV/Receita (mediana de 2x) aponta para o estágio desigual de maturação das empresas no setor, conforme detalhado na Tabela 3.

Tabela 3: Principais transações do Mercado nos últimos anos (Transaction Comps)

Empresa-Alvo (Target)	Data	Valor (US\$ mi)	Comprador	Observação	Enterprise Value	EV/Receita	EV/EBITDA
Siemens Energy India Limited	14/05/2024	1.014.943	Siemens Ltd.	Reestruturação estratégica focada em energia e hidrogênio.	11.797	NA	NA
CMB.TECH NV	22/12/2023	3.646	CMB NV	Expansão em soluções marítimas movidas a H ₂ .	3.646	NA	NA
Euronav NV (CMB Tech)	22/11/2023	1.778	CMB NV; Saverco NV	Consolidação do transporte marítimo sustentável.	4.557	4	6
Greenfuel Energy Solutions Pvt. Ltd.	14/09/2024	1.531	Lumax Auto Technologies Ltd.	Expansão de sistemas de energia limpa para mobilidade.	30	1	NA
Shanxi Meijin Energy Co., Ltd.	10/12/2022	1.934	Tianjin Dongfu Xinneng Investment Mgmt.	Grupo chinês diversifica atuação em hidrogênio.	5.731	1,6	8
Permascand Top Holding AB	19/12/2023	1.031	Altor Fund VI (No.1 e No.2) AB	Fabricante europeu de eletrodos — elo da cadeia de eletrólise.	99	2	20
JNK India Limited	25/04/2024	1.010	JNK Global Co., Ltd.	Entrada no setor de hidrogênio para processos térmicos.	281	5	24
Hydrogenics Corporation	29/06/2023	335	Cummins Inc. e Air Liquide S.A.	Joint venture EUA–França para eletrolisadores e células a combustível.	1.559	NA	NA
Symbio	23/12/2022	300	Stellantis; Michelin; Forvia	Joint venture europeia líder em células a combustível.	NA	NA	NA
Everfuel A/S	28/08/2024	280	Swiss Life Asset Management AG	Desenvolvimento europeu de infraestrutura de H ₂ verde.	121	22	NM
SK eternix Co., Ltd.	15/09/2023	253	SK D&D Co.	Reestruturação sul-coreana para energia limpa.	190	2	NA
Hunan Shuangyang Hi-Tech Chemical Co.	10/10/2023	142	China Paper Investment Co., Ltd.	Expansão química voltada ao hidrogênio industrial.	50	NA	NA
AT&M Environmental Engineering Tech. Co., Ltd.	09/07/2024	140	Beijing Xu'an Kechuang Tech.	Foco em purificação e armazenamento de H ₂ .	138	NA	NA
Qianjiang Yihe Chemicals Co., Ltd.	26/09/2023	139	Crystal Clear Electronic Material Co., Ltd.	Integração química voltada à produção de H ₂ verde.	34	NA	NA



Coregas Pty Ltd

20/12/2024

770

Supagas Holding Pty Ltd

Fortalecimento da cadeia
de suprimento de
hidrogênio na Oceania.

506

NA

NA

Fonte: Capital IQ

Comparáveis de Mercado

A avaliação por Comparáveis de Mercado das 15 principais empresas globais de hidrogênio verde, como Nel ASA e Plug Power, demonstra um setor em forte expansão, mas com múltiplos altamente dispersos e elevados: o EV/EBITDA médio é de 78,1x em 2024 (projetado para 55,2x em 2025) e o EV/Receita de 9,5x (projetado para 8,5x) — valores irrealistas para setores maduros, onde o EV/EBITDA varia entre 6x e 12x, conforme detalhado na Tabela 4.

Tabela 4: Trading Comps

Empresa	Moeda	Market Cap (MM)	Receita Líq. 2024	Mg EBITDA 2023	Mg EBITDA 2024	EV/Receita Líq 2024	EV/Receita Líq 2025	EV/EBITDA 2024	EV/EBITDA 2025	P/L 2024	P/L 2025
Empresa											
ITM Power Plc	USD	628	20	(1837%)	(263%)	18,1x	10,9x	NA	NA	NA	NA
Enapter AG	USD	56	22	(10%)	(40%)	4,4x	4,2x	NA	NA	NA	NA
Linde plc	USD	211.427	33.210	37%	39%	7,0x	6,9x	18,1x	17,4x	28,3x	27,2x
Bloom Energy Corporation	USD	26.091	1.414	(3%)	9%	19,1x	15,3x	219,7x	129,9x	928,5x	205,1x
Cummins Inc.	USD	56.744	33.784	13%	16%	1,8x	1,9x	11,7x	11,1x	19,7x	18,5x
Ballard Power Systems Inc.	USD	1.089	75	(149%)	(233%)	7,4x	6,3x	NA	NA	NA	NA
Plug Power Inc.	USD	4.023	701	(110%)	(106%)	7,0x	6,9x	NA	NA	NA	NA
Air Products and Chemicals, Inc.	USD	299.594	12.162	32%	41%	26,0x	26,3x	62,9x	62,6x	109,4x	112,0x
Nel ASA	USD	472	134	(19%)	(15%)	2,3x	3,6x	NA	NA	NA	NA
Hexagon Purus ASA	USD	91	171	(37%)	(17%)	1,5x	2,1x	NA	NA	NA	NA

Fonte: Capital IQ

Análise de dados

Esses múltiplos atípicos refletem o caráter emergente e a natureza intensiva em capital da indústria. Como as empresas se encontram em fase de crescimento, frequentemente apresentando receitas incipientes ou EBITDA negativo, a valoração de mercado é

majoritariamente impulsionada pelas altas expectativas de expansão futura e pelo potencial de longo prazo, e não por fundamentos operacionais tradicionais. Consequentemente, os múltiplos de EV/EBITDA e EV/Receita servem, neste estágio, mais como um indicador de tendência e potencial do que como um parâmetro absoluto de valor, sendo ferramentas essenciais para a precificação de uma tecnologia que está em plena fase de consolidação.

Considerações finais

O setor de hidrogênio verde H₂V está deixando a fase de projetos-piloto e ingressando na escala industrial, mas enfrenta barreiras críticas que precisam ser superadas para atingir a competitividade plena. O principal obstáculo técnico e financeiro reside no custo elevado da eletrólise, que deve ser reduzido da faixa atual de US\$ 3,5 a US\$ 6 kg para US\$ 1,5 a US\$ 2kg para competir com o hidrogênio cinza (IEA, 2024). Paralelamente, a fragmentação regulatória global e a ausência de instrumentos financeiros robustos, como contratos de longo prazo (offtakes garantidos) e créditos de carbono estruturados, limitam a atração do CAPEX intensivo necessário para a escalabilidade dos projetos. O futuro do setor será marcado pela consolidação tecnológica e maturação de políticas, com a capacidade global de eletrólise projetada para ultrapassar 550 GW até 2050 (IEA, 2024). Nesse cenário, o Brasil se destaca como um candidato à liderança na América Latina, devido à sua matriz energética limpa e abundante (solar e eólica) e à existência de polos de exportação estratégicos (como Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia). Para concretizar esse protagonismo, o país precisa intensificar as estratégias de atração de capital, que incluem a criação de fundos de investimento verde, a implementação de leilões de hidrogênio (nos moldes do European Hydrogen Bank) e a concessão de incentivos fiscais para equipamentos de eletrólise. O sucesso dependerá crucialmente da atuação das Parcerias Público-Privadas (PPPs), que têm um papel decisivo na redução de riscos, na garantia de demanda e na viabilização de infraestrutura compartilhada (dutos e portos), seguindo modelos já testados como o Hydrogen Centro no Porto de Pecém.

Referências

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Plano de Trabalho Trienal (2023-2025) do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2)**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/PlanodeTrabalhoTrienalPNH2.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2025.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Hidrogênio de baixo carbono: oportunidades para o protagonismo brasileiro na produção de energia limpa**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22665/1/PRLiv_Hidrog%C3%AAnio%20de%20baixo%20carbono_215712.pdf. Acesso em: 15 nov. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional (BEN) 2024 ou Nota Técnica sobre Hidrogênio**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: 15 nov. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review 2021**. Paris, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>. Acesso em: 15 nov. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2025 (WEO 2025)**. Paris, 2025. (Projeção/Relatório Anual). Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025>. Acesso em: 15 nov. 2025.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Geopolitics of the Energy Transition: Green Hydrogen**. Abu Dhabi, 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen#:~:text=The%20analysis%20offers%20insights%20into,and%20develop%20new%20export%20industries>. Acesso em: 15 nov. 2025.

ENERGY INSTITUTE (EI). **Statistical Review of World Energy 2024**. London, 2024. Disponível em: <https://www.energyinst.org/statistical-review>. Acesso em: 15 nov. 2025.

HYDROGEN COUNCIL; Mc KINSEY & COMPANY. **Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo**. 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/br/our-insights/hidrogenio-verde-uma-oportunidade-de-geracao-de-riqueza-com-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo>. Acesso em: 15 nov. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2025.

IBERDROLA. **O hidrogênio verde: uma alternativa para reduzir as emissões e cuidar do nosso planeta.** 2021. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/hidrogenio-verde>. Acesso em: 15 nov. 2025.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE (BloombergNEF). **1H2021 Hydrogen Levelised Cost Update** (Citado em relatórios de custo). 2021. Disponível em: <https://h2-tech.com/news/2021/01-2021/bloombergnef-1h-2021-hydrogen-levelized-cost-update/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

S&P GLOBAL MARKET INTELLIGENCE. **S&P Capital IQ Platform.** (Acessado para dados de Transação e Múltiplos Comparáveis). Disponível em: <http://www.plataformats.com.br/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

ZÜTTEL, Peter. Materials for hydrogen storage. **Materials Today**, v. 7, n. 9, p. 24-33, 2004.

DINCER, Ibrahim; ACAR, Canan. A review on clean energy solutions for better sustainability. **International Journal of Energy Research**, v. 39, n. 5, p. 585-606, 2015.

DAMODARAN, Aswath. **VALUATION: SPRING 2023.** New York: NYU Stern School of Business, 2023. Disponível em: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/pdfiles/eqnotes/eqsyllspr23.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2025.

INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE (IEE/USP). **Hidrogênio verde: o Brasil se tornará uma potência mundial? 28 ago. 2024.** Disponível em: <https://www.iee.usp.br/noticia/hidrogenio-verde-o-brasil-se-tornara-uma-potencia-mundial/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

ABSOLAR. **Setor solar supera projeções em um ano marcado por adversidades. 2024.** Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-projecoes-superadas-absolar/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ALSTOM. **Novidade mundial: 14 comboios Coradia iLint para iniciar serviço de passageiros na primeira linha 100% a hidrogênio. Comunicado de Imprensa, 24 ago. 2022.** Disponível em: <https://www.alstom.com/pt/press-releases-news/2022/8/novidade-mundial-da-alstom-14-comboios-coradia-ilint-para-iniciar>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ANEEL. **Energia eólica no Brasil bate recordes e gera empregos. 2024.** Disponível em: <https://www.airswift.com/pt/blog/wind-energy-brazil>. Acesso em: 10 nov. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Bruxelas, 2020.** Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=EN>. Acesso em: 10 nov. 2025.

GESEL/UFRJ. **Hidrogênio verde no Brasil: Uma visão geral de projetos e principais stakeholders. 2023.** Disponível em: <https://www.h2verdebrasil.com.br/noticia/hidrogenio-verde-no-brasil-uma-visao-geral-de-projetos-e-principais-stakeholders>. Acesso em: 10 nov. 2025.

GOVERNO DO CEARÁ. Casa Civil. **Governo do Ceará assina sexto pré-contrato para produção de H2V no Pecém. 9 abr. 2024.** Disponível em: <https://www.casacivil.ce.gov.br/2024/04/09/77994/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

IEA (International Energy Agency). **Hydrogen production costs worldwide as of 2018, based on production source.** Dados adaptados acessados via: STATISTA. **Global hydrogen production costs, by source 2018-2025.** Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1132774/global-hydrogen-production-cost-based-on-source/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

INSPER. **Hidrogênio verde no Brasil: estamos prontos para liderar a revolução energética. 2024.** Disponível em: <https://agro.insper.edu.br/agro-in-data/artigos/hidrogenio-verde-no-brasil-estamos-prontos-para-liderar-a-revolucao-energetica>. Acesso em: 10 nov. 2025.

INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION (ICCT). **Hydrogen for Transport: Global Policy Analysis. Washington, DC, 2021.** Disponível em: <https://theicct.org/publication/hydrogen-for-transport-global-policy-analysis-oct21/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

MAERSK. **Maersk signs shipbuilding contract for world's first container vessel fueled by carbon neutral methanol. Copenhagen, 01 jul. 2021.** Disponível em: <https://www.maersk.com/news/articles/2021/07/01/container-fueled-by-carbon-neutral-methanol>. Acesso em: 10 nov. 2025.

NASA. **Global Temperature Update. 2018.** Disponível em: <https://www.columbia.edu/~mhs119/Temperature/Emails/July2018.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.

NEOFEED. **Brasil ganha "gás" de R\$ 188 bilhões e sai na frente na corrida do hidrogênio verde. 1º nov. 2024.** Disponível em: <https://neofeed.com.br/negocios/brasil-ganha-gas-de-r-188-bilhoes-e-sai-na-frente-na-corrida-do-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

PROPEQ. **Usos e produção de hidrogênio. 2022.** Disponível em: <https://propeq.com/ usos-producao-hidrogenio/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

PRUMO LOGÍSTICA. **Conheça o Porto do Açu. [S.l.]: Prumo Logística, [2024].** Disponível em: <https://prumologistica.com.br/pt/conheca-o-porto-do-acu/>. Acesso em: 10 nov. 2025.



UNIGEL. **Unigel inaugura a primeira planta de hidrogênio verde em escala industrial do Brasil. 23 nov. 2023.** Disponível em: <https://www.unigel.com.br/com-investimento-total-de-us-15-bilhao-bahia-tera-primeiro-projeto-de-hidrogenio-verde-em-escala-industrial-no-brasil/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

VALE. **Vale e Green Energy Park fecham parceria para desenvolver cadeia do hidrogênio verde no Brasil. Rio de Janeiro, 01 out. 2024.** Disponível em: <https://vale.com/pt/w/vale-e-green-energy-park-fecham-parceria-para-desenvolver-cadeia-do-hidrogenio-verde-no-brasil>. Acesso em: 10 nov. 2025.