



Panorama do hidrogênio no Brasil e no RJ: desafios e próximos passos

NOTA TÉCNICA | abril de 2025

www.firjan.com.br/publicacoes

O hidrogênio (H₂) tem sido apontado como uma alternativa energética de enorme potencial para descarbonização em todo mundo. Com um mercado em construção no Brasil, após sanção do marco legal em agosto de 2024, diversos projetos anunciados ainda não tiveram a tomada de decisão final de investimento.

Apesar de o cenário hoje ter um número maior de perguntas do que de respostas para avançar, importante notar que a velocidade de construção de mercado não é imediata, uma vez que a etapa atual de regulação é um dos fatores necessários, além do entendimento dos status de projetos e do cenário de preços, tópicos que serão abordados ao longo da presente Nota Técnica.

Estados com maior afinidade para produção de energias renováveis, com expectativa de geração de um H₂ a partir de uma fonte limpa, podem despontar à medida que existir uma maior força da chamada urgência climática. Por outro lado, enquanto a demanda mundial for por maiores volumes de energia a custos acessíveis, menor será a velocidade percebida da concretização dos projetos de renováveis, incluindo o hidrogênio.

Nesse contexto, ainda que de muitas dúvidas, o Rio de Janeiro se destaca pela possibilidade de exploração do H₂ em reservatórios de ocorrência natural, por rotas tecnológicas já consolidadas como é o caso de sua obtenção a partir da reforma do gás natural, também por processos que podem ser aplicados utilizando fontes como nuclear, solar e eólica *offshore* no futuro.

ETAPA ATUAL: REGULAÇÃO

Atualmente, a construção do mercado de hidrogênio, principalmente o considerado como o de baixo carbono, passa pela regulamentação de seu marco legal, instituído pela Lei Federal 14.948/2024. Normas e procedimentos devem ser direcionados por um ou mais decretos, liderados pelo MME - Ministério de Minas e Energia. Após essa etapa, a ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, já responsável em lei por regular as atividades do H₂, deverá abrir processos de consulta pública para editar suas portarias e resoluções, transmitindo para as partes interessadas as sinalizações do que é esperado para o seu bom funcionamento.

A fim de fortalecer o mercado e ampliar acesso a financiamento e avançar com a pauta, antes mesmo da regulamentação do marco legal, o MME criou o Programa Nacional de H₂ (PNH₂). Considerando perspectivas futuras, o PNH₂ colocou como meta até 2025, disseminar plantas piloto de hidrogênio de baixo carbono em

todas as regiões do país. Até 2030, consolidar o Brasil como o país com menor custo de produção de hidrogênio de baixa emissão do mundo. E, até 2035, consolidar *hubs* de hidrogênio de baixo carbono no país.

Além disso, ao estipular o Marco Legal, também foram iniciadas as implementações do Rehidro - Regime Especial de Incentivos para a PHBC - Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, instrumentos com objetivo de reduzir tributos dos projetos e dos créditos fiscais na comercialização do energético.

O Rehidro, por sinal, teve processo de consulta pública liderado pelo Ministério da Fazenda. O texto do Rehidro e PHBC estão sendo finalizados e serão divulgados em minuta de decreto que ainda será divulgada. Após finalização, o texto passará por tramitação e análise na Casa Civil e por fim será assinado e publicado.

Do ponto de vista do ente regulador, a atuação se dará em conjunto entre ANP com outras agências reguladoras cujos insumos sejam regulados por essas agências, como é o caso da energia elétrica pela Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica.

Todavia, ainda existem pontos que precisam ser trazidos no decreto do Poder Executivo. Dentre eles, destacam-se:

- Modalidades de outorga;
- Autorização para produção de hidrogênio, bem como hipóteses de dispensa;
- Critérios para elaboração de instrumentos de gestão de risco de acidentes a serem exigidos pelo órgão regulador e pelos órgãos responsáveis pelo licenciamento ambiental;
- Processo de reconhecimento da certificação adotada no território de origem do hidrogênio importado;
- Definição da escala das emissões do hidrogênio para ser considerado de baixo carbono;
- Implementação das diretrizes para a certificação do hidrogênio;
- Requisitos para habilitação ao Rehidro - Regime Especial de Incentivos para a PHBC - Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono.

No tocante ao desenvolvimento da tecnologia aplicada ao H₂, existe um entrave na Aneel, cujo prazo para definição de sua 'Chamada Estratégica de PDI¹ N.º 023/2024: Hidrogênio no Contexto do Setor Elétrico Brasileiro' tem sido prorrogado sem um novo cronograma para liberação dos recursos para as empresas selecionadas. Parte dessa morosidade pode ser inferida dado que as linhas de transmissão de energia não suportariam uma carga elevada a partir do hidrogênio. De acordo com o Caderno de Estudos do PDE 2034 da Empresa de Pesquisa Energética, até agosto de 2024, 9 projetos já haviam protocolado processos de conexão à Rede Básica junto ao MME, com uma demanda acumulada de 35,9 GW até 2038. Ainda segundo o estudo, esse valor corresponde a mais que o dobro do pico de carga atual de toda a Região Nordeste, em torno de 16,0 GW, alcançado em novembro de 2023.

O debate, no entanto, vai muito além dessa necessidade de investir no setor elétrico e precisa trazer clareza quanto a quem arcará com os custos do desenvolvimento dessa fonte de energia.

¹ PDI = P,D&I - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

STATUS DOS PROJETOS

Enquanto novas tecnologias são desenvolvidas e desafios do mercado são enfrentados para redução de custos, existe uma série de projetos em diferentes estágios de desenvolvimento já colocados aqui no Brasil, indo desde a pesquisa e ganhando em escala.

Somente na Aneel, são 12 projetos aprovados tecnicamente e previsão de 1,49 bilhão de reais, com mais de 75% provenientes do programa de P,D&I da Agência, financiado por recursos recolhidos dos consumidores de energia. O restante, R\$ 367 milhões, deve ser investido diretamente pelas empresas proponentes, conforme apresentação do MME em seu último Workshop de H2 em março de 2025.

Já a ANP acompanha um portfólio de 35 projetos das operadoras petrolíferas que desenvolvem inovação com parte dos recursos via cláusula de P,D&I dos contratos de exploração e produção de petróleo e gás natural. Esse valor de recurso privado já ultrapassa 420 milhões de reais, com projetos que serão executados pelos próximos 4 anos, de acordo com dados publicados pela própria Agência.

Além dos projetos declarados nos programas de P,D&I da Aneel e da ANP, existem outros projetos já anunciados em diferentes estados do Brasil. O Gráfico 1 apresenta a concentração de projetos por estado no Brasil, conforme acompanhamento realizado pela Firjan.

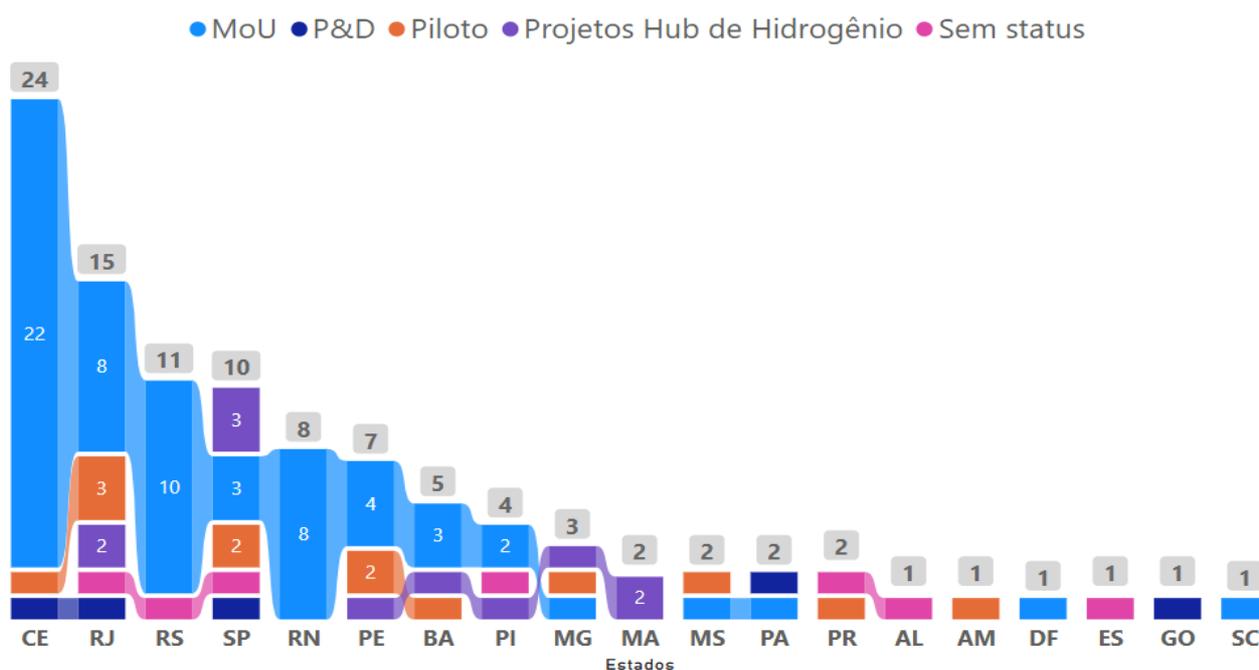
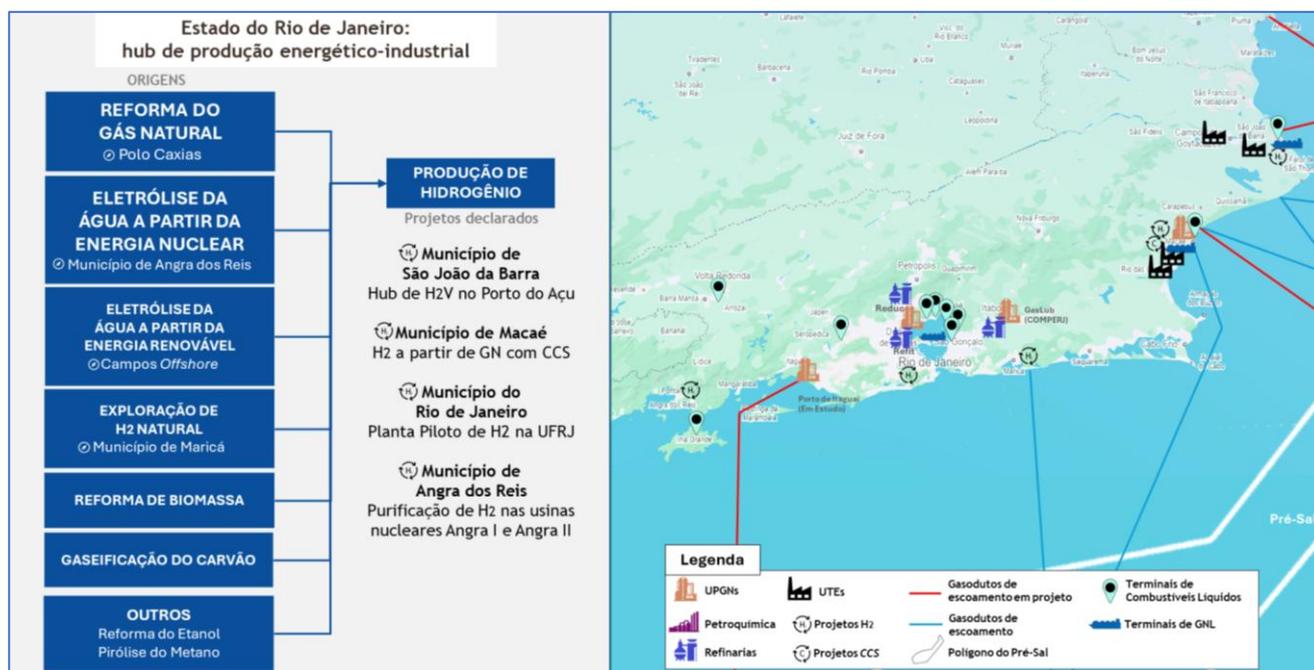


Gráfico 1 - Distribuição do número de projetos anunciados por estado

Fonte: extraído do Painel Dinâmico de Oportunidades - Novas Energias da Firjan elaborado a partir do acompanhamento de notícias do mercado, última atualização em abril de 2025.

O Rio de Janeiro, se destaca com quinze projetos anunciados, dos quais três se conectam também com a produção de amônia renovável, como uma rota para a produção de fertilizantes nitrogenados. Entre os projetos previstos para o estado, cinco já possuem estimativas de capacidade de produção anual declarada, totalizando 1,45 milhão de toneladas de hidrogênio. Além disso, o estado concentra iniciativas voltadas à

produção de HBI (*hot-briquetted iron*), como estratégia para descarbonização da indústria siderúrgica. O Infográfico 1 apresenta o potencial do hidrogênio no estado fluminense.



Infográfico 1 - Panorama geral do RJ com projetos para hidrogênio

Fonte: elaborado a partir das publicações da Firjan SENAI SESI "Mapa e Guia Estratégico do Hidrogênio para o Rio de Janeiro 2024" e "Petroquímica e Fertilizantes no Rio de Janeiro 2024"

Ainda no RJ, existem outras oportunidades como a exploração de hidrogênio natural em Maricá e um maior aproveitamento de hidrogênio obtido através do processo de produção eletrônica nuclear em Angra do Reis, para uso local.

Mesmo com um quantitativo alto de protocolos de intenção em todo o país, mais de 60% dos projetos mapeados, ainda pouco se consegue tangibilizar com relação a concretização desses empreendimentos. Muitos aguardam além das sinalizações de política pública, os agentes que comprarão esse hidrogênio. Para ancorar o consumo desses projetos, a produção de SAFs - combustíveis sustentáveis de aviação, que demanda H₂, é vista como a rota de maior potencial para cumprir esse papel, dadas as metas nacionais e internacionais existentes no setor aéreo.

De acordo com a EPE, a expectativa é que a demanda por SAFs alcance até três bilhões de litros em 2027 e até nove bilhões de litros em 2037. Considerando a síntese desses combustíveis a partir dos processos homologados pela agência reguladora, via a rota tecnológica HEFA², é possível estimar a demanda de H₂ necessária para atender às metas de produção de SAFs no Brasil. Cálculos próprios da Firjan, apontam para um volume de hidrogênio entre 90 e 120 mil toneladas em 2027. Em 2037, esse número pode aumentar em mais de 3 vezes, podendo variar entre 0,2 e 0,4 milhões de toneladas de hidrogênio.

² HEFA - do inglês, *Hydroprocessed Esters and Fatty Acids* - Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados - produção de biocombustíveis a partir de óleos e gorduras

CENÁRIO DE PREÇOS

Por mais que se aumente o volume de demanda energética, é fundamental que a relação oferta *versus* demanda alcance um preço atrativo tanto para quem produz, quanto para quem irá comprar o hidrogênio. A formação de preços envolve diversos aspectos, mas um parâmetro é comumente observado pelos agentes do mercado: o LCOH - custos nivelados para a produção de hidrogênio.

De acordo com o Índice LCOX Brasil apresentado pela CELA - *Clean Energy Latin America*, o LCOH em 2024 ficou entre US\$ 2,83 e 6,16 US\$/kg, com variação de acordo com as características do projeto. Além disso, devido projetos com diferentes tipos de eletrolisadores já apresentam resultados de custos diferentes, muito em função do investimento necessário. A mesma lógica vale para diferentes tecnologias aplicadas para obtenção do hidrogênio, que terão valores mais altos ou mais baixos de LCOH.

Em outra frente interministerial, o Governo Brasileiro, com o apoio da UNIDO, realizou um mapeamento a partir das propostas enviadas na chamada pública para a seleção de *hubs* de H₂ de baixa emissão de carbono, onde foi identificado um volume de produção entre 1 mil e 350 mil toneladas anuais de hidrogênio, amônia e metanol, com um custo de produção estimado (LCOH) entre 2 e 8 US\$/kg. O resultado das mais de 70 propostas alcançou um valor de LCOH médio de 6,70 US\$/kg, o que já ultrapassa a média calculada pela CELA.

A depender do modelo de negócio, podem existir outros custos associados a produção, como armazenamento e transporte, além de impostos. Somados, o preço em US\$/kg do energético pode até dobrar com referência ao LCOH. Desta forma, os valores do hidrogênio, principalmente o de origem renovável, ainda seguem elevados, o que o torna menos competitivo frente a outras fontes de energia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando falamos de hidrogênio de baixo carbono ou renovável, o método de produção mais associado é o processo por eletrólise, que é contínuo e requer suprimento contínuo de energia. Isso demanda arranjo complexo de fontes de energia limpa - solar, eólica e hidrelétrica - ou investimentos relevantes em baterias para armazenamento. O Sistema Interligado Nacional, por sua vez, tem grau restrito de flexibilidade para absorver demanda significativa pela indústria do hidrogênio.

Quanto ao uso do hidrogênio não existe expectativa de grandes volumes para uso direto como combustível. Ocorre que o processo de compressão, liquefação e transporte consome parcela relevante de energia e ao final, num mercado longínquo, teríamos apenas um percentual ínfimo da energia gerada em relação à consumida para sua produção, estimados em 15%.

As alternativas com melhores perspectivas seriam a produção de amônia, para uso como combustível, ou de metanol com captura de carbono diretamente do gás carbônico - CO₂. Os projetos de maior porte deverão estar relacionados com a descarbonização de plantas industriais como a siderúrgica, refino e petroquímica, dentre outras. A atratividade principal estaria na proximidade entre a produção e o consumo do hidrogênio. Dados da CNI apontam que a indústria de fertilizantes consumiu cerca de 87 mil toneladas de hidrogênio no ano de 2022, o que evidencia um grande potencial para a produção de amônia a partir de hidrogênio renovável. Nesse sentido, o crescimento dessa indústria tende a impulsionar também a expansão do mercado de hidrogênio de baixo carbono.

Por fim, merece reflexão a questão econômica da descarbonização. Tão inquestionável quanto a urgência climática, também é inquestionável que há um custo elevado para viabilizar essa indústria. Em paralelo, é imperioso que exista o tomador do risco pois sem isso nenhum empreendimento sairá do papel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP - Agência Reguladora de Petróleo, Gás e Biocombustíveis. 2025. **Painel Dinâmico de Projetos Iniciados - Resolução ANP Nº 918/2023**. Disponível em: < <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/tecnologia-meio-ambiente/pesquisa-desenvolvimento-inovacao/investimentos-em-pd-i/novo-projetos-de-pd-i> >. Acesso em: 3 abr. 2025.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Chamada nº 023/2024 - Hidrogênio no contexto do setor elétrico brasileiro. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao/chamadas-de-projetos-de-pdi-estrategicos/chamada-n-o-023-2024-hidrogenio-no-contexto-do-setor-eletrico-brasileiro>. Acesso em: 3 abr. 2025.

CELA - Clean Energy Latin America. 2024. **Índice LCOX Brasil - Custo Nivelado De Hidrogênio Verde E De Amônia Verde No Brasil**. Disponível em: < https://cela.com.br/wp-content/uploads/2024/08/20240811_LCOX_Publico-novo.pdf >. Acesso em: 3 abr. 2025.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Hidrogênio sustentável: perspectivas e potencial para a indústria brasileira**. Brasília: CNI, 2022. 137 p. ISBN 978-65-86075-53-3.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Perspectivas para o Mercado Brasileiro de Combustíveis no Curto Prazo - 02/2025**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/perspectivas-para-o-mercado-brasileiro-de-combustiveis-no-curto-prazo>. Acesso em: 10 abr. 2025.

MME - Ministério de Minas e Energias. 2025. **Workshop H2 - Diretrizes principais da regulamentação do H2 pós Leis nº 14.948 e 14.990**. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-discute-diretrizes-na-regulamentacao-do-hidrogenio-de-baixa-emissao-de-carbono> >. Acesso em: 3 abr. 2025.

SAE BRASIL. **Apresentação dos investimentos em projetos de hidrogênio**. Apresentação realizada por Monica Saraiva Panik, Especialista no Setor de Hidrogênio e Célula a Combustíveis. Documento interno. São Paulo: SAE Brasil, 2025.

EXPEDIENTE: **Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan)** - Av. Graça Aranha, 01 - CEP: 20030-002 - Rio de Janeiro. **Presidente:** Luiz César Caetano; **Diretor Executivo SESI/SENAI:** Alexandre dos Reis; **Gerente Geral de Petróleo, Gás, Energias e Naval:** Karine Barbalho Fragoso de Sequeira; **Gerente de Cenários:** Fernando Luiz Ruschel Montera; **Gerente de Projetos:** Thiago Valejo Rodrigues; **Coordenadora da Divisão de Relacionamento e Parcerias:** Juliana de Castro Lattari; **Equipe Técnica:** Carina de Souza Torres Faria; Carolina de Moraes Ribeiro; Emanuelle Ferreira de Lima; Felipe da Cunha Siqueira; Iva Xavier da Silva; Letícia Cristina Pereira Copque Nascimento; Marcelli de Oliveira Tavares; Maria Eduarda Domingos de Menezes; Maria Eduarda Jacinto de Miranda; Miguel Lopes Fintelman de Souza; Priscila Lima dos Santos Gomes; Savio Bueno Guimarães Souza; Wilson Koji Matsumoto.
Mais informações através do e-mail: petroleo.gas@firjan.com.br e site: <http://www.firjan.com.br/petroleogas>