



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Importância dos Projetos Pilotos no Desenvolvimento da Cadeia Produtiva de Hidrogênio de Baixo Carbono: Chamada Estratégica da ANEEL

Nivalde de Castro
Mauricio Moszkowicz
Thereza Aquino
Nelson Siffert
Sayonara Eliziário
Eduardo Serra
Ana Carolina Chaves
Kalyne Brito

TDSE

Texto de Discussão do Setor Elétrico

Nº 131

**Janeiro de 2025
Rio de Janeiro**

TDSE

Texto de Discussão do Setor Elétrico N°131

Importância dos Projetos Pilotos no Desenvolvimento da Cadeia Produtiva de Hidrogênio de Baixo Carbono: Chamada Estratégica da ANEEL

Nivalde de Castro
Mauricio Moszkowicz
Thereza Aquino
Nelson Siffert
Sayonara Eliziário
Eduardo Serra
Ana Carolina Chaves
Kalyne Brito

ISBN: 978-65-86614-98-5

Janeiro de 2025

Sumário

Introdução.....	3
1- Experiência internacional em projetos de pesquisa e desenvolvimento.....	6
2- O potencial do H2BC para a expansão do SEB	8
3- ANEEL: Chamada Estratégica para PD&I em Hidrogênio.....	10
4- Competência e atribuições ANEEL em relação ao H ₂ BC	15
Conclusão.....	17
Referências.....	18

Introdução

O processo de transição energética, que tem como objetivo central acelerar a descarbonização para atingir as metas para redução do aquecimento global, abriu oportunidades consistentes para o desenvolvimento, especialmente, da cadeia produtiva do hidrogênio de baixo carbono (H₂BC), produzido, principalmente, através das rotas da eletrólise da água e da captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS).

O potencial de desenvolvimento da indústria de H₂BC pode ser avaliado pelo volume mundial de hidrogênio que atingiu a cifra de 97 milhões de toneladas em 2023. Cerca de 99% desta produção tem como insumo recursos energéticos de combustíveis fósseis. Como resultado, estima-se de dióxido de carbono em 2023 foi de aproximadamente 900 milhões de toneladas (IEA, 2024).

Como resultado do esforço e orientações derivadas das políticas públicas de descarbonização, o *Global Hydrogen Review*, publicado em 2024 pela Agência Internacional de Energia (IEA), identificou um aumento crescente de anúncios de projetos de H₂BC em escala global. De acordo com as estimativas da IEA (2024), caso os projetos anunciados se concretizem, até 2030, a produção anual de H₂BC pode chegar a 26 Mt, dos quais 55% envolvem a produção de hidrogênio a partir da eletrólise e 45% a partir de CCUS.

O status dos projetos analisados pela *International Energy Agency* (IEA, 2024) aponta que mais de 45% das iniciativas estão em fase de estudo de viabilidade. Outra parcela semelhante está em estágio inicial e apenas 7% dos projetos obtiveram decisão final de investimento (FID) ou já estão em construção.

No processo de eletrólise da água (hidrogênio verde), a energia elétrica é um insumo essencial e fundamental. Segundo estudos realizados por várias instituições de pesquisa e agências internacionais, como a IEA e a IRENA, cerca de 70% do custo de produção do H₂BC é vinculado à energia elétrica.

Trata-se, portanto, de uma atividade produtiva eletrointensiva, o que coloca o setor elétrico como vetor decisivo para garantir a viabilidade econômica dos projetos de H₂BC. Além disso, para que o hidrogênio seja caracterizado como de baixa emissão de carbono, a energia elétrica do seu processo de produção deve obrigatoriamente ser proveniente de fontes renováveis.

Diante do contexto energético mundial, com destaque para a produção de hidrogênio verde, o Brasil se posiciona como um dos principais potenciais protagonistas desta nova cadeia produtiva mundial. Nestes termos, a economia brasileira tem uma oportunidade de capturar externalidades positivas e dinâmicas em relação ao aumento da renda e do emprego. O fomento à indústria nacional do hidrogênio, estritamente relacionada com o setor elétrico, pode ser um elemento central na direção de um processo de neo-industrialização verde, com reflexos diretos no desenvolvimento regional, considerando a capilaridade da rede elétrica de alta tensão e a disposição do potencial das energias eólica e solar no território nacional.

Desta forma, pode-se assumir que o desenvolvimento da cadeia produtiva do H₂BC irá abrir uma nova fronteira de expansão do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), com impactos positivos nos investimentos nos segmentos de geração, transmissão e distribuição, determinando externalidades positivas para a economia brasileira.

A questão central de uma indústria nascente, em particular quando se trata de um bem substituto ao hidrogênio tradicionalmente produzido com combustíveis fósseis, é a de desenvolver projetos-piloto, que possibilitem firmar conhecimentos de base tecnológica e de modelos de negócio, permitindo iniciar uma dinâmica de crescimento na direção de ganhos de escala, para, assim, se tornar competitiva.

A partir deste enquadramento geral, o alinhamento analítico deste objetivo estudo está estruturado em quatro seções, além desta introdução. A primeira seção é dedicada ao exame de uma seleção de projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) que receberam apoio de instituições ligadas ao setor elétrico de diversos países. A segunda seção tem como objetivo analisar o potencial de impacto que a indústria de H₂BC pode impor ao SEB. A terceira seção analisa a Chamada Estratégica aberta pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no âmbito do Programa de PD&I (PROPDI), para estimular investimentos em projetos de H₂BC. A quarta seção indica a pertinência e a relevância da ANEEL direcionar recursos do PROPDI para a criação da indústria do H₂BC, aderentes, inclusive, à normativa do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Por fim, as conclusões reforçam o potencial que o Brasil detém em escala global deste novo vetor energético, sendo o estímulo ao desenvolvimento de projetos-piloto o caminho inicial e eficiente, segundo as experiências internacionais em curso.

1- Experiência internacional em projetos de pesquisa e desenvolvimento

O aumento de investimentos em projetos de PD&I relacionados ao hidrogênio é observado em vários países, destacando-se que, nos últimos cinco anos, as estimativas indicam que os gastos com essas iniciativas quase quadruplicaram.

Observa-se que as plantas piloto e os projetos de PD&I são importantes iniciativas que intensificam e fortalecem a cooperação técnico-científica, levando transferência de tecnologia e conhecimentos a todos os elos da sociedade: empresas de energia elétrica, produtores de hidrogênio, setor industrial, fornecedores de bens e serviços, academia, empresas ligadas ao meio ambiente etc. Esta plêiade de instituições indica a densidade da cadeia produtiva da indústria nascente do hidrogênio e a importância dos projetos de PD&I como elemento catalizador do seu desenvolvimento.

Embora economias desenvolvidas contribuam mais para o financiamento global de PD&I, há também exemplos de economias em desenvolvimento alavancando recursos, com destaque para a Índia, que lançou várias chamadas para incentivar o uso do hidrogênio nos setores siderúrgico, de transporte, entre outros (IEA,2024).

Devido à transversalidade das tecnologias de hidrogênio, pode ser observada a atuação contundente de instituições ligadas ao setor elétrico no apoio ao desenvolvimento a esta indústria nascente. O Quadro 1 exemplifica esta atuação.

Quadro 1 – Exemplo de instituições ligadas ao setor elétrico que apoiam o desenvolvimento das tecnologias de hidrogênio

Agência	País	Atuação	Referência
Australian Renewable Energy Agency (ARENA)	Austrália	Apoia tecnologias de eficiência energética e eletrificação. Investe uma quantidade substancial do orçamento para quantificar as oportunidades de hidrogênio renovável e dar suporte à oferta, através do Programa <i>Hydrogen Headstart</i> .	ARENA
Australian Energy Market Operator	Austrália	Apoia o desenvolvimento do hidrogênio por meio de estruturas estratégicas, como o <i>Integrated System Plan</i> . O plano considera o crescimento da demanda de energia para atender a demanda dos eletrolisadores e a expansão de linhas de transmissão. Avalia o uso do hidrogênio para manter o fornecimento de eletricidade confiável.	AEMO (2024)
Department for Energy Security and Net Zero (DESNZ)	Reino Unido	Lidera o desenvolvimento tecnológico em direção à soberania energética com mais energia limpa produzida. Em 2023, selecionou 11 projetos de hidrogênio verde com financiamento para novos modelos de negócio de produção.	Net Zero Hydrogen Fund
Austrian Power Grid (APG)	Áustria	Operadora da rede de transmissão de eletricidade na Áustria, é um dos parceiros do projeto H2Future, liderado pela concessionária Verbund. O projeto busca implementar um sistema de eletrólise de 6 MW.	H2 Future (2024)
Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) of Department of Energy (DOE)	Estados Unidos	Impulsiona a liderança dos EUA em pesquisa, desenvolvimento, validação e utilização eficaz de tecnologias e processos de energia, garantindo um sistema integrado que seja acessível, confiável, resiliente, seguro e limpo. Possui 11 subescritórios com programas de pesquisa e desenvolvimento em larga escala, denominados <i>Small Business Innovation Research and Small Business Technology Transfer</i> .	US Department of Energy
Independent Electricity System Operator	Ontário, Canadá	Atua garantindo que a província de Ontário receba energia suficiente para atender às suas necessidades. Atualmente, desenvolve, em parceria com a empresa Enbridge, um projeto de demonstração sobre hidrogênio, o <i>Virtual Hydrogen Hybrid</i> , no Canadá.	Government of Canada (2023)
Energinet.DK	Dinamarca	Apoia o desenvolvimento das tecnologias de hidrogênio no país. Atualmente, atua como parceiro no projeto HyBalance.	HyBalance (2024)

Fonte: Elaboração própria a partir das referências

2- O potencial do H₂BC para a expansão do SEB

No Brasil, a produção anual de hidrogênio é estimada em 450 mil toneladas, sendo 100% de origem fóssil, com emissões diretas de 9 kg de CO_{2eq}/kg de hidrogênio produzido.

Conforme mencionado, a produção de hidrogênio a partir da eletrólise é uma atividade intensiva na utilização de energia elétrica - cerca de 60 kWh/kg de hidrogênio produzido. Considerando um cenário em que, até 2030, o Brasil alcance uma produção anual de 800 mil toneladas de H₂BC, serão necessários 48 TWh/ano de energia elétrica demandada pelo eletrolisadores (Hinício; ABL; GME, 2023). Esse valor equivale a uma necessidade adicional de potência instalada de aproximadamente 6 GW, operando com 90% de fator de capacidade. Para tanto, deve-se planejar o ingresso de novas tecnologias e investir de forma coordenada tanto na geração quanto no transporte de energia, para que o crescimento da infraestrutura se manifeste de maneira orgânica, considerando a oferta e a demanda.

Diante do cenário apresentado, é fundamental que projetos de menor escala precedam os de larga escala, de forma a promover aprendizados técnico, financeiro, econômico, regulatório, operacional, logístico e ambiental. Dessa forma, são mitigados os riscos que projetos de grande porte possam apresentar, facilitando a FID. Além disso, a obtenção de conhecimento com base em projetos de menor escala é uma etapa fundamental a ser percorrida, pois permite o preparo para a operação e a regulação da oferta e da demanda de energia renovável em grandes volumes, necessária para produção de H₂BC.

A possibilidade de o SEB utilizar os recursos do PROPDI da ANEEL para colaborar no desenvolvimento da indústria do H₂BC é um grande diferencial em termos de política industrial, tecnológica e de inovação.

Esta percepção foi capitada, com muita propriedade pela ANEEL, ao abrir a Chamada Estratégica de PD&I nº 023 “Hidrogênio no Contexto do Setor Elétrico Brasileiro”, cujos objetivos, características e resultados serão analisados na próxima seção.

3- ANEEL: Chamada Estratégica para PD&I em Hidrogênio

Com base no contexto global e no potencial que SEB pode assumir e contribuir para o desenvolvimento da nova cadeia produtiva de H₂BC, a ANEEL publicou, em março de 2024, a Chamada Estratégica de PD&I nº 023 “Hidrogênio no Contexto do Setor Elétrico Brasileiro”, cujo objetivo é estimular as empresas do SEB a investirem recursos do PROPDI para o desenvolvimento de projetos de H₂BC nas modalidades peças e componentes e planta piloto.

Na modalidade planta piloto, a Chamada Estratégica introduziu uma importante inovação regulatória no PROPDI, expressa pela exigência de as propostas de projeto apresentarem modelos de negócio completos, incluindo todos os elos envolvidos, desde a energia elétrica até a produção do hidrogênio e o seu uso final. Essa disposição inovadora buscou mitigar uma das principais fragilidades do ecossistema do hidrogênio, reconhecida mundialmente, que se refere ao acordo entre seus ofertantes e consumidores (*offtakers*). Dessa forma, a Rede de Inovação do Setor Elétrico (RISE) concebida para cada projeto estendeu a sua abrangência até o uso final do hidrogênio, permitindo criar experiências relevantes de modelos de negócio e articulações tecnológicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva do hidrogênio.

Ademais, o edital da Chamada Estratégica indicou que os recursos do PROPDI devem se limitar a custear aspectos da produção do hidrogênio, não podendo ser utilizados na produção de energia ou nos processos de uso final do hidrogênio. Os recursos vinculados a estas rubricas do projeto devem estar diretamente vinculadas às contrapartidas das empresas constituintes da RISE.

Diante desta perspectiva, a Chamada Estratégica se posicionou enquanto um instrumento de política de inovação tecnológica *lato sensu*, com as finalidades de estimular e viabilizar o desenvolvimento de projetos de demonstração para pavimentar aspectos de experiência real e contínua na concepção, implantação, operação e manutenção, certificação, comercialização e, principalmente, formação de recursos humanos em as áreas envolvidas da indústria nascente do H₂BC.

O processo de seleção dos projetos seguiu um rito rigoroso composto de diversas etapas, incluindo o envio das propostas à ANEEL, seguindo as normas do PROPDI e do edital da Chamada Estratégica, e a realização de *workshop* de avaliação e seleção dos 24 projetos proponentes pela Agência. Essa avaliação teve a duração de uma semana e contou com a participação de representantes das instituições intervenientes, como Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, Ministério do Meio Ambiente, Operado Nacional do Sistema Elétrico, BNDES, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e FINEP.

Após a apresentação, a fase final do processo de avaliação, em novembro de 2024, resultou na aprovação de 13 projetos, sendo 12 na modalidade planta piloto e um na modalidade peças e componentes. Juntos, os projetos somam 74 MW de capacidade instalada de eletrólise, com uma produção anual estimada de 10.000 toneladas de H₂BC. Considerando os 13 projetos aprovados, o montante de investimentos estimados é de R\$ 1,49 bilhão, dentre os quais R\$ 300 milhões são de contrapartida. O tempo médio de desenvolvimento é de 48 meses. Para garantir transparência e fundamentação do processo de avaliação, a ANEEL enviou a cada proponente um relatório técnico detalhando os critérios e a pontuação da análise.

No que tange aos projetos de planta piloto, é importante observar que as iniciativas abrangem diversos segmentos industriais, sempre promovendo a interação da oferta com o consumo de H₂BC, de modo a fechar toda a sua cadeia produtiva e criar articulações com os segmentos industriais interessados em acelerar o processo de transição energética para se firmarem no contexto da economia verde.

Outro aspecto relevante a destacar é a articulação dos proponentes dos projetos com Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs), universidades e empresas fornecedoras de bens e serviços. Neste sentido, observa-se que os 13 projetos serão desenvolvidos por 17 ICTs, incluindo universidades, centros de pesquisa e instituições de apoio à indústria.

Esta articulação está de acordo com o novo manual do PROPGDI da ANEEL, através do qual se busca, com a formação de RISE, o desenvolvimento de propostas que têm por objetivo gerar projetos de alta maturidade tecnológica, segundo a escala TRL. Desse modo, assegura-se que os recursos investidos pelo PROPGDI tenham consequências e resultados concretos e objetivos, valorizando os investimentos vinculados ao Programa e, indiretamente, aos consumidores de energia elétrica.

Os 13 projetos aprovados foram propostos por sete empresas:

- i. Cemig Distribuição;
- ii. Eletronorte;
- iii. Furnas;
- iv. Itapebi Geração de Energia;
- v. Parnaíba II Geração de Energia;
- vi. Petrobrás; e
- vii. Rio Paraná Energia.

As propostas dos projetos foram direcionadas para uma grande diversidade de segmentos industriais, o que demonstra a importância que a indústria do H₂BC terá e reforça o papel estratégico do SEB como fornecedor do insumo essencial para a produção de hidrogênio. Os segmentos industriais contemplados pelos projetos são:

- i. Indústria siderúrgica;
- ii. Petroquímica;
- iii. Indústria alimentícia;
- iv. Indústria de fertilizantes;
- v. Papel e celulose; e
- vi. Mobilidade e uso compartilhado (*merchant*).

Por fim, deve-se mencionar que a Chamada Estratégica incorporou um conjunto de estudos sobre os impactos dos projetos no sistema elétrico, considerando uma visão específica do projeto proposto e a difusão da utilização para empregos semelhantes. Assim, dentre os principais benefícios verificados, se destacam:

- i. O crescimento dos sistemas de geração de energia renovável do sistema elétrico nacional, em função da demanda requerida pelo H₂BC, o que promove uma redução dos custos fixos do sistema por KWh consumido. Portanto, com os ganhos de escala e a otimização da operação dos ativos de geração e transmissão, o consumidor necessariamente será beneficiado;
- ii. Como benefício indireto, a expansão da produção de H₂BC pode promover a ampliação das oportunidades de emprego e renda, envolvendo empresas produtoras e consumidoras de hidrogênio, além de toda a cadeia de fornecedores de bens e serviços; e

- iii. O estímulo à descarbonização da matriz de produtos da economia como um todo, em especial daquelas atividades que envolvem grande quantidade de emissões de CO₂ e possuem dificuldade em eletrificar os seus processos. O ecossistema do H₂BC poderá representar uma contribuição expressiva do setor elétrico para a descarbonização e permitir a formulação de políticas públicas, com rebatimento industrial e grandes impactos no nível de competitividade da indústria e das exportações nacionais.

4- Competência e atribuições ANEEL em relação ao H₂BC

Em 2021, a Resolução CNPE nº 2/2021 estabeleceu orientações sobre pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor de energia brasileiro, indicando que a ANEEL e a ANP, no âmbito de suas competências, priorizassem a destinação dos recursos de PD&I para, dentre outros, hidrogênio. Neste sentido, a Chamada Estratégica de PD&I nº 023 da ANEEL se mostra aderente às diretrizes emanadas pelo CNPE, que visam promover iniciativas de inovação para o desenvolvimento estratégico da cadeia produtiva do H₂BC.

Um olhar atento ao edital da Chamada Estratégica nota que este reitera os impactos significativos do H₂BC no setor elétrico, buscando avaliar, dentre vários requisitos, como os projetos piloto poderão auxiliar na compreensão dos impactos em toda a cadeia de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, na adequação da tecnologia às condições de operação do SEB e no aprimoramento tecnológico do produto e derivados. Conforme previsto pela Chamada Estratégica:

“(...) do ponto de vista do setor elétrico, o hidrogênio de baixa emissão representa mais um elo na cadeia de tendências que impulsionam o crescimento da demanda por eletricidade, juntamente com a digitalização, a eletrificação dos usos finais e o incremento da eficiência energética. Como vetor energético, o hidrogênio tem a capacidade de conectar ao setor elétrico diversos setores da indústria e da economia que atualmente utilizam recursos não renováveis e emissores de gases de efeito estufa como fontes de energia e de matérias primas”.

Desta forma, estava bem definido que as externalidades e os impactos da indústria nascente do H₂BC sobre o SEB seriam positivos e construtivos em função dos seguintes aspectos:

- i. Aumento dos investimentos e da escala dos segmentos de geração, transmissão e distribuição;
- ii. Criação de novos modelos de negócio;
- iii. Ingresso de novos *players*;
- iv. Efeito em cascata sobre outras infraestruturas; e
- v. Geração de renda e emprego.

Esses vetores reafirmam e corroboram o estudo da EPE, PNE 2050, que prevê a ampliação da capacidade instalada de geração e da demanda de energia elétrica em todos os cenários de planejamento. No cenário “Desafio da Expansão”, é previsto um aumento de 3,3 vezes no consumo de energia elétrica, valor superior ao aumento de 2,2 vezes no consumo de energia final, o que implica em um significativo crescimento da participação relativa do setor elétrico no fluxo energético nacional.

Conclusão

De acordo com diversos estudos, conforme mencionado, as metas impostas e aderentes ao processo de transição energética só serão atingidas com o desenvolvimento do H₂BC. Deste modo, os principais países desenvolvidos e em desenvolvimento estão investindo recursos de PD&I em projetos-piloto, com o objetivo de criar as bases para essa nova cadeia produtiva.

O potencial que se apresenta para o Brasil se tornar um *player* mundial é muito consistente, em função de ser um país de dimensão continental, com clima tropical e a possibilidade de ampliar a sua capacidade produtiva das energias eólica e solar a custos competitivos. Configura-se, assim, um cenário muito favorável para o Brasil produzir H₂BC e viabilizar um processo de neo-industrialização verde, além de, mais à frente, ser um exportador de produtos verdes, inclusive os derivados do hidrogênio, como, por exemplo, a amônia verde.

Nestes termos, a decisão da ANEEL de abrir a Chamada Estratégica de PD&I n° 23 “Hidrogênio no Contexto do Setor Elétrico Brasileiro”, direcionada para projetos de H₂BC, está alinhada com a tendência mundial de uso do hidrogênio como um dos vetores centrais para o processo de transição energética, além de fortalecer as políticas públicas anunciadas e fomentadas pelo governo federal para o desenvolvimento do país.



Grupo de Estudos do Setor elétrico

Gesel

Toda a produção acadêmica e científica do GESEL está disponível no site do Grupo, que também mantém uma intensa relação com o setor através das redes sociais Facebook e Twitter.

Destaca-se ainda a publicação diária do IFE - Informativo Eletrônico do Setor Elétrico, editado deste 1998 e distribuído para mais de 10.000 usuários, onde são apresentados resumos das principais informações, estudos e dados sobre o setor elétrico do Brasil e exterior, podendo ser feita inscrição gratuita em <http://cadastro-ife.gesel.ie.ufrj.br>

GESEL – Destacado think tank do setor elétrico brasileiro, fundado em 1997, desenvolve estudos buscando contribuir com o aperfeiçoamento do modelo de estruturação e funcionamento do Setor Elétrico Brasileiro (SEB). Além das pesquisas, artigos acadêmicos, relatórios técnicos e livros – em grande parte associados a projetos realizados no âmbito do Programa de P&D da Aneel – ministra cursos de qualificação para as instituições e agentes do setor e realiza eventos – work shops, seminários, visitas e reuniões técnicas – no Brasil e no exterior. Ao nível acadêmico é responsável pela área de energia elétrica do Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento do Instituto de Economia (PPED) do Instituto de Economia da UFRJ

ISBN: 978-65-86614-98-5

SITE: gesel.ie.ufrj.br

LINKEDIN: [linkedin.com/company/gesel-grupo-de-estudos-do-setor-elétrico-ufrj](https://www.linkedin.com/company/gesel-grupo-de-estudos-do-setor-elétrico-ufrj)

INSTAGRAM: [instagram.com/geselufrj](https://www.instagram.com/geselufrj)

FACEBOOK: [facebook.com/geselufrj](https://www.facebook.com/geselufrj)

TWITTER: twitter.com/geselufrj



ENDEREÇO:

UFRJ - Instituto de Economia,
Campus da Praia Vermelha.

Av. Pasteur 250, sala 226 - Urca.
Rio de Janeiro, RJ - Brasil.
CEP: 22290-240