

A transição energética e o controle externo

O hidrogênio verde como vetor de descarbonização

Débora de Melo Cavalcante Martins

Dr. Nivalde J. de Castro

Coletânea de Pós-Graduação

Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação (CDR)

Volume 1



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO

MINISTROS

Bruno Dantas (Presidente)
Vital do Rêgo (Vice-Presidente)
Walton Alencar Rodrigues
Benjamin Zymler
Augusto Nardes
Aroldo Cedraz
Jorge Oliveira
Antonio Anastasia
Johnathan de Jesus

MINISTROS-SUBSTITUTOS

Augusto Sherman Cavalcanti
Marcos Bemquerer Costa
Weder de Oliveira

MINISTÉRIO PÚBLICO JUNTO AO TCU

Cristina Machado da Costa e Silva (Procuradora-Geral)
Lucas Rocha Furtado (Subprocurador-Geral)
Paulo Soares Bugarin (Subprocurador-Geral)
Marinus Eduardo de Vries Marsico (Procurador)
Júlio Marcelo de Oliveira (Procurador)
Sérgio Ricardo Costa Caribé (Procurador)
Rodrigo Medeiros de Lima (Procurador)



DIRETORA-GERAL

Ana Cristina Melo de Pontes Botelho

**DIRETORA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS,
PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS**

Flávia Lacerda Franco Melo Oliveira

**CHEFE DO DEPARTAMENTO
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS**

Clémens Soares dos Santos

CONSELHO ACADÊMICO

Maria Camila Ávila Dourado

Tiago Alves de Gouveia Lins e Dutra

Marcelo da Silva Sousa

Rafael Silveira e Silva

Pedro Paulo de Moraes

COORDENADOR ACADÊMICO

Leonardo Lopes Garcia

COORDENADORES PEDAGÓGICOS

Ana Carolina Dytz Fagundes de Moraes

Flávio Sposto Pompêo

Georges Marcel de Azeredo Silva

Marta Eliane Silveira da Costa Bissacot

COORDENADORA EXECUTIVA

Maria das Graças da Silva Duarte de Abreu

PROJETO GRÁFICO E CAPA

Núcleo de Comunicação – NCOM/ISC

A transição energética e o controle externo:

O hidrogênio verde como vetor de descarbonização

Débora de Melo Cavalcante Martins

Monografia de conclusão de curso submetida ao Instituto Serzedello Corrêa do Tribunal de Contas da União como requisito parcial para a obtenção do grau de especialista Controle da Desestatização e da Regulação.

Orientador:

Prof. Dr. Nivalde J. de Castro

Banca examinadora:

Sayonara Andrade Elizario

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARTINS, Débora de Melo Cavalcante. **A transição energética e o controle externo: o hidrogênio verde como vetor de descarbonização**. 2023. Monografia (Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação) – Instituto Serzedello Corrêa, Escola Superior do Tribunal de Contas da União, Brasília DF.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO(A) AUTOR(A): Débora de Melo Cavalcante Martins

TÍTULO: A transição energética e o controle externo

GRAU/ANO: Especialista/2023

É concedida ao Instituto Serzedello Corrêa (ISC) permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Conclusão de Curso somente para propósitos acadêmicos e científicos. Do mesmo modo, o ISC tem permissão para divulgar este documento em biblioteca virtual, em formato que permita o acesso via redes de comunicação e a reprodução de cópias, desde que protegida a integridade do conteúdo dessas cópias e proibido o acesso a partes isoladas desse conteúdo. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste documento pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Débora de Melo Cavalcante Martins
deboramc@tcu.gov.br

FICHA CATALOGRÁFICA

L131a MARTINS, Débora de Melo Cavalcante

A transição energética e o controle externo: o hidrogênio verde como vetor de descarbonização / Débora de Melo Cavalcante Martins. – Brasília: ISC/TCU, 2023.
(Monografia de Especialização)

1. Controle da Desestatização e da Regulação. 2. Tema 2. 3. Tema 3. I. Título.

CDU 02
CDD 020

A transição energética e o controle externo: O hidrogênio verde como vetor de descarbonização

Débora de Melo Cavalcante Martins

Trabalho de conclusão do curso de pós-graduação *lato sensu* em Controle da Desestatização e da Regulação realizado pelo Instituto Serzedello Corrêa como requisito para a obtenção do título de especialista em Controle da Desestatização e da Regulação.

Brasília, 13 de julho de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Nivalde J. de Castro, Dr.
Orientador
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof.^a Sayonara Andrade Elizariario, Dr.
Avaliador
Universidade Federal da Paraíba

Dedico esse trabalho aos meus filhos Mateus, Pedro e João e ao meu companheiro Rafael, os elementos que tornam minha vida abundante em sorrisos.

Agradecimentos

A Deus, pela minha saúde física e mental.

Ao meu marido Rafael, pelo apoio incondicional, incentivo contínuo, parceria diária e ininterrupta de quem sempre acreditou no meu potencial e torna meus dias mais leves.

Aos meus três pequenos, Mateus, Pedro e João, por serem motivação para o meu crescimento em todos os aspectos.

À minha mãe, minha principal rede de apoio aos finais de semana.

À minha chefe Arlene, e ao meu colega de trabalho, Leandro, que foram compreensíveis nos momentos que mais precisei.

Resumo

O hidrogênio é o elemento químico mais abundante no planeta e já é utilizado atualmente em diversos setores produtivos. Sua obtenção pode ser realizada por diferentes rotas, mas na maioria dos casos, o isolamento da molécula de H₂ se dá a partir de combustíveis fósseis. No contexto de transição energética, os países vêm assumindo compromissos, a exemplo da Agenda 2030 da ONU e do Acordo de Paris de 2015, com a finalidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a fim de mitigar as mudanças climáticas e consolidar o desenvolvimento sustentável. Nesse ponto, o hidrogênio verde se apresenta como um vetor energético sustentável com o potencial de substituir os combustíveis fósseis tradicionais e atender tais premissas, uma vez que sua produção requer o uso de fonte de energia renovável e o uso de água, com emissão zero de GEE. O Brasil, sendo um país que possui mais de 80% de sua matriz de geração elétrica renovável, pode se tornar líder no mercado mundial de produção de hidrogênio verde para fins de exportação, além de se posicionar como fornecedor de produtos verdes (fertilizantes, aço, amônia, combustíveis, dentre outros). No entanto, a implementação do hidrogênio verde na cadeia produtiva apresenta desafios significativos, incluindo o desenvolvimento de um marco regulatório que possibilite a segurança jurídica necessária para investimentos externos no Brasil. Assim, o objetivo principal desse estudo é analisar os principais desafios regulatórios atinentes à inserção do hidrogênio verde como vetor energético no Brasil e como o TCU pode atuar para incentivar a implantação de políticas públicas para viabilizar investimentos privados nessa nova economia, sem que o Brasil perca grandes oportunidades no mercado mundial. Para fins de comparação, e, a fim de traçar critérios de referência, utilizou-se o caso da Austrália como exemplo de Estratégia Nacional na inserção do hidrogênio verde em sua economia.

Palavras-chave: hidrogênio verde; transição energética; descarbonização.

Abstract

Abstract: Hydrogen is the most abundant chemical element on the planet and is currently being used in various productive sectors. Its production can be achieved through different routes, but in most cases, the isolation of H₂ molecules is derived from fossil fuels. In the context of energy transition, countries have been committing to reducing greenhouse gas emissions, as exemplified by the UN's Agenda 2030 and the 2015 Paris Agreement, aiming to mitigate climate change and promote sustainable development. In this regard, green hydrogen emerges as a sustainable energy carrier with the potential to replace traditional fossil fuels and meet these objectives, as its production requires the use of renewable energy sources and water, resulting in zero greenhouse gas emissions.

Brazil, with over 80% of its power generation matrix coming from renewable sources, has the potential to become a global leader in green hydrogen production for export

and position itself as a supplier of green products such as fertilizers, steel, ammonia, fuels, among others. However, the implementation of green hydrogen in the production chain presents significant challenges, including the development of a regulatory framework that ensures the necessary legal security for foreign investments in Brazil. Therefore, the main objective of this study is to analyze the key regulatory challenges related to the integration of green hydrogen as an energy carrier in Brazil and how the TCU (Court of Auditors) can encourage the implementation of public policies to facilitate private investments in this new economy, without Brazil missing out on major opportunities in the global market. For comparison purposes and to establish reference criteria, the case of Australia was used as an example of a successful National Strategy for the adoption of green hydrogen in its economy.

Keywords: green hydrogen; energy transition; decarbonization.

Lista de figuras

Figura 1 - Classificação da produção de hidrogênio em cores.	23
Figura 2 - Obtenção do H ₂ V via eletrólise da água.	24
Figura 3 - Estimativas de representatividade do Hidrogênio na matriz energética até 2050.	26
Figura 4 - Origem da produção de hidrogênio no mundo.	36
Figura 5 - Esquema de representação de rotas tecnológicas para obtenção do hidrogênio.	36
Figura 6 - Emissões de dióxidos de carbono no ciclo de vida do hidrogênio por rota tecnológica.	37
Figura 7 - Aplicações do H ₂ , forma, setor e estágio tecnológico no Brasil. ...	38
Figura 8 - Preço do H ₂ V produzido no Brasil será um dos mais competitivos internacionalmente.	40
Figura 9 - O H ₂ V como tecnologia Power-to-X.	41
Figura 10 - Países que adotaram estratégias nacionais para o hidrogênio desde 2021.	42
Figura 11 - Oportunidade associada à economia verde no Brasil até 2040.	44
Figura 12 - Evolução da composição da capacidade instalada total por fonte de energia elétrica.	46
Figura 13 - Projetos e investimentos confirmados no Brasil em H ₂ V em 15/6/2023.	48
Figura 14 - Painel elaborado pela EPE.	49
Figura 15 - Potencial de hidrogênio na América Latina.	51
Figura 16 - Pilares essenciais para o desenvolvimento da economia do hidrogênio.	60
Figura 17 - Eixos temáticos que compõem o PNH ₂	60
Figura 18 - Benefícios do H ₂ V no Rio Grande do Sul.	69
Figura 19 - Matrizes (a) energética e (b) elétrica da Austrália em 2020.	81
Figura 20 - Histórico de desenvolvimento da energia eólica e solar na Austrália.	81
Figura 21 - Potencialidade de geração solar fotovoltaica em regiões do interior brasileiro.	94

Lista de tabelas

Tabela 1 – Possibilidades de inserção de H2V na cadeia produtiva nacional.	45
Tabela 2 – Incentivos diversos para facilitar a inserção do H2 no setor de mobilidade e na indústria.	52
Tabela 3 - Histórico do estudo, desenvolvimento e diretrizes do hidrogênio no Brasil desde o ano de 1998.....	54
Tabela 4 – Propostas de lei em tramitação no Congresso Nacional para a regulação do Hidrogênio Verde.....	73
Tabela 5 – Movimentações no Congresso Nacional sobre a temática do hidrogênio verde desde 2021.....	76

Lista de abreviaturas e siglas

H2	Hidrogênio em qualquer estado
H2V	Hidrogênio verde
ER	Energia Renovável
CCUS	Captura, Armazenamento e Utilização do Carbono (Carbon Capture Utilisation and Storage)
GEE	Gases de Efeito Estufa
COP	Conference of the parties (Conferência do Clima das Nações Unidas)
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANA	Agência Nacional de Águas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
MME	Ministério de Minas e Energia
MDR	Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
PDE	Plano Decenal de Expansão Energética
PNE	Plano Nacional de Energia
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNH2	Programa Nacional do Hidrogênio
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
IEA	International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)
IRENA	International Renewable Energy Agency Agência Internacional de Energia Renovável
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos (MCTI)
GESEL	Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro

EPBR	Agência de notícia sobre energia e política energética
MoU	Memorandum of Understanding (Memorando de Entendimento)
FGV	Fundação Getúlio Vargas
CER	Clean Energy Regulator
CEBRI	Centro Brasileiro de Relações Internacionais
ABH2	Associação Brasileira de Hidrogênio
EUA	Estados Unidos da América
TCU	Tribunal de Contas da União
ANAO	Escritório Nacional de Auditoria da Austrália (Australian National Audit Office)
INTOSAI	Organização Internacional das Entidades Fiscalizadoras Superiores
ARENA	Agência Australiana de Energia Renovável

Sumário

1.	Introdução	17
2.	Problema e justificativa.....	21
3.	Objetivos	30
3.1.	Objetivo geral	30
3.2.	Objetivos específicos.....	30
4.	Metodologia	31
5.	Desenvolvimento	35
5.1.	A economia do Hidrogênio	35
5.1.1.	O papel do H2V no contexto da transição energética mundial	38
5.1.2.	O papel do H2V na transição energética brasileira	43
5.2.	Arcabouço regulatório brasileiro para uso do H2V	49
5.2.1.	Histórico do setor do hidrogênio no Brasil	53
5.2.2.	Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2).....	59
5.2.3.	Legislações estaduais.....	64
5.2.4.	Projetos de lei e Comissões Especiais no Congresso Nacional	73
5.3.	Experiência internacional – o caso da Austrália	80
5.3.1.	Australian National Audit Office (ANAO)	87
5.4.	Atuação do TCU frente aos desafios e oportunidades na implantação do H2V no Brasil	89
5.4.1.	Desafios para a implantação do marco regulatório para o H2V	90
5.4.2.	Possibilidades de atuação do TCU	97
6.	Conclusão	105
7.	Referências	107
	Anexo A – Título do anexo	Erro! Indicador não definido.

1. Introdução

O Estado brasileiro pode contribuir, via políticas públicas e inovações regulatórias, para a inserção do hidrogênio verde (H2V) na economia do país. Tal inserção se justifica pelo movimento global de descarbonização da matriz energética em um contexto em que se preza pelo cumprimento de acordos internacionais para redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e colaboração conjunta para reduzir os efeitos de mudanças climáticas, além da demanda urgente pela redução da dependência de combustíveis fósseis russos devido à Guerra da Ucrânia.

Por tais motivos, o H2V tem sido visto como o combustível do futuro, tendo em vista que possui o potencial de promover uma verdadeira revolução na capacidade industrial dos países mediante a geração de uma nova economia de hidrogênio. Nesse ponto, o Brasil demonstra grande potencial de contribuição, uma vez que a capacidade instalada de energias renováveis (ER) representa 85% da matriz elétrica; as ER são essenciais na obtenção do H2V, que é obtido por meio de eletrólise da água com o uso de energia elétrica provinda de fontes renováveis como a solar, eólica ou hídrica. A sua obtenção, portanto, é totalmente livre de geração de gases de efeito estufa (GEE).

Vale salientar que o hidrogênio (H2) é o elemento químico mais abundante no planeta, porém, dificilmente é encontrado livre e de forma natural. O isolamento do H2 atualmente é realizado por tecnologias que utilizam, na grande parte dos casos, rotas de produção a partir do gás natural ou do carvão, ou seja, com emissão associada de gás carbônico (CO2). O H2 é matéria-prima utilizada na indústria para produção de fertilizantes, metanol, amônia, nafta sintética; além disso, é amplamente utilizado no refino de petróleo, na indústria alimentícia e na siderúrgica. Outro uso do H2 é com finalidade energética, sendo combustível sintético para carros, navios e aviões, além de gerar energia em indústrias energointensivas e eletricidade (podendo haver armazenamento).

Considerando esse contexto, o presente trabalho é dividido em sete tópicos: introdução; problema e justificativa; objetivos (geral e específico); metodologia utilizada; desenvolvimento; conclusão, e por fim, as referências bibliográficas. O desenvolvimento está subdividido em quatro subtópicos: A economia do Hidrogênio;

Arcabouço regulatório brasileiro para uso do H2V; Experiência internacional – o caso da Austrália .

Como estudo de caso, foram analisadas as inovações regulatórias realizadas pela Austrália, país que possui forte crescimento de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis (estima-se que atinja 69% da matriz elétrica em 2030), além de objetivos explícitos para se tornar um importante *player* mundial na área.

A economia do Hidrogênio é explorada no tópico 5.1 deste trabalho de forma a demonstrar qual volume de H2 utilizado no mundo, as consequências da produção de H2 atualmente a partir de fontes fósseis (em termos de emissão de GEE), os usos principais do H2 e suas rotas de obtenção. Além disso, expõem-se os países que estão engajados em modificar esse cenário a partir de estratégias nacionais para obtenção de hidrogênio verde e de baixo carbono e de hidrogênio verde.

Nesse passo, o subtópico 5.1.1 aborda “O papel do H2V no contexto da transição energética mundial”, de forma a demonstrar como o H2V é um vetor energético que permitirá a transformação do modelo energético atual para uma matriz com utilização plena de fontes de energia renováveis. Ademais, trata de custos comparativos mundiais para o H2, o desenvolvimento de um novo mercado de hidrogênio (uso em indústrias de difícil descarbonização), criação de soluções *Power-to-X*¹ para aviação, transportes e produtos químicos, manutenção da segurança energética e confiabilidade do sistema e as iniciativas internacionais para garantir a inserção de H2V como insumo/combustível na cadeia produtiva (licitação alemã H2Global, o *REPowerEU*² da União Europeia e o *Inflation Reduction Act*³ dos Estados Unidos).

Em seguida, no subtópico 5.1.2, discorre-se sobre O papel do H2V na transição energética brasileira, em especial considerando que a matriz de geração elétrica

¹ Power-to-X (PtX) está relacionado ao processo de conversão de energia elétrica (*power*) para um outro vetor energético (X), normalmente hidrogênio ou seus carreadores, a partir da eletrólise da água. No contexto da transição energética, esses processos de conversão de energia ganharam importância em países onde há um crescimento de uso de fontes renováveis intermitentes e uma baixa interligação do sistema elétrico. Nesse sentido, o PtX é uma solução para armazenar e transportar a eletricidade convertida em hidrogênio para diversas regiões desprovidas de suprimento de fontes de energia renovável intermitente (GIZ, 2023)

² REPowerEU é um plano da Comissão Europeia para reduzir rapidamente a dependência de combustíveis fósseis russos até 2027, o que exigirá uma expansão significativa das parcelas de energia renovável nos setores de eletricidade, transporte e aquecimento (IEA, 2022b)

³ Em 16 de agosto de 2022, o Presidente Biden assinou o Ato de Redução da Inflação, tornando-se a ação mais significativa tomada pelo Congresso em relação à energia limpa e às mudanças climáticas na história do país. Os investimentos de \$370 bilhões do Ato de Redução da Inflação reduzirão os custos de energia para famílias e pequenas empresas, acelerarão o investimento privado em soluções de energia limpa em todos os setores da economia e em todas as regiões do país, fortalecerão as cadeias de suprimentos desde minerais críticos até eletrodomésticos eficientes em termos de energia, e criarão empregos bem remunerados e novas oportunidades econômicas para os trabalhadores (“Inflation Reduction Act Guidebook”, 2022)

brasileira altamente renovável é capaz de tornar o custo do H2V internacionalmente competitivo. Ademais, considerando a alta possibilidade de sobretaxação de produtos importados com alta pegada de carbono por parte da União Europeia (*Carbon Border Adjustment*), a inserção do H2V na cadeia produtiva brasileira apresenta o potencial de tornar a indústria nacional mais competitiva, além de promover a descarbonização dos processos industriais brasileiros e a aderência aos acordos de cooperação internacional para a redução da emissão de GEE.

Esse subtópico também abrange informações sobre os projetos e investimentos existentes para produção de H2V no Brasil e os impactos socioeconômicos advindos.

O subtópico 5.2 trata do Arcabouço regulatório brasileiro para uso do H2V. Inicia-se o assunto trazendo informações sobre o que constituem as estratégias nacionais dos países para a inserção do hidrogênio verde na economia e as medidas de incentivo para tal incorporação.

O subtópico 5.2.1 trata do Histórico do setor do hidrogênio no Brasil, que se inicia desde 1988 até os dias atuais.

O subtópico 5.2.2 trata do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), seus pilares e eixos temáticos além de trazer uma visão crítica sobre o Plano de Trabalho Trienal 2023-2025 do PNH2, cuja consulta pública foi realizada embora o plano ainda não tenha sido publicado com as contribuições recebidas.

O subtópico 5.2.3 apresenta as Legislações estaduais em vigor sobre o H2V, em especial relacionadas aos estados da Bahia, Ceará, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Goiás, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro e Paraná.

O subtópico 5.2.4 trata dos Projetos de lei no Congresso Nacional, bem como outras iniciativas ocorridas desde 2021 que demonstram a movimentação do Poder Legislativo para regulamentar as políticas públicas de inserção do H2V no setor de energia.

O tópico 5.3 traz a “Experiência internacional – o caso da Austrália” de forma a mostrar o que tem sido implementado pelo país para fins de regulamentação, haja vista a sua similaridade com o Brasil do ponto de vista da capacidade de geração de energia elétrica renovável (ponto chave na geração do H2V).

O tópico 5.3.1 trata da atuação da Controladoria existente na Austrália, denominado “Australian National Audit Office (ANAO).

O tópico 5.3.1 trata possibilidades de Australian National Audit Office (ANAO)

Considerando que o presente trabalho possui como um dos objetivos analisar quais podem ser as possíveis atuações da Corte de Contas brasileira frente à implantação de políticas públicas para a inserção do hidrogênio verde na economia brasileira, verificou-se como se dá a atuação da Controladoria existente na Austrália, denominado “Australian National Audit Office (ANAO).

O ANAO desempenha um papel crucial no apoio à responsabilidade e transparência no setor do governo australiano, operando de forma independente e reporta diretamente ao Parlamento. O objetivo do ANAO é contribuir para a melhoria do desempenho do setor público por meio de relatórios independentes, opiniões e assistência por meio de diversos meios, incluindo apresentações, informações e aparições perante parlamentares e comitês (ANAO, 2023).

Anualmente, o ANAO publica um programa de trabalho de auditoria que define sua cobertura planejada de auditoria para o setor do governo australiano. O programa é desenvolvido com a colaboração do Parlamento, das entidades do governo e das partes interessadas, e é projetado para abordar os riscos e desafios atuais e emergentes na administração pública (ANAO, 2023)..

O trabalho do ANAO é regido por requisitos legais relevantes e normas de auditoria, incluindo as Normas de Auditoria do ANAO, que incorporam tanto as normas de auditoria australianas quanto os requisitos-chave das Normas Internacionais de Entidades Fiscalizadoras Superiores (ISSAI). Essas normas visam fornecer um nível razoável de garantia em auditorias de desempenho e auditorias de demonstrações financeiras (ANAO, 2023).

O ANAO é membro da Organização Internacional das Entidades Fiscalizadoras Superiores (INTOSAI), que também é presidida pelo Ministro Presidente do TCU, Bruno Dantas. A INTOSAI é uma organização autônoma, independente e não política. Sua natureza não governamental lhe permite ter status consultivo especial junto ao Conselho Econômico e Social (ECOSOC) das Nações Unidas. Os princípios fundamentais que regem a INTOSAI estão consolidados na Declaração de Lima sobre Diretrizes para Preceitos de Auditoria adotada em outubro de 1977, na IX INCOSAI realizada em Lima (Peru). Dentre seus objetivos encontram-se a promoção do desenvolvimento permanente e transferência de conhecimento, aperfeiçoamento da auditoria governamental de maneira global e incremento das capacidades profissionais, além de ser um norteador para as ISC em seus respectivos países para o bom controle de gastos públicos (TCU, 2023).

Sobre a atuação do ANAO frente às iniciativas relacionadas ao H2V, verificou-se que foi realizada auditoria em 2020 (Relatório nº. 26 2020–21) avaliar a eficácia da seleção, contratação e gestão contínua de investimentos pela Corporação de Financiamento de Energia Limpa (CEFC) e em que medida a CEFC está cumprindo seu objetivo estabelecido por lei cujo propósito é facilitar o aumento dos fluxos de financiamento no setor de energia limpa (ANAO, 2020).

De acordo com o relatório, a CEFC possui duas plataformas de negócios principais: investimentos diretos e indiretos. Os investimentos diretos incluem financiamento de projetos para geração de eletricidade por fontes de energia renovável (por exemplo, fazendas solares de grande escala, parques eólicos, confiabilidade da rede, energia a partir de resíduos, baterias de armazenamento e hidrogênio); empréstimos corporativos para eficiência energética, baixas emissões e investimentos em energia solar de pequena escala como partes de projetos maiores (por exemplo, propriedades comerciais e residenciais, infraestrutura e transporte, manufatura e indústria, setores agrícolas e varejo (ANAO, 2020).

Na época, mudanças no Mandato de Investimento incluíram requisitos para a CEFC disponibilizar até \$300 milhões em financiamento concessionário para o Fundo de Avanço de Hidrogênio para apoiar o crescimento de uma indústria de hidrogênio limpa, inovadora, segura e competitiva na Austrália (ANAO, 2020).

Dentre as conclusões alcançadas, o relatório destacou que a CEFC cumpriu em grande parte seu objetivo estabelecido por lei de facilitar o aumento dos fluxos de financiamento no setor de energia limpa, em conformidade com os requisitos legais e orientações; contudo, há necessidade de o documento de política da CEFC incluir mais detalhes sobre suas políticas ambientais, sociais e de governança e comparar seu desempenho em termos de resultados de energia limpa e alavancagem com um ou mais outros bancos verdes (ANAO, 2020).

No relatório do ANAO de 2020 não há, todavia, maiores especificidades atinentes à estratégia nacional do hidrogênio na Austrália.

Em 2020, o ANAO também realizou auditoria sobre a Gestão do Programa de Subsídios pela Agência Australiana de Energia Renovável – ARENA (Relatório No.35 2019-20). O ANAO determinou que era importante fornecer ao Parlamento garantias sobre a eficácia da gestão de subsídios da ARENA na consecução de seu objetivo estabelecido por lei. O relatório recomenda que a ARENA melhore seu quadro de

medição de desempenho e métricas de avaliação para fornecer uma base confiável para demonstrar que a agência está alcançando seus objetivos (ARENA, 2020).

Em conformidade com a recomendação do ANAO de tornar mais avaliações públicas, a ARENA recentemente publicou as conclusões de uma avaliação completa da ARENA realizada pela Ernst & Young em novembro de 2019. A EY afirmou que, dadas as constatações das pesquisas de stakeholders, avaliações de programas e fundos, há evidências suficientes para concluir que, sem o apoio da ARENA, esses projetos talvez não tivessem sido tão bem-sucedidos e que os níveis de investimento em energia renovável na Austrália provavelmente seriam menores. Eles também constataram que as atividades da ARENA contribuíram para um aumento no fornecimento e na diversidade do suprimento de energia renovável da Austrália, uma diminuição no custo da energia renovável e uma redução nas emissões geradas pela eletricidade (ARENA, 2020).

A ARENA trabalhou para apoiar mais de 500 projetos, incluindo pesquisa e demonstração de energia renovável e implantação de novas tecnologias desde que foi criada em 2012 (ARENA, 2020).

No Relatório do ANAO, intitulado Grant Program Management by the Australian Renewable Energy Agency (Relatório No.35 2019-20) também não há menção à implementação da estratégia nacional do hidrogênio da Austrália.

Atuação do TCU frente aos desafios e oportunidades na implantação do H2V no Brasil, com o objetivo de avaliar como o TCU pode atuar como incentivador para a criação do marco regulatório do H2V considerando os desafios postos.

2. Problema e justificativa

O mundo atual enfrenta uma grave crise econômica e energética em função do aquecimento global, que vem causando mudanças climáticas tais como temperaturas extremas e chuvas excessivas.

De acordo com relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2023), as atividades humanas que contribuem com a emissão de gases de efeito estufa ocasionaram um aumento 1,1°C maior no período entre 2011-2020 em relação ao período de 1850-1900 (IPCC, 2023). As emissões globais de gases de efeito estufa continuaram a aumentar, com contribuições históricas e contínuas desiguais decorrentes do uso insustentável de energia, do uso da terra, dos estilos de vida e padrões de consumo e produção em diferentes regiões, entre e dentro dos países, e entre os indivíduos.

O aumento de temperatura a níveis globais pode resultar na extinção de espécies, alteração no regime de chuvas, aumento da frequência de eventos extremos, derretimento das camadas de gelo e diminuição da produtividade agrícola. Todos os caminhos modelados globalmente que limitam o aquecimento a 1,5°C (mais de 50%) sem ultrapassagens significativas, bem como aqueles que limitam o aquecimento a 2°C (mais de 67%), envolvem reduções rápidas, profundas e, na maioria dos casos, imediatas das emissões de gases de efeito estufa em todos os setores nesta década. As emissões líquidas globais de CO₂ atingem zero para essas categorias de caminhos, no início da década de 2050 e aproximadamente no início da década de 2070, respectivamente (IPCC, 2023).

Nesse contexto, existem diversas iniciativas em busca da maior sustentabilidade ambiental, visando alcançar a neutralidade de carbono, ou seja, a emissão líquida nula de GEE no horizonte de 2050.

O enfrentamento direto e decisivo só será possível com ações e políticas direcionadas à transição energética. Esse processo de transição impõe uma evolução da matriz energética mundial, ou seja, a mudança do modelo de produção, distribuição e consumo de energia que hoje tem predomínio de uso de recursos fósseis (carvão, petróleo e gás), para uma matriz em que prevaleça o uso de recursos renováveis a fim de reduzir a emissão de GEE. (CASTRO; BRANDÃO; AQUINO, 2021)

A transição energética é uma resposta global e urgente às mudanças climáticas, que impactam todas as espécies do planeta. Ela teve início com a Eco-92, também conhecida como II Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, e foi impulsionada pelo Protocolo de Kyoto em 1997. O Protocolo estabeleceu metas rigorosas e um cronograma para redução das emissões de gases de efeito estufa, com foco nos países desenvolvidos. A meta era reduzir as emissões em 5,2% em relação aos níveis de 1990 durante o período de 2008 a 2012. Em 2015, os países membros da ONU adotaram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Agenda 2030, visando garantir a sustentabilidade a longo prazo e atender às necessidades das gerações futuras. A transição energética é um tema transversal presente em cinco dos ODS (BALDISSERA, 2023):

- ODS 7: Energia acessível e limpa;
- ODS 9: Indústrias, inovação e infraestrutura;
- ODS 11: Cidades e comunidades sustentáveis;
- ODS 12: Consumo e produção responsáveis;
- ODS 13: Combate às alterações climáticas.

No Acordo de Paris, 195 países se comprometeram a limitar o aumento da temperatura global em até 2°C em 2050. O acordo prevê a redução do uso de combustíveis fósseis, o combate ao desmatamento e o estabelecimento de medidas para promover a sustentabilidade econômica (BALDISSERA, 2023).

No cenário brasileiro, ressalta-se que, além de ser signatário do Acordo de Paris, o Brasil é signatário da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) para a implementação dos 17 ODS, ambos acordos na temática de atuar em aliança global em prol do clima e do desenvolvimento sustentável. Além disso, a Estratégia Federal de Desenvolvimento, com horizonte de 2020-2031, estabelecida pelo Decreto 10.531/2020, explicita como um dos desafios a "implementação de políticas, ações e medidas para o enfrentamento da mudança do clima e dos seus efeitos, fomentando uma economia resiliente e de baixo carbono".

As estratégias em prol da transição energética centram-se em três D's: descarbonização, descentralização e digitalização. No contexto brasileiro, ainda é preciso incluir mais dois D's: desenho de mercado e democratização. Essas estratégias estão orientando e direcionando, via acordos internacionais, políticas

públicas, programas aceleradores de investimento e ações regulatórias nos diversos países, em especial na Europa, dado o grau de dependência de recursos energéticos não renováveis importados.

No âmbito do continente europeu, é de se ressaltar que a transição energética foi impactada diretamente pela crise geopolítica e energética derivada da Guerra entre Rússia e Ucrânia. Sendo a Rússia um dos principais produtores mundiais de petróleo e gás natural, os impactos sobre a segurança energética e preços dessas duas *commodities* implicaram a expansão térmica e obrigaram os países a utilizarem outras fontes de energia com preço menos volátil, acarretando alterações na estratégia dos países para a transição energética.

Desse modo, especificamente quanto ao vetor central, a descarbonização que visa o alcance da neutralidade das emissões de GEE até 2050 (Acordo de Paris), diversas instituições de pesquisa, como a *International Energy Agency* (IEA) e a *International Renewable Energy Agency* (IRENA) têm projetado cenários que indicam a expansão da capacidade produtiva baseada no uso do hidrogênio verde, que se tornará a futura *commodity* mundial energética em substituição ao barril de petróleo atual (CASTRO; BRANDÃO; AQUINO, 2021).

Nesse ponto, cabe definir o que seria o hidrogênio verde.

Primeiramente, salienta-se que o hidrogênio (H₂) é a molécula mais abundante no universo e o terceiro mais encontrado na superfície da Terra; contudo, praticamente não existe na forma molecular pura e sim combinada com outros elementos. O H₂ é assim um vetor energético (ou “*energy carrier*”) e, para sua obtenção, é necessário consumir uma ou mais fontes primárias de energia (VIEGAS, 2021).

Ademais, de acordo com o modo de produção do gás hidrogênio, pode-se classificá-lo em cores conforme a estratégia “hidrogênio arco-íris” da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), resumida na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo (CASTRO et al., 2021)

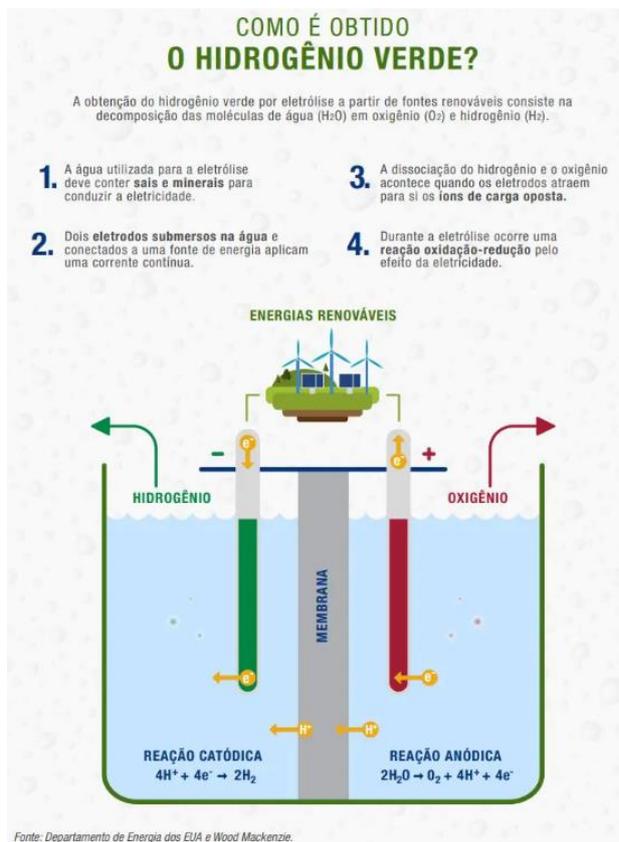
Figura 1 - Classificação da produção de hidrogênio em cores.

Cor	Classificação	Descrição
■	Hidrogênio Preto	Produzido por gaseificação do carvão mineral (antracito), sem CCUS
■	Hidrogênio Marrom	Produzido por gaseificação do carvão mineral (hulha), sem CCUS
■	Hidrogênio Cinza	Produzido por reforma a vapor do gás natural, sem CCUS
■	Hidrogênio Azul	Produzido por reforma a vapor do gás natural (eventualmente, também de outros combustíveis fósseis), com CCUS
■	Hidrogênio Verde	Produzido via eletrólise da água com energia de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar).
■	Hidrogênio Branco	Produzido por extração de hidrogênio natural ou geológico
■	Hidrogênio Turquesa	Produzido por pirólise do metano, sem gerar CO ₂
■	Hidrogênio Musgo	Produzido por reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS
■	Hidrogênio Rosa	Produzido com fonte de energia nuclear

Fonte: EPE, 2021.

A obtenção do hidrogênio via eletrólise da água consiste na decomposição da molécula de água (H₂O) por meio de uma corrente elétrica, sendo um processo antigo e que era realizado com uso de energia proveniente de combustíveis fósseis. O hidrogênio será considerado verde se a energia utilizada na eletrólise da água for proveniente de fontes renováveis (como a solar, a eólica, a hídrica). A seguir, ilustra-se por meio de um infográfico (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) como se dá a produção de H₂V:

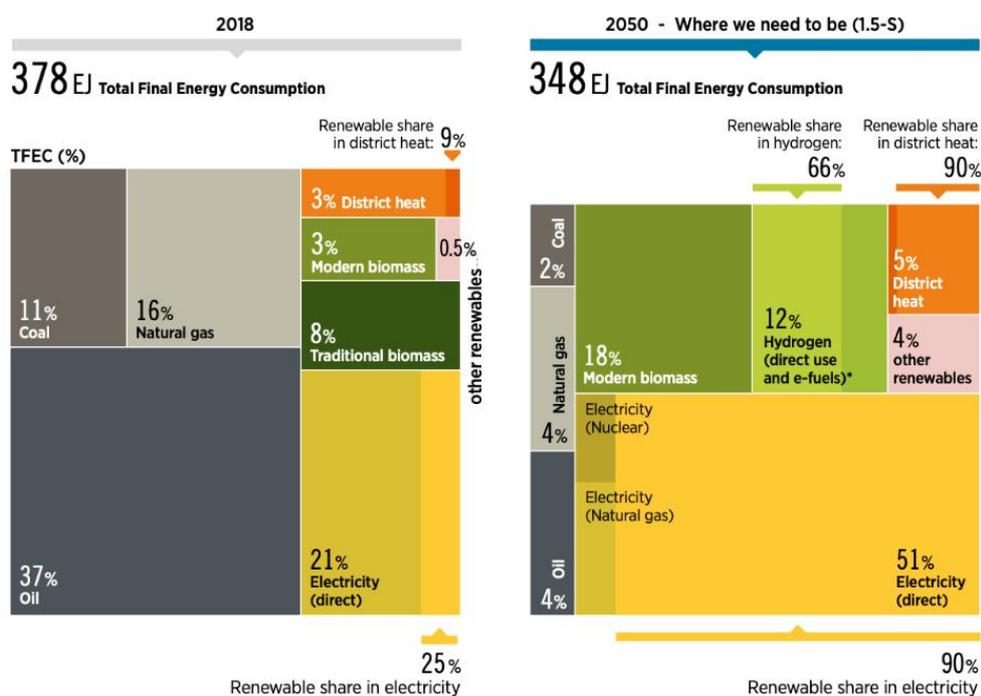
Figura 2 - Obtenção do H₂V via eletrólise da água.



Fonte: **COMPOSTCHEIRA, 2023.**

Estimativas da IRENA (apud WORLD ECONOMIC FORUM, 2022) mostram que o hidrogênio (H₂) e seus derivados representarão 12% da energia final de consumo até 2050 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), sendo cerca de 66% proveniente de energia renovável (hidrogênio verde ou H₂V) e 33% advinda de combustível fóssil com captura de carbono (hidrogênio azul).

Figura 3 - Estimativas de representatividade do Hidrogênio na matriz energética até 2050.



Fonte: WORD ECONOMIC FORUM, 2022.

Nesse contexto da descarbonização, o hidrogênio verde possui alta versatilidade de aplicação, podendo operar em importantes setores. De acordo com a Nota Técnica da EPE intitulada “Bases para a consolidação da estratégia brasileira do hidrogênio”, além dos mercados já tradicionais de fertilizantes, refino e outros usos (gases industriais e hospitalares), novos mercados para o hidrogênio poderão ser desenvolvidos nos segmentos de transporte, geração elétrica, armazenamento de energia e processos industriais, entre outros. A depender de seu processo de produção, o hidrogênio pode ser utilizado diretamente como fonte de energia com baixa ou nenhuma emissão de carbono e como vetor para armazenamento de energia, viabilizando maior entrada de fontes renováveis, como a eólica e a solar, na matriz energética mundial. Nesse sentido, o hidrogênio é visto como um recurso com capacidade de promover o acoplamento dos mercados de combustíveis, elétrico, industrial e outros. (FERREIRA et al., 2021)

No que tange à produção de hidrogênio verde (H2V), segundo DELGADO; COSTA, (2021), o Brasil desponta pela existência de vantagens competitivas ímpares no desenvolvimento da indústria do H2V em razão de sete fatores, dentre os quais se destacam os seguintes três fatores:

a) O Brasil tem elevado potencial de fontes renováveis eólica e solar, superior a 1.300 GW, segundo dados da EPE. Em termos comparativos, de acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a capacidade instalada total do Brasil, hoje, é de 172 GW, sendo 20 GW de energia eólica e 4,5 GW de energia solar. Essas dimensões evidenciam condições excepcionais em termos de custos da energia elétrica garantindo produção do H2V competitiva em comparação ao resto mundo, dado que a energia elétrica representa cerca de 70% do custo de produção do H2V na tecnologia da eletrólise, a rota mais consistente;

b) O modelo regulatório e econômico brasileiro favorece a contratação de novas plantas produtoras de energia elétrica, baseado em leilões para novos investimentos no mercado cativo (sempre competitivos) e no aumento de contratos bilaterais no mercado livre como forma consistente de contratação de energia renovável a custos competitivos. Isso também é demonstrado pela atuação, no Brasil, de grandes grupos econômicos mundiais (Engie, EDP, Enel, State Grid e Iberdrola) e nacionais (Energisa, Equatorial, Cemig, Copel e Celesc) que podem contribuir com suas visões estratégicas e capacidades empresarial e financeira para investir na criação da cadeia de valor da indústria do hidrogênio verde;

c) O Brasil dispõe de portos oceânicos que facilitariam a rota de exportação do H2V a outros países. Recentemente, conforme publicação do Observatório do Hidrogênio do Gesel nº 5, de janeiro de 2022 (GESEL, 2022a), foram divulgados Memorandos de Entendimento propondo investimentos vultosos no desenvolvimento da economia do hidrogênio no Brasil, sendo a grande maioria para o Porto de Pecém no Ceará, no Polo Industrial de Camaçari, na Bahia, no Porto do Açu (RJ), no Porto Suape (PE), bem como no estado do Rio Grande do Norte.

Desse modo, segundo DELGADO; COSTA, (2021), é possível constatar que, num contexto de transição energética e de ampla disponibilidade de fontes renováveis no Brasil, a implantação eficiente da produção de hidrogênio verde irá depender do adequado apoio de instituições de Estado para avançar.

Em 2020, a IRENA definiu os estágios da política do hidrogênio verde em três. O terceiro estágio apenas seria atingido com medidas regulatórias eficazes, como financiamentos estatais e políticas públicas. Assim, um arcabouço regulatório bem desenvolvido leva à maturidade da cadeia de valor do hidrogênio (GESEL, 2022b).

Porém, diferentemente de outros países, o Brasil ainda não possui, até o momento, uma estratégia específica para regulação, produção, consumo, transporte

e estocagem e inclusive, exportação, que possibilite a incorporação do hidrogênio no planejamento energético e na matriz energética brasileira.

Destarte, reitera-se que os esforços governamentais regulatórios e de financiamento são essenciais para o desenvolvimento do mercado do hidrogênio.

Assim, diante da importância da temática no contexto da descarbonização energética brasileira, uma questão relevante, foco analítico deste trabalho é: como o Estado brasileiro pode contribuir, via políticas públicas e inovações regulatórias para a inserção do H₂V na economia do país. E para fins comparativos, traz-se como estudo de caso a Austrália, país que possui estrutura regulatória avançada e publicou uma das primeiras estratégias nacionais de hidrogênio (CASTRO et al., 2022b). De forma constante, o país anuncia financiamentos estatais para projetos na área, dentre os quais se destaca o Hydrogen Energy Supply Chain (HESC), que é o projeto mais avançado e escalável da Austrália e o primeiro do mundo a produzir, liquefazer e transportar hidrogênio líquido por mar para um mercado internacional.

Em abril de 2022, o governo australiano confirmou a alocação de US\$ 288 milhões para hubs de hidrogênio na Tasmânia e Austrália do Sul. Na Tasmânia, por exemplo, a área inclui uma zona fabril avançada, acesso a energias renováveis, infraestrutura adequada, disponibilidade de água, além do acesso portuário para exportação do transportador de energia limpa. A inserção do hub poderá permitir a rápida expansão da indústria de hidrogênio da Tasmânia e que a área se torne uma região líder no mercado de hidrogênio australiano. De acordo com o governo liberal da Tasmânia, a ilha também está liderando vários setores relacionados a tecnologias renováveis no país, incluindo a produção de hidrogênio verde e sua integração. (LY, 2022)

Em maio de 2022, a Sunshine Hydro, desenvolvedora de um projeto inovador de hidrogênio, revelou que o primeiro projeto SuperHybrid™ do mundo está planejado para Gladstone, no centro de Queensland, com um investimento de US\$ 2 bilhões. O projeto SuperHybrid faz a integração de energia renovável, armazenamento e infraestrutura de hidrogênio verde e será implantado na Zona de Energia Renovável Central de Queensland (REZ). Uma vez totalmente operacional, o local fornecerá 65 toneladas de hidrogênio verde por dia a preços competitivos, para transporte e indústria local, bem como 220 MW de energia verde, 365 dias por ano, durante as 24h do dia. Este é o primeiro de três projetos SuperHybrid de tamanho semelhante que a

Sunshine Hydro e seus parceiros estão desenvolvendo na região central de Queensland (HYDRO; QUEENSLAND, 2022)

Assim, considerando que o hidrogênio verde tende a se tornar fonte de energia importante no Brasil, o seu fornecimento, comercialização, e regulação se revestirá como a prestação de serviço e instalação de energia elétrica e de petróleo/gás natural, cuja competência para exploração é privativa da União conforme art. 21 da Constituição Federal. Assim, aos agentes de Controle Externo (Congresso Nacional e TCU) cabe não só fiscalizar como também induzir e estimular que atos do poder público inerentes ao fornecimento e à prestação de serviço deste novo recurso energético seja explorado mediante concessão ou permissão, conforme competência constitucional do art. 71.

Os beneficiários deste trabalho são:

O TCU, no sentido de possibilitar uma proposta de estratégia de atuação e estímulo ao desenvolvimento desta indústria nascente;

O Congresso Nacional que poderá ter insumos para sua atuação e até para o aprimoramento do projeto de lei em andamento;

O Governo Federal, em especial quanto a possíveis visões críticas relativamente aos planos já adotados frente à experiência internacional; e,

A sociedade brasileira, que poderá desfrutar da inserção de mais uma fonte de energia não poluidora na matriz energética.

3. Objetivos

3.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar os principais desafios regulatórios atinentes à inserção do hidrogênio verde como vetor energético no Brasil e como o TCU, órgão auxiliar ao Controle Externo exercido pelo Congresso Nacional, pode ser um incentivador e catalisador para minimizar e reduzir as incertezas das políticas públicas para viabilizar os investimentos privados nesta nova economia, os quais serão a base do financiamento da indústria do H2V no Brasil.

Ressalta-se que o escopo do projeto envolverá, portanto, a pesquisa acerca dos principais desafios regulatórios para a inserção do hidrogênio verde na matriz energética brasileira. A análise acerca das formas de produção, fornecimento, armazenamento do H2V, distribuição e uso final como combustível em meios de transporte estão fora do escopo dessa pesquisa.

3.2. Objetivos específicos

Ao nível do objetivo específico, pretende-se analisar o papel do Controle Externo como um agente de Estado incentivador na implantação de políticas públicas e na viabilização da inserção do H2V na matriz, a partir do estudo de caso das inovações regulatórias realizadas na Austrália.

Ao nível de objetivo específico, pretende-se trazer a experiência da Austrália como referência no campo das inovações regulatórias, a fim de se traçar critérios e referências.

4. Metodologia

Foi empregada a revisão bibliográfica como principal método de investigação, que consiste em uma análise sistemática e crítica de estudos e literatura científica relevantes ao tema de pesquisa. Por meio dessa abordagem, foi possível identificar, selecionar e analisar de maneira minuciosa os principais trabalhos teóricos e empíricos disponíveis sobre o assunto em questão. A revisão bibliográfica desempenhou um papel fundamental na obtenção de uma visão aprofundada do estado atual do conhecimento na área, permitindo a construção de uma fundamentação teórica sólida e embasada em evidências científicas confiáveis.

As principais fontes consultadas foram:

i) Informativos setoriais do Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (GESEL/UFRJ): O IFE H2 pode ser encontrado no endereço eletrônico <https://geselifes.com/> e é dedicado a notícias sobre o Hidrogênio e oferece informações detalhadas por meio do acompanhamento de periódicos brasileiros e internacionais, e sobre como a produção acadêmica envolvendo o assunto. Assim, os informativos abrangem documentação acerca das políticas públicas e financiamentos para a implantação da indústria do hidrogênio verde em diversos países, como Alemanha, Austrália, e Egito, além de contemplar a situação atual do desenvolvimento de projetos de hidrogênio no mundo e artigos com estudos de caso. Ademais, traz informações acerca da realização de eventos sobre o hidrogênio verde no mundo, possibilitando acesso às discussões mais recentes sobre o tema;

ii) Relatórios do Observatório de Hidrogênio do Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (GESEL/UFRJ): os relatórios são publicados mensalmente no endereço eletrônico <http://www.gesel.ie.ufrj.br/index.php/Publications/index/3> e apresentam estudo analítico do acompanhamento sistemático do setor, atentando para as principais políticas públicas, diretrizes, projetos, inovações tecnológicas e regulatórias de toda cadeia de valor do hidrogênio. O primeiro relatório data de julho de 2021 e o último (Observatório de Hidrogênio), data de maio de 2022;

iii) Publicações da Consultoria Legislativa do Senado Federal e da Câmara dos Deputados: artigos que subsidiam as propostas em tramitação no Congresso Nacional, em especial, considerando o andamento do Projeto de Lei PL 757/2022 para

disciplinar a inserção do hidrogênio como fonte de energia no Brasil bem como estabelecer parâmetros de incentivo ao uso do hidrogênio produzido com uso de fontes de energia renováveis;

iv) Informações do *Hydrogen Energy Network (HyENet)*: a plataforma da Comissão de Energia Europeia para contempla o compartilhamento de informações e boas práticas com a intenção de auxiliar as autoridades dos países da União Europeia na construção de oportunidades oferecidas pelo hidrogênio como fonte de energia. A plataforma consta do seguinte endereço eletrônico: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-system-integration/hydrogen_en;

v) Publicações do *European Clean Hydrogen Alliance*: a aliança é parte do esforço da União Europeia para acelerar a descarbonização da indústria, em linha com os objetivos de mudanças climáticas. Os relatórios dos encontros dos membros da referida aliança são encontrados no endereço eletrônico: https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/industrial-alliances/european-clean-hydrogen-alliance_en;

vi) Portal Hidrogênio Verde (Aliança Brasil-Alemanha): o portal constante do endereço eletrônico <https://www.h2verdebrasil.com.br/> é uma fonte de informação sobre o H2V, além de “local de reunião das principais partes interessadas, como governos, indústrias, universidades e organizações não governamentais para facilitar o desenvolvimento de projetos de alto alcance em hidrogênio verde e tecnologias”. O conteúdo exposto é resultado de ações de cooperação entre a Aliança Brasil Alemanha para o Hidrogênio Verde e a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ)*, Agência Alemã de Cooperação Internacional;

viii) Publicações da *International Renewable Energy Agency (IRENA)*: a agência é uma organização intergovernamental que apoia países em sua transição para um futuro de energia sustentável, sendo a principal plataforma para a cooperação internacional e um repositório de informações sobre energias renováveis (sítio: <https://www.irena.org/publications>). A IRENA promove a ampla adoção e uso sustentável de todas as formas de energia renovável e suas últimas publicações trazem temáticas envolvendo a produção de energia por meio do hidrogênio;

ix) Artigos de opinião publicados na Agência Canal Energia: O Canal Energia é o maior portal vertical do setor elétrico brasileiro que contém conteúdo especializado por equipe própria de jornalistas. O TCU contém assinatura, o que facilita o acesso;

x) Publicações da PSR Consultoria: a PSR é referência em consultoria no setor elétrico e publica, desde 2006, o boletim mensal *Energy Report* contendo descrições e análises detalhadas de temas atuais e relevantes do setor de energia elétrica no Brasil e no exterior (sítio: <https://www.psr-inc.com/publicacoes/energy-report/edicoes/>). O TCU assina o *Energy Report*, o que facilita o acesso;

xi) Publicações do *International Energy Agency* (IEA): a agência fornece dados e estatísticas consistentes sobre energia no mundo e é utilizada como fonte de informação para planejamentos a longo prazo para investimentos no setor de energia, políticas nacionais (sítio: <https://www.iea.org/data-and-statistics>);

xii) Publicações da Empresa de Pesquisa Energética (EPE): a EPE é uma empresa pública federal que tem por finalidade prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Em seu sítio (<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>) há diversas publicações de interesse que auxiliam no entendimento acerca do planejamento governamental quanto às fontes de energia;

xiii) Publicações do Ministério de Minas e Energia: o órgão é responsável pelo desenvolvimento do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), conforme Resolução nº 6 do Conselho Nacional de Pesquisa Energética (“CNPE”);

xiv) Pesquisa por meio do Google Scholar: As palavras-chave utilizadas foram hidrogênio verde, eletrólise, energia renovável, indústria do hidrogênio, transição energética e no intervalo de tempo entre 10/4/2022 e 30/6/2023.

Paralelamente, realizou-se o curso “Hidrogênio e transição energética: a importância da descarbonização”, transmitido de forma online, ministrado pela Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha (AHK Brasil) em parceria com o Grupo de Estudos do Setor Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Gesel-UFRJ), com carga horária de 16 horas, no período de 13/3 a 5/4/2023.

Ademais, palestras e workshops disponíveis no YouTube foram utilizados como subsídios para fontes de pesquisa, tais como a “Masterclass Hidrogênio Verde: Disseminando a Cadeia de Valor” (ministrado pela AHK) e o 1º Simpósio Paraibano de Hidrogênio Renovável.

No dia 14/6 foi realizada entrevista com a consultora Monica Saraiva Panik, Diretora de Relações Institucionais da Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2) com 22 anos de experiência no setor de hidrogênio, especialmente para países latino

americanos. A entrevista não foi estruturada e, na ocasião, a consultora enviou documentos de sua autoria (ainda não publicados) utilizados no evento “Masterclass Hidrogênio Verde: Disseminando a Cadeia de Valor”.

No dia 28/6/2023 foi realizada entrevista com Paulo Roberto Alonso Viegas, consultor legislativo do Senado Federal, integrante da Comissão Especial de debates de Políticas Públicas sobre o Hidrogênio Verde (CEHV). A entrevista não foi estruturada e teve como objetivo colher impressões subjetivas acerca do andamento do tema no âmbito do Poder Legislativo

As entrevistas foram realizadas de modo virtual, via Microsoft Teams.

5. Desenvolvimento

5.1. A economia do Hidrogênio

De acordo com a IEA, na publicação *Global Hydrogen Review 2022*, a demanda por hidrogênio está em crescimento, com sinais positivos em aplicações-chave. Em 2021, a demanda por hidrogênio atingiu 94 milhões de toneladas (Mt), recuperando-se para níveis superiores aos pré-pandemia (91 Mt em 2019) e representando aproximadamente 2,5% do consumo global de energia final. Embora a maior parte do aumento provenha dos usos tradicionais na indústria e no refino, observou-se um crescimento na demanda por novas aplicações, que chegou a cerca de 40 mil toneladas, um aumento de 60% em relação a 2020 (IEA, 2022a).

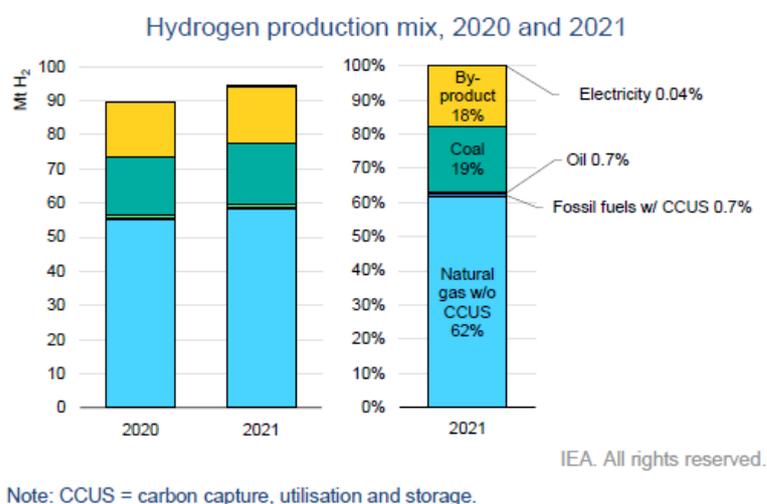
Algumas novas aplicações-chave para o hidrogênio estão demonstrando progresso. O número de anúncios de novos projetos siderúrgicos está aumentando rapidamente, apenas um ano após o início do primeiro projeto de demonstração que utiliza hidrogênio puro na redução direta do ferro. Além disso, a primeira frota de trens movidos a células de combustível de hidrogênio já está operando na Alemanha. No setor marítimo, existem mais de 100 projetos piloto e de demonstração para o uso de hidrogênio e seus derivados, e grandes empresas já estão firmando parcerias estratégicas para garantir o fornecimento desses combustíveis. No setor de energia, o uso de hidrogênio e amônia está recebendo maior atenção, com projetos anunciados totalizando quase 3,5 GW de capacidade potencial até 2030 (IEA, 2022a).

Considerando as políticas e medidas que os governos ao redor do mundo já implementaram, estima-se que a demanda por hidrogênio poderá alcançar 115 Mt até 2030, embora menos de 2 Mt provenham de novos usos.

Como já dito, a obtenção do hidrogênio em sua forma isolada requer o uso de processos químicos com alto custo energético. Atualmente, a maior parte do H₂ produzido vem de processos que utilizam fontes fósseis. De acordo com a IEA no documento *Global Hydrogen Review 2022* (IEA, 2022a), a produção de H₂ se dá, em grande parte, a partir da rota de gás natural sem CCUS (62% da produção); 18% vem da reforma do nafta em refinarias e que são reutilizadas em outros processos do refino; 19% foram produzidos a partir do carvão (principalmente na China). Em 2021, foram produzidos um total de 94 milhões de toneladas de H₂ (94 Mt H₂) com uma

emissão associada de 900 Mt CO₂, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo:

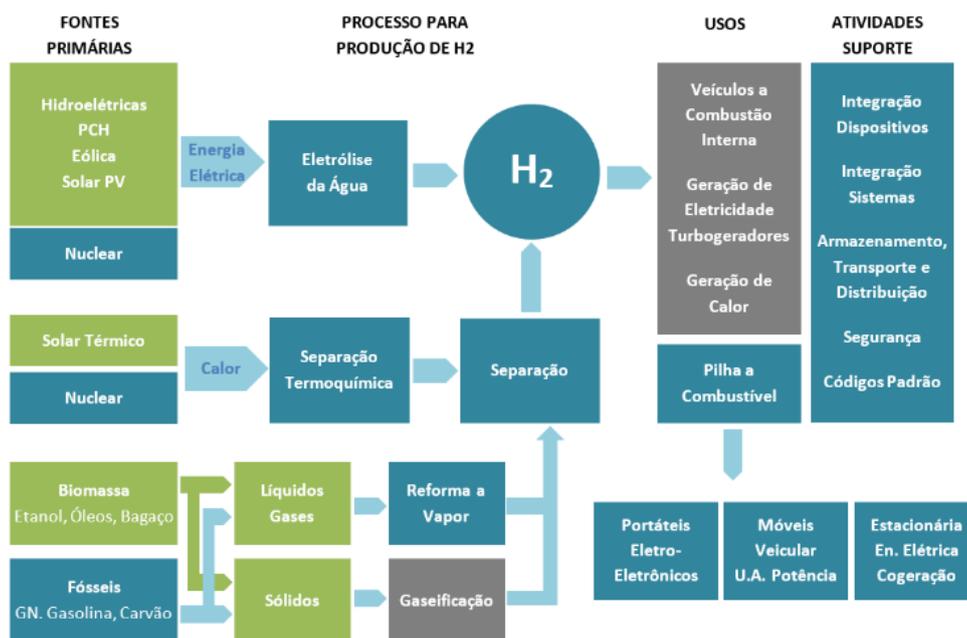
Figura 4 - Origem da produção de hidrogênio no mundo.



Fonte: Global Hydrogen Review, 2022.

A produção do H₂ pode ser realizada por diversas rotas tecnológicas, matérias-primas e ocorrências naturais (fenômenos geológicos). Conforme o documento “Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio”, publicado pela EPE em fevereiro de 2021, as rotas tecnológicas para produção de hidrogênio encontram-se ilustradas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo.

Figura 5 - Esquema de representação de rotas tecnológicas para obtenção do hidrogênio.



Fonte: EPE, 2021.

A depender da rota, a intensidade de emissão de GEE varia. Como se vê na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo, a rota para produção de H2 por meio de gás natural, que representa 62% da produção atual, é a que emite maior quantidade de dióxido de carbono.

Figura 6 - Emissões de dióxidos de carbono no ciclo de vida do hidrogênio por rota tecnológica.

Tecnologia	Intensidade de Carbono (kgCO ₂ /kgH ₂)
Eletrólise (Nuclear)	0,5 – 1,0
Eletrólise (Eólica)	0,5 - 1,1
Eletrólise (Solar)	1,3 - 2,5
Biomassa	0,3 - 8,6
Pirólise do metano	4,2 - 9,1
Reforma a vapor do metano	10,1 - 17,2
Gaseificação do carvão	14,7 - 26,1
Eletrólise (Gás Natural Ciclo Combinado)	23,0

Fonte: PDE, 2031.

Ainda conforme o IPEA (2022), o fornecimento de hidrogênio como insumo para a indústria no Brasil é realizado majoritariamente por quatro empresas de gases industriais e o Brasil segue a tendência global da produção de hidrogênio por meio da reforma de gás natural, também denominado hidrogênio cinza.

No caso da produção de fertilizantes no Brasil, destaca-se que seu volume é insuficiente para o atendimento às necessidades do país, e se baseia no processamento do gás natural, composto fóssil rico em hidrogênio e carbono. No processo para obtenção de fertilizantes nitrogenados, há a produção de grande quantidade de CO₂ como resultado da retirada do H₂ do gás natural, o que é indesejável em termos ambientais. Sendo assim, a substituição do gás natural pela água como insumo para obtenção do H₂ é desejável para que esse processo produtivo se torne isento de emissões de GEE (VIEGAS, 2021).

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo destaca as formas de uso e aplicações do H₂ no Brasil:

Figura 7 - Aplicações do H₂, forma, setor e estágio tecnológico no Brasil.

FINALIDADE	FORMA	APLICAÇÃO	SETOR	ESTÁGIO TECNOLÓGICO
Matéria-prima	Gás	Aumento do número mínimo de cetano e a diminuição de contaminantes do diesel	Refino de Petróleo	Comercial (H ₂ cinza)
Matéria-prima	Gás	Produção de amônia	Indústria Química	Comercial (H ₂ cinza) Pré-comercial (H ₂ verde)
Matéria-prima	Gás	Hidrogenação de óleo vegetal	Indústria de Alimentos	Comercial (H ₂ cinza)
Matéria-prima	Gás	Produção de metanol	Indústria Química	Comercial (H ₂ cinza) Pré-comercial (H ₂ verde)
Matéria-prima	Gás	Produção de nafta sintética (e-nafta)	Indústria Química	Pré-piloto (H ₂ verde)
Insumo	Gás	Redução direta de minério de ferro	Indústria Siderúrgica	Comercial (H ₂ cinza em mistura)
Energético	Gás	Geração de calor e eletricidade	Indústria	Comercial (H ₂ cinza em mistura)
Energético	Células e combustível	Geração de eletricidade	Indústria Transportes Construção Civil	Comercial (H ₂ cinza em mistura) Pré-comercial (H ₂ verde)
Energético	Gás	Armazenamento de energia (principalmente para compensação de variações sazonais)	Rede elétrica	Pré-comercial (H ₂ cinza) Pré-piloto (H ₂ verde)
Energético	Combustíveis sintéticos	Propulsão de veículos	Transportes	Pré-piloto (H ₂ verde)

Fonte: Santos e Ohara (2021).

Fonte: CNI, 2022.

Conforme se vê, o hidrogênio já é amplamente utilizado em diversos setores de produção atuais. Todavia, a utilização da rota de gás natural para sua obtenção acarreta alto volume de emissão de GEE. De acordo com o IPEA, se os projetos anunciados para obtenção de hidrogênio a partir da eletrólise da água ou de combustíveis fósseis com CCUS forem de fato implementadas, a produção anual de H₂ poderá alcançar mais de 24Mt H₂ até 2030, cerca de 25% da produção atual, isenta de emissão de CO₂.

5.1.1. O papel do H2V no contexto da transição energética mundial

No Acordo de Paris de 2015 (21ª Convenção das Partes - COP), 195 países firmaram o compromisso de reduzir as emissões de GEE a fim de mitigar as mudanças climáticas e consolidar o desenvolvimento sustentável. Segundo dados da IRENA, considerando que as emissões de GEE associadas ao setor energético correspondem a cerca de dois terços das emissões globais, a descarbonização da matriz energética se tornou o vetor central do processo de transição energética (CASTRO et al., 2023).

Na COP27 (27ª Conferência das Partes), realizado em novembro de 2022, foram definidos 5 temas chaves e um pacote de 25 ações colaborativas associadas para entrega na COP28. Esse pacote contempla hidrogênio de baixo carbono para acelerar a descarbonização para que a meta do Acordo de Paris de 2015 seja alcançada (FGV, 2023).

Todavia, a simples adoção de fontes de energia renováveis para produção de energia não é suficiente, haja vista sua intermitência e a necessidade de balanço entre suprimento e demanda. Nesse ponto, o H2V se mostra como um vetor energético que permitirá a transformação do modelo energético atual para uma matriz com utilização plena de fontes de energia renováveis (CASTRO et al., 2023).

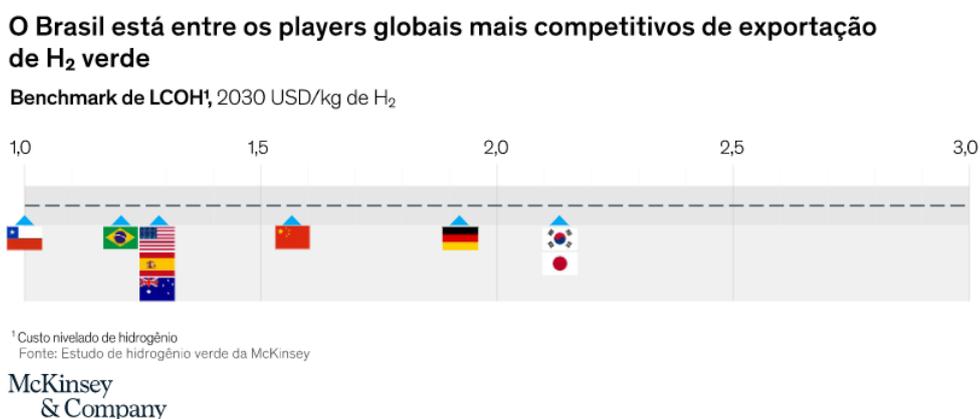
Ademais, a tensão geopolítica entre a Rússia e a Ucrânia tem forçado vários países a antecipar os seus planos de transição energética, em particular, os investimentos em hidrogênio renovável. A União Europeia colocou em prática o *REPowerEU*, um plano para reduzir rapidamente a dependência dos combustíveis fósseis russos e acelerar a transição.

De acordo com o “Panorama Internacional sobre o Hidrogênio Verde”, elaborado pela FGV, ao menos 25 países já se comprometeram a investir cerca de US\$ 73 bilhões em hidrogênio verde no último ano. Aproximadamente 14% desses recursos será oriundo dos setores públicos e privados da Alemanha. O custo do “hidrogênio fóssil” atual é de cerca de US\$ 1,4 por quilo de hidrogênio produzido. Já o preço do hidrogênio verde varia atualmente entre US\$ 5 e US\$ 7 por quilo. Todavia, diante dos elevados preços para o gás advindo da Rússia, a indústria tem recorrido a fontes renováveis de energia para produzir o H2V e cumprir com as metas de *net zero emissions*. No caso da Europa, entre as medidas para impulsionar o hidrogênio verde, existe a expectativa de substituição do uso de veículos movidos à combustão por outros com combustíveis renováveis (FGV, 2023).

Desse modo, o hidrogênio verde, também denominado Hidrogênio Renovável (H2R) é um vetor promissor na busca pela descarbonização e pela segurança energética no atual cenário mundial em que há um fluxo crescente de investimentos ao longo das cadeias de valor para o desenvolvimento de projetos e novas tecnologias disruptivas (PORTAL DO HIDROGÊNIO VERDE, 2023).

Para se ter ideia sobre custos comparativos, vale citar o estudo da McKinsey, o qual mostra que o custo nivelado do hidrogênio verde (LCOH) produzido no Brasil ficaria abaixo de USD 1,50/kg de H₂ em 2030 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Tal patamar está alinhado com o LCOH dos melhores locais nos EUA, Austrália, Espanha e Arábia Saudita. Até 2040, esse custo pode cair para aproximadamente USD 1,25/kg (mais econômico que o hidrogênio fóssil, hoje cotado a US\$ 1,4/kg)

Figura 8 - Preço do H2V produzido no Brasil será um dos mais competitivos internacionalmente.



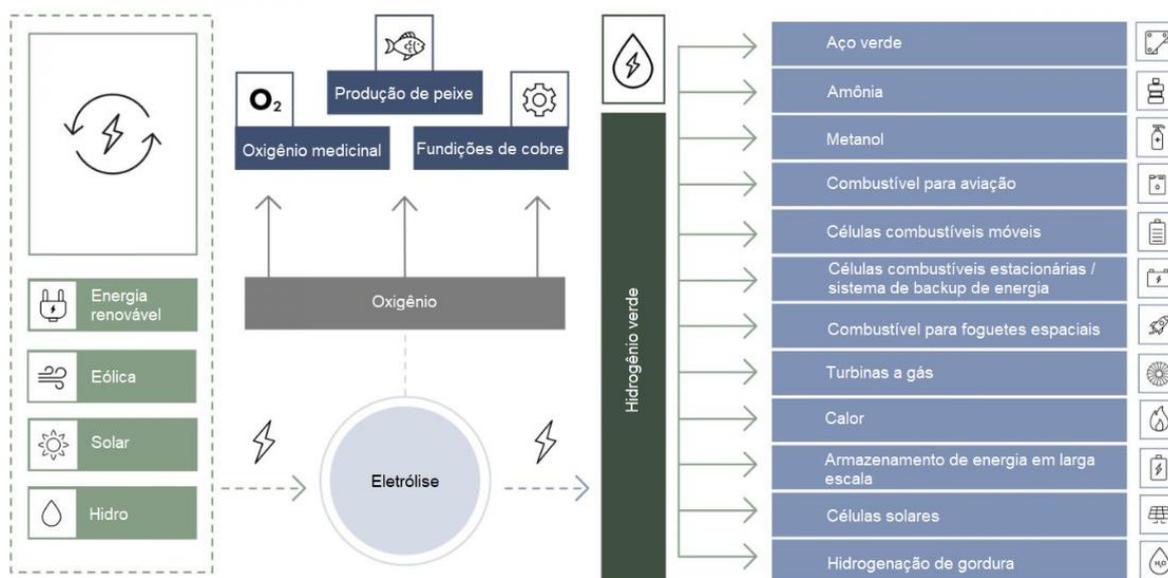
Fonte: MCKINSEY & COMPANY, 2022.

O H2V pode desempenhar um papel decisivo na descarbonização de indústrias de uso intensivo de energia, incluindo os setores de transporte aéreo e marítimo, bem como as indústrias siderúrgica e química. Além disso, seu uso crescente poderá ter implicações geopolíticas em todo o mundo, com o potencial de redesenho dos mapas das relações energéticas, econômicas, sociais e de segurança (IPEA, 2022).

A seguir demonstra o potencial de uso do H2V. A denominação de combustível *Power-to-X* dada ao H2V se deve à possibilidade de se utilizar o hidrogênio verde para converter, armazenar e utilizar energia elétrica renovável. Especialistas acreditam que o *Power-to-X* é a próxima revolução industrial, pois

permitirá ainda a integração de energia renovável em outros setores consumidores de energia que contribuam muito para a economia mundial (como transporte, manufatura, produtos químicos, agricultura, etc.) efetivamente mudando a exigência de combustíveis fósseis.

Figura 9 - O H2V como tecnologia Power-to-X.



Fonte: Pöyry Brasil, 2021.

Como se observa na figura acima, uma vez obtido, o hidrogênio verde pode ser utilizado em seu estado líquido ou gasoso para fins energéticos e industriais. Outros combustíveis, carreadores de energia ou insumos químicos podem ser sinteticamente produzidos a partir do hidrogênio e encontram aplicações nas seguintes modalidades, conforme o relatório do MME intitulado “Mercado de hidrogênio verde e *power-to-x*: demanda por capacitações profissionais”, elaborado no âmbito da cooperação bilateral H2Brasil entre Alemanha e Brasil (GIZ, 2023, p. 13):

Mobilidade

O Power-to-X produz combustíveis sintéticos para aplicação imediata como e-Metano, e-Metanol, e-Diesel, e-Gasolina ou combustível e-Jet – prontos para uso instantâneo. Eles podem ser misturados gradualmente com combustíveis fósseis, até que substituam totalmente os combustíveis fósseis como uma fonte de energia primária. A vantagem da transição do combustível fóssil para o e-combustível é que a infraestrutura já existente de transporte e armazenamento de gases, como gasodutos, os postos de gasolina e as instalações de armazenamento, pode ser aproveitada, bem como, aplicações de consumidores existentes e de baixo custo, alimentadas por *e-Fuels*.

Geração de energia

As turbinas a gás modernas podem ser operadas com uma mistura de hidrogênio e gás natural, com uma participação de hidrogênio de 5 a 100%. O hidrogênio pode ser armazenado em cache (tanques ou cilindros), transportado em redes de gás e convertido em energia elétrica em turbinas a gás, ciclos combinados ou usinas movidas a células a combustível.

Indústria

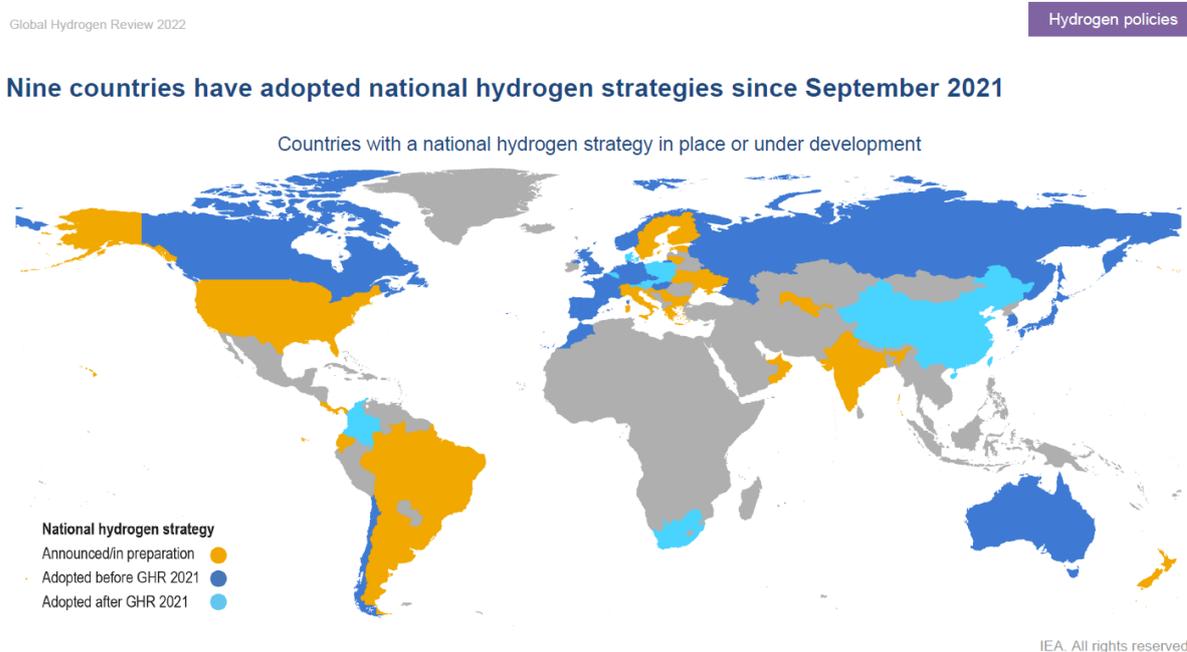
Em indústrias intensivas em calor, como as siderurgias, o hidrogênio permite a produção de metais livres de CO₂; o hidrogênio também poderá ser utilizado como matéria-prima para produção de amônia e outros produtos. Assim todas as áreas industriais como a química, siderúrgica, alimentícia e demais serão beneficiadas pelo uso do hidrogênio vindo de fontes renováveis.

Habitacional

Em alguns locais a demanda por calor é o aquecimento e em outros é o resfriamento de residências e espaços públicos. Tal demanda pode ser suprida tanto a partir do insumo energético da rede ou a partir de hidrogênio diretamente como cogeração ou até por tri geração.

De acordo com a IEA, de setembro de 2021 a julho de 2022, nove países adotaram estratégias nacionais para o hidrogênio: Áustria, Bélgica, China, Colômbia, Dinamarca, Luxemburgo, Polônia, Eslováquia, e África do Sul (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Antes disso, outros países já haviam adotado, como Austrália, Canadá e outros.

Figura 10 - Países que adotaram estratégias nacionais para o hidrogênio desde 2021.



Fonte: IEA, 2022a.

No final de 2022, a Alemanha lançou o primeiro leilão denominado “H2Global” para firmar contratos de 10 anos para importação de H2V na forma amônia verde a ser produzida fora dos países da União Europeia e da Associação Europeia de Livre

Comércio (EFTA, na sigla em inglês). Em uma primeira fase, o H2Global avaliará as qualificações técnicas e financeiras dos desenvolvedores e selecionará cinco consórcios para seguir no processo (EPBR, 2023f).

Não há um volume específico a ser comprado, mas com base na referência de preço final da amônia –1.272 euros por tonelada–, o volume a ser entregue nos 10 anos de contrato deve alcançar patamar superior a 230 mil toneladas. As primeiras entregas do produto estão planejadas para serem em portos da Alemanha, Holanda ou Bélgica (REFINITIV, 2023).

Algumas regras podem limitar a habilitação de projetos nessa primeira oportunidade, uma vez que o prazo indicativo para início da entrega do insumo é planejado para o final de 2024 ou início de 2025, o que pode ser desafiador para projetos que ainda estejam em estágio embrionário. Além disso, os consórcios precisam de um faturamento mínimo de R\$ 1 bilhão a R\$ 4 bilhões de euros, o que restringe a amostra de participantes.

Contudo, a CCEE (2023) anunciou que atuaria como apoiadora estratégica das empresas interessadas em participar do leilão e certificadora no caso dos possíveis vencedores. Como operadora do mercado brasileiro de energia, a CCEE tem acesso a todos os registros de contrato de energia elétrica no Brasil, com gestão da medição de geração e consumo da energia em todo o território nacional. Dessa forma, a organização consegue ter em sua base de informações detalhes acerca do processo de geração de todos os agentes e, neste caso, também dos possíveis operadores do H2V no país.

Todavia, não há notícias sobre a participação do Brasil na referida licitação H2Global.

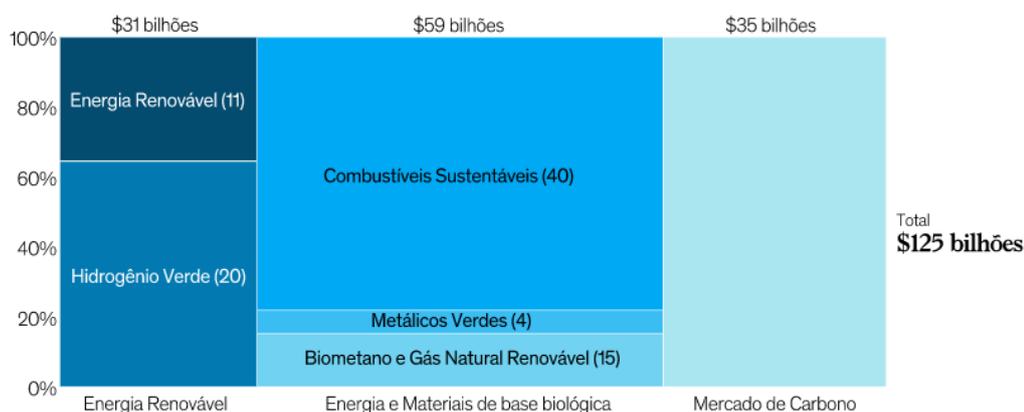
Na União Europeia, em 2022, foi lançado o Plano *REPowerEU* que pretende importar H2R com financiamento público de projetos em outros países. Já nos Estados Unidos, o *Inflation Reduction Act*, estabelecido em 2022, oferece diversos incentivos fiscais e subsídios para conceder apoio ao desenvolvimento de tecnologias para o H2R. A EU espera elevar a participação da energia do hidrogênio de 2% para cerca de 12 a 14% de sua matriz energética até o ano de 2050 (PORTAL DO HIDROGÊNIO VERDE, 2023).

5.1.2. O papel do H2V na transição energética brasileira

De acordo com artigo da Mckinsey & Company (2022), a descarbonização do Brasil é fundamental para o planeta, não apenas porque o país é o sétimo maior emissor de gases do efeito estufa, mas também porque detém uma posição inigualável para se tornar uma das potências que viabilizará essa transição. O perfil de emissões do Brasil é muito diferente do restante do mundo. O país emite cerca de 2,2 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂eq) todos os anos, sendo que metade vem do desmatamento, um quarto da agricultura, um quinto de transportes e energia, e o restante da indústria e de resíduos.

Porém, considerando suas capacidades e recursos naturais, o país pode desempenhar um papel muito mais importante nessa transição. A McKinsey prevê que o Brasil possa assumir o protagonismo em três rotas da economia verde: energia renovável, energia e materiais de base biológica, e mercados de carbono. Juntas, essas rotas representam um mercado de mais de USD 125 bilhões (F). Elas também podem gerar diversos outros benefícios diretos e indiretos, como desenvolvimento socioeconômico, melhor segurança hídrica e proteção da biodiversidade (MCKINSEY & COMPANY, 2022).

Figura 11 - Oportunidade associada à economia verde no Brasil até 2040.



Fonte: MCKINSEY & COMPANY, 2022.

Conforme descrito no “Relatório sobre clima e desenvolvimento para o país”, publicado recentemente pelo Banco Mundial, o Brasil apresenta perspectivas favoráveis para a produção, consumo e exportação de hidrogênio verde, o que pode impulsionar a transição energética, diversificar as exportações e atrair investimentos. Com sua vasta oferta de energia limpa, infraestrutura desenvolvida e proximidade com

os mercados regionais, o Brasil tem potencial para se tornar um importante produtor de hidrogênio verde e seus derivados, como amônia e metanol.

Em apresentação realizada pela Monica Saraiva Panik, diretora da Associação Brasileira do H2 (ABH2, 2023), há exemplos de diversos usos do H2 na cadeia produtiva nacional (Tabela 1).

Tabela 1 – Possibilidades de inserção de H2V na cadeia produtiva nacional.

Possibilidades de uso do H2V	Importância para a economia brasileira
Fertilizante verde com amônia 100% nacional	Atualmente, cerca de 80% da amônia para a fabricação de fertilizantes nitrogenados é importada. Com a produção nacional de amônia verde, além da redução da emissão de GEE, haverá a geração de empregos e redução da dependência do mercado internacional.
Aço verde	Aproximadamente 7% das emissões globais de CO2 estão relacionadas com a indústria de aço. É possível utilizar o H2V como agente redutor em novas plantas de produção. Para fornos elétricos, é possível a mistura de H2 ao gás natural.
Mineração verde	Redução de custos em relação ao consumo e transporte de diesel, o que pode ser considerável em locais remotos. Na África do sul, a empresa Anglo American PLC está operando um protótipo do maior caminhão de transporte de mina movido a célula a combustível do mundo em sua mina Mogalakwena PGMs. A Anglo American está produzindo seu próprio hidrogênio para o abastecimento desses veículos e empilhadeiras movidas à célula a combustível.
Cimento verde	Hidrogênio verde/renovável como substituto parcial do gás natural no sistema de combustão do forno.
Veículos com emissão zero	Um veículo a célula a combustível não compete com veículos elétricos porque ele é um veículo elétrico que gera sua própria eletricidade através do hidrogênio. Quanto maior o porte do Veículo, maior é a vantagem para os veículos

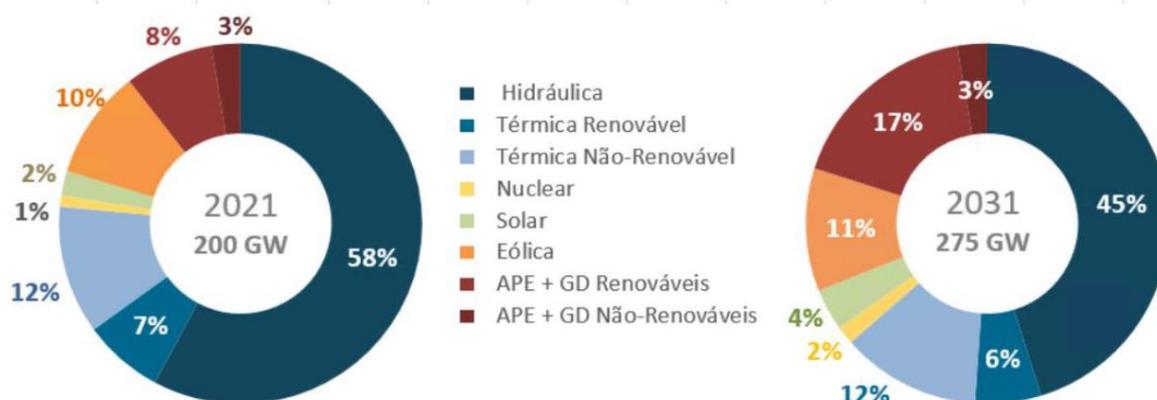
	movidos a célula a combustível em: Autonomia (mesma que um veículo convencional), Tempo de abastecimento(de 3 a 5 minutos) e Custo.
Descarbonização da infraestrutura de gás natural	Estudos apontam que até 20% do hidrogênio pode ser misturado nos dutos de gás natural dependendo do uso final do gás.

Fonte: entrevista com Monica Saraiva Panik, diretora da ABH2.

Essa oportunidade econômica é especialmente relevante, considerando que o hidrogênio verde desempenha um papel crucial na descarbonização da indústria e em outros setores energéticos difíceis de eletrificar. Para construir uma economia de hidrogênio competitiva, é necessário desenvolver simultaneamente a oferta de hidrogênio, infraestrutura de transporte e demanda, a fim de garantir um ciclo de emissões líquidas de gases de efeito estufa (GEE) zero ou baixas, minimizando os impactos significativos na terra, no meio ambiente e na sociedade, como recursos minerais e hídricos. Desse modo, o Brasil poderia utilizar o hidrogênio verde para descarbonizar a indústria, incluindo o refino de petróleo, petroquímicos, produtos químicos e aço, bem como o setor de transporte, especialmente para frete de longas distâncias e caminhões pesados na mineração, contribuindo também para a flexibilidade do sistema elétrico.

Em termos de aproveitamento de recursos renováveis, condição essencial para geração do hidrogênio verde, nosso país é referência mundial contendo uma matriz energética com predomínio de 47% de fontes renováveis. O Plano Decenal de Energia mostra que, em 2021, 85% da matriz elétrica brasileira era renovável (capacidade instalada total de 170 GW). A estimativa é que, em 2031, a renovabilidade atinja 83%, tendo em vista a redução da participação de hidrelétricas e o crescimento da capacidade instalada das fontes eólica e solar. O gráfico da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** demonstra essa evolução:

Figura 12 - Evolução da composição da capacidade instalada total por fonte de energia elétrica.



Fonte: EPE, 2022.

Além da grande disponibilidade de ER na matriz, o Brasil tem um dos preços mais favoráveis da energia eólica e fotovoltaica na comparação internacional.

De acordo como Centro Brasileiro de Relações internacionais (CEBRI), no cenário energético brasileiro, o hidrogênio é visto como um aspecto essencial dos esforços de descarbonização, no panorama dos próximos dez anos. O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2031) projeta o potencial brasileiro de produção em cerca de 1.8 Gt H₂ por ano, das quais cerca de 96% serão consideradas hidrogênio verde, oriundo de fontes de energia renováveis (NÚCLEO ENERGIA, 2022).

No que tange às iniciativas de financiamento, além dos fundos de empresas públicas – como BNDES e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) – o setor privado, o mercado de capitais e os investidores estrangeiros oferecem uma gama ampla de oportunidades para investimentos verdes. Há um grande interesse do setor privado em diversas iniciativas envolvendo o hidrogênio, desde as células de combustível, movidas por bioetanol, até a infraestrutura de exportação de hidrogênio para a Europa, por exemplo.

O interesse na tecnologia dos investidores no Brasil vem se demonstrando com projetos em desenvolvimento em 3 estados – Pernambuco, Rio de Janeiro e Ceará- e projetos previstos também na Bahia, Rio Grande do Norte e Espírito Santo.

Empresas como a Fortescue Metals Group no Brasil, estão comprometidas em produzir 50 milhões toneladas de hidrogênio verde globalmente até 2030, e demonstram interesse específico no Brasil, para produção de hidrogênio voltado para

o mercado interno (incluindo o mercado para produção doméstica de fertilizantes, com a meta de reduzir de 85 a 45% das importações até 2050) e para exportação (NÚCLEO ENERGIA, 2022).

Em 2020, foi anunciado o primeiro HUB de H2V do Brasil, no Ceará. O projeto tem uma meta ambiciosa de produzir 900 mil toneladas de H2V por ano a partir de capacidade de eletrólise de 5 GW. A produção de H2V a partir de fontes renováveis de energia solar e eólica representa uma oportunidade para o desenvolvimento socioeconômico sustentável do Nordeste, devido aos baixos custos de geração de energia renovável, ajudando o H2V a ser competitivo.

Os investimentos anunciados para construção de usinas produtoras de H2V no Brasil já somam cerca de US\$ 36 bilhões, a maioria concentrados em portos – Pecém, no Ceará; Suape, em Pernambuco; e Açu, no Rio de Janeiro (ABH2, 2023). Esses portos combinam uma série de fatores estratégicos para o desenvolvimento da nova cadeia do H2V, como logística para exportação, proximidade de polos industriais e de fontes de energia renovável – utilizada na eletrólise para sintetização do H2V. **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra os valores de investimento dos projetos e os locais, conforme informação obtida por meio de entrevista com a Diretora de Relações Institucionais da ABH2, Monica Saraiva Panik:

Figura 13 - Projetos e investimentos confirmados no Brasil em H2V em 15/6/2023.

**46 Projetos Anunciados de Hidrogênio Verde
no Brasil de fevereiro de 2021 a junho de 2023
18 GW de capacidade anunciada de eletrólise**

POTENTIAL FOR H₂ PRODUCTION IN BRAZIL



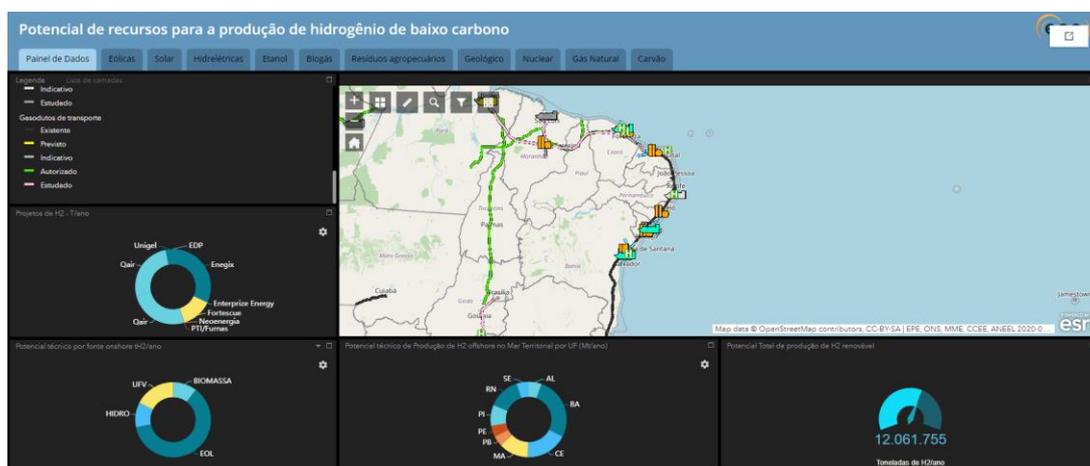
Fonte: ABH2, citado por PANIK, 2023.

Vale ressaltar que a quantidade e os valores dos investimentos tem sido uma informação em constante mutação. Em abril de 2023, mapeamento semelhante da H2 Brasil foi publicado pela mesma autora no sítio <https://www.pv-magazine-brasil.com/2023/04/27/com-portos-no-nordeste-a-frente-estudo-identifica-42-projetos-de-hidrogenio-verde-no-brasil/>, o que mostra o grau de mudança que o tema em um período curto.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) publicou recentemente painel com o potencial de recursos para produção de hidrogênio de baixo carbono no site <https://arcg.is/1XfDLy1>. O painel interativo mostra a rede de gasodutos de gás natural existente, previsto, estudado, autorizado, o potencial técnico de hidrogênio de baixo carbono por fonte *on-shore* e *off-shore* por estado brasileiro. De acordo com o painel, ainda em construção, o Brasil possui capacidade de gerar 18.992394 toneladas de H2 de baixo carbono por ano; contudo, esse valor contabiliza não só o hidrogênio verde, como também outros obtidos por diferentes rotas (H2 rosa obtido pela rota nuclear, H2 cinza obtido pela reforma de gás natural sem CCS ou CCUS, e ainda hidrogênio geológico).

O maior potencial de geração de hidrogênio de baixo carbono concentra-se na região nordeste, com potencial total de produção de cerca de 12 milhões de toneladas de H₂ por ano, conforme se vê pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 14 - Painel elaborado pela EPE.



Fonte: <https://arcg.is/1XfDLy1>

5.2. Arcabouço regulatório brasileiro para uso do H₂V

As novas tecnologias exigem uma estrutura regulatória e padronização para promover seu uso ao longo da cadeia de valor. A inserção do hidrogênio verde nas economias mundiais ocorre por meio da implementação de planos e diretrizes que compreendem ações organizadas e articuladas (CASTRO et al., 2023).

Ao analisar países que estão desenvolvendo a economia do hidrogênio, é possível identificar um padrão inicial. Eles estabelecem uma visão nacional que inclui a elaboração de um roteiro estratégico e a divulgação de uma estratégia nacional. Essas estratégias são baseadas em objetivos que refletem as características específicas de cada país, como interesses particulares, recursos energéticos disponíveis, ambições, vantagens, barreiras e desafios (CASTRO et al., 2023).

Entre as principais estratégias nacionais existentes, é possível identificar alguns drivers, ou fatores impulsionadores para o desenvolvimento dessa economia:

- Metas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE);
- Diversificação da matriz energética;
- Balanceamento da matriz energética;

- Crescimento econômico.

De acordo com CASTRO et al (2023, p. 58), a partir da análise das estratégias nacionais e das medidas que vêm sendo adotadas pela maioria dos países analisados, percebe-se que a formação do mercado mundial de hidrogênio verde (H2V) ou de baixo carbono envolverá quatro estágios evolutivos:

- 1º estágio: investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para possibilitar a formação da cadeia de produção do H2, estratégia iniciada na década passada e que persiste até hoje;
- 2º estágio: ativação do mercado na década atual (curto prazo);
- 3º estágio: crescimento sustentável após 2030 (médio prazo);
- 4º estágio: mercado amplo e bem estabelecido até 2050 (longo prazo).

Na América Latina, de acordo com estudo do IPEA denominado “Panorama do Hidrogênio no Brasil”, o programa de Energia e Sustentabilidade, do Instituto das Américas, avaliou o potencial do (H2) na América Latina considerando alguns critérios, como existência de marco regulatório, mercado interno e demanda, entre outros, obtendo indicadores favoráveis ao Brasil como se pode observar no quadro da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo (IPEA, 2022). Há expectativa de aumento significativo na demanda de hidrogênio até 2030 em vista do crescimento econômico, com destaque para Trinidad e Tobago, Brasil, Chile e México.

Figura 15 - Potencial de hidrogênio na América Latina.

Itens analisados em relação ao H ₂	Argentina	Brasil	Chile	Colômbia	Uruguai	Equador	Peru	Trindade e Tobago	Costa Rica	Paraguai
Marco regulatório	Não existe	Em progresso	Não existe	Em progresso	Em progresso	Em progresso				
Mercado interno e demanda	Existe	Existe	Existe							
Grandes centros industriais para uso de H ₂	Existe	Existe	Em progresso	Existe	Não existe	Em progresso	Em progresso	Em progresso	Em progresso	Em progresso
Infraestrutura para transporte	Não existe	Em progresso	Em progresso	Não existe	Em progresso	Não existe	Não existe	Não existe	Não existe	Não existe
Excesso de energia verde para usar na eletrólise	Não existe	Em progresso	Existe	Não existe	Existe	Em progresso	Não existe	Não existe	Existe	Existe
Grande indústria de petróleo e gás para apoiar o hidrogênio azul	Existe	Existe	Não existe	Existe	Não existe	Em progresso	Em progresso	Existe	Não existe	Não existe
Habilidades da força de trabalho	Em progresso	Em progresso	Não existe	Em progresso	Em progresso	Não existe				
H ₂ azul ou cinza em produção	Existe	Existe	Existe	Em progresso	Existe	Não existe	Existe	Não existe	Não existe	Não existe
H ₂ verde em produção	Existe	Existe	Existe	Não existe	Em progresso	Não existe	Não existe	Não existe	Em progresso	Não existe
Apoio do governo	Em progresso	Existe	Existe	Em progresso	Existe	Em progresso	Em progresso	Existe	Existe	Existe

Fonte: IPEA, 2022.

De acordo com a IEA (apud IPEA, 2022), o hidrogênio com baixo teor de carbono pode ser um dos impulsionadores da próxima fase das transições de energia limpa da América Latina. Ao todo, onze países na região publicaram ou estão preparando estratégias e roteiros nacionais para o hidrogênio: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, El Salvador, Panamá, Paraguai, Trinidad e Tobago e Uruguai (IPEA, 2022).

No curto prazo, as economias globais buscam promover eficientemente a introdução da economia do hidrogênio estimulando o uso de diversos tipos de hidrogênio de baixo carbono.

O sucesso das medidas estratégicas adotadas está diretamente ligado ao apoio a projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Além do desenvolvimento da cadeia de produção e atividades relacionadas, iniciativas regulatórias se fazem necessárias para impulsionar a economia do hidrogênio.

Essas medidas incluem o estímulo ao uso das infraestruturas existentes para gás natural (armazenamento e transporte) pelo hidrogênio, o avanço na sua aplicação na mobilidade e a certificação do hidrogênio, que poderá vir a ser utilizada no âmbito das políticas de crédito de carbono.

O transporte, por exemplo, é um dos primeiros setores estratégicos a ser desenvolvido no mercado de H2 e a implantação de infraestrutura de abastecimento demanda incentivos tanto em regulação como em apoio financeiro. Na Tabela 2 a seguir, demonstram-se exemplos de incentivos de outros países:

Tabela 2 – Incentivos diversos para facilitar a inserção do H2 no setor de mobilidade e na indústria.

País	Tipo de incentivo
Bélgica	Imposto sobre a venda e o consumo de H2 como combustível para transporte não é cobrado e ainda é possível incentivar a aquisição de veículos com o custo sendo dividido igualmente entre o governo federal e as montadoras.
Espanha e Noruega	Isenção do imposto na compra do veículo
Holanda	Carros com emissão zero de carbono estão isentos do pagamento do imposto de registro
Alemanha	Isenção sobre o imposto de circulação anual ocorre nos primeiros dez anos, para carros registrados até 31 de dezembro de 2015, e de cinco anos, se o veículo foi comprado após essa data
Nova Zelândia	Isenção na taxa de uso da estrada e uma redução no seguro obrigatório. Investimentos e subsídios para infraestrutura, voltados principalmente para estações de abastecimento estão sendo facilitados, sendo possível desenvolver incentivos de uso exclusivo de passageiros (ônibus, caminhões, trens, uso marítimo), bem como o desenvolvimento de infraestrutura de abastecimento em conjunto com a compra de veículos (

Fonte: elaboração própria com base em CASTRO et al., 2023.

Medidas de incentivo em outros tipos de combustíveis já foram implementadas de forma positiva em casos semelhantes quando da inserção do etanol e biodiesel, sendo a relação de preço com os combustíveis fósseis um fator determinante para o crescimento da demanda dos biocombustíveis. Isso mostra que ações coletivas elevam o poder de alcance dos projetos e têm a capacidade de exercer significativa influência na definição da economia, fortalecendo as políticas de redução de GEE e a introdução de combustíveis alternativos no país.

Além de incentivos do ponto de vista regulatório, considerando o crescente número de países inseridos em estratégias e políticas voltadas ao desenvolvimento da economia do H2, com interesses econômicos diversos, a cooperação internacional também se torna estratégica, à medida que um mercado internacional de comércio de H2 deve se desenvolver no curto prazo.

Outro ponto relevante e que deve ser uma prioridade para países que pretendem comercializar H2 é a certificação, dada a sua importância na transparência aos compradores e melhor acesso a informações, o que facilita o comércio de H2 limpo e permite uma comparação precisa do H2 produzido por diferentes fornecedores. É fundamental que os padrões de certificação sejam acordados internacionalmente por meio de uma estrutura regulatória harmonizada, com códigos e normas que permitam aos compradores se assegurar da garantia de origem do H2.

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) desenvolveu uma certificação do hidrogênio em dezembro de 2022, a partir de uma série de reuniões e workshops com mais de 200 representantes da cadeia produtiva. A versão lançada considera particularidades do país, como a relevância das hidrelétricas e as exigências do mercado europeu, considerando o continente como um dos potenciais clientes (CCEE, 2022).

Neste primeiro momento o produto será certificado gratuitamente pela CCEE e o documento terá dois tipos de classificação, sendo uma para o insumo 100% renovável, fabricado a partir de energia eólica, solar ou de hidrelétricas, e outra para aqueles parcialmente renováveis, que contam com o complemento de alguma outra fonte, como por exemplo, de empreendimentos termelétricos.

De acordo com a CCEE (2022), a certificação trará os seguintes benefícios:

- Agregar valor ao produto, pois possibilita a distinção do teor de carbono do hidrogênio comercializado;
- Possibilitar novos modelos de negócio em outros setores da indústria, como fertilizantes, aço, cimentícia, alimentícia, transporte, aquecimento, entre outros;
- Fomentar o mercado nacional de hidrogênio cumprindo os requisitos e as diretrizes regulatórias do Brasil em discussão;
- Dar transparência e permitir que os usuários finais conheçam a origem do produto com informações sobre a pegada de carbono.

5.2.1. Histórico do setor do hidrogênio no Brasil

O emprego do hidrogênio como vetor energético não é uma ideia nova. O primeiro gerador de H2 foi construído em 1794 nos arredores de Paris; a primeira

produção de H₂ por eletrólise data de 1800. O emprego do H₂ em balões foi concebido por Ferdinand von Zeppelin em 1900 e largamente utilizado entre 1920 e 1930 (CASTRO et al., 2023).

No Brasil, os estudos sobre o H₂ como vetor energético iniciaram em 1988, mas não foram realizados de forma contínua. A Tabela 3 mostra um histórico das ações, programas, estudos, publicações e proposições legislativas federais sobre o assunto até o momento.

Tabela 3 - Histórico do estudo, desenvolvimento e diretrizes do hidrogênio no Brasil desde o ano de 1998.

Ano	Ação / Programa/ Estudo/ Publicação/Proposição legislativa	Órgão ou entidade responsável
1988	Publicação de artigo no International Journal of Hydrogen Energy, intitulado “Electrolytic hydrogen production in Brazilian electric utilities—a way to increase return on investments” que realiza uma avaliação do tipo, localização geográfica e capacidade das usinas hidrelétricas que podem ser utilizadas para a produção de hidrogênio eletrolítico durante os períodos de baixa demanda do sistema elétrico.	Companhia Energética de São Paulo (CESP) e Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica—DNAEE
1998	Implementação do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH)	MCTI
2002	Lançamento do Programa Brasileiro de Células a Combustível (ProCaC), que possuía como objetivo “organizar e promover ações de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, por intermédio de projetos associados entre entidades de pesquisa e a iniciativa privada”	MCTI
2003	O Brasil tornou-se membro da Parceria Internacional para Hidrogênio e Células a Combustível na Economia – IPHE	Inicialmente o MME. A partir de 2017 passou a ser o MCTI

	<i>(International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy)</i> , que visa trocar informações governamentais, industriais e acadêmicas no assunto de células a combustível e o hidrogênio na sociedade	
2005	O ProCaC passou por uma reformulação, recebendo o nome de “Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio” (ProH2).	MCTI
2005	Publicação do “Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil”, com horizonte de 20 anos	MME
2010	Publicação do material “Hidrogênio energético no Brasil: Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025”, que expôs recomendações para o incentivo à economia do hidrogênio	CGEE
2017	Criação da Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2)	Associados: empresas, pessoas jurídicas e comunidade científica interessadas em assuntos relacionados à comercialização, pesquisa, inovação e desenvolvimento profissional na indústria do hidrogênio
2018	Publicação do Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis, apontando que o “uso de energias renováveis no Brasil representa uma oportunidade para a produção de hidrogênio por eletrólise quando houver excesso de oferta de energia elétrica de origem intermitente”	MCTI
2020	Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), que apontou o hidrogênio como uma tecnologia disruptiva e como elemento de	EPE

	interesse no contexto da descarbonização da matriz energética	
2021	Publicação de as "Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio", que abordou panorama do mercado, rotas tecnológicas, custos, desafios, papel do hidrogênio na transição energética e, por fim, implicações para políticas públicas	EPE
2021	Publicação da Resolução CNPE nº 2 de 2021, que orienta a priorização da destinação de recursos de pesquisa, desenvolvimento e inovação regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel e pela Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustível - ANP para o hidrogênio, entre outros temas relacionados ao setor de energia e à transição energética	CNPE
2021	Publicação da Resolução CNPE nº 6 de 2021, determinando a realização de estudo para proposição de diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2)	CNPE
2021	Publicação da Proposta de Diretrizes do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2)	MME/ MCTI/ MDR/ EPE
2021	Publicação do material "Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro: Panorama Atual e Potenciais para o Hidrogênio Verde", o qual ofereceu um panorama da indústria e de atores acadêmicos e institucionais atuantes no Brasil na área de hidrogênio, bem como uma visão geral sobre as principais tecnologias de aplicação de hidrogênio e Power-to-X, e o	Desenvolvido pelo MME, no âmbito da Parceria Energética Brasil-Alemanha

	seu estado de maturidade no Brasil em comparação aos países líderes nessas tecnologias	
2021	Lançamento do programa de cooperação bilateral “H2Brasil” entre Alemanha e Brasil, uma iniciativa do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Sociedade Alemã de Cooperação Internacional GmbH (GIZ)	MME
2022	Criação do PL 725/2022 que disciplina a inserção do hidrogênio como fonte de energia no Brasil e estabelecer parâmetros de incentivo ao uso do hidrogênio sustentável.	Senado Federal (autoria do Senador Jean Paul Prates)
2022	Decreto 21.200/2022 institui o Plano Estadual para a Economia do Hidrogênio Verde – PLEH2V no Estado da Bahia	Governo do Estado da Bahia
2022	PDE 2031 contendo capítulo específico tratando sobre o mercado de hidrogênio e suas perspectivas	EPE
2022	Resolução CNPE nº 6, de 23/6/2022, institui o Programa Nacional do Hidrogênio, cria o Comitê Gestor do Hidrogênio e dá outras providências.	MME
2022	Portaria MCTI 6.100, de 11/7/2022, institui a iniciativa brasileira do Hidrogênio (IBH2) no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologias e Inovações	MCTI
2022	CCEE lança primeira certificação brasileira de energia renovável	CCEE
2022	Abertura da Consulta Pública 147/2022 para colher contribuições sobre o Plano de trabalho trienal 2023-2025 do Programa Nacional do Hidrogênio	MME

2022	Criação do PL 1878/2022 que cria a Política que regula a produção e usos para fins energéticos do Hidrogênio Verde.	Senado Federal (Comissão de Meio Ambiente)
2023	Criação do PL 2308/2023 que dispõe sobre a definição legal de hidrogênio combustível e de hidrogênio verde	Câmara dos Deputados
2023	Criação da Comissão Especial de Debate de Políticas Públicas sobre o Hidrogênio Verde (CEHV)	Senado Federal
2023	Instalação da Comissão Especial da Transição Energética e Produção do Hidrogênio Verde no Brasil	Câmara dos Deputados

Fonte: elaboração própria com base no TC 003.336/2022-0.

Sobre as iniciativas no Brasil para a implantação do hidrogênio verde e início da produção, vale mencionar as mais consolidadas.

No Ceará, já foram firmados 30 memorandos de entendimento (MoU). O Complexo Industrial e Portuário do Pecém (Cipp) já selou três pré-contratos de aluguel para instalação de plantas industriais de H₂V na Zona de Processamento de Exportação que juntos, somam US\$ 8 bilhões em investimentos até 2030 (DIÁRIO DO NORDESTE, 2023).

De acordo com o relatório Observatório do Hidrogênio nº 10, publicado pelo Gesel em maio de 2023, a *Comerc Eficiência* e a Casa dos Ventos, empresa líder em energia solar e eólica, assinaram um pré-contrato para o desenvolvimento de uma planta de hidrogênio verde no Complexo de Pecém, no Ceará. A planta utilizará a tecnologia de eletrólise com capacidade de até 2,4 GW, alimentada por energias renováveis e, atualmente, o projeto está em fase de licenciamento ambiental (GESEL, 2022C)

A Unigel anunciou sua intenção de construir uma planta de hidrogênio verde em Camaçari, Bahia, de modo a quadruplicar sua capacidade instalada, passando de 60 MW para 240 MW, com o uso de equipamentos da Thyssenkrupp. A produção inicial de hidrogênio será de 10 ton/ano, que será utilizado para produzir 60 mil toneladas de amônia verde pelo processo de Haber Bosch.

Ambos os projetos são de grande importância para o desenvolvimento da cadeia de valor nacional do vetor energético H₂V, uma vez que possuem potencial para estimular outros segmentos do setor como transporte, armazenamento e uso final (GESEL, 2022c).

No estado de Minas Gerais, o grupo alemão Neuman & Esser lançou, em 12/3/2023, a pedra fundamental da primeira unidade dedicada à fabricação de geradores de hidrogênio verde (H₂V) da América Latina. A unidade irá produzir com foco no agronegócio. Com apoio da Invest Minas, a empresa alemã investirá R\$ 70 milhões na fabricação de equipamentos como eletrolisadores de tipo PEM e alcalino e reformadores de etanol e biometano, que poderão ser adaptados de acordo com a necessidade e os recursos de cada local de produção (EPBR, 2023b)

Em maio de 2023, o Ministro da Fazenda anunciou que projeta implantar medidas para a transição ecológica. Previsto para agosto, o pacote de medidas deve ser dividido em seis eixos e incluir pontos como mercado regulado de carbono, bioeconomia, transição energética e hidrogênio verde (EPBR, 2023a).

Conforme MoU assinado entre Brasil e Emirados Árabes Unidos, em 14/6/2023, ambos países irão colaborar em hidrogênio de baixo carbono para fins de conversão de energia e tecnologias de descarbonização e biocombustíveis (EPBR, 2023).

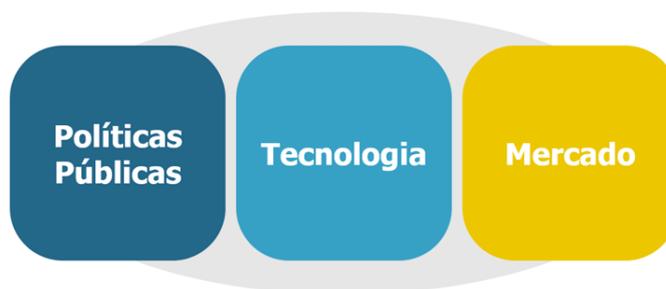
5.2.2. Programa Nacional do Hidrogênio (PNH₂)

O Governo Federal, por meio do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) editou a Resolução CNPE 6/2021 determinando a realização de estudo para proposição de diretrizes para o Programa Nacional de Hidrogênio (PNH₂). A proposta de diretrizes foi publicada em agosto de 2021, sendo resultado da atuação do Ministério de Minas e Energia (MME), em cooperação com os Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e Desenvolvimento Regional (MDR), com o apoio técnico da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). O documento foi fruto de diversas reuniões envolvendo instituições e agentes dos setores privado e público e traz um histórico do hidrogênio no Brasil, apresenta o contexto internacional e aponta objetivos para o PNH₂ e para a governança do programa. (BRASIL; MME, 2021)

Em 23 de junho de 2022, o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH₂) foi aprovado por meio da Resolução CNPE 6/2022 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022). O programa visa desenvolver a economia do hidrogênio no País,

com foco na sua utilização enquanto vetor energético, abraçar a diversidade de recursos, arranjos tecnológicos e modelos de negócios, e tem base em três pilares: políticas públicas, tecnologia e mercado (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 16 - Pilares essenciais para o desenvolvimento da economia do hidrogênio.



Fonte: MME, 2021.

Ademais, o PNH2 se divide em seis eixos estratégicos, conforme ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo:

Figura 17 - Eixos temáticos que compõem o PNH2.



Fonte: MME, 2021.

De acordo com o PNH2, os seis eixos apresentam as seguintes diretrizes gerais:

- 1. Eixo 1 – Fortalecimento das bases científico-tecnológicas:** Mapear e aumentar as competências existentes no País para o desenvolvimento da economia do hidrogênio, bem como as lacunas a serem preenchidas, com as seguintes diretrizes.

- 2. Eixo 2 – Capacitação e recursos humanos:** Desenvolver recursos humanos nacionais com competências para planejamento, licenciamento, implantação e operação de projetos relacionados à produção, transporte, armazenamento e uso do hidrogênio,
- 3. Eixo 3 - Planejamento energético:** Realizar estudos de demanda e oferta existente e potencial e aprimorar sua representação e modelagem no processo de planejamento energético nacional.
- 4. Eixo 4 – Arcabouço legal e regulatório:** Mapear legislações e regulações nacionais existentes para subsidiar a inclusão do Hidrogênio, como vetor energético e combustível na matriz energética brasileira. Promover a regulação, por meio de agências governamentais, sobre produção, transporte, qualidade, armazenamento e uso do hidrogênio e suas tecnologias.
- 5. Eixo 5 – Crescimento do mercado e competitividade:** mapear atores nacionais que já operam com aplicações de hidrogênio a fim de mobilizar outros players para adoção do uso de tecnologias do hidrogênio em outras cadeias produtivas, tais como siderurgia, fertilizantes e processos químicos.
- 6. Eixo 6 – Cooperação internacional:** considerar a dimensão da cooperação internacional como elemento integral do domínio do ciclo tecnológico completo, do desenvolvimento industrial e da consolidação da economia do hidrogênio no Brasil.

No programa, foi instituído o Comitê Gestor do Programa Nacional do Hidrogênio (Coges-PNH2) formado por representantes dos seguintes órgãos e entidades, sob coordenação do primeiro:

- I - Ministério de Minas e Energia, que o coordenará;
- II - Casa Civil da Presidência da República;
- III - Ministério da Economia;
- IV - Ministério do Meio Ambiente;
- V - Ministério das Relações Exteriores;
- VI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações;
- VII - Ministério do Desenvolvimento Regional;
- VIII - Ministério da Educação;
- IX - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
- X - Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos da Presidência da República;
- XI - Agência Nacional de Energia Elétrica;
- XII - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; e
- XIII - Empresa de Pesquisa Energética.

O Coges-PNH2 tem como competência orientar e aprovar periodicamente o plano de trabalho das Câmaras Temáticas, bem como promover sinergia entre esse

plano e o PNH2, além de atuar para promover o H2 como vetor energético e consolidar o mercado e a indústria no Brasil.

Os cinco primeiros eixos dão origem a cinco Câmaras Temáticas, que possuem como objetivo examinar questões específicas de sua competência, desenvolver estudos, análises, produzir relatórios técnicos e subsidiar o Coges-PNH2. O último eixo (cooperação internacional) está presente em todas as Câmaras de forma transversal.

Como resultado das reuniões das Câmaras Temáticas realizadas entre agosto e dezembro de 2022, foi elaborado o relatório para apresentar o Plano de Trabalho Trienal 2023-2025 do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), que tem como objetivo nortear as ações do Governo Federal no desenvolvimento do setor de hidrogênio nos próximos anos consolidando as discussões técnicas realizadas em cada câmara temática ao longo de 2022, que representa um dos 5 eixos temáticos.

Para cada eixo, foram elencadas componentes de atuação (temas). Dentro de cada tema, foram elencadas ações diversas, para as quais se designaram atores responsáveis, prazo (entre 2023 e 2025) e indicadores para mensuração de resultados. Desse modo, o plano trienal apresenta cronogramas para cada eixo temático.

O referido plano tem como objetivo servir de norte para as ações do governo federal no desenvolvimento do setor de hidrogênio nos próximos anos. Após a aprovação do Comitê Gestor do Programa (Coges-PNH2), o plano trienal foi submetido à Consulta Pública 147 em 14/12/2022, por meio de Portaria nº 713/GM/MME, de 13/12/2022. Essa portaria foi prorrogada pela Portaria 721/GM/MME, de 30/1/2023, para que as contribuições fossem finalizadas até 28/2/2023. Contudo, até o momento, não houve a publicação do plano trienal considerando a consolidação das contribuições.

Especificamente quanto ao cronograma do eixo temático “Arcabouço legal e regulatório-normativo” verifica-se que os prazos previstos são demasiadamente alongados, considerando a quantidade de Memorandos de Entendimento que os estados têm assinado e o volume de recursos dispensados pelos países europeus para investimentos na área.

Por exemplo, de acordo com o cronograma do plano trienal no eixo temático “Arcabouço legal e regulatório-normativo”, item 1, a redação de minuta de dispositivo contendo a definição de hidrogênio de baixo carbono, bem como a proposta de texto

com emenda à Lei 9.478/1997 a fim de dispor sobre atividades relacionadas ao hidrogênio de baixo carbono e conferir competências pertinentes à ANP estavam previstas para serem realizadas até o mês de julho de 2023, o que não foi realizado. Nesse ponto, vislumbra-se a necessidade de se discutir se, de fato, cabe à ANP a regulação do hidrogênio verde em especial, considerando-se que o H2V é um vetor energético e não meramente um combustível.

Conforme descrito na Lei 9.478/1997, art. 7º, cabe à ANP a regulação da indústria do petróleo, gás natural, seus derivados e biocombustíveis. No caso do H2V, a sua principal característica é a utilização de eletricidade provinda de fonte renovável para a eletrólise da água, sendo o custo da energia de alta representatividade na produção (cerca de 70%). Nesse ponto, vislumbra-se muita mais a atuação da Aneel, no sentido de regular a produção do H2V ante à necessária interrelação com fornecimento de energia elétrica limpa, bem como a atuação da ANA relativamente à normatização quanto à captação e uso da água destinada à eletrólise. A atuação da ANP seria secundária e interferiria muito mais no que tange ao uso como forma de combustível, e não quanto à produção.

Uma das ações previstas no plano trienal é a elaboração de relatório com mapeamento dos normativos que estabelecem as competências existentes da ANP e de outras agências reguladoras e identificação das eventuais lacunas regulatórias para as cadeias do hidrogênio. Esta é uma ação prevista para ser executada 12 meses após a aprovação do plano trienal, que ainda não foi realizada até o momento.

Em outros termos, o início da regulamentação do H2V depende de ações do MME que contém data de início vinculada à aprovação do Plano Trienal. Em consulta ao sítio do MME, verificou-se que, após a mudança de Governo no início de 2023, os novos membros do Coges-PNH2 foram definidos recentemente, por meio da Portariaº 389-P/GM/MME, de 6/6/2023. Todavia, não há previsão para a consolidação das contribuições à Consulta Pública 147/2022, muito menos data para aprovação do Plano Trienal do PNH2.

É possível que esse prazo excessivamente alongado quanto à regulação do H2V venha a resultar em perdas de oportunidade para o Brasil, haja vista o grande potencial de geração de H2V e os interesses internacionais em importá-lo. Sem a segurança jurídica trazida pela regulação, outros países com estratégias nacionais mais avançadas podem despontar à frente do Brasil

Desse modo, conclui-se que o plano trienal do PNH2 possui alta abrangência e um longo horizonte temporal de efetividade das ações para o estabelecimento de quadros regulatório e jurídico adequados e transparentes para o início dos projetos privados no país. Um plano de 3 anos nesse caso é longo, uma vez que os Estados, a exemplo do Ceará, em 3 anos, já produzirá hidrogênio verde em larga escala. Nesse ponto, vale mencionar que recentemente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), em evento da AHK, foi citado que há 46 projetos anunciados em diversos estados brasileiros.

A pouca celeridade na coordenação da tomada de ações e a definição de metas e indicadores específicos para o desenvolvimento da economia do H2V no Brasil pode fazer com que nosso país perca oportunidades ímpares no contexto da transição energética.

5.2.3. Legislações estaduais

Com a demora na regulamentação do H2V como vetor energético e, considerando os investimentos de outros países para a produção do combustível, alguns estados criaram as próprias políticas públicas para incentivo e regulamentação do uso do H2V a nível estadual. A seguir, discorre-se sobre os principais estados em que isso ocorreu:

5.2.3.1. Ceará

O Ceará é o Estado que mais se destaca no campo normativo.

Por meio do Decreto 34.221/2021, de 3/9/2021, o Governo do Estado do Ceará desobriga a retenção de ICMS devido por substituição tributária incidente sobre a entrada de energia elétrica no Ceará para a produção de H2V.

O Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) editou a Resolução COEMA nº 3, de 10/2/2022, em que estabelece os critérios e parâmetros aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental nos empreendimentos de produção de hidrogênio verde no Estado do Ceará.

Em 12/5/22, o Governo do Estado assinou o Decreto 34.733 que instituiu o plano estadual de transição energética justa do Ceará (Ceará verde). Dentre os

objetivos do Ceará Verde relacionados ao H2V, destacam-se (art. 3º do Decreto 34.733/2022):

- Apoio ao desenvolvimento científico-tecnológico associado à produção, processamento e utilização de H2V;
- Estímulo à produção de H2V e à implantação de novos empreendimentos que processem ou utilizem o H2V;
- Estabelecimento de ambiente de negócios que torne o Estado atraente para investimentos na cadeia produtiva de H2V;
- Distribuição de oportunidades, geração de empregos e renda em toda a cadeia produtiva de ER e derivados;

Dentre as diretrizes do Ceará Verde relacionadas ao H2V, destacam-se as seguintes (art. 4º do Decreto 34.733/2022):

- Cooperação com o setor produtivo e com agências nacionais e internacionais para fomento à pesquisa, visando fortalecer a estrutura científico-tecnológica;
- Alinhamento das políticas públicas estaduais com os requisitos regulatórios nacionais e internacionais visando manter a atratividade e competitividade do Estado;
- incentivo a projetos de implementação, ampliação, modernização e diversificação da produção de H2V, seu processamento industrial ou utilização como matéria-prima ou insumo energético na indústria, mobilidade urbana e transportes, bem como seu armazenamento e comercialização

De acordo com o Portal do Governo do Ceará (2023), a primeira molécula de H2V foi produzida em janeiro de 2023 no projeto piloto de H2V no Complexo Termelétrico do Pecém (UTE Pecém), em São Gonçalo do Amarante, que tem à frente a EDP Brasil e parceiras estratégicas. A planta de Hidrogênio Verde (Pecém H2V) da EDP é um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento da UTE Pecém. Contempla uma usina solar com capacidade de 3 MW e um módulo eletrolisador de última geração para produção do combustível com garantia de origem renovável, com capacidade de produzir 250 Nm³/h do gás.

Em maio de 2023, o Governo do Ceará, por meio da Secretaria do Desenvolvimento Econômico (SDE), do Complexo do Pecém e da Agência de

Desenvolvimento Econômico do Ceará (Adece), encerrou sua participação na World Hydrogen 2023, nos Países Baixos, com três memorandos de entendimento (MoUs) assinados (PORTAL DO GOVERNO DO CEARÁ, 2023).

Até agora o Ceará possui 30 MoUs no total, dos quais três já evoluíram para pré-contratos. O primeiro deles foi assinado com a multinacional australiana Fortescue Metals Group em junho de 2022 (PORTAL DO GOVERNO DO CEARÁ, 2023).

Até o momento, apenas três empresas de fato assinaram acordos e estão com áreas reservadas no Porto do Pecém: a australiana Fortescue, a brasileira Casa dos Ventos e a francesa Qair, todas já com contratos para reserva de área no porto.

No entanto, os planos estão em diferentes estágios de desenvolvimento. A Casa dos Ventos, por exemplo, deve tomar a decisão final de investimentos até o fim de 2024 (PV MAGAZINE, 2023).

A francesa Qair desenvolve no Porto de Pecém a planta de hidrogênio verde e amônia Liberdade, de 2.240 MW de capacidade – é mesma potência projetada para a planta em desenvolvimento no Porto de Suape, em Pernambuco. Com ambos os projetos, a companhia projeta uma capacidade acumulada de hidrogênio verde e amônia de 4.480 MW com operação comercial progressiva entre 2028 e 2036 – cada planta está dividida em quatro fases de 560 MW, que devem ser completadas a cada dois anos. Ambos os projetos estarão prontos para serem negociados com potenciais clientes e parceiros em 2025, e a intenção é atender tanto o mercado norte – americano quanto o europeu (PV MAGAZINE, 2023).

No médio prazo, para 2024, a companhia planeja duas plantas piloto de cerca de 5 MW nos portos de Pecém e Suape. Para essas plantas, a ideia é testar o mercado interno, com injeção de hidrogênio verde nos gasodutos de gás natural das companhias de gás do Ceará (Cegás) e de Pernambuco (Copergás); fornecimento para empresas como White Martins e a EDP; e abastecimento de células a combustível *standalone*. No Pecém, está sendo negociado ainda o uso em ônibus elétricos. A injeção de hidrogênio verde direto na rede de gás natural ainda depende de regulação no Brasil (PV MAGAZINE, 2023).

No *World Hydrogen 2023*, também foi assinado um acordo para a criação do Corredor de Hidrogênio Verde entre o Porto do Pecém e o Porto de Roterdã. O porto holandês possui 30% de participação acionária no complexo cearense. As empresas Fortescue, AES Brasil, Casa dos Ventos, EDP e Nexway também aderiram à criação

do corredor e possuem projetos em fase de desenvolvimento no Pecém. (EPBR, 2023c).

De acordo com a Agência EPBR, o governo dos Países Baixos quer reduzir as emissões até 2030 em 55%, e zerar em 2050. Recentemente, o país divulgou o desenho do projeto do Fundo Climático para 2024, que prevê 28,1 bilhões de euros para gastos climáticos no país até 2030. Desse total, 7,5 bilhões de euros serão destinados para desenvolver a indústria de hidrogênio verde, incluindo 300 milhões de euros para importação desse energético – o que pode favorecer os projetos de hidrogênio verde no Porto do Pecém, no Ceará (EPBR, 2023c).

Até 2031, a projeção é de produção de 1 milhão de toneladas de H₂V, 5,9 GW em eletrólise, 16 bilhões em investimentos e mais de 100 mil empregos gerados.

Vendendo o projeto do Hub de H₂V, o Complexo do Pecém destaca a sua localização geográfica estratégica, com rotas marítimas conectadas à Europa e aos Estados Unidos, os diversos incentivos fiscais que oferece a área e o fato de que o Pecém é um parque industrial instalado com empresas do “mercado consumidor de hidrogênio”, todas elas grandes poluentes, incluindo os setores de aço, fertilizantes, cimento, mineração e até uma futura refinaria a ser instalada no local.

No 1º Simpósio Paraibano de Hidrogênio Renovável, o Secretário Executivo da Indústria, Joaquim Rolim, também mencionou que o Ceará pretende utilizar água de reuso para a produção de H₂V, assim como água dessalinizada.

5.2.3.2. Bahia

O governo da Bahia publicou o Decreto 21.200, de 3/3/2022, que instituiu o Plano Estadual para a Economia do Hidrogênio Verde -PLEH₂V. O objetivo do plano é promover, fortalecer e consolidar a produção e o uso do hidrogênio verde (H₂V), além de impulsionar pesquisas científico-tecnológicas sobre o tema.

Dentre os dispositivos do Decreto, destaca-se:

Art. 1º - Fica instituído o Plano Estadual para a Economia do Hidrogênio Verde -PLEH₂V, tendo como objetivo a promoção, o fortalecimento e a consolidação da produção, processamento e utilização, bem como da pesquisa científico-tecnológica e da inovação a essas associadas, do hidrogênio verde como matéria-prima em processos industriais e como insumo energético nos diversos setores da economia, em particular na indústria, na mobilidade urbana e nos transportes, visando a implantação, modernização e diversificação de empreendimentos e a consolidação da cadeia produtiva do hidrogênio verde no Estado.

(...)

Art. 4º - São diretrizes do PLEH₂V:

I - alocar recursos públicos e estabelecer parcerias com o setor produtivo e com agências nacionais e internacionais de fomento à pesquisa, desenvolvimento e inovação, visando implantar e fortalecer a estrutura científico-tecnológica e apoiar projetos de desenvolvimento e de transferência de tecnologias voltadas à produção, processamento e utilização do H₂V;

II - estabelecer políticas públicas que contemplem objetivos e metas para pesquisa, inovação, produção, processamento, utilização e comercialização de H₂V e de seus derivados no Estado;

III - identificar os requisitos regulatórios nacionais e internacionais e instrumentos de apoio e fomento existentes, e em elaboração, e promover o respectivo alinhamento das políticas e programas públicos estaduais, visando manter a atratividade e competitividade do Estado no ambiente de negócios do H₂V;

IV - estabelecer uma estrutura de fomento e concessão de incentivos fiscais para projetos de implementação, ampliação, modernização e diversificação da produção de H₂V, seu processamento industrial ou utilização como matéria-prima ou insumo energético na indústria, mobilidade urbana e transportes, bem como seu armazenamento e comercialização;

V - prospectar e atrair projetos de produção, processamento e utilização de H₂V, visando o desenvolvimento, a modernização e a diversificação da indústria do Estado, agregação de valor, aproveitamento de mão de obra local e contratação de recursos humanos de alta especialização e inovação tecnológica;

VI - instituir procedimentos e trâmites para autorização ou licenciamento de projetos de infraestrutura, produção, processamento, armazenamento e transporte do H₂V e de seus derivados, de modo a estabelecer um ambiente de negócios ágil e seguro que torne o Estado atraente e competitivo para investimentos na cadeia produtiva do H₂V.

(...)

Art. 8º - Para fins de execução dos subprogramas previstos nos incisos I e II do art. 7º deste Decreto, o Estado poderá lançar editais de demanda induzida para pesquisa, bem como firmar contratos, convênios, acordos ou termos de fomento, com entidades públicas ou privadas, com ou sem fins lucrativos, e, por meio desses instrumentos, promover a articulação da comunidade acadêmica e das entidades de pesquisa e fomento para atender aos objetivos deste PLEH₂V.

As norueguesas Aker Clean Hydrogen e Statkraft e a empresa alemã Sowitec anunciaram em 26/4/2022 um acordo de cooperação para desenvolvimento conjunto de um projeto híbrido de larga escala que combine geração de energia renovável e produção de hidrogênio e amônia verdes, na Bahia. Previsto para entrar em operação em 2027, o projeto visa a atender à indústria brasileira de fertilizantes. A ideia é que a amônia cinza, de origem fóssil, seja substituída pelo produto verde (EPBR, 2023d).

Em 18/1/2023, a indústria química brasileira Unigel anunciou que investirá até US\$ 1,5 bilhão em seu complexo em Camaçari, na Bahia, a primeira instalação do país para o produto em escala industrial. A fábrica deve ter a primeira de três fases inaugurada até o fim de 2023, ampliando a capacidade até chegar a 2027 produzindo 100 mil toneladas de hidrogênio, ou 600 mil de um de seus derivados, a amônia. A primeira fase do projeto foi anunciada em meados de 2022, com investimento de 120

milhões de dólares e capacidade de produção de 10 mil toneladas por ano de hidrogênio verde e de 60 mil toneladas por ano de amônia verde (REUTERS, 2023).

A chinesa CGN Brazil Energy assinou, no dia 30/5/23, um memorando de entendimento com a Quinto Energy, para implementação de um complexo de geração de energia eólica e solar da ordem de 14 GW de capacidade instalada, no sertão da Bahia, com foco na produção de hidrogênio verde em larga escala. A companhia inaugurou nesta terça o Complexo Eólico Tanque Novo (180 MW), segundo maior projeto da companhia no país. O investimento foi de R\$ 1,15 bilhão (EPBR, 2023g).

5.2.3.3. Rio Grande do Sul

Em 16/2/2023, o Rio Grande do Sul divulgou as estratégias para a produção do hidrogênio verde em solenidade com a presença de governadores e secretários estaduais. No evento de divulgação, o Governador também mostrou relatório final produzido pela empresa de consultoria McKinsey & Company (EUA), contratada para estudar as perspectivas do mercado de H₂V no Estado. (GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2023)

Segundo estudo da McKinsey, contratado pelo governo gaúcho, o preço do hidrogênio renovável produzido no estado pode custar entre US\$ 2,1/kg e US\$ 3,4/kg até o final da década (EPBR, 2023e).

De acordo com a EPBR, em maio de 2023, o Banco do Estado do Rio Grande do Sul (Banrisul) anunciou linhas de crédito para projetos de energias renováveis voltados para a produção de hidrogênio verde no estado, que possui atualmente 22 projetos de parques eólicos em alto mar em licenciamento junto ao Ibama, somando mais de 55 GW em capacidade instalada.

Os projetos eólicos estão próximos a zonas portuárias, como os portos de Pelotas, Porto Alegre e de Rio Grande – o que representa vantagens para o estado na produção de hidrogênio verde.

Figura 18 - Benefícios do H2V no Rio Grande do Sul.

Cenário	Adoção de aplicações de baixa complexidade	Adoção de aplicações de baixa e média complexidade	Adoção de aplicações de baixa, média e alta complexidade
Aplicações adotadas no cenário	Uso em refinarias, transporte ferroviário e cicloturbinas	» Uso em refinarias, transporte rodoviário e cicloturbinas » Uso em fertilizante, metanol, aquecimento industrial, transporte marítimo, mistura de gás	» Uso em refinarias, transporte rodoviário e cicloturbinas » Uso em fertilizante, metanol, aquecimento industrial, transporte marítimo, mistura de gás » Uso em transporte rodoviário e carro de passageiro
Estimativas acumuladas até 2040 PIB	~R\$ 3,7 bi (1% do PIB anual do RS de 2021)	~R\$ 33,6 bi (6% do PIB anual do RS de 2021)	~R\$ 62 bi (11% do PIB anual do RS de 2021)
Empregos	~2 mil	~25 mil	~41 mil

Nota: Montantes a preços de 2022 em reais sem taxa de desconto, considerando cambio médio de 2022 segundo IPEA de USD/BRL de 5,1. Dada existência de fatores atrelados ao dólar, a volatilidade do cambio pode afetar dimensão dos valores a longo prazo.
Fonte: FIPE/DEE, tabelas insumo/produto OECD, IBGE/SIDRA, CAGED

Fonte: SEMA, 2023.

5.2.3.4. Minas Gerais

A Assembleia Legislativa estadual analisa, desde 2021, um marco legal para posicionar Minas Gerais como produtora e exportadora de H2V, ou de produtos com baixa pegada de carbono, como aço verde e amônia verde.

O PL 3043/2021 propõe estimular o uso do H2V na produção de fertilizantes e no transporte público, além de estabelecer instrumentos de incentivo à produção e aquisição de equipamentos relacionados à cadeia. Ainda precisa ser aprovado e sancionado, mas o marco tenta preencher uma lacuna regulatória, enquanto o país ensaia seu plano nacional.

De acordo com a Agência EPBR (2023b):

Minas Gerais foi o primeiro estado da região a aderir à campanha Race To Zero, da ONU, para neutralizar as emissões de gases de efeito estufa até 2050. mas terá um longo caminho pela frente: terceiro maior emissor brasileiro, o estado lançou 168 milhões de toneladas de CO2 na atmosfera em 2021. Desse total, 36% vieram da agropecuária, 22% de mudanças no uso da terra (desmatamento), 21% da energia e 16% da indústria. Por ser um exportador de commodities, descarbonizar a produção mineira (e brasileira) é questão de sobrevivência, conforme os mercados vão se organizando para estabelecer padrões verdes no comércio internacional. (EPBR, 2023b)

Em 12/3/2023, o grupo Neuman & Esser lançou a pedra fundamental da primeira unidade dedicada à fabricação de geradores de hidrogênio verde (H2V) da América Latina, além de produzir reformadores de etanol e biometano com foco nos clientes do setor de agro. Com apoio da Invest Minas, a empresa alemã investirá R\$ 70 milhões na fabricação de equipamentos como eletrolisadores de tipo PEM e alcalino e reformadores que poderão ser adaptados de acordo com a necessidade e os recursos de cada local de produção.

5.2.3.5. Goiás

Por meio da Lei 21.767, de 2 de janeiro de 2023, o estado de Goiás instituiu a Política Estadual do Hidrogênio Verde com o objetivo reduzir a emissão de carbono e ampliar a matriz energética no Estado de Goiás. A regulamentação da lei depende, no entanto, do Poder Executivo que estabelecerá a forma de monitoramento e avaliação da Política Pública instituída.

5.2.3.6. Pernambuco

A Lei estadual 19.976/2022, publicada no DOE-PE em 13/12/2022, institui a Política Pública Estadual do Hidrogênio Verde com o intuito de redução de emissões de gás carbônico na atmosfera e ampliação da matriz energética no Estado de Pernambuco.

Conforme art. 2º da referida lei, são objetivos da Política Estadual do Hidrogênio Verde:

- I - aumentar a participação do hidrogênio verde na matriz energética do Estado;
- II - estimular o uso do hidrogênio verde em suas diversas aplicações e, em especial, como fonte energética e produção de fertilizantes agrícolas;
- III - contribuir para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa e, por conseguinte para o enfrentamento das mudanças climáticas;
- IV - estimular, apoiar e fomentar a cadeia produtiva do hidrogênio verde no Estado de Pernambuco;
- V - incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos usos de hidrogênio verde na matriz energética;
- VI - proporcionar a sinergia entre as fontes de geração de energias renováveis;
- VII - estimular o desenvolvimento tecnológico voltado à produção e aplicação de hidrogênio verde, orientado para o uso racional e a proteção dos recursos naturais;

VIII - atrair investimentos em infraestrutura para a produção, distribuição e comercialização do hidrogênio verde; e,
IX - estimular o desenvolvimento e a capacitação de setores produtivos, comerciais e de serviços relativos a sistemas de energia a base de hidrogênio.

5.2.3.7. Piauí

Em 16/2/2022, o Decreto 20.619/2022 alterou o Decreto nº 13.500/2008, que consolida e regulamenta disposições sobre o Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - ICMS. A alteração visou incluir a desobrigação de retenção de ICMS para estabelecimentos produtores de hidrogênio verde.

Em 5/7/2023 foi apresentada na Assembleia Legislativa do Estado do Piauí o projeto de lei que institui a Política Pública Estadual do Hidrogênio Verde, visando aumentar a participação do hidrogênio verde na matriz energética do Piauí; estimular o uso do hidrogênio verde em suas diversas aplicações, em especial como fonte energética e produção de fertilizantes agrícolas; e contribuir para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa. A proposição está em análise das comissões técnicas da Casa.

5.2.3.8. Rio de Janeiro

A Lei estadual 7.907/2023, de junho de 2023, reduziu para 2% a alíquota de Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISS) sobre determinados serviços relacionados ao mercado de carbono, tais como desenvolvimento de projetos e certificação de créditos de carbono.

5.2.3.9. Paraná

A Lei estadual 21.545/2023 dispõe sobre parâmetros de incentivo ao uso de hidrogênio renovável no Estado do Paraná. A Lei define como hidrogênio renovável hidrogênio renovável aquele obtido a partir de fontes renováveis por meio de um processo com baixa emissão de carbono (ou seja, é uma definição mais ampla que a do hidrogênio verde, que possui emissão nula de carbono em seu processo produtivo).

Interessante destacar o art. 4º da referida lei, o qual discrimina ações que o poder público estadual pode tomar para incentivar a inserção do hidrogênio renovável na economia do estado do Paraná:

Para a consecução dos objetivos de que trata esta Lei, o poder público poderá promover, entre outras, as seguintes ações:

I – realizar estudos e estabelecimento de metas, normas, programas, planos e procedimentos que visem ao aumento da participação da energia de hidrogênio na matriz energética do Estado;

II – realizar estudos:

a) para a elaboração de instrumentos fiscais e creditícios que incentivem a produção e a aquisição de equipamentos e materiais empregados em sistemas de produção e aplicação de hidrogênio;

b) para a destinação de recursos financeiros na legislação orçamentária para o custeio de atividades, programas e projetos voltados para os objetivos desta campanha;

III – firmar convênios com instituições públicas e privadas e financiar pesquisas e projetos que visem:

a) ao desenvolvimento tecnológico e à redução de custos de sistemas de energia a base de hidrogênio renovável;

b) à capacitação de recursos humanos para a elaboração, a instalação e a manutenção de projetos de sistemas de energia a base de hidrogênio renovável;

IV – incentivar o uso de hidrogênio renovável no transporte público, na indústria e na agricultura;

V – promover estudos em sandbox regulatório, para desenvolver planta de produção e serviços para hidrogênio com baixa produção de carbono, para implantação de soluções e novidades tecnológicas.

5.2.4. Projetos de lei e Comissões Especiais no Congresso Nacional

Em consulta ao sítio do Senado Federal e da Câmara dos Deputados, verificou-se a existências das seguintes propostas de lei em tramitação no Congresso Nacional (Tabela 4).

Tabela 4 – Propostas de lei em tramitação no Congresso Nacional para a regulação do Hidrogênio Verde.

Casa de origem	Proposição	Ementa	Data da apresentação	Situação em 2/6/2023
Senado Federal	PL 725/2022	Disciplina a inserção do hidrogênio como fonte de energia no Brasil e estabelecer parâmetros de incentivo ao uso do hidrogênio sustentável.	28/03/2022	Em tramitação
Senado Federal	PL 1878/2022	Cria a Política que regula a produção e usos para fins	04/07/2022	Em tramitação

		energéticos do Hidrogênio Verde.		
Senado Federal	PL 1880/2022	Cria programa de incentivos para a produção em escala de células de combustível, aproveitando o potencial das cadeias de valor do hidrogênio, etanol e biogás	01/07/2022	Em tramitação
Câmara dos Deputados	PL 2308/2023	Dispõe sobre a definição legal de hidrogênio combustível e de hidrogênio verde.	03/05/2023	Aguardando Despacho do Presidente da Câmara dos Deputados

Fonte: Elaboração própria.

Quanto às iniciativas do Congresso Nacional, verificou-se que, desde 28/3/2022 tramita no Senado Federal o Projeto de Lei PL 725/2022, que pretende disciplinar a inserção do hidrogênio como fonte de energia no Brasil e estabelecer parâmetros de incentivo ao uso do hidrogênio sustentável. Destaca-se no texto a denominação de hidrogênio sustentável como sendo aquele produzido por fonte solar, eólica, biomassas, biogás e hidráulica. O PL altera artigos da Lei 9.478/1997 (Política Energética Nacional) de modo a incluir no rol das atribuições da Agência Nacional de Petróleo (ANP), a regulação, autorização e fiscalização da cadeia do hidrogênio, inclusive a produção, importação, exportação e armazenagem, estocagem, padrões para uso e injeção nos pontos de entrega ou de saída. Por fim, a PL 725/2022 trata de percentuais mínimos obrigatórios em volume para adição de hidrogênio nos gasodutos de transporte. O último andamento da matéria refere-se à abertura de prazo pela Comissão de Meio Ambiente para apresentação de emendas ao projeto, o que não ocorreu até 31/3/23, quando o período se encerrou.

O PL 1878/2022, de autoria da Comissão de Meio Ambiente do Senado Federal, dispõe sobre a criação da política que regula a produção e usos para fins energéticos do hidrogênio verde. Como fundamentos para exploração, produção, transporte e armazenagem do H₂V, o PL destaca: o interesse nacional, a utilidade pública, a segurança energética, a proteção e a defesa do meio ambiente.

Em consonância com o PL 725/2022, o PL 1878/2022 também institui a ANP como entidade responsável pela regulação da indústria do hidrogênio verde. À ANP caberá implementar a política nacional de petróleo, gás natural, biocombustíveis e hidrogênio verde em todo o território nacional e na proteção dos interesses de

consumidores quanto a preço, qualidade e oferta dos produtos, além de fiscalizar suas atividades industriais, organizar e manter boas práticas de conservação e uso racional, especificar qualidade. A regulação, autorização e fiscalização de todas as atividades da cadeia do hidrogênio verde, incluindo importação, exportação, armazenagem, estocagem e padrões de uso e injeção em pontos de entrega e saída também ficariam a cargo da ANP, além da emissão das licenças para produção.

A respeito da atuação de outras agências na cadeia de valor do H2V, o PL 1878/2022 destaca:

1. Competências da ANA

1.1. A unidade produtora de Hidrogênio Verde que utilizar recursos hídricos para a produção deverá atender às normas e aos regulamentos estabelecidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e demais órgãos competentes (art. 6º, § 6º)

1.2. A outorga para o uso de recursos hídricos associada à implantação de empreendimentos para a geração do hidrogênio verde observará a lei específica das águas, a regulamentação da ANA, assegurando a economicidade de recursos hídricos no processo produtivo (art. 9º e 11)

2. Competências da Aneel

2.1. A unidade produtora de Hidrogênio Verde que produzir ou comercializar energia elétrica deverá atender às normas e aos regulamentos estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e demais órgãos e entidades competentes. (art. 6º, § 7º)

Ponto interessante no PL 1878/2022 é tratado no art. 13, que prevê que “o licenciamento de projetos de Hidrogênio Verde, bem como seu acesso a crédito incentivado pela União, condicionam-se ao compromisso do licenciado quanto à capacitação e formação dos respectivos trabalhadores envolvidos no empreendimento”. Considerando o potencial de geração de empregos e rendas internamente, esse dispositivo é uma forma de assegurar o uso de mão de obra local; contudo, seria interessante maior detalhamento quanto a percentual mínimo de empregos nacionais como condicionante (política de conteúdo local).

O PL 1878/2022 recebeu uma emenda em julho de 2022 que propôs ampliar a definição de hidrogênio verde, de modo a inserir o hidrogênio sustentável como sendo

aquele de carbono neutro ou negativo, obtido pela eletrólise da água a partir de fonte de energia elétrica renovável e sem emissão direta de GEE; o hidrogênio verde como aquele exclusivamente obtido pela eletrólise da água a partir da energia elétrica de fontes renováveis; o hidrogênio azul/turquesa como aquele produzido a partir de combustível fóssil com CCUS permanente; e o hidrogênio musgo como aquele obtido a partir de biocombustíveis, por meio de plantação com carbono neutro com CCUS e armazenamento. O último local do PL 1878/2022 data de 20/4/2023 na Comissão Especial para Debate de Políticas Públicas sobre Hidrogênio Verde.

Em 3/5/2023, o PL 2308/2023 foi apresentado à Mesa Diretora da Câmara dos Deputados dispendo unicamente sobre a definição legal de hidrogênio combustível, hidrogênio verde e sistemas de célula combustível (a serem inseridas como alteração à Lei 9.478/1997).

O PL 1880/2022, de autoria da Comissão de Meop a, bornt cria programa de incentivos para a produção em escala de células de combustível, aproveitando o potencial das cadeias de valor do hidrogênio, etanol e biogás, com o objetivo de promover o desenvolvimento dessa fonte energética.

Além das propostas de lei, verificou-se que em 2023 houve um aumento de significativo de movimentações no Congresso Nacional a fim de provocar um posicionamento do Poder Executivo sobre a criação de um arcabouço regulatório acerca do tema, conforme resumido na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 – Movimentações no Congresso Nacional sobre a temática do hidrogênio verde desde 2021.

Casa do Congresso	Movimentação	Teor	Data da movimentação	Status conforme consulta em 2/6/2023
Câmara dos Deputados	RIC 578/2021	Requer informações ao senhor Bento Albuquerque, Ministro de Estado de Minas e Energia sobre os esforços envidados pelo governo federal para o desenvolvimento de projetos de tecnologia com vistas à produção economicamente sustentável de hidrogênio verde ou renovável como fonte de energia.	05/05/2021	

Câmara dos Deputados	INC 954/2021	Sugere ao Ministério de Minas e Energia a implementação de uma política para o desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde.	11/08/2021	Arquivada
Câmara dos Deputados	INC 34/2023	Sugere ao Ministério de Minas e Energia a implementação de uma política para o desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde.	07/02/2023	Aguardando Chancela e Publicação do Despacho
Câmara dos Deputados	INC 144/2023	Requer o envio de Indicação ao Ministro de Minas e Energia, o Senhor Alexandre Silveira, para sugerir a edição de Programa Emergencial para a produção de Fertilizantes Nitrogenados e Hidrogênio Verde.	02/03/2023	Aguardando Autorização do Despacho
Câmara dos Deputados	REQ 689/2023	Requer a criação de Comissão Especial para avaliar e acompanhar iniciativas e medidas que estão sendo adotadas para transição energética - Fontes Renováveis e Produção de Hidrogênio Verde no Brasil.	15/03/2023	Arquivada
Câmara dos Deputados	REQ 11/2023 CME	Requer a criação e constituição de Subcomissão Especial, no âmbito desta Comissão de Minas e Energia, para tratar e debater políticas públicas sobre Hidrogênio Verde.	20/03/2023	Aguardando Providências Internas
Senado Federal	ATS 4/2023	Criação da Comissão Especial de Debate de Políticas Públicas sobre o Hidrogênio Verde (CEHV)	12/04/2023	Em andamento
Câmara dos Deputados	-	Instalação Comissão Especial da Transição Energética e Produção do Hidrogênio Verde no Brasil	31/5/2023	Em andamento

Fonte: Elaboração própria.

No Senado Federal, em 12/4/2023, foi instaurada a Comissão Especial de Debate de Políticas Públicas sobre o Hidrogênio Verde (CEHV). A comissão temporária tem como objetivo debater, no prazo de dois anos, políticas públicas sobre

H2V, de modo a fomentar o ganho em escala dessa tecnologia de geração de energia limpa e avaliar políticas públicas que fomentem a tecnologia do hidrogênio verde. As audiências ocorrem semanalmente e contam com a participação de diversos atores do governo, da academia, e representantes de outros países para debater sobre o assunto.

A primeira audiência da CEHV foi realizada em 26/4/2023. Na audiência da CEHV do dia 24/5/2023, representantes dos estados chamaram a atenção para os seguintes tópicos:

- Necessidade de regulação federal das eólicas offshore;
- Necessidade de maior celeridade na definição de metas objetivas no Programa Nacional do H2, sob o risco de o país perder janela de oportunidade na atração de investimentos para o setor;
- Necessidade de redução da morosidade do CNPE nas definições sobre o PNH2;
- Urgência na definição de um plano estratégico nacional de H2V com metas objetivas, prazos e valores que deverão ser investidos.
- Alguns estados, como o Rio de Janeiro e o Rio Grande do Sul, aguardam definições da União para avançar em políticas próprias de incentivo ao hidrogênio, tendo em vista que a regulação federal é soberana em relação à estadual

No dia 7/6/2023, a CEHV ouviu representantes de instituições financeiras envolvidas em financiamento de projetos de geração sustentável de energia, como o Banco de Desenvolvimento da América Latina, Banco do Nordeste do Brasil, Caixa Econômica Federal, Banco do Brasil e o BNDES. Os representantes consideram importante o investimento em hidrogênio verde para estimular o desenvolvimento regional e reduzir desigualdades no Nordeste, região que tem recursos energéticos estratégicos no direcionamento da economia global nas próximas décadas. Ademais, foi salientada a situação internacional de rápida transição energética em face dos acordos ambientais e o fato de que a nossa vantagem competitiva em produzir energia limpa muitas vezes pode até dispensar subsídios (AGÊNCIA SENADO, 2023)

Para o BNDES, o hidrogênio verde é um vetor-chave para a economia de baixo carbono por sua capacidade de ampliar o alcance das energias renováveis, contudo,

o Brasil deve estar preparado para atender à demanda externa e, ao mesmo tempo, identificar a cadeia produtiva dentro do país para seu aproveitamento (AGÊNCIA SENADO, 2023).

No dia 31/5/2023, a Câmara dos Deputados instalou a Comissão Especial da Transição Energética e Produção do Hidrogênio Verde no Brasil com o objetivo de acompanhar a implementação das medidas que estão sendo adotadas para transição da energia verde no Brasil, promover pesquisas e debates sobre o tema, levantar iniciativas legislativas em tramitação no Congresso, avaliar, conduzir os debates e as ações do Executivo, além de realizar interlocução com as diversas entidades representativas do setor (AGÊNCIA CÂMARA, 2023).

Em 13/6/2023, foi publicado o “Plano de Trabalho da Comissão Especial para estudo, avaliação e acompanhamento das iniciativas e medidas adotadas para transição energética - Fontes Renováveis e Produção de Hidrogênio no Brasil”, o qual contempla a previsão de 15 Audiência Públicas, com a participação de representantes de governo, de universidades, de centro de pesquisa e entidades do setor produtivo (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2023).

5.2.4.1. Entrevista realizada com consultor legislativo

Em conversa realizada com o consultor legislativo Paulo Roberto Alonso Viegas, que atua não exclusivamente na CEHV, foi informado que a ideia da comissão é mapear e fazer um diagnóstico sobre o hidrogênio num período de 1 ano. Tem ocorrido, no âmbito da CEHV, grande interesse por parte de representantes dos estados, da academia, investidores, setor industrial, associações e dos próprios cidadãos.

O consultor disse que a regulamentação da produção do hidrogênio e seus usos é muito ampla e envolve inúmeros e diversos interesses, caso se vá regulamentar todas as rotas de produção. Uma opção seria o fatiamento da proposição legislativa para regulamentar mais rapidamente apenas o hidrogênio verde e não os demais, principalmente devido às oportunidades e à demanda internacional para esse tipo de hidrogênio.

O Brasil, caso demore na regulamentação, além de se atrasar em relação a outros países que já estão garantindo seu papel no mercado internacional, o país

perde a oportunidade de desenvolver o arco do nordeste (estados brasileiros com portos voltados para a Europa, o que facilitaria rotas de exportação de H2V).

Na regulação de cada tipo de hidrogênio, o consultor diz que se deve considerar ao menos 8 linhas:

- A questão de tributos e incentivos
- A Interligação com a regulação de outros segmentos, a exemplo das eólicas off-shore por ser importante insumo na produção de energia elétrica renovável
- A pureza do H2V
- A diferenciação do H2V para o uso interno e para fins de exportação
- O transporte do H2V
- Os impactos ambientais
- A política de conteúdo local e capacitação de mão de obra brasileira
- Atendimento da certificação interna em relação à requerida por outros países

Portanto, necessário que a lei que regulamentará o H2V traga linhas gerais e que itens mais específicos sejam regulamentados por legislação infralegal.

Sobre a agência responsável pela regulamentação, há dúvidas sobre a quem deve ser atribuída tal responsabilidade, uma vez que quem financia o setor de hidrocarbonetos é justamente o setor regulado pela ANP, podendo haver um conflito de interesses quanto à produção. Considerando que a energia elétrica renovável é fator essencial para obtenção do H2V, a Aneel seria um player mais relevante na regulação e na certificação que se dá muito mais na geração do que nos usos.

Sobre as representatividades das comissões de H2V no Senado e na Câmara, disse que a CEHV do Senado possui mais representantes ligados às regiões do Nordeste; já a comissão da Câmara dos Deputados possui mais representantes ligados ao estado de São Paulo, em especial devido ao interesse do setor sucroalcooleiro.

Sobre a atuação do TCU, disse que está previsto que a CEHV ouça a Corte de Contas.

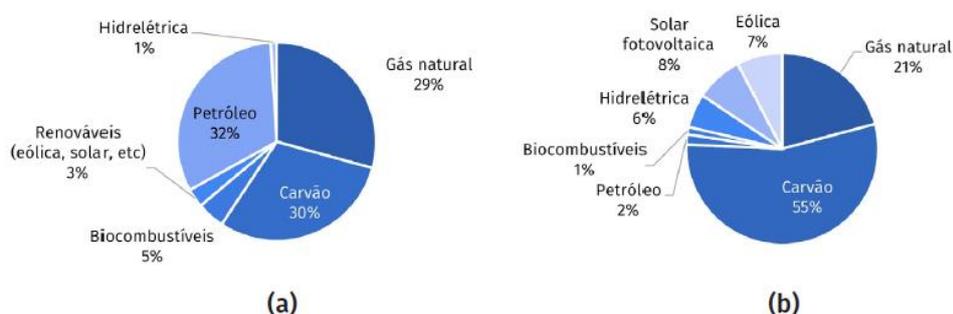
Sobre a interlocução com o MME, disse que esse ponto realmente precisa ser aprimorado.

5.3. Experiência internacional – o caso da Austrália

A Austrália possui abundância em recursos energéticos renováveis e não renováveis, como energia solar e eólica, carvão, gás natural, petróleo, entre outros. O país é um exportador substancial de energia, incluindo gás natural e carvão, com exportações equivalentes a mais de dois terços da produção, sendo atualmente o segundo maior exportador mundial de carvão.

Na geração de eletricidade, os combustíveis fósseis contribuíram com 71% da geração total de eletricidade em 2020, incluindo carvão (55%), gás (21%) e petróleo (2%). Mas a participação do carvão no mix de eletricidade continua a diminuir, em contraste com o início do século, quando a participação era superior a 80% da geração de eletricidade. As energias renováveis contribuíram com 22% da geração total de eletricidade em 2020, especificamente solar (8%), eólica (7%) e hídrica (6%), conforme gráfico da Fonte: CASTRO et al., 2023. A participação da geração de energia renovável aumentou 24% em 2020.

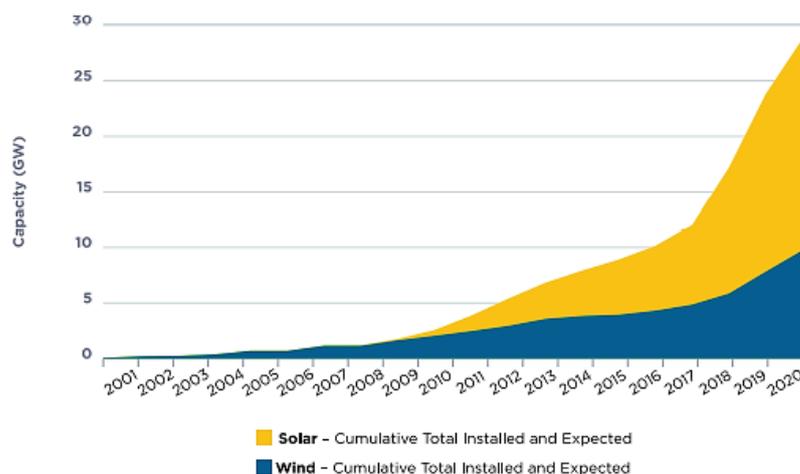
Figura 19 - Matrizes (a) energética e (b) elétrica da Austrália em 2020.



Fonte: CASTRO et al., 2023.

Pela composição da matriz elétrica, percebe-se uma predominância por fontes fósseis, notadamente o carvão, que é um dos principais emissores de gases de efeito estufa. Apesar disso, é importante salientar que a Austrália apresenta elevado potencial para geração renovável, seja por hidrelétricas, seja por usinas eólicas ou solares, e vem investindo consideravelmente nos últimos anos, conforme se vê pelo gráfico da Fonte, pretendendo acelerar ainda mais essa inserção, tendo em vista a necessidade de produção de hidrogênio verde, principalmente para exportação.

Figura 20 - Histórico de desenvolvimento da energia eólica e solar na Austrália.



Fonte: COAG, 2019.

Assim, a Austrália está em transição para um futuro de baixo carbono, com o intuito de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e combater as mudanças climáticas. Em 2016, quando ratificou o Acordo de Paris, comprometeu-se a reduzir de 26 a 28% as emissões de gases de efeito estufa abaixo dos níveis de 2005 até 2030 (K&L GATES, 2020 apud CASTRO et al., 2023). Embora a redução de suas emissões de carbono esteja incluída como objetivo estratégico, sua principal motivação é abrir novos mercados à medida que a demanda por suas exportações de combustíveis fósseis caírem. Dessa forma, uma das alternativas com maior poder de transição identificadas pelo governo se baseia na utilização ampla do hidrogênio em sua economia, todavia, para promover o desenvolvimento desse novo mercado, teve que traçar um caminho ousado e desafiador, pautado sobre inúmeras políticas públicas (CASTRO et al., 2023).

Definida a visão geral do tema, em dezembro de 2018, foi criado um Grupo de Trabalho dedicado ao desenvolvimento da economia do H₂, com o intuito de estruturar uma estratégia nacional para o hidrogênio. Em novembro de 2019, o governo australiano publicou a “Estratégia Nacional de Hidrogênio da Austrália”, cujo objetivo é delinear as ações políticas, econômicas, produtivas, de consumo e desenvolvimento humano para a economia do hidrogênio (WEC, 2020 apud CASTRO et al., 2023).

Nesse sentido, a estratégia proposta no Roadmap Nacional do Hidrogênio é um fator crucial para o adequado posicionamento do país diante do desenvolvimento desse mercado ao redor do mundo. A Estratégia Nacional de Hidrogênio da Austrália cumpre o papel de estabelecer a visão de uma indústria de hidrogênio limpa,

inovadora, segura e competitiva, capaz de posicionar o país como um importante player global até 2030. O plano se estrutura em três pilares principais:

- i) ampliação de energias renováveis;
- ii) certificação de hidrogênio na Austrália;
- iii) suporte do lado da demanda para a adoção do hidrogênio.

A estratégia está entre as mais detalhadas e avançadas em comparação com as demais, uma vez que possui as principais políticas de incentivo ao desenvolvimento da economia do hidrogênio, a destacar o desenvolvimento de medidas regulatórias, normativas e de certificação, o incentivo à P&D, o financiamento e o investimento em toda a cadeia produtiva, a difusão de conhecimento e, finalmente, a governança com base na estratégia nacional proposta (WEC, 2020 apud CASTRO et al., 2023).

Em termos de governança, o país está apoiado pelo Conselho de Energia do Conselho de Governo Australiano (COAG), o Ministério da Indústria, Energia e Redução de Emissões, a National Energy Resources Australia (NERA), a Organização de Ciência e Pesquisa Industrial da Commonwealth da Austrália (CSIRO), Australian Renewable Energy Agency (ARENA) e a Clean Energy Finance Corporation (CEFC).

Do lançamento da estratégia até meados de 2022, é perceptível o avanço da Austrália no desenvolvimento da economia do hidrogênio tanto em nível nacional quanto em desenvolvimento de projetos e cooperações de âmbito internacional. Nesse sentido, destaca-se a estruturação de diversos hubs de hidrogênio, como nos portos de Pecém (Ceará) e do Açú (São João da Barra - RJ), o desenvolvimento de normas, certificação e de mais de 100 projetos em toda a cadeia de valor, bem como o apoio a pesquisas, desenvolvimento e inovações (CSIRO, 2022; EPBR, 2022^a apud CASTRO et al., 2023).

Em relação ao desenvolvimento de aspectos normativos e de certificação, foi constituído o comitê de Tecnologias de Hidrogênio ME-093 da Standards Australia, que é a maior organização de padrões independente, não governamental e sem fins lucrativos da Austrália, sendo então a representante australiana da ISO e da International Electrotechnical Commission (IEC). Tratando especificamente do hidrogênio, o Comitê Técnico de Tecnologias de Hidrogênio ME-093 é responsável por colaborar para desenvolver os padrões técnicos e as orientações necessárias para a indústria de H₂, permitindo a entrega de resultados de desempenho técnico e de segurança (STANDARDS AUSTRALIA, 2019 apud CASTRO et al., 2023). No que diz

respeito aos padrões e normas aplicáveis à exportação, a Austrália considera a certificação de origem em sua Estratégia Nacional como uma prioridade, pois é a única forma de dar transparência aos compradores e de se diferenciar no mercado.

Dos investimentos feitos de 2015 a 2019, cerca de AUD\$ 149 milhões foram destinados a projetos para o desenvolvimento da economia do hidrogênio, dos quais 45% foram destinados à P&D e 3,2% destinados a estudos de viabilidade; AUD\$ 5,04 milhões, a projetos de demonstração e 3,4% a projetos-pilotos (CASTRO et al., 2023).

O suporte político, na Austrália, ao desenvolvimento do hidrogênio, foi destacado, com mais de 1,5 bilhões de dólares anunciados para financiamento. Além disso, os governos australianos estão apoiando as 57 ações governamentais coordenadas nacionalmente, previstas na Estratégia. Na esfera privada, estima-se que o setor possa contribuir com 3 a 4 vezes esse valor, chegando a um total de 6 bilhões de dólares de investimentos na Austrália para a indústria de hidrogênio, ainda que o custo desta transição seja alto e que as necessidades de financiamento ultrapassem este valor, na visão do Conselho Australiano de Hidrogênio (CASTRO et al., 2023).

De acordo com um levantamento da Deloitte (2019) para a Estratégia Nacional do Hidrogênio, estima-se que os potenciais benefícios do desenvolvimento do mercado na Austrália podem gerar um incremento no PIB australiano de 26 bilhões de dólares ao ano e gerar cerca de 16.900 novos empregos no país, até 2050 (NÚCLEO ENERGIA, 2022).

O Governo da Austrália tem trabalhado a fim de mapear as legislações que podem se aplicar ao hidrogênio, além de buscar entender as necessidades existentes de criação de novos aparatos regulatórios para fomentar o desenvolvimento da produção e da demanda por hidrogênio. De acordo com o Centro Brasileiro de Relações Internacionais (CEBRI), um aspecto importante da Estratégia de Hidrogênio australiana é o envolvimento próximo das agências reguladoras na construção de processos de rastreabilidade e standardização para o setor de energias renováveis. Agências reguladoras como a Clean Energy Regulator (CER), por exemplo, vêm trabalhando com foco em dois eixos centrais: a facilitação do mercado de hidrogênio com ênfase nos instrumentos de certificação e o suporte a ampliação da demanda por hidrogênio. Entidades como o CER vêm administrando certificados de energia renovável nos últimos 20 anos, o que contribuiu para acelerar os investimentos em renováveis na Austrália, com base na transparência e nas garantias de origem. Essa

abordagem de certificação tem proporcionado um ambiente seguro para os produtores de energia renovável investirem e extraírem valor de seus produtos de baixas emissões (NÚCLEO ENERGIA, 2022).

No evento “As contribuições do Hidrogênio Verde para a Transição Energética: perspectivas e condições”, realizado em 8/8/2022 e organizado pelo Centro Brasileiro de Relações Internacionais (CEBRI) em parceria com a Embaixada da Austrália, a implementação da certificação de hidrogênio foi citada entre as medidas-chaves, ao lado de incentivos relacionados a bases de infraestrutura, pesquisa e habilitações (NÚCLEO ENERGIA, 2022).

Algumas iniciativas no âmbito da certificação se destacam como importantes ferramentas na promoção da geração de valor em cima das práticas sustentáveis. O Certificado de Geração em Grande Escala (LGC) da Austrália funciona para fornecer um mecanismo claro e transparente, capaz de atestar a compra de eletricidade renovável, criando um ambiente estável onde é possível extrair o valor deste certificado. O impacto subjacente do LGC é fornecer um sinal de preço para o investimento. A mesma lógica pode ser aplicada ao hidrogênio, proporcionando ao mercado a capacidade de extrair valor de seus clientes verdes (NÚCLEO ENERGIA, 2022).

Caminhando nessa direção, as autoridades australianas estão trabalhando em um sistema de Garantia de Origem para o mercado de hidrogênio para construir a confiança do mercado global nos produtos de baixa emissão do país. No centro dessa estrutura, há um certificado que fornecerá informações sobre a procedência do produto em questão, seja o hidrogênio ou suas derivações como a amônia, e sobre sua pegada de carbono. Este esquema de GO (Guarantee of Origin) busca ter abrangência internacional e cobrir a produção de hidrogênio e os transportadores de energia de hidrogênio e ser desenvolvido até o final de 2023. A política está sendo desenhada através diversas etapas até a efetiva implementação da legislação e medidas estão também sendo tomadas para garantir a rastreabilidade das emissões em todas as etapas da cadeia de suprimentos, para fornecer dados claros e transparentes sobre proveniência e origem em cada etapa do processo (NÚCLEO ENERGIA, 2022).

Os testes (trials) de Garantia de Origem foram implementados em dezembro de 2021, com um objetivo inicial de aferir e validar a estrutura de contabilidade de carbono do International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy

(IPHE) e calcular as emissões para projetos no mundo real. Existem mais de 20 empresas participando de projetos de hidrogênio em reforma a vapor de metano, eletrólise e gaseificação de carvão. A Fase 1 testou a estrutura de contabilidade de carbono para os estágios iniciais e diversas atividades de hidrogênio na Austrália e a segunda fase visa a medir as emissões relacionadas aos processos de transporte e armazenamento de hidrogênio, amônia e hidrogênio líquido (NÚCLEO ENERGIA, 2022).

Por outro lado, a criação de regulamentos e incentivos para redução de emissões e promoção contínua do acesso aos mercados internacionais podem contribuir para ampliar a demanda. Com relação às medidas com esse foco, estima-se que ainda há cerca de 100 megatoneladas de emissões a serem cortadas em diferentes setores da economia australiana, podendo ser substituídas por fontes limpas de energia (NÚCLEO ENERGIA, 2022).

Nesse sentido, iniciativas como o *Safeguard Mechanism*, que estabelece um limite básico sobre a quantidade de poluição de carbono que pode ser emitida por uma instalação industrial em um único ano, são capazes de gerar um aumento na demanda pelo hidrogênio. À medida que essas linhas de base descem, diminuindo a quantidade permitida de emissão de carbono, mais essas atividades deverão recorrer ao hidrogênio como uma alternativa aos combustíveis fósseis, representando um cenário de demanda crescente (NÚCLEO ENERGIA, 2022).

Por fim, tomando como base a experiência da Austrália, o CEBRI faz as seguintes recomendações (NÚCLEO ENERGIA, 2022, p. 15):

- 1. Avançar com a implementação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio**, com o objetivo de desenvolver o mercado doméstico e tornar o país um líder de produção global.
- 2. Fomentar investimentos** em plantas de hidrogênio, portos e infraestrutura especializada, bem como na produção de energia limpa, a partir das vantagens competitivas do país – etanol, hidroeletricidade, energia eólica, solar, gás natural, biogás, nuclear e outras biomassas – na produção e exportação de hidrogênio de baixo carbono. Promover a neutralidade e diversidade tecnológica, ao invés de se prender numa só tecnologia, para aumentar a competitividade do país.
- 3. Promover a regulação do mercado de hidrogênio limpo** no Brasil, com o objetivo de aumentar a confiança no produto e o seu valor. Reforçar a rastreabilidade e standardização através de processos como a certificação de origem para dar garantias de baixa emissão de carbono, com o envolvimento de agências de certificação. Para esse fim, o Brasil poderia se inspirar da experiência do Clean Energy Regulator (CER) australiano em prover certificados de energia renovável, bem como acompanhar os avanços e as lições aprendidas com a implementação do plano de GO (Garantia de Origem). Atualmente existem iniciativas no Brasil para certificar o conteúdo

da energia renovável, como a da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica CCEE.³

4. Criar incentivos para expandir a escala do mercado de hidrogênio através do aumento de consumo, especialmente no setor industrial. Em particular, desenvolver mecanismos do mercado de carbono para promover o uso de combustíveis de baixa emissão, se inspirando em exemplos como o Mecanismo de Salvaguarda da Austrália ou o sistema de Crédito de Carbono.

5. Reforçar e diversificar as parcerias internacionais do Brasil para estimular oportunidades de mercado e investimento, desenvolver as melhores práticas e padrões comuns, e promover a análise comparativa e colaboração no que tange à legislação e aos mecanismos de incentivo.

5.3.1. Australian National Audit Office (ANAO)

Considerando que o presente trabalho possui como um dos objetivos analisar quais podem ser as possíveis atuações da Corte de Contas brasileira frente à implantação de políticas públicas para a inserção do hidrogênio verde na economia brasileira, verificou-se como se dá a atuação da Controladoria existente na Austrália, denominado “Australian National Audit Office (ANAO).

O ANAO desempenha um papel crucial no apoio à responsabilidade e transparência no setor do governo australiano, operando de forma independente e reporta diretamente ao Parlamento. O objetivo do ANAO é contribuir para a melhoria do desempenho do setor público por meio de relatórios independentes, opiniões e assistência por meio de diversos meios, incluindo apresentações, informações e aparições perante parlamentares e comitês (ANAO, 2023).

Anualmente, o ANAO publica um programa de trabalho de auditoria que define sua cobertura planejada de auditoria para o setor do governo australiano. O programa é desenvolvido com a colaboração do Parlamento, das entidades do governo e das partes interessadas, e é projetado para abordar os riscos e desafios atuais e emergentes na administração pública (ANAO, 2023)..

O trabalho do ANAO é regido por requisitos legais relevantes e normas de auditoria, incluindo as Normas de Auditoria do ANAO, que incorporam tanto as normas de auditoria australianas quanto os requisitos-chave das Normas Internacionais de Entidades Fiscalizadoras Superiores (ISSAI). Essas normas visam fornecer um nível razoável de garantia em auditorias de desempenho e auditorias de demonstrações financeiras (ANAO, 2023).

O ANAO é membro da Organização Internacional das Entidades Fiscalizadoras Superiores (INTOSAI), que também é presidida pelo Ministro Presidente do TCU, Bruno Dantas. A INTOSAI é uma organização autônoma, independente e não política.

Sua natureza não governamental lhe permite ter status consultivo especial junto ao Conselho Econômico e Social (ECOSOC) das Nações Unidas. Os princípios fundamentais que regem a INTOSAI estão consolidados na Declaração de Lima sobre Diretrizes para Preceitos de Auditoria adotada em outubro de 1977, na IX INCOSAI realizada em Lima (Peru). Dentre seus objetivos encontram-se a promoção do desenvolvimento permanente e transferência de conhecimento, aperfeiçoamento da auditoria governamental de maneira global e incremento das capacidades profissionais, além de ser um norteador para as ISC em seus respectivos países para o bom controle de gastos públicos (TCU, 2023).

Sobre a atuação do ANAO frente às iniciativas relacionadas ao H2V, verificou-se que foi realizada auditoria em 2020 (Relatório nº. 26 2020–21) avaliar a eficácia da seleção, contratação e gestão contínua de investimentos pela Corporação de Financiamento de Energia Limpa (CEFC) e em que medida a CEFC está cumprindo seu objetivo estabelecido por lei cujo propósito é facilitar o aumento dos fluxos de financiamento no setor de energia limpa (ANAO, 2020).

De acordo com o relatório, a CEFC possui duas plataformas de negócios principais: investimentos diretos e indiretos. Os investimentos diretos incluem financiamento de projetos para geração de eletricidade por fontes de energia renovável (por exemplo, fazendas solares de grande escala, parques eólicos, confiabilidade da rede, energia a partir de resíduos, baterias de armazenamento e hidrogênio); empréstimos corporativos para eficiência energética, baixas emissões e investimentos em energia solar de pequena escala como partes de projetos maiores (por exemplo, propriedades comerciais e residenciais, infraestrutura e transporte, manufatura e indústria, setores agrícolas e varejo (ANAO, 2020).

Na época, mudanças no Mandato de Investimento incluíram requisitos para a CEFC disponibilizar até \$300 milhões em financiamento concessionário para o Fundo de Avanço de Hidrogênio para apoiar o crescimento de uma indústria de hidrogênio limpa, inovadora, segura e competitiva na Austrália (ANAO, 2020).

Dentre as conclusões alcançadas, o relatório destacou que a CEFC cumpriu em grande parte seu objetivo estabelecido por lei de facilitar o aumento dos fluxos de financiamento no setor de energia limpa, em conformidade com os requisitos legais e orientações; contudo, há necessidade de o documento de política da CEFC incluir mais detalhes sobre suas políticas ambientais, sociais e de governança e comparar

seu desempenho em termos de resultados de energia limpa e alavancagem com um ou mais outros bancos verdes (ANAO, 2020).

No relatório do ANAO de 2020 não há, todavia, maiores especificidades atinentes à estratégia nacional do hidrogênio na Austrália.

Em 2020, o ANAO também realizou auditoria sobre a Gestão do Programa de Subsídios pela Agência Australiana de Energia Renovável – ARENA (Relatório No.35 2019-20). O ANAO determinou que era importante fornecer ao Parlamento garantias sobre a eficácia da gestão de subsídios da ARENA na consecução de seu objetivo estabelecido por lei. O relatório recomenda que a ARENA melhore seu quadro de medição de desempenho e métricas de avaliação para fornecer uma base confiável para demonstrar que a agência está alcançando seus objetivos (ARENA, 2020).

Em conformidade com a recomendação do ANAO de tornar mais avaliações públicas, a ARENA recentemente publicou as conclusões de uma avaliação completa da ARENA realizada pela Ernst & Young em novembro de 2019. A EY afirmou que, dadas as constatações das pesquisas de stakeholders, avaliações de programas e fundos, há evidências suficientes para concluir que, sem o apoio da ARENA, esses projetos talvez não tivessem sido tão bem-sucedidos e que os níveis de investimento em energia renovável na Austrália provavelmente seriam menores. Eles também constataram que as atividades da ARENA contribuíram para um aumento no fornecimento e na diversidade do suprimento de energia renovável da Austrália, uma diminuição no custo da energia renovável e uma redução nas emissões geradas pela eletricidade (ARENA, 2020).

A ARENA trabalhou para apoiar mais de 500 projetos, incluindo pesquisa e demonstração de energia renovável e implantação de novas tecnologias desde que foi criada em 2012 (ARENA, 2020).

No Relatório do ANAO, intitulado Grant Program Management by the Australian Renewable Energy Agency (Relatório No.35 2019-20) também não há menção à implementação da estratégia nacional do hidrogênio da Austrália.

5.4. Atuação do TCU frente aos desafios e oportunidades na implantação do H2V no Brasil

O hidrogênio verde é um vetor energético que deverá integrar a política nacional de transição energética, haja vista ser importante meio de descarbonização

da economia brasileira. Pelo que se expôs no presente trabalho, ainda não há uma política pública envolvendo a produção e uso do hidrogênio verde, muito menos marco regulatório no âmbito federal que uniformize a produção, armazenamento, transporte e usos do H₂V.

Salienta-se que a economia do hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento e seu sucesso depende da interação entre setor privado e público. O setor privado é responsável pelos investimentos para o desenvolvimento da cadeia produtiva dessa indústria nascente. O setor público atua como agente catalisador do mercado ao criar marco regulatório consistente e fundamentado capaz de reduzir incertezas de caráter econômico e socioambiental (CASTRO et al., 2022b).

A versatilidade do hidrogênio, apesar de também ser uma vantagem, configura um desafio ao dificultar o processo de elaboração de um marco regulatório abrangente, e a sua harmonização a nível mundial. No Brasil não seria diferente. Os sistemas de garantia de origem e a certificação das fontes de energia usadas na produção do hidrogênio são ferramentas importantes para suprir a necessidade de identificar padrões viáveis e rastreáveis. Outra relevante questão é referente ao equilíbrio nas estratégias de valorização do carbono. Há de se encontrar um ponto médio na criação de incentivos a usar opções de menor pegada de carbono e desincentivar tecnologias poluentes, sem penalizar de forma desproporcional algumas indústrias (NÚCLEO ENERGIA, 2022)

5.4.1. Desafios para a implantação do marco regulatório para o H₂V

Diante do estudo feito no âmbito do presente trabalho, vislumbram-se os seguintes desafios na implementação de um marco regulatório para a inserção do hidrogênio verde como vetor energético no Brasil:

5.4.1.1. Falta de priorização do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH₂) no Ministério de Minas e Energia

A Consulta Pública 147/2022, criada para o recebimento de contribuições ao Plano de Trabalho Trienal 2023-2025 do Programa Nacional do Hidrogênio, foi finalizada em meados de fevereiro e, até o momento, não houve a consolidação das contribuições recebidas nem a divulgação do referido plano.

Diversas ações no cronograma do Plano Trienal do PNH2 dependem da aprovação do plano, que não possui previsão de ocorrência.

Após a mudança de Governo no início de 2023, os novos membros do Coges-PNH2 foram definidos recentemente, por meio da Portaria^o 389-P/GM/MME, de 6/6/2023. É possível que até o momento o assunto não tenha tido qualquer andamento no âmbito do MME.

5.4.1.2. Potenciais conflitos de governança quanto à regulação da ANP em relação à Aneel e ANA

Tanto o PNH2 como o PL 1878/2022 preveem que caberá à ANP a regulação e a fiscalização de toda a cadeia do hidrogênio verde, inclusive produção, importação, exportação, armazenagem, estocagem, padrões de uso, dentre outros. Nesse ponto, cabe discutir se, de fato, cabe à ANP a regulação do hidrogênio verde em especial, considerando-se que o H2V é um vetor energético e não meramente um combustível.

O H2V deve ser encarado como um vetor energético que permeia toda a cadeia produtiva e sua regulação transcende a ANP pelo fato de sua constituição, por definição, depender do uso da água para fins de eletrólise e da energia elétrica provinda de fonte renovável. Além disso, só haverá segurança quanto a origem do H2V caso haja certificação quanto a origem da energia, sendo necessária a regulação e padrões de produção definidos pela Aneel.

Cerca de 70% do custo de produção do H2V é relacionado ao custo da energia elétrica. A possibilidade de conexão de projetos de hidrogênio ao Sistema Elétrico Nacional (SIN) pode permitir que o excedente de energia gerado e não utilizado para produção de H2V seja vendido na rede, e que a energia adicional seja comprada. De acordo com estudo da McKinsey, um projeto de grande escala fora da rede no Nordeste resultaria em um custo unitário total de USD 1,90/kg para produzir hidrogênio em 2030 – valor que inclui os custos estimados de armazenamento e transporte para uso em aplicações comuns. Em comparação, dentro da rede, o custo do hidrogênio deste mesmo projeto cairia cerca de 10%, para aproximadamente USD 1,70/kg. Entretanto, conectar uma usina à rede pode levantar outras questões, já que a energia elétrica utilizada por uma usina dentro da rede não é necessariamente 100% renovável. Esse hidrogênio pode ou não ser certificado como verde, dependendo dos

critérios. Esse é mais um fator que induz a uma maior participação da Aneel na regulação das plantas de produção de H2V (McKinsey & company, 2023).

No âmbito do PL 1878/2022, a ANA figura como entidade responsável pela outorga do uso de recursos hídricos de modo que as unidades produtoras deverão atender aos seus regramentos. No entanto, seria relevante adotar premissas na lei que cria a política do H2V quanto ao tipo de água que poderia ser utilizada como insumo para a produção do hidrogênio verde e não em regramentos infralegais. Os estudos internacionais apontam para a não utilização de água potável provindas de poços artesianos, lagos e rios para a produção de H2V, mas sim a adoção de água salina e água de reuso. No entanto, conforme informações obtidas em entrevista com a Diretora da ABH2, Monica Panik, a água salina e a água de reuso precisam passar por um processo de desmineralização, que gera resíduos, sendo também necessário prever seu modo de descarte em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Assim, definição da origem da água para produção de hidrogênio verde é relevante no âmbito da política nacional do H2V e deveria ser incluída como diretriz na lei, tendo em vista o envolvimento de modificações na infraestrutura local de futuros empreendimentos.

5.4.1.3. Falta de sinalização do interesse nacional quanto ao uso do H2V: exportação X desenvolvimento da indústria brasileira

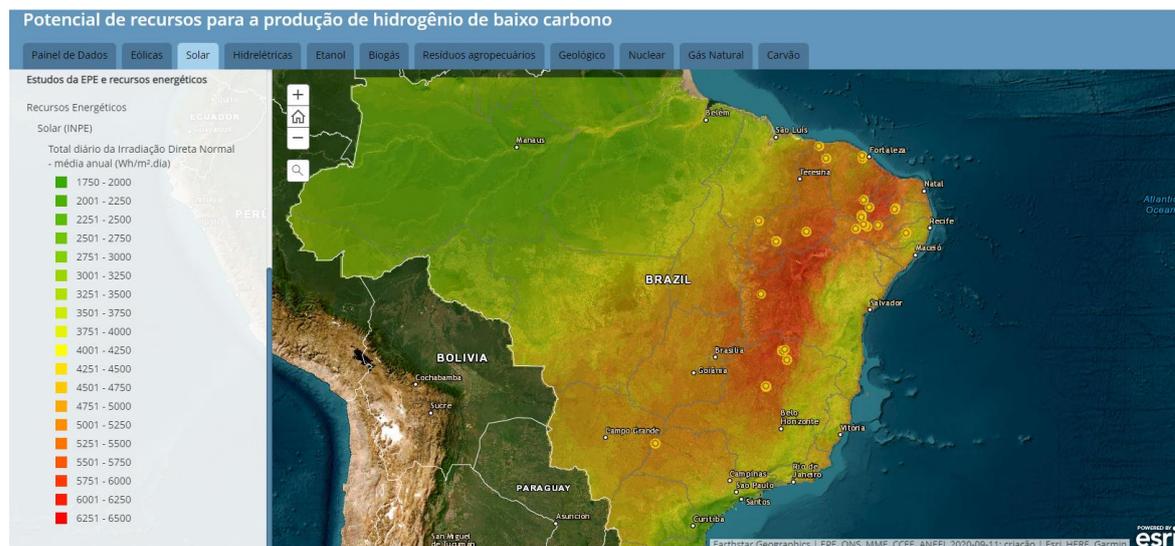
Considerando que mais de 80% da matriz elétrica brasileira é composta de fontes de energia renováveis, a grande oferta de energia elétrica renovável a custos baixos representa grande atratividade para que o Brasil se torne produtor de H2V, dado que cerca de 70% do valor de produção advém do custo da energia elétrica. Sendo um país com alta capacidade de produção de H2V, resta haver uma diretriz clara do Governo Federal sobre limites de produção de H2V meramente para exportação ou para uso no parque industrial no intuito de produzir produtos verdes para uso nacional e para fins de exportação (fertilizante verde, aço verde, cimento verde, gasolina verde, metanol, etc), de modo a gerar riquezas internas e proporcionar a descarbonização da indústria brasileira, em conformidade com as estratégias para a transição energética.

De acordo com a McKinsey & Company (2022), no caso de exportação de H2V, o principal meio de transporte para longas distâncias seria por meio da amonificação. Entretanto, os custos de amonificação, transporte e fracionamento podem mais que dobrar o custo do H2 no destino. Portanto, é importante considerar vetores alternativos e opções de aplicação final. Por exemplo, o Brasil está posicionado de forma única para exportar metálicos verdes na forma de ferro briquetado a quente (HBI) devido aos baixos custos de produção de H2 verde e à alta qualidade de *pellet feed* de minérios de ferro.

No 1º Simpósio Paraibano sobre Hidrogênio Verde, realizado em abril de 2023, representantes do Estado da Bahia expuseram a intenção de adotar o H2V para produção interna de produtos verdes, manifestando discordância com a produção de H2V unicamente para exportação aos países europeus. Em outro tom, o Ceará já assinou acordo para criação Corredor de Hidrogênio Verde entre o Porto do Pecém e o Porto de Roterdã para fins de exportação do H2V, o que também não exime o Estado de utilizar o vetor na modificação da cadeia de valor interna.

Muito se fala em instalação de pólos com produção casada com o uso de H2V: planta de geração de energia renovável + produção de H2V por meio de eletrolisadores + indústria que utilize o H2V no processo produtivo (ex: fertilizante verde). Nesse ponto, vê-se potencial de investimento em projetos de geração de H2 em municípios do interior do Brasil com escassez de água e alta capacidade de geração de energia renovável (a exemplo da fonte solar fotovoltaica em cidades do interior do nordeste), mediante captação de água de reuso para produção de H2V, trazendo geração e fator de industrialização, geração de renda, especialização de mão de obra e, conseqüentemente, redução das desigualdades sociais. Pelo mapa a seguir (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), nota-se o grande potencial de geração de energia solar no interior do país e a possibilidade de investimentos além daqueles previstos em zonas portuárias:

Figura 21 - Potencialidade de geração solar fotovoltaica em regiões do interior brasileiro.



Fonte: EPE, 2023.

Vale salientar que a demora na implantação do marco regulatório do hidrogênio verde pode retirar oportunidades ímpares de investimento no Brasil, considerando o grande interesse da União Europeia na importação desse insumo para fins de geração de energia limpa.

5.4.1.4. Falta de alinhamento das políticas públicas estaduais e federais

Enquanto não há regulamentação federal sobre o uso do H2V, alguns estados legislam, criam requisitos regulatórios próprios e implementam regras para tornarem o ambiente atraente aos investidores externos, de modo a aproveitar a janela de oportunidade que vivenciamos. A falta de alinhamento das políticas públicas estaduais com os requisitos regulatórios nacionais, num futuro próximo, pode gerar insegurança jurídica aos contratos já em andamento para instalação de *hubs* de H2V em zonas portuárias.

5.4.1.5. Aposta dos estados do Nordeste na geração de energia eólica off-shore para produção de H2V

O marco regulatório para o setor de eólicas off-shore ainda carece de regulação no Brasil. Há possibilidade de que o PL 576/2021, que busca regulamentar o setor,

seja colocado em votação no segundo semestre de 2023. De acordo com análise publicada na Agência Senado (2023) sobre audiência pública no âmbito da CEHV, o Presidente do BNDES destacou a importância de regular o setor, que não compete com as eólicas off-shore, uma vez que o Brasil precisará dobrar sua capacidade nas próximas décadas para atender o potencial de demanda de hidrogênio verde

5.4.1.6. Alinhamento de diretrizes quanto à emissão de GEE e descarbonização da matriz industrial brasileira

Espelhando-se na iniciativa do Mecanismo de Salvaguarda da Austrália, criar um limite básico sobre a quantidade de poluição de carbono que pode ser emitida por uma instalação industrial de H2V em um único ano.

5.4.1.7. Potencial lacuna sobre certificação de origem do hidrogênio nos projetos de lei em andamento

A certificação de origem do hidrogênio é um dos três principais pilares da Estratégia Nacional da Austrália, conforme estudo de caso do tópico anterior deste trabalho. Entende-se que reforçar a rastreabilidade e standardização através de processos como a certificação de origem para dar garantias de baixa emissão de carbono, mediante agências de certificação a exemplo do Clean Energy Regulator (CER) australiano em prover certificados de energia renovável, bem como acompanhar os avanços e as lições aprendidas com a implementação do plano de GO (Garantia de Origem) australiano, seria um passo relevante. No PL 1878/2020, que cria a política do hidrogênio verde, o assunto sequer é mencionado; contudo a CCEE desenvolveu uma certificação do hidrogênio em dezembro de 2022, a partir de uma série de reuniões e workshops com mais de 200 representantes da cadeia produtiva. Conforme dito em tópico antecedente, neste primeiro momento o produto será certificado gratuitamente pela CCEE e o documento terá dois tipos de classificação, sendo uma para o insumo 100% renovável, fabricado a partir de energia eólica, solar ou de hidrelétricas, e outra para aqueles parcialmente renováveis, que contam com o complemento de alguma outra fonte, de empreendimentos termelétricos. Assim, necessário incluir a CCEE no marco regulatório como importante player.

A regulamentação da certificação de hidrogênio verde poderia perpassar por uma fase de transição, de modo a gerar certificações para hidrogênio de baixo carbono (rosa, cinza, azul) e tornar soluções mais tradicionais e existentes competitivas a curto prazo pela baixa pegada de carbono.

5.4.1.8. Necessidade de desenvolvimento de normas técnicas a serem utilizadas pelos órgãos reguladores

Sendo um vetor energético novo, necessário desenvolver normas técnicas para instalações e transporte de hidrogênio verde, incluindo definições sobre adição de hidrogênio ao gás natural em gasodutos pré-existentes, normas quanto à segurança do manuseio devido à alta inflamabilidade, modos de transporte, percentuais de perda máximos no transporte.

5.4.1.9. Necessidade de aumento do volume de investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I)

O incentivo à P&D é um dos pilares mais importantes na estratégia da Austrália a fim de difundir conhecimento sobre esse novo vetor energético, exemplo que pode ser seguido pelo modelo brasileiro. O vasto campo de estudo envolve toda a cadeia de valor do H2V, desde o estudo sobre garantia de origem da energia utilizada na produção do H2V, custo-benefício de produção a depender do local de instalação das plantas em comparação com as rotas de produção que utilizam combustíveis fósseis, impactos ambientais considerando geração de resíduos, manuseio do H2V em vista da alta inflamabilidade, aspectos de segurança envolvidos, locais ideais para o suprimento de água e possíveis conflitos de uso, potenciais pontos de fabricação de eletrolisadores nacionais, desenvolvimento de células combustível nacionais, adaptação de processos industriais para uso do H2V como substituto dos combustíveis fósseis, tipos de transporte de H2V para exportação (marítimo, aéreo, ferroviário), tipos de dutos de transporte (custo benefício do transporte do gás sob alta pressão, utilização e/ou adaptação de dutos de gás natural existentes, percentual de perdas por evaporação, custos para liquefação e eficiência na conversão, utilização de vetores de transporte como a amônia), eficiência de uso como combustível para geração de energia elétrica em face da segurança energética, comparação do H2V

como combustível veicular em face de biocombustíveis e carros elétricos, mapeamento de reservas naturais de hidrogênio verde, dentre outros campos de estudo.

Recentemente, a Aneel abriu chamada para cadastramento das propostas de projetos sobre hidrogênio verde pelo Programa de PDI gerido pela agência (ANEEL, 2023)

5.4.2. Possibilidades de atuação do TCU

Conforme dispõe o art. 70 da CF/88, “a fiscalização contábil, financeira, orçamentária, operacional e patrimonial da União e das entidades da administração direta e indireta, quanto à legalidade, legitimidade, economicidade, aplicação das subvenções e renúncia de receitas, será exercida pelo Congresso Nacional, mediante controle externo, e pelo sistema de controle interno de cada Poder”. De acordo com o art. 71 da CF/88, “o controle externo, a cargo do Congresso Nacional, será exercido com o auxílio do Tribunal de Contas da União”. As competências constitucionais e privativas do TCU estão estabelecidas nos artigos 33, §2º, 70, 71, 72, §1º, 74, §2º e 161, parágrafo único, da Constituição Federal de 1988, bem como na Lei 8.443/1992 (Lei Orgânica do TCU) e em outras leis específicas que trazem em seu texto atribuições conferidas ao Tribunal. Entre essas estão a Lei de Responsabilidade Fiscal (LC 101/2001), a Lei de Licitações e Contratos (8666/93) e, anualmente, a Lei de Diretrizes Orçamentárias (TCU, 2021).

Teor do dispositivo constante da LDO 2022 (Lei 14.436/2023) diz:

Art. 150. O Tribunal de Contas da União enviará à Comissão Mista a que se refere o § 1º do art. 166 da Constituição, no prazo de trinta dias após o encaminhamento do Projeto de Lei Orçamentária de 2023, quadro-resumo relativo à qualidade da implementação e ao alcance de metas e dos objetivos dos programas e das ações governamentais objeto de auditorias operacionais realizadas para subsidiar a discussão do Projeto de Lei Orçamentária de 2023.

Em nível federal, os órgãos centrais e os ministérios são os principais responsáveis pela formulação de políticas públicas. Contudo, eles não são os únicos a desempenhar esse papel. Agências reguladoras, órgãos e entidades executivas, legislativo e outros atores, também colaboram na formulação, implementação e avaliação de políticas públicas (TCU, 2021).

Dada a complexidade do tema e conjunto amplo de recursos públicos envolvidos, torna-se premente o controle da atuação desses atores, o monitoramento e a avaliação contínua do desempenho dessas intervenções com vistas a garantir sua coerência, eficiência, eficácia, efetividade, economicidade e sustentabilidade (TCU, 2021).

Considerando o mandato e as competências dos órgãos de controle externo no Brasil, para fins do Referencial de Controle de Políticas Públicas do TCU, são consideradas políticas públicas o conjunto de intervenções e diretrizes emanadas de atores governamentais que visam tratar, ou não, problemas públicos e que requerem, utilizam ou afetam recursos públicos (TCU, 2021).

Dentro desse contexto são consideradas políticas públicas não apenas aquelas explícitas em atos normativos, como por exemplo as constantes dos programas e planos governamentais (plurianuais, nacionais, setoriais, regionais, organizacionais), mas, também, outras ações concretas e diretrizes, emanadas de atores políticos/governamentais, mesmo que não regulamentadas em ato normativo, que orientam a ação, ou inação, estatal e da sociedade quanto ao tratamento de problemas públicos (TCU, 2021).

Assim, no âmbito do Referencial de Controle de Políticas Públicas (TCU, 2021), não há distinção entre os termos políticas públicas e programas de governo. Tal escolha se justifica ante à abrangência da atuação do controle externo, ao propósito do referencial e ao fato de os métodos e os ritos de controle preconizados serem aplicáveis a ambos os objetos de controle.

Nesse ponto, verifica-se que, até o momento, o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), instituído formalmente pela Resolução CNPE 6/2022 ainda não foi objeto de controle do TCU. Há um processo administrativo aberto no TCU (TC 003.336/2022-0) em que foi realizado um levantamento de informações sobre o mercado do hidrogênio verde com o objetivo de mapear temas correlatos que possam ser objeto de ação de controle por parte do TCU.

Objetivando-se obter mais informações a respeito das ações governamentais para desenvolvimento da economia do H2V, a Unidade de Auditoria Especializada Energia Elétrica e Nuclear (AudElétrica), vinculada à Secretaria de Controle Externo de Energia e Comunicações (SecexEnergia), realizou diligência ao MME em outubro de 2022 para que respondesse ao TCU as seguintes questões:

1. Enviar o detalhamento das etapas previstas e do cronograma estimado para implementação do PNH2;
2. Informar a relação e descrição das principais políticas públicas associadas ao desenvolvimento da economia do hidrogênio no Brasil, indicando as principais ações previstas e os respectivos ministérios responsáveis;
3. Informar se o planejamento de expansão e desenvolvimento dos gasodutos nacionais contempla a visão da produção, transporte interno e exportação do H2.

Como resposta, o MME encaminhou a Nota Informativa nº 23/2022/SE, de 3/11/2022, a seguir, descreve-se resumidamente as respostas.

Quanto ao primeiro questionamento, o MME informou que não há de se falar em cronograma para a implementação do PNH2, mas sim de cronogramas evolutivos, haja vista o caráter orgânico e evolutivo estruturado a partir de planos de trabalhos trianuais, atualizáveis anualmente, conforme consignado na Resolução CNPE 6/2022. Para o ano de 2022, o primeiro do programa, o primeiro plano trienal deveria ser aprovado excepcionalmente até dezembro. Contudo, as indicações dos membros do Conselho Gestor do PNH2 (COGES-PNH2) apenas foram ratificados por publicação da Portaria de Pessoal nº164/GM/MME, publicada em 19 de agosto de 2022. , conforme consignado na ata publicada no sítio eletrônico do MME (https://www.gov.br/mme/ptbr/1REUNIOCOGES_VFFrevMRE.pdf), ocasião em que se aprovou o nome dos coordenadores das cinco Câmaras Temáticas, assim como o cronograma para as atividades de 2022. Assim, em caráter excepcional, preferiu-se estender os trabalhos técnicos até o final de 2022 para promover a aprovação dos planos pelo COGES-PNH2 para posterior submissão à consulta pública.

Relativamente ao segundo questionamento acerca da relação e descrição das principais políticas públicas associadas ao desenvolvimento da economia do hidrogênio no Brasil e indicação das principais ações previstas e os respectivos ministérios responsáveis, o MME respondeu que as políticas estão listadas no documento de diretrizes do PNH2 (a exemplo de Modernização do Setor Elétrico; Política Energética Nacional, Política Nacional de Mudanças Climáticas, Plano Nacional de Segurança Hídrica, dentre outros). Completou informando que são os planos de trabalhos a serem propostos pelas Câmaras Temáticas, aprovados pelo COGES-PNH2, que preverão ações específicas relativas às políticas relacionadas ao

desenvolvimento da economia do hidrogênio no Brasil, com a especificação dos ministérios (ou outros partícipes) responsáveis.

Quanto ao terceiro questionamento sobre o planejamento de expansão e desenvolvimento dos gasodutos nacionais contemplar a visão da produção, transporte interno e exportação do H₂V, o MME respondeu que os desafios para internalização do tratamento do hidrogênio no planejamento energético são objeto dos trabalhos desenvolvidos no âmbito da Câmara Temática de Planejamento Energético do PNH2 e que o capítulo 12 do PDE 2031 apresenta avaliação do estágio do mercado nacional de hidrogênio e indicação preliminar de potenciais de produção no Brasil. Ademais, o MME destacou que:

4.17. No caso específico da produção de hidrogênio por eletrólise com base em renováveis variáveis (“hidrogênio verde”), pode haver necessidade de transmissão se a alta demanda de energia elétrica por eletrolisadores não for atendida por geração próxima. Nessa situação, será preciso recorrer à geração elétrica renovável adicional em locais distantes da planta de hidrogênio, requerendo transmissão. Outras soluções para não depender de transmissão são, por exemplo, a geração elétrica de baixo carbono (gás natural com CCUS) ou livre de carbono (bioenergia e nuclear) próxima à planta de hidrogênio e a adoção de tecnologias de armazenamento de energia que permitam o aproveitamento do eventual excedente de geração de fontes renováveis variáveis na localidade.

4.18. Por outro lado, pode-se também produzir hidrogênio e movimentá-lo em gasodutos de transporte, mediante mistura com gás natural até determinado limite (usualmente 20% na experiência internacional, mas há testes com percentuais maiores). Essa solução requer previsão regulatória, em discussão no Brasil (contemplada no PNH2) e em outros países do mundo (já há previsão em alguns países). Assim, a expansão da malha de gasodutos de transporte pode ter no futuro um papel importante para consolidar a economia do hidrogênio. Nesse sentido, o planejamento de expansão e desenvolvimento dos gasodutos nacionais contempla implicitamente a perspectiva de movimentação de hidrogênio, observada sua competitividade.

4.19. A infraestrutura de gasodutos dedicada ao hidrogênio (dutos exclusivos para o hidrogênio) ainda é muito dispendiosa e com desafios tecnológicos, ainda que haja expectativas positivas por especialistas para o longo prazo.

4.20. Por fim, cabe destacar que, dentre as iniciativas em curso, que colaboram para o processo de incorporação do hidrogênio no planejamento energético, aportando informações e estudos para o PNH2, encontra-se o projeto H₂ Brasil, no âmbito da cooperação técnica entre Brasil e Alemanha, tendo como objetivo criar as condições básicas para a implementação de uma economia do hidrogênio no Brasil. Este projeto foi demandado pelo Ministério de Minas e Energia e com acompanhamento da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

4.21. Entre um dos tópicos deste projeto, encontra-se a identificação de potenciais de produção de “hidrogênio verde” no país, bem como quais devem ser os impactos dessa produção na expansão das redes elétricas e de gás. Este projeto é executado por meio da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*, agência de cooperação alemã, e o estudo está sendo conduzido pela consultoria NIRAS, contratada pela GIZ para o desenvolvimento dos estudos da componente 1 do projeto (Condições

Estruturantes), em parceria com diversas instituições nacionais e internacionais.

Avaliando-se as respostas do MME após a realização de diligência em processo administrativo já existente no TCU, bem como as informações incluídas neste trabalho, verifica-se possível intempestividade quanto à aprovação do Plano Trienal que contempla cronograma de ações para a implementação do PNH2. De fato, o Plano Trienal foi colocado em consulta pública no final de 2022. Porém, até junho de 2023 ainda não houve a consolidação das contribuições nem a sua aprovação; ademais, não se sabe quando se dará tal consolidação e a aprovação do referido plano trienal.

Uma das dificuldades tidas na obtenção de informações para a consolidação de informações neste trabalho é justamente o elevado volume de novidades no setor de H2V todos os dias; há uma infinidade de projetos em andamento, Memorandos de Entendimento, workshops, simpósios, planos internacionais que abrangem o H2V e as atualizações são praticamente diárias. Portanto, de fato, o Governo Federal tem agido de forma intempestiva quando se trata da implementação do PNH2, dada a sua envergadura e importância internacional.

A respeito dos estudos mencionados pelo MME junto à cooperação Brasil-Alemanha, frisa-se que, após realização de entrevista com a Diretora da ABH2, Monica Saraiva Panik, obteve-se a informação de que o citado projeto com potenciais de produção de hidrogênio verde no país feito pela Consultoria Niras já foi produzido e não publicado pelo MME até o presente momento.

Diante de todo o exposto, vislumbra-se os seguintes potenciais de atuação do TCU:

1. Realização de auditoria a fim de avaliar a formulação e a implementação Programa Nacional do Hidrogênio, utilizando-se os seguintes parâmetros:
 - 1.1. Avaliar a estrutura regulatória para a produção, uso, transporte, certificação do hidrogênio verde;
 - 1.2. Comparar as políticas estaduais para a implantação de polos de geração de H2V com relação à política federal, bem como possíveis descompassos;

- 1.3. Avaliar se as regulamentações nacionais para produção de H2V suprem os parâmetros internacionais requeridos para fins de exportação;
- 1.4. Verificar o grau de aderência do PNH2 com os demais programas e políticas públicas já existentes, a exemplo da Política Nacional de Mudanças Climáticas, Plano Nacional de Segurança Hídrica, Política Nacional de transição energética, dentre outros;
- 1.5. Utilizar, como critérios de avaliação, a Estratégia Nacional da Austrália, que apresenta políticas públicas em grau de avanço maior e um potencial de participação de geração de energia renovável semelhante à brasileira;
 - 1.5.1. Certificação: utilizar o modelo de certificação e de desenvolvimento de normativos do comitê de Tecnologias de Hidrogênio ME-093 da Standards Australia, que é a maior organização de padrões independente, não governamental e sem fins lucrativos da Austrália. Esse comitê é responsável por colaborar para desenvolver os padrões técnicos e as orientações necessárias para a indústria de H2, permitindo a entrega de resultados de desempenho técnico e de segurança;
 - 1.5.2. políticas de incentivo ao desenvolvimento da economia do hidrogênio: verificar as políticas internas de incentivo à P&D;
 - 1.5.3. Ampliação de energias renováveis: verificar o andamento das políticas e incentivos ao aumento da capacidade de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, a exemplo da regulamentação de eólicas off-shore, eólicas on-shore e geração solar-fotovoltaica.
- 1.6. Como método, avaliar a implementação do PNH2 utilizando-se o “Five Case Model”, modelo do Reino Unido que tem endereçado as melhores práticas internacionais na avaliação da maturidade de grandes projetos antes que elas saiam do papel. (RAJÃO, R. G. L.; FERNANDES JR., J. L.; MELO, L. P. V.; BOTELHO, J.; CISALPINO, 2021) O arcabouço do Modelo de Cinco Dimensões é utilizado no intuito de mitigar os problemas decorrentes do viés do otimismo e da deturpação estratégica (BRASIL. MINISTÉRIO DA ECONOMIA. SECRETARIA ESPECIAL DE

PRODUTIVIDADE E COMPETITIVIDADE. SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA., 2022)

2. Enviar carta de recomendação com contribuições do TCU à Comissão Especial de Debate de Políticas Públicas do Hidrogênio das casas do Congresso Nacional, com o intuito de influenciar na melhor definição quanto à responsabilidade pela regulação do H2V e pelas principais diretrizes que devem constar na lei que criará o marco regulatório;
3. Considerando o maior avanço no marco regulatório do H2V em alguns estados, atuar junto aos tribunais de contas estaduais no âmbito da Rede Nacional de Informações Estratégicas para o Controle Externo (RedeInfoContas), no sentido de trazer informações e alinhamento das políticas estaduais e federais. Essa atuação poderá ser mediante realização conjunta de auditoria coordenada entre o TCU e os TCEs.

Outra possibilidade é a realização de benchmarking com o Escritório Nacional de Auditoria da Austrália (ANAO), considerando que tanto o TCU como o ANAO fazem parte da INTOSAI, e que, conforme abordado no item 5.3.1, não há relatórios recentes do ANAO sobre o hidrogênio verde.

5.4.2.1. Questões que podem ser abordadas em futuros estudos

A temática do hidrogênio verde está em constante atualização. Todos os dias é possível ter acesso a novidades, como intenções de investidores, formalização de novos contratos, edição de decretos estaduais com regulamentação sobre a produção e uso, dentre outros. Ou seja, esse estudo não é estático e merece constante atualização. Algumas questões podem ser utilizadas como premissas para futuros estudos, tais como:

- Qual vantagem o hidrogênio verde possui como combustível veicular se comparado ao carro elétrico?
- Quais seriam as vantagens da utilização de resíduos da indústria sucroalcooleira para a produção de hidrogênio verde?
- É viável e necessário criar uma política de subsídios que possa incentivar o uso de H2V na indústria como forma de acelerar a inclusão do insumo no

processo produtivo e reduzir a emissão de GEE, além de incorporar o Brasil no rol de países que exportam produtos verdes?

- O Brasil pode se tornar um país autoprodutor de fertilizantes verdes para uso interno e externo, reduzindo a dependência da importação de insumos para sua produção (a exemplo da amônia) e descarbonizar esse ramo da indústria? Que tipo de incentivo regulatório seria necessário?
- A certificação da CCEE para o hidrogênio verde é aderente à certificação requerida pela União Europeia?
- É viável a utilização de H2V para geração de energia no Brasil, em substituição aos combustíveis fósseis de usinas térmicas, considerando quesito de segurança energética e tarifa sustentável?
- A utilização dos gasodutos existentes para transporte de gás natural apresenta total possibilidade de utilização para transporte de H2? Quais seriam as modificações requeridas para fins de segurança e redução de perdas?
- A produção de H2V pode ser um fator de redução de desigualdades sociais no interior do nordeste, considerando a instalação de hubs de H2V em locais com grande insolação (alto potencial de geração de energia fotovoltaica) associada à captação de água de reuso de estações de tratamento para fins de eletrólise e produção do H2V? O custo do investimento em relação à capacidade de geração de empregos e renda em locais afastados dos portos tornaria o H2V um fator de redução de desigualdade social e econômica no interior do Brasil?
- Considerando o amplo uso do H2 na produção de fertilizantes, refino de petróleo, indústria alimentícia e siderúrgica, é possível associar a sua substituição pelo H2V com a geração de créditos no mercado de carbono em vista da redução da emissão de GEE?

6. Conclusão

Em conclusão, a pesquisa destaca que o hidrogênio verde possui um potencial significativo na transição energética e na descarbonização, representando uma alternativa promissora aos combustíveis fósseis tradicionais. No entanto, a implementação bem-sucedida do hidrogênio verde requer um quadro regulatório robusto e eficiente, que promova a transparência, a segurança e a sustentabilidade do setor.

Nesse contexto, o Tribunal de Contas da União (TCU) desempenha um papel crucial na supervisão regulatória do hidrogênio verde, garantindo a conformidade com as normas e regulamentações, bem como promovendo a adoção de boas práticas. O TCU pode utilizar instrumentos e procedimentos, como auditorias, fiscalizações, relatórios técnicos e diálogos com os diversos atores envolvidos, para induzir, catalisar e promover uma adequada regulação do hidrogênio verde.

Através da transparência, do acesso à informação e da colaboração com os órgãos reguladores, o TCU pode contribuir para o fortalecimento do quadro regulatório, incentivando a inovação, o investimento e o desenvolvimento sustentável do setor. As recomendações emitidas pelo TCU e a orientação fornecida aos órgãos competentes são fundamentais para orientar ações e políticas que impulsionem a transição para uma economia de hidrogênio verde no Brasil.

Diante dos desafios enfrentados, a pesquisa ressalta a importância de uma abordagem integrada, envolvendo o poder público, a iniciativa privada, a academia e a sociedade civil. Somente por meio da cooperação e do trabalho conjunto será possível aproveitar todo o potencial do hidrogênio verde, impulsionando a sustentabilidade, a diversificação da matriz energética e o alcance das metas de redução de emissões de gases de efeito estufa.

No âmbito de possibilidades de atuação do TCU, foram discriminados possíveis critérios que poderiam ser utilizados numa futura auditoria envolvendo a temática. A respeito de um paralelismo de atuação entre o TCU e a entidade de fiscalização superior da Austrália (ANAO), verificou-se que o Escritório Nacional de Auditoria da Austrália não possui relatórios recentes que abordem a estratégia nacional do hidrogênio; os relatórios encontrados datam de 2020 e tangenciam o assunto, uma

vez que abordam mais especificamente a implantação de energias renováveis no país.

7. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Chamada para projetos de hidrogênio renovável entra em consulta pública.** Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/chamada-para-projetos-de-hidrogenio-renovavel-entra-em-consulta-publica>>. Acesso em 10 jun. 2023

AGENCIA SENADO. **Bancos mostram otimismo com potencial do hidrogênio em escala industrial.** 2023. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/06/07/bancos-mostram-otimismo-com-potencial-do-hidrogenio-em-escala-industrial>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

AUSTRALIA. Australian National Audit Office. **Auditor-General Report No. 26 2020–21: Investments by the Clean Energy Finance Corporation.** ANAO, 2020. Disponível em: https://www.anao.gov.au/sites/default/files/Auditor-General_Report_2020-21_26a.pdf. Acesso em 19 jul. 2023.

BALDISSERA, O. **Os 5 Ds da transição energética no Brasil.** 2023. Disponível em: <<https://posdigital.pucpr.br/blog/transicao-energetica>>. Acesso em: 20 maio. 2023.

AUSTRALIA, **Australian Government. Australian Renewable Energy Agency. ARENA Statement Responding to Australian National Audit Office.** ARENA, 2020. Disponível em: < <https://arena.gov.au/news/arena-statement-responding-to-australian-national-audit-office/>>. Acesso em 19 jul. 2023

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031.** PDE 2031. p. 1–403, 2022.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Potencial de recursos para a produção de hidrogênio de baixo carbono.** EPE, 2023. Disponível em: <<https://arcg.is/1XfDLY1>>. Acesso em 1 jul. 2023

BRASIL. MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Secretaria Especial de Produtividade e Competitividade. Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura. **Estruturação de propostas de investimento em infraestrutura : modelo de cinco dimensões** [recurso eletrônico] / Ministério da Economia, Secretaria Especial de Produtividade e Competitividade, Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura ; Banco

Interamericano de Desenvolvimento (BID) ; Infrastructure and Projects Authority do Reino Unido (IPA-UK). -- Brasília : SDI/SEPEC/ Ministério da Economia, 2022. Disponível em: < <https://publications.iadb.org/pt/estruturacao-de-propostas-de-investimento-em-infraestrutura-modelo-de-5-dimensoes-adaptacao-do-five> >. Brasília: 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Programa Nacional do Hidrogênio – Proposta de Diretrizes (PNH2)**. 2021. Disponível em:< <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrognioRelatriodiretrizes.pdf>>. Acesso em 10 jul. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Programa Nacional do Hidrogênio – Plano de Trabalho Trienal 2023-2025**. Brasília, 2022. Disponível em:< http://antigo.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=1385f73a-16c2-9bc3-66cf-bc45c1e0ada7&groupId=36070>. Acesso em 10 jul. 2022

BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Referencial de Controle de Políticas Públicas**. Brasília, DF: TCU, 2021. Disponível em:< https://portal.tcu.gov.br/data/files/EF/22/A4/9A/235EC710D79E7EB7F18818A8/1_Referencial_controle_politicas_publicas.pdf>. Acesso em 1 jun. 2023.

BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Organizações Internacionais que o TCU integra**. TCU, 2023. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br/relacoes-institucionais/relacoes-internacionais/>>. Acesso em 19 jul. 2023.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE, 2021). **Nota técnica EPE-DEA-NT-003/202: Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio**. Brasília, 2021. Disponível em <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf)>. Acesso em 10 out. 2022

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Plano de Trabalho da Comissão Especial para estudo, avaliação e acompanhamento das iniciativas e medidas adotadas para transição energética - Fontes Renováveis e Produção de Hidrogênio no Brasil**.

2023. Disponível em: <<https://storage.epbr.com.br/2023/06/Plano-de-Trabalho-Comissao-de-Transicao-Energetica.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

CASTRO, N. DE et al. **A economia do hidrogênio: transição, descarbonização e oportunidades para o Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2023.

CASTRO, N. DE; BRANDÃO, R.; AQUINO, T. **A Indústria Nascente do Hidrogênio Verde no Brasil**. Broadcast da Agência Estado de São Paulo, 2021.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **Certificação de hidrogênio**. 2022. Disponível em: https://www.ccee.org.br/en/web/guest/certificacao_de_energia>. Acesso em 3 jun. 2023.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **CCEE certificará possíveis vencedores do primeiro leilão global de Hidrogênio Renovável** Disponível em:< <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/ccee-esta-pronta-para-certificar-possiveis-vencedores-brasileiros-do-primeiro-leilao-global-de-hidrogenio-renovavel>>. Acesso em 30 abr. 2023.

COAG. **Council of Australian Governments. Australia's National Hydrogen Strategy**. Disponível em: <<https://www.industry.gov.au/data-and-publications/australias-national-hydrogen-strategy>>. Acesso em: 22 jun. 2023.

COMPOSTCHEIRA. **Compostcheira: O que é Hidrogênio Verde?**. Disponível em: <<https://compostcheira.eco.br/o-que-e-hidrogenio-verde/amp/>>. Acesso em: 1 abr. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Hidrogênio sustentável: perspectivas e potencial para a industrial Brasileira**. Brasília: CNI, 2022. Disponível em: <https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/e8/29/e829e13b-ba12-4a76-9fe2-a60116e76d7d/hidrogenio_sustentavel_web.pdf>. Acesso em 10 abr. 2023.

DELGADO, F.; COSTA, A. M. **Os caminhos do país na construção da economia global do hidrogênio**. Revista Conjuntura Econômica, v. Março, p. 5, 2021.

D.B. Da Silva, R.S. Bitu. **Electrolytic hydrogen production in Brazilian electric utilities—a way to increase return on investments**, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 13, Issue 2, 1988, Pages 77-79, ISSN 0360-3199, [https://doi.org/10.1016/0360-3199\(88\)90043-2](https://doi.org/10.1016/0360-3199(88)90043-2). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360319988900432>. Acesso em 15 jul. 2023

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) GMBH. **Mercado de Hidrogênio Verde e Power to X : demanda por capacitações**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/18/f8/18f8e006-67a0-45ac-b775-d1cd6fd7ae6f/03-03-2023_-_mercado_de_hidrogenio_verde_e_power_to_x_-_demanda_por_capacitacoes_profissionais.pdf>. Acesso em 14 abr. 2023.

EPBR. **Brasil e Emirados Árabes vão cooperar em hidrogênio e biocombustíveis**. 2023. Disponível em: < <https://epbr.com.br/brasil-e-emirados-arabes-vao-cooperar-em-hidrogenio-e-biocombustiveis/>>. Acesso em 18 jun. 2023

EPBR. **O Brasil vai entrar na corrida pela economia verde?** 2023a. Disponível em: <<https://epbr.com.br/o-brasil-vai-entrar-na-corrida-pela-economia-verde/> e <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/noticias/2023/maio/fazenda-vai-apresentar-plano-para-brasil-liderar-corrida-global-na-transicao-energetica>>. Acesso em 2 jun. 2023

EPBR. **Minas Gerais entra no mapa do hidrogênio verde**. 2023b. Disponível em:<<https://epbr.com.br/minas-gerais-entra-no-mapa-do-hidrogenio-verde/#:~:text=Minas%20Gerais%20foi%20o%20primeiro,de%20efeito%20estufa%20at%C3%A9%202050>>. Acesso em 14 abr. 2023.

EPBR. **Países Baixos firmam parceria com Ceará para impulsionar hidrogênio verde**. 2023c. Disponível em: <<https://epbr.com.br/paises-baixos-firmam-parcerias-com-portos-brasileiros-para-impulsionar-hidrogenio-verde/>>. Acesso em 2 jun. 2023.

EPBR. **Multinacionais anunciam projeto de hidrogênio e amônia verdes na Bahia**. 2023d. Disponível em: <<https://epbr.com.br/multinacionais-anunciam-projeto-de-hidrogenio-e-amonias-verdes-na-bahia/>>. Acesso em 15 mai. 2023.

EPBR. **Estados cobram mais rapidez da União na regulação do hidrogênio.** 2023e. Disponível em: <<https://epbr.com.br/estados-cobram-mais-rapidez-da-uniao-na-regulacao-do-hidrogenio/>>. Acesso em 28 mai. 2023.

EPBR. **Como será o primeiro leilão de hidrogênio verde do mundo.** 2023f. Disponível em: <<https://epbr.com.br/como-sera-o-primeiro-leilao-de-hidrogenio-verde-do-mundo/>>. Acesso em 28 abr. 2023.

EPBR. **Chinesa CGN estuda produção de hidrogênio em larga escala na Bahia.** 2023g. Disponível em: <<https://epbr.com.br/chinesa-cgn-estuda-producao-de-hidrogenio-em-larga-escala-na-bahia/>>. Acesso em 10 jul. 2023.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). **Panorama internacional dos desafios do hidrogênio verde.** 2023. Disponível em: <<https://portal.fgv.br/artigos/panorama-internacional-desafios-hidrogenio-verde>>. Acesso em 29 jun. 2023.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Estado divulga estratégias para a produção de hidrogênio verde.** Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/estado-divulga-estrategias-para-a-producao-de-hidrogenio-verde>>. Acesso em 2 jun. 2023.

GRUPO DE ESTUDOS DO SETOR ELÉTRICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (GESEL). **Observatório de Hidrogênio n. 5.** 2022a. Disponível em:<<https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2022/03/observatorio-H2-05.pdf>>. Acesso em 5 jul. 2022.

GRUPO DE ESTUDOS DO SETOR ELÉTRICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (GESEL). **Observatório de Hidrogênio n. 6.** 2022b. Disponível em:<<https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2022/05/observatorio-H2-06.pdf>>. Acesso em 10 jul. 2022.

GRUPO DE ESTUDOS DO SETOR ELÉTRICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (GESEL). **Observatório de Hidrogênio n. 10.** 2022c. Disponível em:<https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2023/05/Observatorio-H2_4o-tri_2022_VF.pdf>. Acesso em 2 jun. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA, 2022a). **Global Hydrogen Review 2022**, 2022a. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>>. Acesso em 21 abr. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA, 2022b). **Is the European Union on track to meet its REPowerEU goals?**. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/is-the-european-union->>

Inflation Reduction Act Guidebook. Disponível em: <<https://www.whitehouse.gov/cleanenergy/inflation-reduction-act-guidebook/>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2023: AR6 synthesis report: summary for policymakers**. Disponível em: <<https://digitallibrary.un.org/record/4008082>>. Acesso em: 10 mai. 2023

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Panorama do hidrogênio no Brasil. Texto para discussão 2787**. Brasília, DF: IPEA, 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

MCKINSEY & COMPANY. **Um tesouro escondido – a oportunidade para o Brasil se tornar líder na nova economia verde**. 2022. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com.br/our-insights/all-insights/the-green-hidden-gem-brazils-opportunity-to-become-a-sustainability-powerhouse>>. Acesso em: 1 jun. 2023.

NÚCLEO ENERGIA. **As contribuições do hidrogênio verde para a transição energética: perspectivas e condições**. 2022. Disponível em: <https://cebri.org/media/documentos/arquivos/CEBRI_Australia_Hidrogenio_pt.pdf>

PANIK, M. S. Entrevista concedida a Débora de Melo Cavalcante Martins. Brasília, 15 jun. 2023.

Pöyry. Power to X. Pöyry Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.poyry.com.br/servicos/energia/power-to-x>>. Acesso em: 22 jun. 2023

PORTAL DO HIDROGENIO VERDE. ALIANÇA BRASIL-ALEMANHA . **Inovação na cadeia de valor do hidrogênio.** Disponível em: <https://www.h2verdebrasil.com.br/noticia/inovacao-na-cadeia-de-valor-do-hidrogenio/>. Acesso em 20 jun. 2023.

PORTAL DO GOVERNO DO CEARÁ. **Primeira molécula de Hidrogênio Verde produzida no Brasil é lançada no Ceará.** Disponível em: < <https://www.ceara.gov.br/2023/05/13/ceara-encerra-participacao-na-world-hydrogen-2023-com-tres-acordos-assinados/>>. Acesso em 12 abr. 2023.

PV MAGAZINE. **Com portos no Nordeste à frente, já há 42 projetos de hidrogênio verde no Brasil.** 2023. Disponível em: < <https://www.pv-magazine-brasil.com/2023/04/27/com-portos-no-nordeste-a-frente-estudo-identifica-42-projetos-de-hidrogenio-verde-no-brasil/>> Acesso em 22 jun. 2023.

RAJÃO, R. G. L.; FERNANDES JR., J. L.; MELO, L. P. V.; BOTELHO, J.; CISALPINO, T. **Benchmarking Internacional: Práticas e procedimentos governamentais para tomada de decisão sobre investimentos em programas e projetos de infraestrutura.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://indd.adobe.com/view/a9d9cdc7-7fe7-40e3-843f-0fe6a0ec5451>>.

REFINITIV. **Brasil tem chance de despontar em hidrogênio verde em 1ª licitação da Europa.** 2022. Disponível em:<<https://www.refinitiv.com/pt/blog/market-insights/brasil-tem-chance-de-despontar-em-hidrogenio-verde-em-1a-licitacao-da-europa/>>. Acesso em 15 abr. 2023

REUTERS. **Unigel vai investir US\$ 1,5 bi na Bahia para produção de hidrogênio verde.** 2023. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/negocios/unigel-vai-investir-us-15-bi-na-bahia-para-producao-de-hidrogenio-verde/>>. Acesso em 18 jul. 2023.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (SEMA). GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Cartilha sobre as estratégias para o hidrogênio verde no RS.** 2023. Disponível em:< <https://www.sema.rs.gov.br/h2v>>. Acesso em 2 jun. 2023.

The Australian National Audit Office: about us. ANAO, 2023. Disponível em: <<https://www.anao.gov.au/about/australian-national-audit-office>>. Acesso em 19 jul. 2023.

VIEGAS, Paulo Roberto Alonso. **Perspectivas do “Hidrogênio Verde” no Brasil em 2021**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Maio 2021 (Boletim Legislativo nº 90, de 2021). Disponível em: <www.senado.leg.br/estudos>. Acesso em 28 mai. 2023.

WORD ECONOMIC FORUM. **Action on clean hydrogen is needed to deliver net-zero by 2050. Here's how.** Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2022/05/action-clean-hydrogen-net-zero-2050/>>. Acesso em 21 abr. 2023.

Missão

Aprimorar a Administração Pública em benefício da sociedade por meio do controle externo

Visão

Ser referência na promoção de uma Administração Pública efetiva, ética, ágil e responsável