



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE DIREITO

Juliano Vilela Borges dos Santos

**O MARCO LEGAL DO HIDROGÊNIO DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO
BRASIL: ENTRE COMANDO E CONTROLE E INCENTIVOS, O RISCO DE
CAPTURA REGULATÓRIA NA LEGISLAÇÃO**

Brasília

2025

Juliano Vilela Borges dos Santos

**O MARCO LEGAL DO HIDROGÊNIO DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO
BRASIL: ENTRE COMANDO E CONTROLE E INCENTIVOS, O RISCO DE
CAPTURA REGULATÓRIA NA LEGISLAÇÃO**

Monografia apresentada como requisito parcial para
a obtenção do grau de bacharel em Direito pela
Universidade de Brasília - UnB.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Iorio Aranha

Coorientadora: MSc. Juliana L. B. Villas Boas Carvalho de Paiva

Brasília

2025

Aos meus filhos Francisco e Laura
nascidos no decorrer da jornada que este trabalho encerra
e que mudaram tudo em minha vida

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta monografia representa o resultado de um percurso acadêmico que não teria sido possível sem o apoio de diversas pessoas e instituições, às quais expresse meu reconhecimento. Primeiramente, na esfera pessoal, agradeço à minha esposa, pelo companheirismo e compreensão ao longo de todas as horas dedicadas a este curso, permitindo que eu mantivesse o foco e a disciplina necessários para sua conclusão. E também aos meus pais, pelo suporte essencial na construção das bases da minha educação, transmitindo valores que foram determinantes para minha formação acadêmica e profissional.

Também agradeço aos membros da banca examinadora, Dra. Juliana Melcop Schor e Dr. Rodrigo Cesar Mendonça, que emprestaram sua vasta experiência tanto na advocacia especializada como no exercício da função reguladora, para avaliar este trabalho e fornecer contribuições que enriqueceram a discussão acadêmica nele envolvida.

Agradeço, ainda, a todos os professores do curso, cujo comprometimento com a excelência acadêmica e a transmissão do conhecimento superaram as dificuldades envolvidas no exercício do magistério superior em instituição pública. Entre os professores, um agradecimento especial ao meu orientador, professor Dr. Marcio Iorio, referência no campo do direito regulatório, que muito me honrou ao aceitar compor este trabalho.

E, por último, e de forma especial, agradeço à minha coorientadora, Dra. Juliana Villas Boas Carvalho de Paiva, cujas contribuições foram fundamentais, ao agregar perspectivas valiosas que refletiram diretamente no resultado final, além de fornecer direcionamento preciso ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

A todos, minha sincera gratidão.

Uma nação que não consegue controlar suas fontes de energia não pode controlar o seu futuro.

Barack Obama

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação jurídica da Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024, conhecida como o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono, bem como da Lei nº 14.990, de 27 de setembro de 2024, que lhe complementa e oferece alterações. O trabalho adota pesquisa documental, e oferece uma revisão bibliográfica sobre teoria e estratégias de regulação e sobre o hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil e no mundo. A análise da legislação, do tipo qualitativa, oferece uma pesquisa sobre o processo legislativo que resultou na aprovação das legislações citadas. Ainda na análise, foram identificadas as estratégias de regulação predominantes no texto legal. Ao final, os resultados da pesquisa sugerem diversas possibilidades de captura regulatória, que podem gerar repercussões desalinhadas como interesse público. Concluiu-se pela existência de espaço para melhorias no que tange aos procedimentos de autorização de projetos de produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono.

Palavras-Chave: Direito regulatório. Captura regulatória. Transição energética. Hidrogênio de baixa emissão de carbono.

ABSTRACT

This study presents a legal assessment of Law No. 14,948, dated August 2, 2024, known as the legal framework for low-carbon hydrogen, as well as Law No. 14,990, dated September 27, 2024, which complements and amends it. The research adopted a documental methodology, providing a literature review on regulatory theory and strategies, as well as on low-carbon hydrogen in Brazil and worldwide. The qualitative analysis of the legislation includes an investigation into the legislative process that led to the enactment of the aforementioned laws. Additionally, regulatory strategies were employed in the analysis to describe and detail the legal measures implemented in each chapter of the legal framework and its complementary law. The findings suggest many possibilities of risk of regulatory capture. The study concludes that there is room for improvement concerning the procedures for authorizing low-carbon hydrogen production projects.

Keywords: Regulatory law. Regulatory capture. Energy transition. Hydrogen. Low-carbon emissions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matrizes Energéticas Mundial e Brasileira	24
Figura 2 – Emissões totais antrópicas no Brasil associadas ao consumo energético em 2023, em Mt CO ₂ -eq.....	25
Figura 3 – Participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica no Brasil.....	26
Figura 4 – Receita estimada da CDE por fonte (R\$).....	27
Figura 5 – Principais rotas de produção de hidrogênio	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Similaridades entre objetivos da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono e as políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia.....	37
--	----

LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CCUS	Captura, utilização e armazenamento de carbono.
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEENERG	Comissão Especial para estudo, avaliação e acompanhamento das iniciativas e medidas adotadas para transição energética – Fontes Renováveis e Produção de Hidrogênio Verde no Brasil
CEHV	Comissão Especial para Debate de Políticas Públicas sobre Hidrogênio Verde
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
DUP	Declaração de Utilidade Pública
EHB	Banco Europeu do Hidrogênio
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de efeito estufa
HBC	Hidrogênio de baixa emissão de carbono
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PDI	Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PHBC	Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono
PNH ₂	Programa Nacional do Hidrogênio
SIN	Sistema Interligado Nacional
ZPE	Zona de Processamento de Exportação

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1. TEORIAS E ESTRATÉGIAS DE REGULAÇÃO	15
1.1. PRINCIPAIS TEORIAS REGULATÓRIAS	16
1.1.1. <i>Teoria do interesse público</i>	16
1.1.2. <i>Teorias de grupos de interesse</i>	17
1.1.3. <i>Teorias Institucionalistas</i>	17
1.2. ESTRATÉGIAS DE REGULAÇÃO	18
1.2.1. <i>Comando e controle</i>	18
1.2.2. <i>Regimes baseados em incentivos</i>	19
1.2.3. <i>Sandbox regulatório</i>	21
2. O HIDROGÊNIO DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO BRASIL E NO MUNDO	23
2.1. CONTEXTO HISTÓRICO	23
2.1.1. <i>Transição energética</i>	23
2.1.2. <i>Matrizes energéticas mundial e brasileira</i>	24
2.2. O HIDROGÊNIO DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO MUNDO	28
2.2.1. <i>Características físico-químicas e usos do hidrogênio</i>	28
2.2.2. <i>Principais rotas de produção do hidrogênio</i>	29
2.2.3. <i>Diretrizes para o hidrogênio em outros países</i>	31
2.3. O HIDROGÊNIO DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO BRASIL	33
3. LEGISLAÇÃO DO HIDROGÊNIO DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO	35
3.1. PANORAMA DAS LEIS APROVADAS	35
3.2. POLÍTICA NACIONAL DO HIDROGÊNIO – PRINCÍPIOS E OBJETIVOS	37
3.3. TAXONOMIA E CONCEITOS RELEVANTES	40
3.4. GOVERNANÇA E O PAPEL DOS REGULADORES	41
3.4.1. <i>ANP</i>	42
3.4.2. <i>Aneel</i>	45
3.5. INCENTIVOS TRIBUTÁRIOS	47
3.6. PROPOSTAS NÃO INCLUÍDAS NAS LEGISLAÇÕES APROVADAS	48
3.6.1. <i>Incentivos regulatórios não incluídos na legislação</i>	49
3.6.2. <i>Conceitos ligados à taxonomia do hidrogênio não incluídos</i>	50
4. AS TÉCNICAS REGULATÓRIAS UTILIZADAS NO MARCO LEGAL DO HIDROGÊNIO DE BAIXO CARBONO E OS RISCOS DE CAPTURA REGULATÓRIA	53
4.1. COMANDO E CONTROLE E A CAPTURA REGULATÓRIA	53
4.2. REGIMES BASEADOS EM INCENTIVOS E AS POSSIBILIDADES DE CAPTURA	56
4.2.1. <i>Incentivos tributários</i>	56
4.2.2. <i>Incentivos regulatórios</i>	57
4.2.2.1. <i>Conta de Desenvolvimento Energético</i>	57
4.2.2.2. <i>Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI)</i>	59
4.2.2.3. <i>Experiência internacional</i>	61
CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	66

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma análise jurídica, sob a ótica do direito regulatório, a respeito do marco legal do hidrogênio de baixo carbono (“HBC”), possibilitado pela aprovação da Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024, e da Lei nº 14.990, de 27 de setembro de 2024, que lhe fez alterações. A análise apresenta apontamentos sobre as principais estratégias regulatórias possíveis e discorre sobre as possibilidades de risco de captura. Ainda, inclui as alternativas aventadas durante o processo legislativo e as consequências das escolhas do legislador que resultaram no texto final aprovado. Ao final, é oferecido um panorama da atual legislação, bem como pontos que potencialmente poderão ser objeto de propostas de melhoria no texto legal.

O hidrogênio foi considerado por muito tempo como um energético promissor, mas somente nos últimos anos, diante da crescente preocupação com as mudanças climáticas e da busca por fontes de energia limpas e renováveis, é que passou a ocupar uma posição central nas estratégias globais futuras de descarbonização. Em diversos países, tem sido considerado um dos principais vetores para viabilizar a independência de combustíveis fósseis, questão muitas vezes permeada de fatores geopolíticos de difícil equacionamento.

A promulgação da Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024, que institui o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono (HBC) no Brasil, reflete uma tentativa de alinhamento do País com as demandas globais por tecnologias de energia sustentável. A nova lei buscou regulamentar a produção, transporte e uso do hidrogênio no país, além de criar um ambiente jurídico e regulatório propício para atração de investimentos, inovação e desenvolvimento tecnológico no setor. A instituição do marco legal pode fortalecer o posicionamento do Brasil como líder em energia “limpa”, consolidando a predominância de oferta a partir de fontes renováveis como hidrelétrica, eólica e solar, que estão entre as formas de obtenção do HBC.

As externalidades positivas do HBC, no entanto, esbarram na falta de competitividade das rotas de obtenção consideradas de baixa emissão. Seus energéticos concorrentes se mostram consideravelmente mais acessíveis, razão pela qual o desenvolvimento do mercado de hidrogênio pode requerer estímulos iniciais. Essa política foi contemplada no marco legal, tendo sido dado certo grau de liberdade ao regulador para definir a alocação dos benefícios previstos, incluindo critérios conceituais e de acesso aos benefícios.

Objetiva-se com a presente pesquisa responder às seguintes perguntas: as estratégias regulatórias aplicadas na legislação do HBC podem resultar no risco de captura regulatória pelo setor regulado? Essas estratégias devem fomentar ou coibir o desenvolvimento desse mercado incipiente?

Entre as hipóteses levantadas para responder à pergunta de pesquisa, cogitou-se que as estratégias regulatórias podem i) contribuir para o fomento do mercado e o desenvolvimento de uma indústria voltada à produção do hidrogênio de baixo carbono; ii) introduzir barreiras ao livre exercício de atividade econômica, constituindo obstáculo ao desenvolvimento desse mercado; iii) onerar outros recursos energéticos no Brasil por meio de subsídios cruzados; e/ou iv) contribuir para que os incentivos concedidos ao HBC sejam mal alocados, resultando na captura dos benefícios por poucos agentes e na redução dos efeitos esperados.

O trabalho está estruturado em quatro capítulos. No capítulo 1, será apresentada uma revisão dos conceitos relacionados às teorias da regulação e do direito regulatório. A inclusão desse capítulo no presente trabalho justifica-se pela necessidade de compreender as bases teóricas que fundamentam a criação e a aplicação das normas regulatórias, especialmente em um setor emergente e estratégico como o do hidrogênio. O capítulo investigará como essas teorias podem guiar o aperfeiçoamento do marco legal em bases eficientes, equilibrando os interesses públicos e privados na promoção desse setor.

O capítulo 2 oferece um panorama geral das discussões relacionadas ao papel do setor de energia na descarbonização da economia, além de trazer um estreito retrato da situação atual das matrizes energéticas do Brasil e do mundo. Ainda nesse capítulo, são detalhadas as políticas em uma das principais regiões do mundo sobre o HBC, a União Europeia (UE), seus incentivos e regulação.

O capítulo 3 envolve a análise do marco legal do HBC e da legislação relacionada ao tema no Brasil por meio da abordagem das principais inovações implementadas, bem como alguns dos efeitos esperados com a aprovação do texto legal.

No Capítulo 4, são tratados os pontos da legislação em que se abre espaço para a ocorrência de risco de captura regulatória, a partir da análise das diferentes estratégias de regulação.

Por fim, as considerações finais apresentam as conclusões obtidas no decorrer da análise, e o indicativo das respostas às perguntas de pesquisa.

1. TEORIAS E ESTRATÉGIAS DE REGULAÇÃO

A função de regular no Estado moderno compreende competências de ordenar, supervisionar e direcionar atividades de interesse público, especialmente em setores estratégicos ou mercados sujeitos a falhas. A regulação visa garantir a eficiência econômica, a proteção dos direitos dos consumidores e a promoção de objetivos sociais e ambientais, equilibrando os interesses públicos e privados. Ao estabelecer padrões, limites e mecanismos de fiscalização, a regulação também busca prevenir abusos de poder, estimular a concorrência leal e fomentar a inovação. Em setores de alta complexidade técnica ou que envolvem riscos de importante monta, como energia, telecomunicações e saúde, a regulação assegura segurança, previsibilidade e sustentabilidade das atividades reguladas. De acordo com Breyer, (1979, p. 553-559, *apud* ARANHA, 2019), existem diversas razões para a regulação, conforme transcrito a seguir:

controle de monopólios; controle de benefícios auferidos por produtores e proprietários, mas desvinculados de sua eficiência; desconexão entre o aumento de custos e o preço de bens ou serviços; correção de assimetria de informações; competição excessiva; correção de exposição a risco gerado pelo problema agente-principal; falta de incentivos mercadológicos para o planejamento industrial, inclusive fusões, voltadas a dar maior eficiência empresarial; desequilíbrio do poder de barganha entre as partes; escassez; paternalismo estatal, entre outras.

Em segmentos econômicos incipientes, e que apresentam custos produtivos mais elevados, a falta de incentivos pode ser um fator preponderante para impedir o desenvolvimento e inserção de tecnologias a ele relacionadas. Se os sinais econômicos desfavorecem a adoção de determinada opção, mas ela representa o melhor para o interesse público, a regulação pode ser um instrumento eficiente para ampliar as chances de sucesso dessa escolha.

O marco legal do hidrogênio buscou regulamentar a produção, transporte e uso do hidrogênio no país, além de criar um ambiente jurídico e regulatório propício para a atração de investimentos, inovação e desenvolvimento tecnológico no setor. Conforme se discutirá nesta pesquisa, a estratégia de incentivos foi amplamente utilizada para buscar a viabilidade desse segmento, tendo em vista sua falta de competitividade frente a concorrentes energéticos estabelecidos. O interesse público que fundamentou a instituição desses incentivos relaciona-se com o propósito de manter o País na vanguarda da geração renovável mundial e aproveitar oferta de investimentos voltados à exportação de energéticos em suas diversas formas.

1.1. Principais teorias regulatórias

1.1.1. Teoria do interesse público

As teorias do interesse público estabelecem que a regulação é uma resposta estatal para corrigir falhas de mercado e promover o bem-estar social. Sob essa ótica, o Estado intervém para assegurar eficiência econômica, equidade e proteção aos consumidores, especialmente nos setores em que o mercado, por si só, não alcança resultados socialmente desejáveis (BALDWIN, CAVE, LODGE, 2012). A regulação, nesse contexto, busca alinhar os interesses privados ao interesse coletivo, garantindo que práticas prejudiciais sejam evitadas e que bens públicos sejam adequadamente fornecidos (LUCCHESI, 2005).

Essas teorias fundamentam-se na premissa de que o Estado, como representante do interesse coletivo, deve intervir em mercados que apresentam falhas, como monopólios naturais, assimetrias de informação e externalidades negativas. Essa abordagem busca garantir que setores considerados essenciais à vida em sociedade operem de forma eficiente e acessível, mitigando os impactos de tais falhas e promovendo o bem-estar geral. A linha teórica do interesse público contribuiu para fundamentar a implementação de normas que asseguram a prestação de serviços públicos de maneira continuada e a custos razoáveis, conectando os princípios teóricos da abordagem com a prática regulatória (BALDWIN, CAVE, LODGE, 2012).

Embora as teorias do interesse público tenham sido amplamente adotadas e valorizadas como ideal normativo, enfrentam questionamentos quanto à suposição implícita de que os reguladores agem de forma altruísta e tecnicamente competente, buscando sempre o bem comum (BALDWIN, CAVE e LODGE, 2012), o que muitas vezes é refutado por casos de ineficiência administrativa, burocracia excessiva e favoritismo.

Baldwin, Cave e Lodge (2010) enfatizam que as teorias do interesse público serviram como base normativa para a criação de agências reguladoras e para a implementação de regras que buscam corrigir falhas de mercado. Contudo, os autores reconhecem os limites práticos dessa abordagem, destacando problemas como a dificuldade de definir o “interesse público” em contextos diversos e a vulnerabilidade dos reguladores a influências externas.

1.1.2. Teorias de grupos de interesse

As teorias de grupos de interesse sugerem que a regulação é frequentemente capturada por grupos organizados que buscam benefícios próprios (BALDWIN, CAVE e LODGE, 2012). Nessa perspectiva, a intervenção estatal reflete a influência de atores com maior poder de *lobby*, resultando em políticas que favorecem interesses específicos em detrimento do bem comum. Essa captura regulatória pode levar a ineficiências e à perpetuação de privilégios, desviando a regulação de seus objetivos originais de promoção do interesse público.

Segundo essas teorias, os reguladores não dispõem de informações suficientes sobre dimensões importantes do comportamento das empresas, como demanda e qualidade. Nesse sentido, a promoção do interesse público ao controlar essas empresas ocorre de forma imperfeita (HERTOG, 2010). Além disso, parte-se, de forma geral, do pressuposto de que todos os agentes econômicos buscam atender aos próprios interesses, os quais podem ou não englobar aspectos relacionados ao interesse público.

A captura do regulador, entretanto, é um conceito nem sempre bem compreendido, e pode ser apontada de forma indevida em determinadas situações. Aranha (2019) pondera que não é cabível falar em captura quando a finalidade institucional tiver sido legislada em política pública pró-interesses privados dos regulados. Nesse caso, ocorre a própria coincidência entre a função pública inscrita no diploma normativo inaugurador da agência e os interesses privados do mercado regulado.

1.1.3. Teorias Institucionalistas

As teorias institucionalistas analisam a regulação a partir da premissa de que as estruturas e os processos institucionais desempenham papel central na modelagem da regulação, superando a visão de que ela seria apenas uma soma de preferências individuais, segundo Baldwin, Cave e Lodge (2012). Os autores apontam que os institucionalistas analisam a regulação a partir de três principais perspectivas: relações interinstitucionais, forças intrainstitucionais e redes ou espaços regulatórios.

A perspectiva das relações interinstitucionais enfatiza o desenho institucional como forma de evitar problemas como a captura regulatória. Essa linha de análise investiga questões como a delegação de autoridade para agências reguladoras e a implementação de

dispositivos que mitiguem problemas de assimetria de informações, compromissos críveis e transferência de responsabilidades políticas.

Por outro lado, as forças intrainstitucionais concentram-se na dinâmica interna das organizações e no impacto de forças autodestrutivas, destacando que mudanças regulatórias geralmente ocorrem de forma incremental, por meio de adaptações progressivas e ajustes às pressões externas, em vez de transformações radicais (BALDWIN, CAVE e LODGE, 2012), o que pode resultar em tensões e contradições que impulsionam mudanças regulatórias. Por sua vez, a abordagem das redes ou espaços regulatórios explora a interconexão entre diferentes instituições e atores envolvidos na regulação, destacando como as interações entre eles moldam os resultados regulatórios. Essa perspectiva destaca o papel dos "espaços regulatórios" na mediação de interesses concorrentes e na produção de arranjos regulatórios eficazes.

1.2. Estratégias de regulação

1.2.1. Comando e controle

A estratégia de comando e controle é um modelo tradicional de regulação estatal que se fundamenta na imposição de padrões obrigatórios, sustentados por sanções legais que visam garantir a conformidade. Trata-se de um mecanismo que busca a eficácia por meio da prescrição normativa e do controle direto das atividades reguladas, sendo amplamente utilizado em áreas como energia, proteção ambiental, saúde pública e segurança no trabalho. A essência do modelo reside no estabelecimento de regras claras e obrigatórias, muitas vezes acompanhadas de processos de licenciamento que filtram o ingresso em mercados ou atividades específicas. Esses padrões são frequentemente definidos por legislação primária ou secundária, podendo incluir requisitos técnicos e operacionais que assegurem a qualidade ou minimizem riscos (BALDWIN, CAVE e LODGE, 2012).

De acordo com Baldwin, Cave e Lodge (2012), uma das características mais distintivas do modelo de comando e controle é sua capacidade de transmitir ao público uma sensação de segurança e de comprometimento do governo com o bem-estar coletivo. Ao proibir práticas danosas e exigir conformidade com padrões definidos, o Estado sinaliza, tanto simbolicamente quanto de maneira prática, sua intenção de proteger o interesse público.

Uma das críticas mais debatidas à estratégia está relacionada, mais uma vez, à captura regulatória. A captura pode manifestar-se de diversas maneiras, desde a dependência do regulador em relação às informações fornecidas pelos regulados para a formulação de padrões, até a criação de um ambiente institucional em que os regulados possuem capacidade de moldar regras em benefício próprio, para, inclusive, barrar novos entrantes no mercado. No contexto do modelo de comando e controle, essa proximidade é amplificada pela necessidade de cooperação entre as partes, sobretudo em setores tecnicamente complexos, em que a assimetria de informações expõe o regulador à dependência de dados detalhados sobre processos industriais, custos operacionais ou impactos ambientais.

1.2.2. Regimes baseados em incentivos

Os regimes baseados em incentivos configuram uma abordagem regulatória alternativa ao modelo de comando e controle, caracterizando-se por utilizar instrumentos econômicos, como impostos, subsídios e créditos tributários, para moldar o comportamento dos agentes regulados. Essa estratégia busca alinhar os interesses privados com os objetivos públicos ao influenciar a conduta por meio de recompensas ou penalidades financeiras, em vez de impor regras rígidas e centralizadas (BALDWIN, CAVE e LODGE, 2012).

Segundo Baldwin, Cave e Lodge (2010) na regulação baseada em incentivos, o uso de instrumentos econômicos, como taxas, subsídios ou sistemas de comércio de emissões, pode alinhar os interesses dos agentes regulados aos objetivos públicos. Os autores ilustram como essa abordagem foi aplicada em setores como o ambiental e o energético, destacando exemplos como o mercado de carbono para redução de emissões de gases de efeito estufa. No entanto, existem desafios, como a necessidade de dados robustos para calcular os custos sociais de uma atividade e a dificuldade de calibrar adequadamente os incentivos para evitar resultados adversos.

A concessão de incentivos deve ser acompanhada por uma clara definição de alcance e horizonte de aplicação para a execução de uma política. A respeito disso, Raskin (2013) argumenta que, uma vez instituídos os incentivos regulatórios, a demora no tratamento das consequências dos subsídios pode impedir que ocorram necessários aperfeiçoamentos. O autor cita, como exemplo, a regulação que permitiu a instituição de uma política de incentivos à geração distribuída de energia elétrica na Alemanha, cujo aperfeiçoamento, que requereu uma

redução dos subsídios, se mostrou desafiador diante da atuação dos regulados para manter os incentivos concedidos. Raskin (2013) argumenta:

What may appear politically attractive in its early stages can quickly become a regulatory and political quagmire, as the Germans are learning (...). Over the long term, any required unwinding of the utility-owned grid due to distributed generation will be extraordinarily complex and will raise many novel and intractable legal and policy issues.

Diferentemente das estratégias de comando e controle, que frequentemente requerem conformidade uniforme, os regimes baseados em incentivos permitem que os agentes regulados escolham as formas mais eficientes de alcançar os objetivos propostos (BALDWIN, CAVE e LODGE, 2012). Por exemplo, uma empresa pode optar por reduzir emissões de poluentes adotando tecnologias mais limpas ou ajustando seus processos produtivos, conforme for mais vantajoso financeiramente. Essa flexibilidade é especialmente valiosa em contextos em que as condições variam significativamente entre os agentes regulados, como no caso de diferentes indústrias ou localizações geográficas.

Entre as vantagens dos regimes baseados em incentivos, destaca-se a possibilidade de internalizar os custos das externalidades negativas associadas a certas atividades econômicas (BALDWIN, CAVE e LODGE, 2012). Por meio de impostos, os agentes responsáveis por impactos ambientais ou sociais são induzidos a reduzir comportamentos prejudiciais, enquanto subsídios podem ser utilizados para premiar práticas benéficas, como o investimento em tecnologias limpas. Essa abordagem reduz a necessidade de intervenções diretas do Estado e incentiva soluções inovadoras que podem gerar benefícios de longo prazo.

Além disso, os custos administrativos e de fiscalização associados aos regimes baseados em incentivos tendem a ser mais baixos do que no comando e controle, uma vez que as punições ou recompensas financeiras operam automaticamente após a implementação inicial do regime. Essa característica reduz a carga sobre as autoridades regulatórias, permitindo que recursos sejam direcionados para outras prioridades (BALDWIN, CAVE e LODGE, 2012).

Baldwin, Cave e Lodge (2012) apontam desafios associados a essa estratégia, como a dificuldade de previsão do impacto exato dos incentivos no comportamento dos agentes regulados. Em um exemplo envolvendo poluição de rios, seria difícil determinar, *a priori*, quanto um determinado nível de tributação reduziria efetivamente a poluição. Essa incerteza pode levar à necessidade de ajustes incrementais, por tentativa e erro, nos níveis de impostos

ou subsídios. Embora tal abordagem seja viável para lidar com riscos menores, ela pode ser inadequada em situações que envolvam riscos catastróficos ou irreversíveis, como a perda de espécies ameaçadas. Outro ponto crítico, de acordo com os autores, diz respeito à desigualdade no impacto dos incentivos. Empresas maiores ou mais lucrativas podem ter mais capacidade de arcar com impostos ou de se beneficiar de subsídios, enquanto pequenas empresas podem enfrentar dificuldades desproporcionais.

1.2.3. *Sandbox* regulatório

O *sandbox* regulatório é definido na legislação brasileira como um ambiente regulatório experimental, voltado a flexibilização de critérios para viabilizar o desenvolvimento de modelos de negócios inovadores e experimentação de técnicas e tecnologias incipientes, conceituado da seguinte forma pela:

conjunto de condições especiais simplificadas para que as pessoas jurídicas participantes possam receber autorização temporária dos órgãos ou das entidades com competência de regulamentação setorial para desenvolver modelos de negócios inovadores e testar técnicas e tecnologias experimentais, mediante o cumprimento de critérios e de limites previamente estabelecidos pelo órgão ou entidade reguladora e por meio de procedimento facilitado.¹

Experimentos de *sandbox* têm sido utilizados como ferramentas para testar normas e modelos de negócios aplicados a diferentes tecnologias. Os *sandboxes* permitem a observação em tempo real dos efeitos de novas normas sobre tecnologias emergentes e mercados em estágio inicial de desenvolvimento (HEINEN, 2023).

Segundo Vianna (2019), os *sandboxes* devem possuir prazo limitado para experimentação. O período é variável conforme a jurisdição e, ao final, os resultados obtidos são avaliados para decidir sobre a continuidade ou encerramento da experiência. Ainda segundo o autor, esse regime caracteriza-se por uma derrogação temporária de normas aplicáveis, desde que prevista na legislação e justificada pela inovação a ser testada. Embora flexibilize regras, o *sandbox* impõe salvaguardas regulatórias adaptadas ao caso específico, assegurando a proteção do consumidor e a estabilidade do mercado.

O sucesso do *sandbox* depende de um acompanhamento contínuo, permitindo o aprendizado em tempo real sobre os impactos e riscos das inovações (VIANNA, 2019). A interação estruturada entre regulador e regulado viabiliza a coleta de dados para aprimoramento

¹ Lei Complementar nº 182, de 1º junho de 2021, art. 2º, inciso II.

regulatório. Entende-se que a aplicação dos *sandboxes* deve ser restrita quanto ao número de participantes, perfil dos usuários e valores envolvidos, mitigando riscos sistêmicos. Além disso, consumidores participantes devem ser bem informados das condições experimentais do ambiente. A admissão em *sandboxes* é geralmente condicionada à demonstração de inovação efetiva, potencial de impacto positivo no mercado e cumprimento de critérios regulatórios específicos. Em algumas jurisdições, como a Austrália, há um regime de isenção automática para empresas que atendam a requisitos pré-definidos (VIANNA, 2019).

No caso do HBC, esse ambiente regulatório experimental pode favorecer o surgimento de novos arranjos produtivos, sem que a regulação represente um embaraço para a formação de alianças comerciais e operacionais. A estratégia de *sandbox* regulatório está prevista na Lei nº 14.948, de 2024, com o objetivo de criar um ambiente regulatório controlado que incentiva a inovação tecnológica e industrial nesse setor estratégico.

Assim como ocorre no mercado financeiro, objeto da Lei Complementar acima citada, a flexibilização temporária de normas deverá permitir que tecnologias emergentes no campo do hidrogênio sejam testadas com menores barreiras de entrada e custos regulatórios, favorecendo o desenvolvimento de soluções sustentáveis. Essa flexibilidade possibilita que as empresas identifiquem e mitiguem riscos associados às inovações tecnológicas e ampliem sua viabilidade econômica, ao mesmo tempo em que assegura o monitoramento rigoroso pelo regulador, garantindo que o desenvolvimento do mercado de hidrogênio de baixo carbono ocorra de forma segura, competitiva e ambientalmente responsável.

2. O HIDROGÊNIO DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO BRASIL E NO MUNDO

2.1. Contexto histórico

2.1.1. Transição energética

A transição energética tornou-se uma questão imperativa no cenário global devido à intensificação das mudanças climáticas, que representam um dos maiores desafios ambientais e sociais da contemporaneidade. O aumento das temperaturas globais, impulsionado pelas emissões de gases de efeito estufa oriundas principalmente da queima de combustíveis fósseis, tem provocado impactos ambientais de difícil reversão, como a elevação do nível do mar, eventos climáticos extremos e a perda de biodiversidade. Esses fenômenos, por sua vez, afetam de maneira desigual as diferentes regiões, com maior impacto em comunidades vulneráveis (ONU, 2023), ampliando desigualdades socioeconômicas e demandando respostas coordenadas por parte dos Estados e organizações internacionais.

Nesse sentido, instrumentos multilaterais como o Acordo de Paris representam esforços para a mitigação das emissões e a contenção do aquecimento global em níveis considerados seguros, impondo metas que exigem a transformação estrutural dos sistemas de produção e consumo de energia (LIMA e HAMZAGIC, 2022). Essa necessidade de articulação global ressalta a necessidade de ações conjuntas para obtenção de reformas nas matrizes energéticas dos países.

A busca pela soberania emerge como um aspecto adicional no debate sobre transição energética, especialmente em um contexto marcado por tensões geopolíticas e conflitos internacionais, como a guerra entre Rússia e Ucrânia. A dependência de combustíveis fósseis, particularmente petróleo e gás natural, tem exposto fragilidades estruturais de diversas economias, evidenciando a vulnerabilidade associada à instabilidade nos mercados internacionais de energia (LUSCHINI, 2023). O conflito acentuou esses riscos, ao interromper cadeias de suprimento e provocar um aumento expressivo nos preços de combustíveis, o que impactou diretamente setores produtivos e consumidores finais.

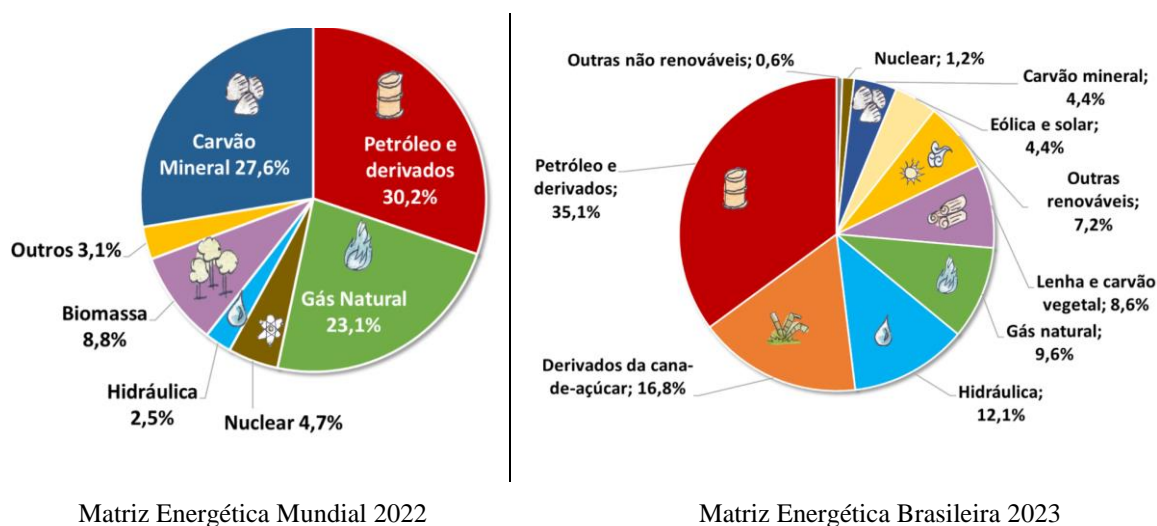
Em contraste, a diversificação das matrizes energéticas com a incorporação de fontes renováveis, como solar, eólica e hidrogênio de baixa emissão, pode promover maior autonomia e segurança energética para os países (LUSCHINI, 2023). A diversificação

energética reduz os riscos associados à concentração da produção de combustíveis fósseis em regiões geopoliticamente instáveis, como o Oriente Médio e a Rússia, mitigando os impactos de choques no fornecimento e os custos derivados de crises no mercado energético global. Assim, a convergência entre os objetivos de redução de emissões e fortalecimento da soberania energética configura um eixo estratégico para garantir resiliência econômica e ambiental frente aos desafios contemporâneos.

2.1.2. Matrizes energéticas mundial e brasileira

O Brasil ocupa uma posição de destaque na transição energética global devido à elevada participação de fontes renováveis em sua matriz, resultado de décadas de investimentos em tecnologias sustentáveis e aproveitamento de recursos naturais abundantes. Enquanto a média mundial de fontes renováveis na matriz energética se limita a 14%, o Brasil registra 49,1%, com preponderante contribuição de energia hidráulica, biomassa, eólica e solar (EPE, 2024a). A Figura 1 mostra a participação das diversas fontes nas matrizes energéticas do Brasil e do mundo.

Figura 1 – Matrizes Energéticas Mundial e Brasileira

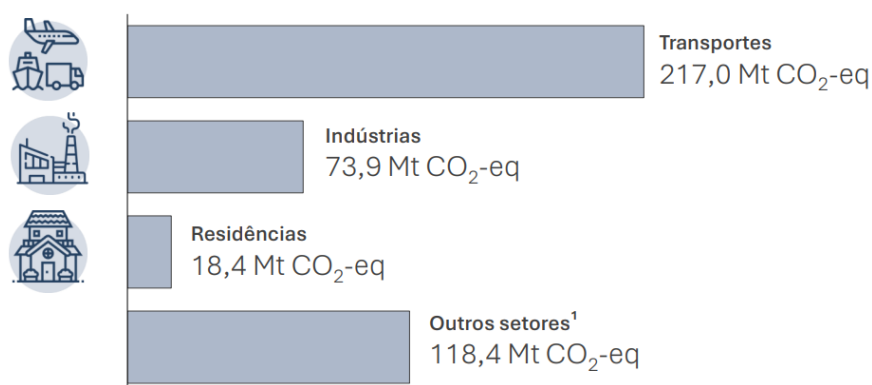


Fonte: EPE (2024a)

Importante notar que a matriz brasileira possui diversidade de fontes superior à da média dos demais países, além de maior participação de fontes renováveis. Entretanto, a participação de petróleo e derivados na matriz brasileira é superior à média mundial, em razão

de sua utilização no setor de transportes, um dos segmentos considerados *hard-to-abate*² em consumo de energia EPE (2024c). A Figura 2 mostra que, em 2023, 50,7% das emissões de CO₂ antrópicas associadas à matriz energética brasileira se concentraram no setor de transportes. Embora os biocombustíveis sejam uma fonte renovável que contribuiu para a descarbonização do transporte no Brasil, sua utilização ainda apresenta algumas limitações, sobretudo para cargas pesadas.

Figura 2 – Emissões totais antrópicas no Brasil associadas ao consumo energético em 2023, em Mt CO₂-eq



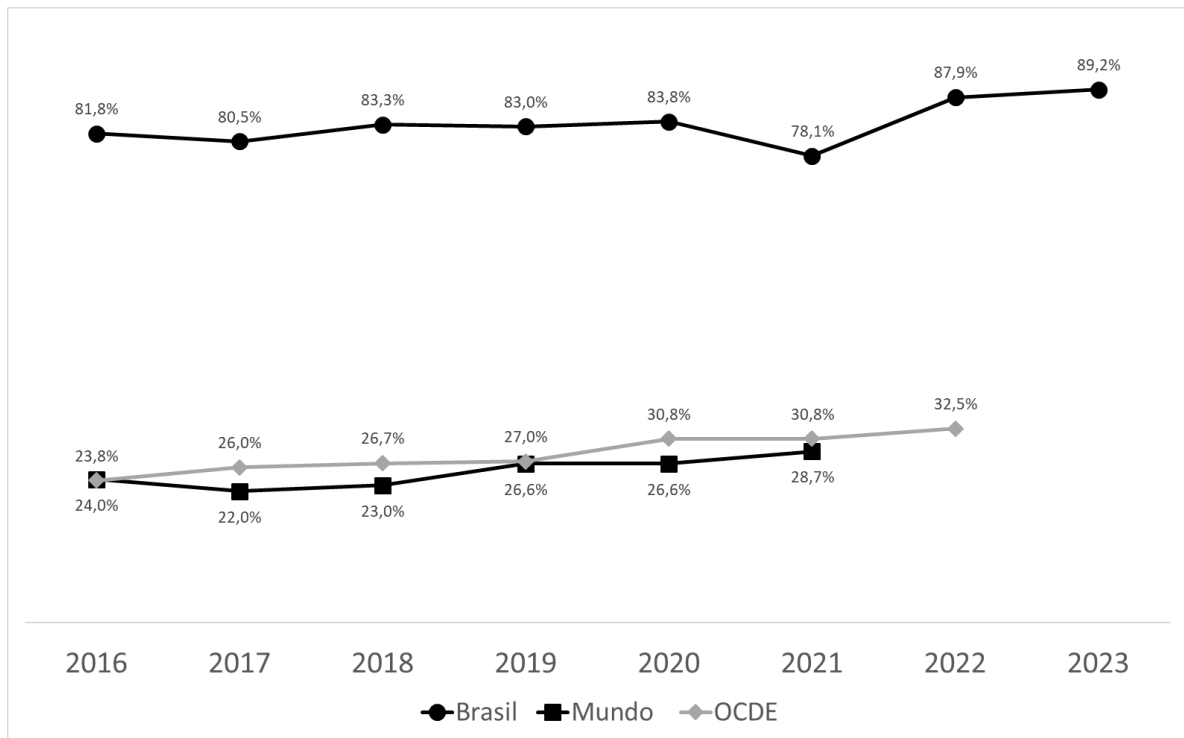
¹ Inclui os setores agropecuário, serviços, energético, elétrico e as emissões fugitivas

Fonte: EPE (2024c, p. 54)

A ampla participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira reforça o papel do país como referência em sustentabilidade energética. Em 2022, cerca de 88% da geração de energia elétrica no Brasil foi proveniente de fontes renováveis (EPE, 2023), conforme pode ser visto na figura 3, com destaque para a energia hidráulica, responsável por quase dois terços desse total. Esse cenário decorre, em grande medida, de uma infraestrutura consolidada de transmissão e de recursos hídricos, aliados à expansão de fontes eólica e solar ancorada em subsídios setoriais. Em 2024, o montante despendido com subsídios para fontes renováveis de energia totalizou R\$ 24,13 bilhões, mais da metade de todos os subsídios do setor elétrico (ANEEL, 2025).

² *Hard-to-abate* (ou "difícil de mitigar") refere-se a setores ou atividades industriais cujas emissões de gases de efeito estufa (GEE) são particularmente desafiadoras de se reduzirem devido a fatores como dependência de processos intensivos em carbono (tais como produção de cimento e aço), falta de alternativas tecnológicas viáveis (como nos transportes), demanda energética elevada (tais como indústrias químicas e siderúrgicas), e existência de infraestrutura projetada para combustíveis fósseis (como gasodutos), conforme Azadnia (2023).

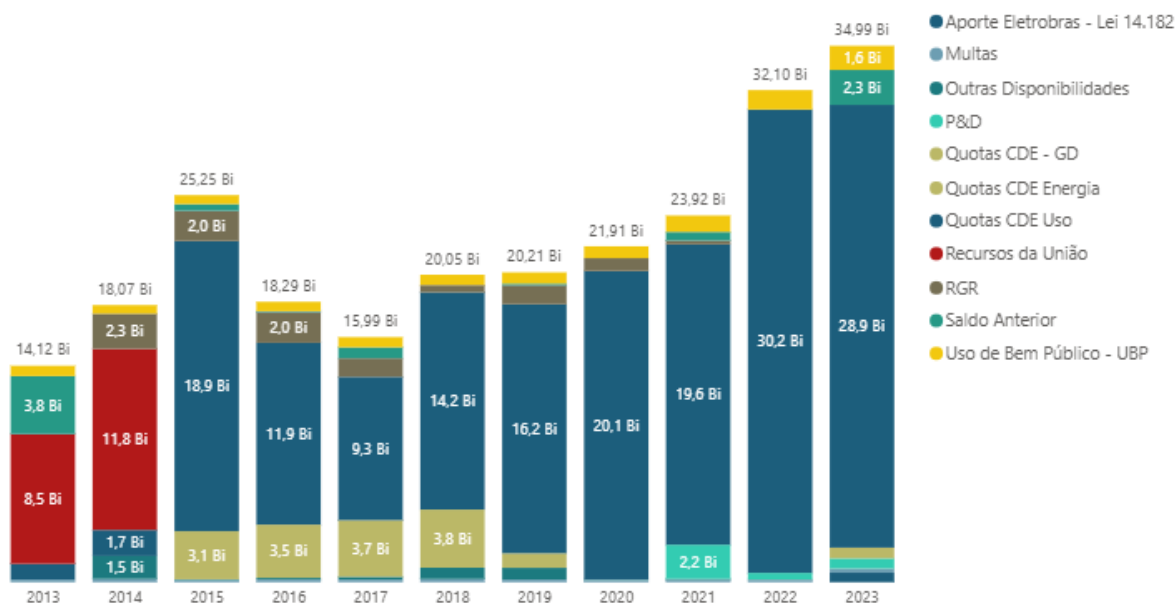
Figura 3 – Participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica no Brasil



Fonte: Elaboração própria com dados de EPE (2024c, p.39)

A concessão de subsídios no setor elétrico tem sido amparada pela Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), prevista no art. 13 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, que é suprida majoritariamente por encargos tarifários pagos pelo consumidor de energia elétrica. A figura 4 mostra que a principal fonte de receita da conta corresponde às “quotas CDE Uso” (82,6%), que são pagas pelos agentes que comercializam energia para o consumidor, por meio de encargo tarifário incluído nas tarifas dos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica (CCEE, 2025). Ou seja, os encargos são repassados para o consumidor final.

Figura 4 – Receita estimada da CDE por fonte (R\$)



Fonte: Aneel, 2024b.

Conforme fica claro pela leitura do gráfico da figura 4, nos anos de 2013 e 2014, a União participou com parte expressiva do financiamento da CDE. Entretanto, a partir de 2015, os aportes públicos passaram a se restringir aos valores de multas da Aneel e os valores cobrados sobre o Uso do Bem Público. As perdas atribuídas às medidas implantadas pela Medida Provisória nº 579, de 2012, além do agravamento da restrição fiscal, são as razões atribuídas para essa redução (BRASIL, 2019, p. 10). Ou seja, quando o orçamento público se mostrou mais restrito, o consumidor passou a ser onerado por esse fundo setorial mediante subsídios cruzados.

A análise da matriz energética brasileira, em especial a geração de energia elétrica, sugere que, além de atender à demanda interna, o Brasil possui potencial para contribuir com a descarbonização global. Essa contribuição poderia ocorrer por meio da exportação tanto de energéticos sustentáveis como de produtos industriais fabricados com base em fontes não poluentes. A produção industrial brasileira, ao contar com uma matriz energética renovável, oferece uma pegada de carbono menor em comparação a países cuja geração de energia ainda depende predominantemente de combustíveis fósseis. A vantagem competitiva do país pode ser explorada em mercados que priorizam produtos sustentáveis, permitindo o exercício de um papel estratégico no contexto internacional de transição energética. Esse diferencial é especialmente relevante em setores que exigem alta intensidade energética, em

que a utilização de energia limpa resulta em forte impacto nas emissões associadas aos bens produzidos.

2.2. O hidrogênio de baixa emissão de carbono no mundo

2.2.1. Características físico-químicas e usos do hidrogênio

As características físico-químicas do hidrogênio impõem importantes desafios logísticos para sua utilização comercial. A molécula de hidrogênio, por ser pequena e instável, resulta em uma substância de difícil transporte e armazenamento na forma natural. Sua elevada volatilidade e sua capacidade de difundir-se facilmente em materiais, como metais, dificultam seu transporte. Nesse contexto, a utilização de infraestrutura existente para o transporte de hidrogênio envolve a necessidade de adaptações. Por exemplo, os gasodutos precisam ser dotados de revestimentos especiais para evitar que o hidrogênio ultrapasse os espaços entre as moléculas da parede do tubo, o que pode provocar fenômenos de fragilização por hidrogênio e corrosão (LI *et al*, 2022).

Considerando transporte marítimo, o hidrogênio exige emprego de tecnologias para compressão e resfriamento criogênico (EPE, 2021). Tais fatores exigem uma regulação rigorosa que garanta a segurança operacional durante o processo de produção, transporte e armazenamento, considerando os riscos de vazamento, explosões e reações químicas imprevistas. Estratégias de comando e controle podem se mostrar necessárias nesse tipo de indústria.

O uso de carreadores de hidrogênio tem sido considerado uma alternativa necessária para superar os desafios logísticos dessa indústria. De acordo com o conceito do art. 4º, inciso III, do marco legal do hidrogênio (BRASIL, 2024e), carreadores de hidrogênio são “substâncias ou materiais capazes de acondicionar o hidrogênio, possibilitando sua estocagem e transporte sob uma forma química mais estável e segura, e sua liberação na forma original em locais apropriados para uso”. A expansão da utilização do hidrogênio, portanto, pode estar intrinsecamente ligada à evolução da aplicação desses materiais e ao desenvolvimento de tecnologias para seu manuseio e liberação controlada.

Uma forma indireta de transporte do hidrogênio que vem sendo empregada no decorrer da maturação de sua curva tecnológica ocorre por meio da utilização dessa substância como matéria-prima na fabricação de produtos específicos. Como exemplo, é

possível citar a produção de amônia, alternativa adotada por vencedores do primeiro leilão de energia da UE (BRANQUINHO *et al.*, 2024). A amônia pode ser utilizada na fabricação de fertilizantes e é muito mais estável do que o hidrogênio, o que permite seu transporte como produto acabado.

2.2.2. Principais rotas de produção do hidrogênio

A classificação das rotas de obtenção de hidrogênio por cores foi amplamente adotada como uma forma didática de diferenciar os métodos de produção de acordo com as matérias-primas e os processos empregados. O método relaciona uma cor para cada processo de produção. A classificação por cores encontra-se em desuso, de acordo com Schneiders *et al.* (2023), por ser inespecífica e causar ambiguidade no desenvolvimento de projetos e políticas de incentivo ao mercado de hidrogênio.

Em vez da classificação por cores, outros métodos mais precisos vêm sendo buscados, focados em quantificar as emissões de carbono referentes ao processo de produção de hidrogênio. Essa mudança reflete uma ênfase crescente na sustentabilidade e na descarbonização das matrizes energéticas, priorizando as características ambientais do hidrogênio. Ainda assim, compreender a classificação por cores é útil, em razão de seu caráter pedagógico, e da forma como o marco legal do HBC incorporou parte desses conceitos, especificamente o hidrogênio verde.

O hidrogênio cinza é produzido a partir de hidrocarbonetos, como o gás natural, por meio do processo de reforma a vapor, no qual o metano é convertido em hidrogênio e dióxido de carbono (CO₂) e monóxido de carbono (CO), além de, eventualmente, carbono sólido (C) na forma de fuligem (EPE, 2022b). Esse método atualmente é o mais utilizado no Brasil devido à sua maturidade tecnológica e custos relativamente baixos, mas apresenta desvantagens em termos ambientais, pois libera grandes quantidades de CO₂ na atmosfera (CHELVAM *et al.*, 2024). Por essa razão, o hidrogênio cinza é frequentemente criticado como uma solução insustentável, destacando a importância de alternativas com menor emissão.

O hidrogênio azul utiliza o mesmo processo de reforma a vapor do hidrogênio cinza, mas inclui captura, uso e armazenamento de carbono (CCUS) para evitar que o CO₂ gerado seja emitido para a atmosfera (CHELVAM *et al.*, 2024). Embora seja considerado uma opção de transição para a descarbonização, seu impacto ambiental depende da eficiência e da integridade do sistema de captura e armazenamento, ainda amplamente onerosos, além das

emissões indiretas associadas à produção do gás natural utilizado como matéria-prima. Como a captura

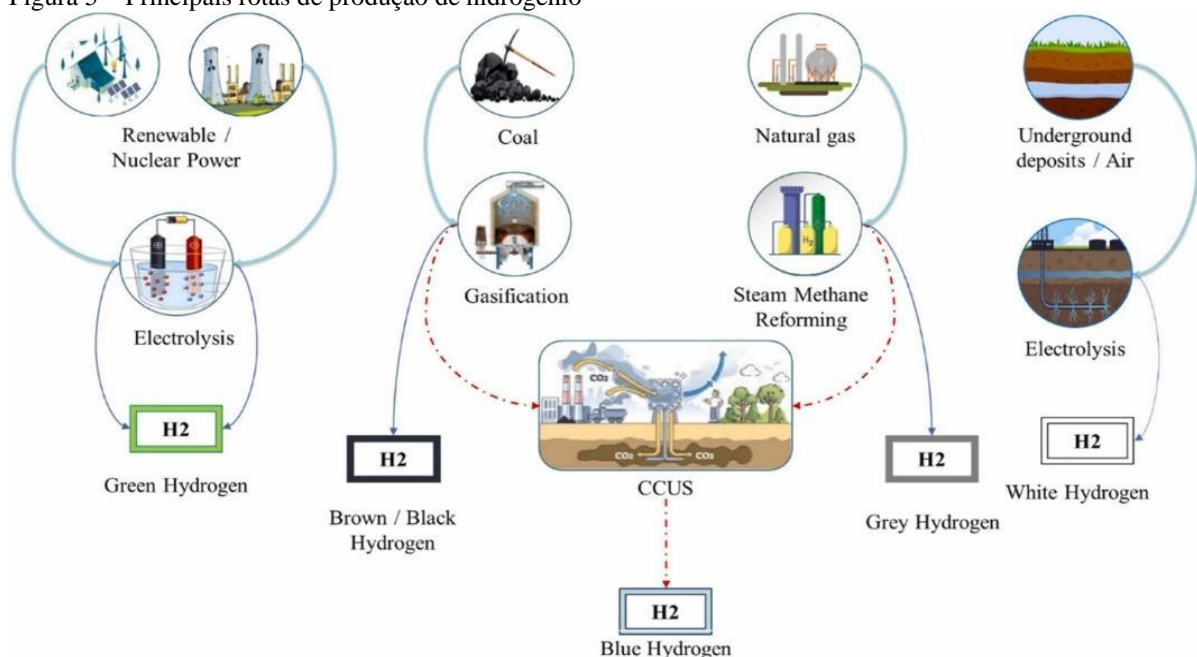
O hidrogênio branco, por sua vez, é aquele produzido por extração de hidrogênio natural ou geológico (EPE, 2021). É uma fonte considerada renovável, uma vez que sua formação ocorre continuamente por processos geológicos, o que sugere que, em algumas condições, sua taxa de reabastecimento pode ser suficiente para atender à demanda sem esgotar as reservas.

O hidrogênio marrom é produzido por meio do processo de gaseificação do carvão, uma técnica que envolve a reação desse insumo com oxigênio e vapor em altas temperaturas, resultando na formação de uma mistura de gases, que inclui hidrogênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono (EPE, 2021). Esse método, embora favorecido pela abundância de reservas de carvão e pela sua viabilidade econômica em certos contextos, é altamente intensivo em emissões de gases de efeito estufa, especialmente dióxido de carbono.

O hidrogênio verde, por sua vez, é produzido a partir da eletrólise da água, utilizando eletricidade proveniente de fontes renováveis, como solar ou eólica. Este método é considerado sustentável e tem recebido muita atenção na regulação de grandes mercados, pois quase não gera emissões de CO₂ diretas e depende de uma matriz energética renovável para ser considerado completamente descarbonizado.

A figura 5 ilustra as principais rotas de produção de hidrogênio.

Figura 5 – Principais rotas de produção de hidrogênio



Fonte: Chelvam *et al* (2024)

2.2.3. Diretrizes para o hidrogênio em outros países

A UE constitui um dos principais mercados consumidores em potencial para o HBC, considerando seu tamanho e sua dependência de combustíveis fósseis, sobretudo o gás natural russo fornecido na Alemanha. Por esse motivo, as diretrizes europeias exercem influência nos diversos mercados produtores, tendo em vista a busca pelo atendimento dos critérios estabelecidos por esse grande mercado em potencial. A disponibilidade de recursos para investimentos em plantas de produção ao redor do mundo tem influenciado a regulação em diversos países, sobretudo os menos desenvolvidos.

O hidrogênio verde pode se tornar um dos produtos que mais demandam a expansão da capacidade de geração e transmissão de energia elétrica. Em razão disso, a UE tem adotado três pilares para assegurar que a taxonomia do HBC contribua efetivamente para os objetivos de redução de emissões de gases de efeito estufa: adicionalidade, correlação geográfica e correlação temporal (PASSOS *et al*, 2024).

A adicionalidade é o requisito segundo o qual a eletricidade utilizada para a produção de HBC seja adicional ao sistema de geração em que os eletrolisadores serão instalados. Segundo Passos *et al* (2024, p. 3), o intuito da aplicação da adicionalidade é “evitar que a eletricidade renovável já incluída no mix energético existente seja desviada para eletrolisadores, o que poderia levar à compensação desse consumo por fontes fósseis, como gás natural e carvão”. Nesse sentido, a adicionalidade impede que o HBC desloque outros consumidores para fontes mais poluentes, o que reduziria o potencial de descarbonização da matriz energética.

O critério de correlação geográfica prevê que a localidade de instalação de produção de hidrogênio ocorra em uma região que apresente disponibilidade de suprimento de energia elétrica considerada renovável, e, caso ocorra algum congestionamento na transmissão, a geração e a produção do combustível devem estar no mesmo lado da contingência. A correlação temporal, por sua vez, conhecida como temporalidade, é o critério segundo o qual o hidrogênio deve ser produzido no mesmo instante em que a energia renovável está sendo gerada. Conforme estabelecido em normativo europeu (UE, 2018), relativo à promoção da utilização de energia de fontes renováveis, esses critérios são apresentados da seguinte forma:

(90) Os combustíveis líquidos e gasosos renováveis de origem não biológica no setor dos transportes são importantes para aumentar a quota de energia renovável em setores que se calcula virem a depender dos combustíveis líquidos a longo prazo. Para assegurar que os

combustíveis de origem não biológica contribuem para a redução dos gases com efeito de estufa, a eletricidade utilizada para a produção de combustíveis deverá ser de origem renovável. A Comissão deverá desenvolver, por meio de atos delegados, uma metodologia fiável a nível europeu a aplicar caso a eletricidade seja retirada da rede. Tal metodologia deverá assegurar que exista uma **relação temporal e geográfica** entre a unidade de produção de eletricidade, com a qual o produtor tenha um contrato bilateral de aquisição de eletricidade renovável, e a produção de combustíveis. Por exemplo, os combustíveis renováveis de origem não biológica não podem ser considerados totalmente renováveis se forem produzidos no momento em que a unidade de produção a partir de fontes renováveis, com a qual tiver sido celebrado contrato, não esteja a produzir eletricidade. Ainda a título de exemplo, em caso de congestionamento da rede elétrica, os combustíveis só podem ser considerados totalmente renováveis se as instalações, tanto de produção de eletricidade como de produção de combustíveis, se situarem no mesmo lado do congestionamento. Além disso, deverá haver um elemento suplementar, no sentido de que o produtor de combustíveis contribui para a implantação ou para o financiamento da energia renovável (UE, 2018, p. 14). (Grifo nosso)

Outro normativo da Comissão Europeia (UE, 2023), que complementa o supracitado, estabelece uma metodologia empregada no território europeu com regras detalhadas para a produção de combustíveis líquidos e gasosos renováveis de origem não biológica destinados aos transportes. Este regulamento é o aplicável para o hidrogênio a ser destinado ao mercado europeu. As regras estabelecidas aplicam-se para produções ocorridas dentro e fora da UE, assegurando que a demanda por eletricidade para a produção de hidrogênio seja suprida por fontes renováveis, com o objetivo de evitar o aumento das importações de combustíveis fósseis, mesmo que de forma indireta. O referido regulamento define critérios para assegurar que a eletricidade utilizada na produção desses combustíveis seja de origem renovável, por meio de ligação direta a instalações de energia renovável ou através da rede elétrica.

Por se tratar de um dos principais mercados potenciais para o HBC e um dos maiores interessados na aceleração da transição energética, a UE tem empreendido esforços no sentido de conceder subvenções aos produtores e assegurar a aceleração do uso desse energético, apesar de suas desvantagens econômicas. O primeiro Leilão do Banco Europeu do Hidrogênio (EHB) foi organizado para distribuir o pagamento de subsídios aos produtores, calculados com base na diferença entre seus custos de produção e o preço de mercado do hidrogênio. Segundo Branquinho *et al.* (2024), a Comissão Europeia apresentou, em abril de 2024, os resultados desse leilão, que resultou no comprometimento de € 720 milhões em subsídios para sete projetos, com desembolsos previstos para os próximos dez anos, viabilizando a produção de 1,58 milhões de toneladas ao longo desse período.

Ainda segundo os autores, o resultado do leilão surpreendeu o mercado, pois as diferenças entre o preço teto e os deságios variaram entre € 0,48 e € 0,37 por quilograma de hidrogênio produzido, indicando um elevado nível de competitividade. Embora a localização não fosse um requisito para a inclusão dos projetos no certame, os vencedores no leilão produzirão o hidrogênio renovável no continente europeu (BRANQUINHO *et al.*, 2024), sugerindo o quanto o custo de transporte representa um fator decisivo para a viabilidade dos projetos em um cenário de competição agressiva.

2.3. O hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil

Na atualidade, a produção de hidrogênio no Brasil é realizada predominantemente em refinarias, por meio da reforma do gás natural, ou seja, hidrogênio cinza. Segundo estimativas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022a), o custo de produção do hidrogênio cinza no Brasil situa-se atualmente entre US\$ 1,00 e US\$ 1,50 por quilograma produzido, o que é considerado bastante competitivo. No longo prazo, essa rota produtiva tende a se mostrar menos atrativa para investidores em comparação à produção de hidrogênio derivado de fontes renováveis, em razão das diretrizes ambientais. Entretanto, persiste o desafio de viabilizar economicamente o hidrogênio considerado “limpo”, tornando-o competitivo frente ao hidrogênio produzido por meio de reforma a vapor sem a implementação de tecnologias CCUS.

Logo, o hidrogênio cinza é atualmente a forma mais comum de produção no Brasil, tendo em vista seu menor custo de produção em larga escala. Essa rota pode atender à demanda de hidrogênio de curto prazo, até que alternativas de baixo carbono se tornem economicamente competitivas, desempenhando uma função importante no desenvolvimento do mercado brasileiro, incluindo a de servir como preço de referência para as demais tecnologias (EPE, 2022a).

A despeito do caminho a ser percorrido para baratear as tecnologias empregadas na produção de H₂, para o futuro, há expectativa do crescimento dessas rotas de produção de hidrogênio, aproveitando a diversidade da matriz energética brasileira. Para tanto, entende-se como necessários investimentos em pesquisa para amadurecimento das tecnologias emergentes.

Os Estados da região nordeste do País possuem algumas vantagens para a produção do HBC (FORTE e GAZILLO, 2023). A posição geográfica é favorável, por ser mais próxima dos potenciais mercados consumidores do mundo, incluindo principalmente a UE. A disponibilidade de potencial de geração de energia renovável, incluindo eólicas *offshore*, também contribui para assegurar posição de destaque para essa região.

Além disso, segundo Forte e Gazzilo (2023), o Estado do Ceará apresenta vantagens competitivas para o crescimento do hidrogênio verde, que incluem seu elevado potencial de energia eólica *on shore* e *offshore*, condições adequadas do Porto do Pecém para sediar um hub de hidrogênio verde e a existência de uma Zona de Processamento de Exportação (ZPE) em operação, que cria facilidades tributárias para indústrias instaladas em seu território dedicadas à produção para exportação.

De acordo com o conceito trazido pela legislação³, “as ZPE caracterizam-se como áreas de livre comércio com o exterior, destinadas à instalação de empresas direcionadas para a produção de bens a serem comercializados no exterior, a prestação de serviços vinculados à industrialização das mercadorias a serem exportadas ou a prestação de serviços a serem comercializados ou destinados exclusivamente para o exterior, consideradas zonas primárias para efeito de controle aduaneiro.” Considerando que o interesse de investidores em instalar plantas de hidrogênio no território nacional está intimamente ligado ao suprimento do mercado externo, a opção por utilização dessas zonas oferece benefícios tributários importantes. Entretanto, por não serem exclusivos para o HBC, não será aprofundado nesse trabalho.

³ Parágrafo único do art. 1º da Lei nº 11.508, de 20 de julho de 2007.

3. LEGISLAÇÃO DO HIDROGÊNIO DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

3.1. Panorama das leis aprovadas

O Poder Executivo iniciou o processo de regulamentação do HBC, antes mesmo da aprovação do marco legal, dentro dos limites de sua competência de estabelecer as diretrizes para a implementação das políticas públicas, prevista em leis anteriores. O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) determinou que fossem elaboradas propostas de diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), conforme se depreende de CNPE (2021). Segundo esse normativo, o PNH2 seria formado por um Comitê Gestor – coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e integrado por diversos órgãos e entidades de governo – e cinco Câmaras Temáticas para discussão de questões específicas.

O HBC foi objeto de duas leis aprovadas em curto período de tempo, que trataram de diferentes pontos do setor. A Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024, instituiu o marco legal e a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, seus princípios, objetivos, conceitos, governança e instrumentos. A norma é estruturada em 5 capítulos, abrangendo um total de 40 artigos. No primeiro capítulo, intitulado "Disposições Gerais" e composto pelo artigo 1º, é estabelecido o objetivo principal da lei, que é criar o marco regulatório para o HBC, abrangendo a política nacional e seus incentivos.

O segundo capítulo, "Da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono", está subdividido em duas seções. A primeira, que compreende os artigos 2º e 3º, trata dos princípios e objetivos da política, como respeito à neutralidade tecnológica e fomento à pesquisa. Já a segunda seção, composta pelo artigo 4º, apresenta conceitos essenciais, incluindo a taxonomia dos tipos de hidrogênio abordados na lei, que são o de baixa emissão de carbono, o renovável e o verde.

O terceiro capítulo, "Dos Instrumentos da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono", compreende a maior parte da lei, e inclui os artigos 5º ao 35. Esse capítulo é dividido em 7 seções, nas quais é descrita a estrutura organizacional necessária para a implementação da política, incluindo os atores envolvidos e suas atribuições.

O quarto capítulo, intitulado "Das Alterações Legislativas", é composto pelos artigos 36 e 37 e promove adequações em legislações anteriores para harmonizá-las ao novo marco legal. As alterações à Lei nº 9.427, de 1996, introduzem competência à Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) para oferecer contribuições à Agência Nacional do Petróleo, Gás

Natural e Biocombustíveis (ANP) para regular a autorização para o exercício da atividade de produção de hidrogênio. As alterações à Lei nº 9.478, de 1997, inserem o HBC nos objetivos da Política Energética Nacional e entre as competências da ANP.

Finalmente, o quinto e último capítulo, de nome "Das Disposições Finais", abrange os artigos 38 a 40, e contém competência atribuída à Aneel de forma a expandir os casos em que a Agência pode emitir declaração de utilidade pública, competência prevista no art. 10 da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995. Além disso, são convalidadas as autorizações para o exercício da atividade de produção de HBC e seus derivados vigentes na data de publicação desta Lei, mediante análise de conformidade do órgão regulador competente. Por fim, o último artigo estabelece a entrada em vigor da lei como sendo a data de sua publicação.

Por sua vez, a Lei nº 14.990, de 27 de setembro de 2024, institui o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC) e altera a Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024. A lei é composta por 10 artigos, organizados sem subdivisões em capítulos. O artigo 1º institui o PHBC e o artigo 2º estabelece seus objetivos, que incluem o desenvolvimento do hidrogênio de baixa emissão de carbono e renovável, o suporte às ações de transição energética, o estabelecimento de metas para o mercado interno, a aplicação de incentivos para redução de emissões em setores industriais de difícil descarbonização e a promoção do uso do hidrogênio no transporte pesado.

Os artigos 3º ao 5º concede crédito fiscal na comercialização de HBC e seus derivados produzidos no território nacional, conforme diretrizes a serem regulamentadas. O artigo 6º delimita o período de concessão do crédito fiscal entre 1º de janeiro de 2028 e 31 de dezembro de 2032. Os artigos 7º ao 9º estabelecem diretrizes a serem seguidas sobre a governança do setor de HBC. Por fim, o artigo 10º dispõe que a lei entra em vigor na data de sua publicação.

Paralelamente, a Emenda Constitucional nº 132, de 20 de dezembro de 2023, que instituiu a reforma tributária, estabeleceu a necessidade de instituição de um regime fiscal favorecido para o HBC (art. 225, § 1º, VIII, da CF/88). Esse benefício havia sido previsto apenas para os biocombustíveis na redação anterior do dispositivo constitucional, tendo ocorrido a inclusão do hidrogênio nessa modalidade de diferenciação tributária por força dessa emenda. Seu objetivo é o de assegurar condições favoráveis de concorrência para o HBC frente a seus concorrentes de elevada emissão, como o hidrogênio cinza, atualmente o mais competitivo. A inclusão do HBC no texto constitucional demonstra elevado grau de

comprometimento do Poder Público com o desenvolvimento do mercado desse produto incipiente.

3.2. Política Nacional do Hidrogênio – Princípios e Objetivos

Os artigos 2º e 3º da Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024, tratam dos princípios e dos objetivos da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono. Esses dispositivos não são acompanhados de elementos objetivos de *enforcement*, ou seja, não preveem critérios para assegurar a observância de seu cumprimento. Entretanto, são bastante úteis para orientar a atuação do regulador, oferecendo subsídios para a fundamentação dos atos regulatórios. Mesmo que não sejam autoaplicáveis ou coercitivos, os objetivos gerais de uma política balizam a ação estatal e fundamentam decisões administrativas (BUCCI, 2021).

Os princípios da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, previstos no art. 2º, possuem similaridades com os previstos nos atos normativos editados pelo Poder Executivo. Esse alinhamento demonstra que o legislador buscou evitar uma abordagem disruptiva com aquilo que vinha sendo desenvolvido pelo governo federal acerca do tema.

Os objetivos da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, previstos no art. 3º, possuem grande similaridade com os das políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia, previstos no art. 1º da Lei nº 9.478, de 1997. A Tabela 1 mostra a similaridade entre as duas políticas, demonstrando que o legislador optou por resgatar alguns dos objetivos vigentes para nortear a implantação da política do HBC. Essa similaridade é razoável, uma vez que o principal uso que se espera para o HBC no Brasil é o energético.

Tabela 1 – Similaridades entre objetivos da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono e as políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia

Lei nº 14.948, de 2024.	Lei nº 9.478, de 1997.
Art. 3º São objetivos da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono:	Art. 1º As políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia visarão aos seguintes objetivos:
I - preservar o interesse nacional;	I - preservar o interesse nacional;
II - incentivar as diversas rotas de produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados, de forma a valorizar as múltiplas vocações econômicas nacionais;	VIII - utilizar fontes alternativas de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis;

III - promover o desenvolvimento sustentável e ampliar o mercado de trabalho das cadeias produtivas do hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados;	II - promover o desenvolvimento, ampliar o mercado de trabalho e valorizar os recursos energéticos;
IV - promover as aplicações energéticas do hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados e valorizar seu papel como vetor da transição energética em diversos setores da economia nacional;	Sem correspondência
V - valorizar o uso do hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados para suprimento do mercado interno e para fins de exportação;	Sem correspondência
VI - proteger os interesses do consumidor quanto a preço, qualidade e oferta estável e perene do hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados;	III - proteger os interesses do consumidor quanto a preço, qualidade e oferta dos produtos;
VII - proteger o meio ambiente, promover a conservação de energia e mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e de poluentes nos consumos energético e industrial;	IV - proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia;
VIII - incentivar o fornecimento de hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados em todo o território nacional;	V - garantir o fornecimento de derivados de petróleo em todo o território nacional, nos termos do § 2º do art. 177 da Constituição Federal;
IX - promover a livre concorrência;	IX - promover a livre concorrência;
X - atrair e incentivar investimentos nacionais e estrangeiros para a produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados;	X - atrair investimentos na produção de energia;
XI - ampliar a competitividade do País no mercado internacional;	XI - ampliar a competitividade do País no mercado internacional. XV - promover a competitividade do País no mercado internacional de biocombustíveis;
XII - promover, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação do hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados na matriz energética nacional;	VI - incrementar, em bases econômicas, a utilização do gás natural; XII - incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional.
XIII - fomentar iniciativas de produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados para exportação ou uso em cadeias produtivas diversas com vistas a agregar valor a produtos nacionais;	Sem correspondência
XIV - atrair investimentos em infraestrutura para transporte e estocagem do hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados;	XVI - atrair investimentos em infraestrutura para transporte e estocagem de biocombustíveis;
XV - fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados aos usos do hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados para fins energéticos e industriais;	XVII - fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável;
XVI - fomentar a transição energética com vistas ao cumprimento das metas do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e demais tratados internacionais congêneres;	XVIII - mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes, inclusive com o uso de biocombustíveis (alterado pela própria Lei nº 14.948, de 2024).

XVII - promover a cooperação nacional e internacional para implementação de ações com vistas ao cumprimento dos compromissos e das metas de mitigação das mudanças climáticas globais;	Sem correspondência
XVIII - fomentar a cadeia nacional de suprimento de insumos e de equipamentos para fabricação do hidrogênio de baixa emissão de carbono;	Sem correspondência
XIX - estimular a celebração de parcerias público-privadas para desenvolvimento de projetos de hidrogênio de baixa emissão de carbono; e	Sem correspondência
XX - fomentar o desenvolvimento da produção nacional de fertilizantes nitrogenados provenientes do hidrogênio de baixa emissão de carbono com o objetivo de reduzir a dependência externa e de garantir a segurança alimentar.	Sem correspondência

Fonte: Elaboração própria a partir de informações das leis mencionadas

Entre as inovações, merecem destaque os incisos não previstos nos normativos até então vigentes, por refletirem uma preocupação específica a ser observada na gestão do setor de hidrogênio. O primeiro ponto é a inclusão das exportações como objetivo da Política, algo que não é previsto nas políticas de energéticos da Lei nº 9.478, de 1997. Essa valorização é registrada nos incisos V e XIII do art. 3º da Lei nº 14.948, de 2024.

Outra preocupação é a atração de investimentos estrangeiros para o fomento do setor no País. O inciso XVII menciona o objetivo de promover a cooperação nacional e internacional para com vistas ao cumprimento dos compromissos climáticos e o inciso XIX registra o objetivo de estimular a celebração de parcerias público-privadas para desenvolvimento de projetos de HBC. Esses dispositivos buscam orientar a regulamentação no sentido de viabilizar o aproveitamento da oferta internacional de investimentos em transição energética para contribuir para a valorização desse setor no Brasil.

Por fim, cumpre registrar a preocupação do legislador em valorizar o desenvolvimento das cadeias produtivas de hidrogênio, visando agregar valor à produção nacional, conforme previsto nos incisos XIII, XVIII e XX. Esses objetivos estão alinhados com a preocupação, registrada nas audiências públicas realizadas no âmbito das comissões, de que a produção de hidrogênio brasileira seja exportada sem agregação de valor local, o que, segundo esse entendimento, perpetuaria o Brasil como mero exportador de *commodities*. Entre as contribuições que manifestaram essa preocupação, estão a de diversos parlamentares e de representantes do governo (BRASIL, 2023d). Importante notar, portanto, que esses objetivos

podem se chocar com a valorização das exportações, prevista nos incisos V e XIII, conflito que permite que a regulação adote estratégias opostas, conforme o interesse prevalente.

3.3. Taxonomia e conceitos relevantes

O HBC pode ser definido de diferentes formas, segundo grau de emissões, formas de obtenção, entre outros parâmetros. A depender de como é formulada, a taxonomia do HBC pode incentivar determinadas tecnologias e suas segmentações em detrimento de outras, conforme os requisitos que precisam ser cumpridos para seu enquadramento.

O inciso XII do art. 4º apresenta a principal definição adotada na lei. Nela, não há restrição acerca das fontes de produção de hidrogênio, sejam combustíveis fósseis ou qualquer outra, desde que a emissão de GEE não ultrapasse o valor definido. Logo, pode ser considerado HBC aquele proveniente de qualquer rota de produção, desde que as emissões finais do processo produtivo, considerando o ciclo de vida, não ultrapassem os sete quilogramas de dióxido de carbono equivalente por quilograma de hidrogênio produzido. Vejamos a transcrição do dispositivo:

Art. 4º, XII - hidrogênio de baixa emissão de carbono: hidrogênio combustível ou insumo industrial coletado ou obtido a partir de fontes diversas de processo de produção e que possua emissão de GEE, conforme análise do ciclo de vida, com valor inicial menor ou igual a 7 kgCO₂eq/kgH₂ (sete quilogramas de dióxido de carbono equivalente por quilograma de hidrogênio produzido)

Um ponto que chama a atenção nesse conceito é a definição taxativa do limite máximo de emissões em 7 kgCO₂eq/kgH₂ (sete quilogramas de dióxido de carbono equivalente por quilograma de hidrogênio produzido). Sobre isso, a pesquisa aponta que tanto a versão final do projeto de lei remetido ao Senado Federal após aprovação pela Câmara dos Deputados (BRASIL, 2023c) como a versão final aprovada no Senado Federal após apreciação dos destaques (BRASIL, 2024c) registravam valor de 4 kgCO₂eq/kgH₂. Entretanto, após a votação dos destaques, o relator acolheu emenda de redação, apresentada em Plenário, que alterou o valor do limite de emissões para os 7 kgCO₂eq/kgH₂ (BRASIL, 2024d). A justificativa utilizada pelo autor da emenda foi a de que estudos preliminares indicariam que o hidrogênio produzido a partir do etanol poderia exceder o limite anteriormente estabelecido (BRASIL, 2024b). Essa alteração na taxonomia do HBC, ocorrida em etapa avançada de tramitação da proposição, sem maiores reflexões e contrariando longos debates havidos no decorrer da tramitação do projeto de lei, demonstrou a instabilidade conceitual do termo.

O inciso XIII do art. 4º, por sua vez, apresenta o conceito de hidrogênio renovável como uma espécie de HBC, produzido a partir de fontes renováveis ou coletado na forma natural (hidrogênio branco). Essa especificação demonstra interesse por parte do legislador em estabelecer um conceito que exclua as rotas oriundas de fontes poluentes, mesmo que com uso de captura de carbono, e de fontes não renováveis. Ficariam excluídos do conceito definido nesse inciso, portanto, as rotas do hidrogênio azul, obtido a partir do gás natural com captura de carbono, e do hidrogênio produzido a partir de energia nuclear, que, apesar de emitirem baixa quantidade de carbono, não são consideradas renováveis. A seguir, a transcrição do conceito extraída da Lei nº 14.948, de 2024:

Art. 4º, XIII - hidrogênio renovável: hidrogênio de baixa emissão de carbono, combustível ou insumo industrial coletado como hidrogênio natural ou obtido a partir de fontes renováveis, incluindo o hidrogênio produzido a partir de biomassa, etanol e outros biocombustíveis, bem como hidrogênio eletrolítico, produzido por eletrólise da água, usando energias renováveis, tais como solar, eólica, hidráulica, biomassa, etanol, biogás, biometano, gases de aterro, geotérmica e outras a serem definidas pelo poder público;

Outro termo apresentado no art. 4º é o hidrogênio verde, previsto no inciso XIV como espécie de hidrogênio renovável, obtido somente a partir da eletrólise da água. O acolhimento desse conceito se deu no Plenário do Senado Federal após apresentação de emenda oferecida por parlamentar do Estado do Ceará, principal unidade federativa interessada no desenvolvimento desse conceito, conforme se viu na seção 2.3 deste trabalho. A lei apresentou o conceito da seguinte forma:

Art. 4º, XIV - hidrogênio verde: hidrogênio produzido por eletrólise da água, utilizando fontes de energia renováveis, tais como as previstas no inciso XIII deste caput, sem prejuízo de outras que venham a ser reconhecidas como renováveis;

Apesar da presença de conceitos relacionados ao sistema de cores e à renovabilidade das fontes de obtenção, a legislação privilegiou o conceito de hidrogênio baseado nas emissões de carbono, seguindo tendência mundial. Essa abordagem intensifica a importância de uma regra clara sobre o ciclo de vida, sobretudo no processo de certificação.

3.4. Governança e o papel dos reguladores

A governança do setor de hidrogênio foi definida na Lei nº 14.948, de 2024. Entretanto, as premissas para essa construção antecederam o marco legal, tendo sido objeto de ampla discussão e aperfeiçoamentos na esfera do Poder Executivo. O art. 6º da Lei nº 14.948,

de 2024, de forma muito similar ao que é tratado na lei que define políticas energéticas nacionais, define papéis para o CNPE, como órgão superior da Política, e para o MME, competente para conduzir a política e propor parâmetros e diretrizes a serem aprovadas pelo referido Conselho. Essas atribuições vinham sendo tratadas na esfera infralegal.

Por sua vez, a presença de mais de um regulador no texto da lei oferece desafios coordenação regulatória. A ausência de um trabalho coordenado pode gerar insegurança jurídica, aumento de custos de transação e ineficiências que afetam tanto os agentes regulados quanto o interesse público (SAMPAIO e PAIVA, 2023). Segundo as autoras, o alinhamento institucional é essencial para lidar com temas intersetoriais e multidisciplinares, que exigem uma abordagem integrada. A harmonização de entendimentos e a cooperação interinstitucional permitem que os processos administrativos sejam mais claros, previsíveis e alinhados às demandas sociais e econômicas.

A falta de coordenação entre órgãos reguladores frequentemente leva os agentes econômicos a recorrerem ao Poder Judiciário, como no caso estudado por Sampaio e Paiva (2023). As autoras apontam, como ferramentas eficientes para a resolução do problema, a edição de resoluções conjuntas e de decisões coordenadas, cuja efetividade depende da adoção de práticas que incentivem o diálogo, a transparência e a busca de soluções consensuais entre os órgãos envolvidos. A ausência de clareza sobre as regras aplicáveis e a sobreposição ou conflito entre normativas de diferentes órgãos reguladores estão entre os problemas que podem surgir durante o aperfeiçoamento desse processo de coordenação.

3.4.1. ANP

A Lei nº 14.948, de 2024, introduz um conjunto de atribuições à ANP. É possível afirmar que essa Agência é o principal regulador das atividades relacionadas ao hidrogênio, segundo o texto legal. Entretanto, não será a única agência reguladora com competências no setor.

O *caput* do art. 11 da Lei nº 14.948, de 2024 (BRASIL, 2024e), prevê que as atividades de produção de hidrogênio, seus derivados e carreadores serão exercidas por empresas que tenham obtido autorização do órgão regulador competente. Os parágrafos 1º ao 4º buscam delimitar qual seria o órgão regulador competente. Via de regra, a autorização deve ser obtida junto à ANP, conforme § 1º desse artigo. No entanto, devem ser respeitadas as atribuições das demais agências reguladoras conforme as fontes utilizadas no processo de

produção. A previsão de participação de outras agências reguladoras oferece espaço para que o regulamento atribua competências à Agência Nacional de Águas (ANA) e, sobretudo, à Aneel, na regulação do hidrogênio produzido a partir da eletrólise da água.

O § 4º do art. 11 prevê as possibilidades de dispensa de autorização caso o projeto tenha pouca quantidade de produção. Essa medida legal contribui para reduzir o embaraço burocrático de projetos pequenos, que oferecem menor potencial de dano em caso de acidentes. O grau de risco operacional é um critério razoável para definir o porte do empreendimento para o qual o regulamento permitirá a dispensa de autorização de produção.

Segundo esse mesmo dispositivo, também pode ser dispensado de obter autorização emitida pela ANP o produtor que dê finalidade não energética ao hidrogênio. No Brasil, a maior parte da produção de hidrogênio é proveniente da reforma a vapor do gás natural, sendo consumido principalmente em refinarias e fábricas de fertilizantes, com produção e uso locais (EPE, 2022a). Entretanto, há outros usos como gases industriais e para uso medicinal. Para usos do hidrogênio desvinculados da produção de combustíveis, pode ser considerada injustificada a necessidade de autorização de produção da ANP, agência ligada a usos estritamente energéticos. Nesses casos, será requerido apenas o registro da atividade, seguindo procedimento, em tese, mais simplificado.

O art. 10, por sua vez, prevê instrumentos para gestão de risco de acidentes ou desastres dos empreendimentos, a serem exigidos pela ANP, que incluem os incisos X, XVI e XVII do § 4º, a saber:

X - Estudo de Análise de Risco (EAR): parte integrante do estudo ambiental que contempla a avaliação da vulnerabilidade do empreendimento e da região em que está localizado, incluídos técnicas de identificação de perigos, estimativas de frequência de ocorrências anormais e gerenciamento de riscos;

XVI - Plano de Ação de Emergência (PAE): documento integrante do Plano de Gerenciamento de Risco do empreendimento que estabelece as ações a serem executadas pelo empreendedor em caso de situação de emergência e que identifica os agentes a serem dela notificados;

XVII - Plano de Gerenciamento de Risco (PGR): documento que descreve como o gerenciamento de risco do empreendimento será executado, monitorado e controlado;

Esses instrumentos não encontram paralelo na legislação do setor de combustíveis, e devem oferecer detalhamento pormenorizado das exigências de prevenção de risco operacional a serem atendidas pelos agentes regulados. A inclusão dessas exigências aproxima a legislação do hidrogênio da estratégia de comando e controle, considerando o

detalhamento das exigências, e a obrigatoriedade no atendimento a esses requisitos como condição para o exercício das atividades.

O art. 12 da Lei nº 14.948, de 2024, institui a possibilidade de aplicação de ambiente regulatório experimental, denominado *sandbox* regulatório, na elaboração de normativos relacionados às atividades previstas na lei. Considerando que a produção e o emprego do HBC ainda estão em uma curva de maturidade tecnológica, o emprego do *sandbox* pode ser um excelente modelo para permitir ao regulador a liberdade necessária para oferecer soluções regulatórias inovadoras.

A aplicação do *sandbox* permite flexibilidade regulatória, mas pressupõe que o Estado tem o direito de errar no exercício do poder regulador (HEINEN, 2023, p. 124). Esse entendimento reduz o alcance da aplicação do ambiente regulatório flexível no setor de hidrogênio, por se tratar de uma substância cujo manejo requer importantes salvaguardas quanto à segurança operacional. Logo, o regulamento deverá conciliar esses conceitos quando da aplicação das hipóteses de emprego do *sandbox*.

Ainda no art. 12, o parágrafo único prevê outro dispositivo que permite flexibilidade ao regulador, ao prever que ele poderá adotar soluções individuais antes da publicação de regulação específica. Essa flexibilidade possui paralelo em aplicação voltada à regulação do gás natural, nos termos do § 1º do art. 26 do Decreto nº 10.712, de 2 de junho de 2021 (BRASIL, 2021):

Art. 26. (...)

§ 1º A ANP poderá adotar soluções individuais que visem ao atendimento do disposto na Lei nº 14.134, de 2021, respeitado seu rito decisório, até que seja editada regulação específica pela referida Agência.

Importante mencionar que a ANP recebe diretamente, sem qualquer ressalva, a competência regulatória sobre o hidrogênio natural, conforme art. 13 da lei (BRASIL, 2024e), e sobre as atividades relacionadas ao carregamento, ao processamento, ao tratamento, à importação, à exportação, à armazenagem, à estocagem, ao acondicionamento, ao transporte, à transferência, à revenda e à comercialização de hidrogênio, seus derivados e carreadores, conforme art. 14 da mesma lei. A atribuição conferida pela Lei à ANP afasta semelhança com a regulação do gás natural, que está sujeita ao disposto no art. 25, § 2º, da Constituição Federal. Essa determinação constitucional estabelece que a exploração de serviços de gás canalizado é de competência dos Estados. Ainda que haja a possibilidade de transporte de hidrogênio na

forma de gás canalizado, a hipótese de regulação estadual não foi prevista na lei, por não ser a forma predominante do transporte, a ser desenvolvido predominantemente por carreadores.

Por fim, o marco legal estende as competências da ANP para o setor de hidrogênio, competências essas que eram previstas para petróleo e seus derivados, gás natural e biocombustíveis. Entre as atribuições que passaram a contemplar o hidrogênio estão i) promover a regulação do setor; ii) declarar utilidade pública área necessária à infraestrutura necessária à produção; iii) especificar a qualidade do que é produzido e movimentado; iv) regular e autorizar as atividades previstas nos arts. 11 e 14 da Lei do HBC; e v) regular e autorizar as atividades relacionadas à produção do HBC para uso como insumo.

3.4.2. Aneel

O marco legal do HBC introduziu competências complementares para a Aneel, tendo em vista que a energia elétrica é um componente essencial à produção do hidrogênio a partir da eletrólise da água. A eletricidade é responsável por parte expressiva do custo do hidrogênio verde (CASTRO *et al.*, 2023).

O art. 36 da Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024, introduz alteração no *caput* do art. 3º da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, incluindo como competência da Aneel a de oferecer contribuições à ANP para regular a autorização para o exercício da atividade de produção de hidrogênio. Nesse sentido, permanece preservada a competência da ANP para a regulação dessas autorizações, mas optou-se por assegurar a oitiva da agência especializada na regulação desse insumo, dada sua importância e a complexidade normativa do setor que regula.

É razoável supor que as contribuições da Aneel, além de não vinculantes, deverão se restringir às que sejam pertinentes ao uso de energia elétrica nessa atividade de produção. Embora o texto seja omissivo quanto a essa restrição, esse entendimento pode ser depreendido pela leitura do art. 11, § 1º, da Lei nº 14.948, de 2024, em conjunto com o inciso adicionado ao art. 3º da Lei nº 9.427, de 1996. O primeiro dispositivo prevê que sejam “respeitadas as atribuições das demais agências reguladoras conforme as fontes utilizadas no processo de produção” (grifo nosso). Portanto, as contribuições da Aneel não devem se estender, por exemplo, à produção de hidrogênio azul ou cinza, que não fazem uso intensivo de energia elétrica.

Adicionalmente, o marco legal buscou expandir os contornos do art. 10 da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, segundo o qual cabe à Aneel emitir declaração de utilidade

pública (DUP) das áreas necessárias à implantação de instalações de concessionários, permissionários e autorizados de energia elétrica. Esse dispositivo permite a desapropriação ou instituição de servidão administrativa, o que viabiliza a construção de infraestruturas do setor elétrico com potencial conflito fundiário, como subestações e linhas de transmissão e distribuição.

Di Pietro (2022) diferencia esses dois conceitos, definindo a servidão administrativa como um ônus real que incide sobre a propriedade, permitindo que o Poder Público utilize o bem para fins específicos, sem transferir a titularidade. O proprietário permanece com a titularidade e posse do imóvel, porém, são impostas restrições no seu uso, mediante o pagamento de indenização por parte do agente. Em contraste, a desapropriação implica na transferência compulsória da propriedade para o Estado, com a consequente perda da titularidade pelo particular, mediante o pagamento de indenização. O interesse público é requisito para a instituição de qualquer dessas modalidades, de acordo com a autora.

Segundo depreendido do disposto no art. 1º, § 1º, inciso III, da Resolução Normativa nº 919, de 2021 (ANEEL, 2021), na desapropriação, o interesse público se caracteriza nos casos em que a construção do empreendimento resulta no benefício coletivo, ainda que a instalação seja de interesse restrito do agente. A instalação deve ser integrante de outorga de transmissão/distribuição ou, se de interesse restrito, deve ser destinada ao acesso ao sistema de transmissão ou distribuição. A título de exemplo, um gerador pode solicitar emissão de DUP para viabilizar a construção de uma linha de transmissão para interligar sua unidade de geração ao sistema de transmissão, mesmo que essa instalação seja para atender somente à sua unidade. Entretanto, o mesmo não se aplicaria caso essa mesma linha se destinasse a suprir exclusivamente uma unidade de consumo de sua titularidade, em regime de autoprodução, sem conexão ao sistema de transmissão ou de distribuição.

A leitura do normativo da Aneel prévio ao marco legal do HBC está alinhada ao entendimento da doutrina. Novamente segundo Di Pietro (2022), a aplicação dos institutos da desapropriação e da servidão administrativa deve ser condicionada à estrita observância dos requisitos legais e constitucionais que os fundamentam, quem incluem a necessidade pública ou interesse social, e o respeito à justa e prévia indenização. Na aplicação desses dois institutos, a intervenção deve estar vinculada a uma finalidade pública específica e ser acompanhada de compensação pelos danos causados ao proprietário, assegurando que o ônus imposto seja proporcional e não desvirtue o uso ordinário do bem.

O marco legal do HBC, entretanto, cria uma exceção à restrição imposta pelo normativo da Aneel, estendendo os poderes da agência. Segundo o texto legal, as instalações de transmissão e distribuição de energia elétrica de interesse restrito de agente outorgado, que não sejam destinadas ao acesso ao sistema de transmissão ou distribuição, poderão receber DUP, desde que sejam dedicadas ao suprimento exclusivo de projetos de produção de HBC. Logo, no exemplo anteriormente citado, seria possível a instituição de servidão administrativa caso a linha de interesse restrito se destinasse a suprir a produção de HBC, mesmo que a unidade de consumo seja da titularidade do gerador e não haja conexão ao sistema de transmissão ou de distribuição. Segue o texto da Lei nº 14.948, de 2024:

Art. 38. As áreas necessárias às instalações de transmissão e distribuição de energia elétrica de interesse restrito de agente outorgado que não sejam destinadas ao acesso ao sistema de transmissão ou distribuição poderão receber declaração de utilidade pública pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), nos termos do art. 10 da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, desde que sejam dedicadas ao suprimento exclusivo de projetos de produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono (BRASIL, 2024e).

Uma premissa que o legislador pode ter adotado para justificar essa alteração legal é a de que a produção de hidrogênio oferece um benefício público tão evidente que o Estado deveria assegurar as instalações a ela inerentes. Esse entendimento gera uma série de discussões, além de oferecer um precedente bastante controverso, considerando sua subjetividade. Caso futuramente o legislador entenda que outras atividades econômicas sejam de interesse público, da mesma forma como o HBC, poderão ser realizadas alterações legais que lhes estendam esse entendimento.

Além disso, o texto não define se a responsabilidade pela indenização, pela desapropriação ou instituição de faixa de servidão, recairia sobre o empreendedor de hidrogênio, único interessado na instalação, ou sobre o consumidor, por meio do pagamento das tarifas de transmissão. Isso faz com que a nova legislação possa ensejar em ônus adicional ao consumidor de energia elétrica, a depender da interpretação dada pelo regulamento para esse dispositivo.

3.5. Incentivos tributários

A Lei nº 14.990, de 2024 (BRASIL, 2024f), institui o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC), cujos objetivos incluem o desenvolvimento do HBC e do hidrogênio renovável, o suporte às ações de transição

energética, o estabelecimento de metas para o mercado interno, a aplicação de incentivos para redução de emissões em setores industriais de difícil descarbonização e a promoção do uso do hidrogênio no transporte pesado.

A lei estabelece que o PHBC concederá crédito fiscal na comercialização de HBC e seus derivados produzidos no território nacional, durante o período compreendido entre 1º de janeiro de 2028 e 31 de dezembro de 2032, de até R\$ 18,4 bilhões. O crédito fiscal será sobre a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL) e corresponderá a um percentual de até 100% da diferença entre o preço estimado do HBC e o preço estimado de bens substitutos, na forma do regulamento.

A concessão do crédito fiscal ocorrerá para produtores ou compradores de HBC, mediante prévio procedimento concorrencial para seleção dos projetos, respeitado como critério de julgamento das propostas, no mínimo, o menor valor do crédito por unidade de medida do produto (BRASIL, 2024f). O procedimento concorrencial deverá priorizar projetos com menor intensidade de emissões e com maior potencial de adensamento da cadeia de valor nacional.

3.6. Propostas não incluídas nas legislações aprovadas

A importância de tratar de dispositivos que foram discutidos, mas não aprovados, reside no potencial de que essas ideias sejam novamente propostas para futuros aperfeiçoamentos no texto legal. O resgate das discussões e a análise dessas sugestões podem oferecer um prognóstico das propostas de alterações ao texto legal que poderão ser apresentadas no decorrer da vigência da lei. Conforme estudado pelas teorias regulatórias que tratam dos grupos de interesse, a intervenção estatal reflete a influência de atores com maior poder de *lobby*, podendo resultar em políticas que favorecem interesses específicos em detrimento do bem comum.

A evolução do texto legislativo, embora reflita a vontade popular, manifestada por meio de seus representantes, não se encontra livre de influências de grupos interessados no resultado da elaboração das políticas públicas. Nesse sentido, a análise das propostas não incluídas no texto legal pode oferecer um retrato das demandas setoriais que, muito embora não tenham sido atendidas pelo legislador, representam pedidos suficientemente vocais ao ponto de poderem surgir novamente no futuro durante a evolução do texto legal.

3.6.1. Incentivos regulatórios não incluídos na legislação

As primeiras versões de projetos de lei apresentadas pelas Comissões Especiais do Senado Federal (BRASIL, 2023a) e da Câmara dos Deputados (BRASIL, 2023b) possuíam diversas propostas de incentivos regulatórios. Ao longo dos debates ocorridos nesses colegiados, as versões seguintes foram apresentando número menor de incentivos. Essa evolução na abordagem sugere que os relatores das Comissões, responsáveis pela elaboração das minutas iniciais, optaram por oferecer ao colegiado o maior número de sugestões de incentivos regulatórios, mas os debates trataram de depurar essas propostas.

O art. 15 do projeto de lei apresentado pelo Senado Federal (BRASIL, 2023a) previa a adição obrigatória de HBC em gasodutos de transporte de gás natural, em uma progressão de 5%, 10% e 15% entre 2028 e 2040. A título de exemplo, foi apresentada proposta similar a essa, que estabelece adição mandatória de biometano em gasodutos, em proposição específica. Entretanto, para o hidrogênio, diferentemente do biometano, essa implementação envolveria um conjunto de desafios operacionais e comerciais. Primeiramente, conforme mencionado na seção 2.2.1 deste trabalho, as características físico-químicas do hidrogênio obrigariam investimentos adicionais para adaptação dos gasodutos, o que implicaria custos para os transportadores. Além disso, essa adição resultaria na assunção de custos, pelos consumidores de gás natural, para adaptação das plantas industriais projetadas para consumir um produto com valor calorífico consideravelmente diferente daquele para o qual foram projetadas.

Adicionalmente, o art. 35 do referido projeto de lei propunha alterar o art. 26 da Lei nº 11.488, de 15 de junho de 2007, para equiparar os produtores de hidrogênio verde aos autoprodutores de energia elétrica, para fins de benefícios tarifários, desde que cumprissem os seguintes requisitos: i) cumprimento do critério de correlação geográfica; ii) participação em sociedade de propósito específico (SPE) constituída para explorar, mediante autorização ou concessão, a produção de energia elétrica; e iii) cumprimento do critério de adicionalidade. Os benefícios relacionados ao autoprodutor, que a proposta objetivava estender ao produtor de hidrogênio verde, incluem a redução de encargos tarifários, que, para esse tipo de agente, é calculado sobre a energia excedente injetada no sistema, resultado da diferença entre a produção e o consumo. Esse benefício poderia resultar na elevação da tarifa de energia elétrica, uma vez que os encargos seriam divididos pelos demais consumidores.

Por sua vez, a proposição legislativa apensada ao Relatório nº 1 da Comissão Especial da Câmara dos Deputados (BRASIL, 2023b) apresentou diversas propostas de incentivos regulatórios para o HBC, sendo que a maioria deles resultaria em provável oneração aos consumidores de energia elétrica. O art. 28 dessa proposição previa, para os consumidores de energia elétrica dedicados à produção de HBC, a instituição de um benefício tarifário similar ao das fontes incentivadas. Conforme mencionado neste trabalho, as fontes incentivadas representaram o maior montante em subsídios destinados ao setor elétrico em 2024. A extensão desse benefício aos projetos de HBC resultariam na expansão de custos de subsídios financiados pelo setor elétrico, impactando diretamente na tarifa paga pelos consumidores.

O art. 29, por sua vez, estabelecia, entre os anos de 2030 e 2035, a instituição de um percentual mínimo de contratação de empreendimentos de geração de energia elétrica que utilizassem HBC e seus derivados. Ou seja, o hidrogênio deveria ser produzido a partir de alguma das rotas disponíveis tecnologicamente e, posteriormente, seria utilizado para gerar energia elétrica novamente. Essa contratação deveria ocorrer no âmbito do procedimento licitatório para contratação de energia a ser destinada para o atendimento de todas as necessidades do mercado nacional, conforme previsto no art. 3º da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004.

Esse dispositivo instituiria uma reserva de mercado para usinas de geração de energia elétrica a base da queima de HBC, que seriam obrigatoriamente contratadas para atendimento ao mercado de energia elétrica. Pouco se sabe, entretanto, a respeito da eficiência da geração de energia a partir dessa fonte. Considerando a quantidade de perdas potenciais envolvidas nesse tipo de geração, bem como as incertezas quanto aos custos de empregados em uma tecnologia tão incipiente, é bastante compreensível que essa medida não tenha prosperado na versão final da lei.

3.6.2. Conceitos ligados à taxonomia do hidrogênio não incluídos

Conforme anteriormente mencionado, a produção de hidrogênio a partir de eletrólise da água pode ocasionar uma importante elevação na demanda do setor elétrico de um país produtor. Segundo a EPE (2024b), o potencial para produção de HBC no Brasil é estimado em 7,3 milhões de toneladas por ano, dos quais 3,8 milhões de toneladas seriam oriundas de rotas que empregam energia elétrica de fontes renováveis. Essa produção anual requereria acréscimo de percentual elevado na potência adicional instalada no SIN.

Os critérios de adicionalidade e de temporalidade foram propostos em diversos momentos da tramitação do projeto de lei que resultou na promulgação do marco legal do HBC. O Apêndice 1 do Relatório Preliminar nº. 1, de 2023 (BRASIL, 2023), da Comissão Especial da Câmara dos Deputados, apresenta a primeira proposta de projeto de lei dessa Comissão. Em seu art. 4º, incisos V e VI, são apresentados conceitos de adicionalidade e de temporalidade nos seguintes termos:

Art. 4º

.....

V – Adicionalidade: critério de avaliação do hidrogênio de baixo carbono que obriga que todo insumo utilizado em sua produção seja proveniente de fontes adicionadas ao sistema em prazo a ser definido em regulamento, incluindo expansão de capacidade instalada de fontes existentes;

VI – Temporalidade: critério de avaliação do hidrogênio de baixo carbono que considera compatibilidade entre os momentos de sua produção e da disponibilidade de seus insumos, com base temporal a ser definida em regulamento; (BRASIL, 2023).

Apesar de cogitados nas primeiras versões do relatório, esses conceitos foram removidos do texto final. Após a retirada do conceito de temporalidade da versão final do relatório da Comissão Especial da Câmara dos Deputados, esses termos não voltaram a ser propostos no decorrer da tramitação. Por sua vez, o conceito de adicionalidade foi amplamente debatido no Senado Federal. A emenda nº 25-Plen (BRASIL, 2024a), apresentada junto ao Plenário, foi rejeitada na votação do projeto principal, mas acabou sendo objeto de destaque, levando a discussão até o último momento da tramitação naquela Casa legislativa. Essa emenda propunha aplicar a adicionalidade ao conceito de hidrogênio verde, e previa circunstâncias de dispensa da adicionalidade, sempre que o subsistema onde esteja localizada a planta de HBC atingisse mais de 90% de energia renovável em determinado ano. Vejamos a redação:

Art. 4º

.....

XXI – Adicionalidade: critério de avaliação do hidrogênio de verde que obriga que toda a energia elétrica contratada para a sua produção seja proveniente de fontes adicionadas ao sistema em até 36 meses antes da data de vigência desta lei, incluindo expansão da capacidade instalada de fontes existentes, sendo dispensada sempre que o subsistema onde esteja localizada a planta de hidrogênio de baixo carbono atingir mais de 90% de energia renovável em determinado ano, dispensa esta que perdurará pelo período de 5 anos subsequentes a cada.

Na versão final aprovada no Senado Federal, as emendas que tratavam de adicionalidade, como a supracitada, não foram acatadas. O entendimento final que prevaleceu no texto legal aprovado está em linha com o apontado em alguns estudos a respeito. De fato, conforme tratado anteriormente neste trabalho, o Brasil possui grande participação de energias

renováveis em sua matriz elétrica. Nesse sentido, ao adotar o conceito da adicionalidade, o país poderia ignorar uma vantagem competitiva relevante frente a outros mercados produtores de HBC. Passos *et al* (2024) conclui o seguinte:

No caso brasileiro, a ampla capacidade instalada de renováveis e o significativo potencial de expansão tornam o critério de adicionalidade não apenas redundante, mas também prejudicial à viabilidade econômica de projetos inovadores.

A correlação geográfica, por sua vez, não foi incluída nominalmente nas propostas legislativas pesquisadas, mas foi cogitada especificamente para a concessão de incentivos regulatórios, conforme verificado no art. 28 da proposição legislativa anexa ao Relatório nº 1 da Comissão Especial da Câmara dos Deputados (Brasil, 2023b). Conforme mencionado na seção 3.6.1 deste trabalho, esse dispositivo propunha alteração ao art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, para instituir benefício regulatório, similar ao das fontes incentivadas, para empreendimentos que se destinassem à produção de HBC. Uma das condicionantes para a concessão do benefício seria a de que o consumo e a geração de energia elétrica estivessem localizados no mesmo subsistema de suprimento de energia elétrica. Dessa forma, a correlação geográfica não seria adotada para delimitar o conceito de HBC, mas para condicionar a obtenção de um subsídio aplicável à sua produção.

Ainda sobre correlação geográfica, em outro momento da tramitação em que foi cogitada está relacionado à concessão de outro benefício regulatório. Conforme discorrido na seção 3.6.1 deste trabalho, o art. 35 do projeto de lei proposto originalmente pela Comissão Especial do Senado Federal (BRASIL, 2023a) propunha alterar o art. 26 da Lei nº 11.488, de 2007, para equiparar aos autoprodutores os consumidores de energia elétrica que produzissem hidrogênio verde para fins de benefícios tarifários, desde que cumprido, entre outros requisitos, o critério de correlação geográfica.

Esses conceitos estão previstos nos normativos europeus (UE, 2023), conforme anteriormente mencionado. Embora pareçam adequados à realidade europeia, não encontram aderência aos interesses nacionais, segundo interpretou o legislador. Ademais, o atendimento aos requisitos exigidos na legislação europeia, com seu grande mercado consumidor potencial, pode ser corretamente assegurado a partir da formulação de uma certificação eficiente, que assegure a identificação detalhada dos processos empregados na produção do hidrogênio.

4. AS TÉCNICAS REGULATÓRIAS UTILIZADAS NO MARCO LEGAL DO HIDROGÊNIO DE BAIXO CARBONO E OS RISCOS DE CAPTURA REGULATÓRIA

4.1. Comando e controle e a captura regulatória

A Lei nº 14.948, de 2024, apresenta diversas semelhanças com a legislação aplicada a outros tipos de combustíveis, conforme tratado na seção 3.2 deste trabalho. Embora a ANP venha sinalizando ao longo dos anos quanto à intenção de adotar estratégias mais efetivas em sua atuação regulatória, como a regulação responsiva (ANP e UERJ Reg, 2020), a estratégia de regulação aplicada aos setores sob sua competência tem sido, predominantemente, a de comando e controle (COHEN e PEREIRA, 2024).

A estratégia regulatória de comando e controle, conforme mencionado anteriormente, se caracteriza pela edição, por parte do poder público, de uma norma prescritiva que impõe um conjunto de regras de conduta ou padrões a serem observados pelos particulares, sob pena de punição (SILVA, 2023). Essa estratégia se apresenta de forma intuitiva como sendo adequada para a implementação de uma regulação voltada para atividades que têm elevada sensibilidade à segurança operacional, como no caso da atividade de produção de hidrogênio. Afinal, por se tratar de um produto instável e altamente inflamável, deve-se primar por normativos que garantam reduzida margem de erro operacional, e o Poder Público deve assegurar a total aderência a esse conjunto de regras.

É possível inferir que as abordagens de comando e controle podem ser adotadas de forma ainda mais extensiva no caso do hidrogênio, sobretudo quando se analisa a inclusão do art. 10 na Lei nº 14.948, de 2024, tratado na seção 3.4.2 deste trabalho. Conforme se viu, esse dispositivo estabelece requisitos mais rigorosos a serem cumpridos pelos agentes no exercício da atividade de produção de hidrogênio do que aqueles observados para os demais combustíveis. De fato, a exigência de instrumentos como o Plano de Gerenciamento de Risco não existe em outras leis do setor. Mesmo uma atividade de elevado risco operacional e ambiental, como a de perfuração e produção de petróleo, prevê instrumento semelhante somente na regulação infralegal (ANP, 2007).

Entretanto, as abordagens de comando e controle não têm se mostrado exitosas em diversos exemplos no cenário brasileiro. As sanções parecem surtir pouco efeito sobre os agentes, que optam por protelar ao máximo os efeitos dos processos sancionatórios. Segundo informações do TCU (2021, p. 13), entre 2016 e 2018, a ANP arrecadou somente 30%

das multas aplicadas, a despeito de essas sanções incorrerem sobre outras atividades que envolvem elevado risco operacional. Ou seja, a estratégia de comando e controle não necessariamente se mostrou funcional em outros segmentos do setor de combustíveis. Ainda a título ilustrativo, a Aneel arrecadou somente 6% nesse mesmo período, corroborando com o entendimento quanto à baixa efetividade dessa abordagem.

O uso exclusivo de ferramentas de comando e controle pode provocar alguns problemas, tais como a edição de normativos demasiadamente prescritivos (SILVA, 2023). Outro aspecto relevante sobre a estratégia de comando e controle é o espaço que ela abre para a captura regulatória. Tanto a complexidade dos atos como a captura são hipóteses que podem explicar as razões pelas quais a ANP, por exemplo, apresentou pouca celeridade para publicar regulações relacionadas ao setor de gás natural após a promulgação da nova lei do setor, de 2021. Essa demora provocou insatisfação por parte de agentes regulados e de autoridades, por impedir o andamento das políticas e por suscitar suspeitas de favorecimento à Petrobras, principal agente do setor de gás natural, conforme se lê em Valor Econômico (2024).

Diante do histórico pouco positivo relacionado à estratégia de comando e controle, a ANP deveria buscar alternativas para regular o setor de hidrogênio, sem que isso resultasse em perda de confiabilidade na gestão dos riscos operacionais da atividade. Caso contrário, não se pode desprezar o risco de que essa abordagem seja influenciada pela captura. Há opções regulatórias eficientes, que podem assegurar a colaboração dos regulados e conferir maior efetividade, como a regulação responsiva, conforme a própria agência reguladora reconhece (ANP e UERJ Reg, 2020).

Ayres e Braithwaite (1992 *apud* ARANHA, 2024, p. 116) explicam que a regulação responsiva é aquela segundo a qual a efetividade da regulação depende da criação de regras que incentivem o regulado a voluntariamente cumpri-las, mediante um ambiente regulatório de constante diálogo entre regulador e regulado. Na linha da regulação responsiva, Aranha (2024, p. 132) defende a adoção gradual de uma pirâmide de constrangimento, como alternativa à abordagem diretamente dissuasiva. Como consequência, haveria aumento da adoção voluntária aos normativos e redução do risco de captura. Defende o professor, entre as orientações para formulação dessa pirâmide:

que funcione com controle cidadão apoiado no conceito de tripartismo republicano regulatório, o que gera maior aderência aos objetivos regulatórios, previne a corrupção, impede a captura danosa, encoraja certas formas de captura benéfica e nutre a democracia

A teoria da captura oferece uma lente analítica poderosa para compreender o que pode vir a ser tornar o processo de regulação do setor de hidrogênio no Brasil, especialmente no contexto da busca por incentivos para rotas tecnológicas específicas. A captura regulatória ocorre quando as agências reguladoras trabalham para salvaguardar interesses políticos ou comerciais de companhias que se esperava que fossem reguladas (SILVA, 2023).

Diferentes indústrias associadas ao hidrogênio buscaram exercer influência sobre o processo de elaboração da legislação aprovada, com o objetivo de possibilitar o direcionamento dos incentivos para as tecnologias que melhor atendessem seus segmentos. Uma vez que a ANP tem como principal função a regulação do setor de petróleo e gás natural, a eventual captura da agência promovida por esses segmentos poderia resultar em uma regulação que prestigiasse determinadas rotas, obtidas a partir de fontes fósseis, em detrimento das fontes renováveis.

Um ponto do marco legal do HBC que pode expor a atuação da agência ao risco de captura está na eventual adoção de atos normativos excessivamente rígidos. Conforme mencionado acima, a própria lei já prevê dispositivos mais rigorosos do que os estabelecidos para outros segmentos de combustíveis, o que pode requerer extenso detalhamento normativo. Esse tipo de prática pode excluir empreendedores de menor poder comercial e favorecer grandes empresas estabelecidas em outras atividades econômicas.

Esse risco de captura do regulador pode ter se refletido, ainda, em uma aparente desconfiança por parte do legislador quanto à definição da taxonomia do HBC. A lei apresenta limite taxativo de $7 \text{ kgCO}_2\text{eq/kgH}_2$, algo incomum, considerando os aspectos técnicos envolvidos nessa definição. Seria razoável esperar que esse limite pudesse ser definido em regulamento, por haver uma curva de maturidade a ser percorrida na definição dos critérios a serem considerados na avaliação do ciclo de vida do produto. Esse limite está exposto, portanto, à obsolescência precoce, e a previsão legal implicaria em dificuldades adicionais para atualização desse parâmetro. Conforme se discorreu no presente trabalho, esse número foi definido no último momento de tramitação do projeto de lei no Senado Federal, a despeito de toda a discussão pretérita ter confluído para que o limite fosse de $4 \text{ kgCO}_2\text{eq/kgH}_2$.

Essa aparente desconfiança por parte do legislador quanto à possibilidade de captura pode ter reduzido seu interesse em atribuir ao regulador a competência para definir o

limite de emissões aceitável para a taxonomia do HBC. Considerando que a ANP é o órgão regulador do setor de petróleo, gás natural e seus derivados, seria razoável esperar que, caso se submetesse à captura por parte desses setores, a agência poderia fixar limite mais permissivo para as emissões, capaz de abranger rotas mais poluentes.

Outra hipótese que pode ser levantada diz respeito à possibilidade de captura do Congresso Nacional na formulação da política pública. Entretanto, essa leitura pode representar uma extrapolação do próprio conceito de captura. Conforme mencionado anteriormente, Aranha (2019) defende que o conceito não se aplique em casos como esse, uma vez que, se a finalidade institucional tiver sido legislada, o que ocorre é a própria coincidência entre a função pública e os interesses privados do mercado regulado.

Apesar do óbice teórico em se aplicar o conceito de captura às motivações que levam à aprovação de medidas legislativas pelo parlamento, o nível de tecnicidade das decisões tomadas nessa instância tende a ser inferior ao adotado pelas agências reguladoras, que são órgãos com perfil mais técnico (ARIGONY, 2019). Alinhado a esse entendimento, o legislador deve se restringir a estabelecer as balizas para delimitar a atuação normativa das agências. Uma sugestão de alteração que pode ser apresentada ao texto legal que poderia aperfeiçoar o conceito de HBC seria reescrever o trecho final do inciso XII do art. 4º por “com valor inicial inferior ao limite definido em regulamento”, retirando o limite de 7 kgCO₂eq/kgH₂ do texto legal. Com essa alteração o limite de emissões poderia ser definido por ato infralegal, o que conferiria maior flexibilidade para que a evolução normativa acompanhasse a maturidade dos conceitos ao longo do tempo.

4.2. Regimes baseados em incentivos e as possibilidades de captura

4.2.1. Incentivos tributários

O marco legal do HBC combinou estratégias de comando e controle com as de regimes de benefícios. No primeiro caso, foi utilizada em trechos ligados à segurança operacional da atividade, o que tem sua importância, considerando tratar-se de um produto altamente sensível a esse aspecto. A segunda estratégia foi adotada para incentivar o desenvolvimento de um produto incipiente, frente a seus concorrentes mais competitivos.

Conforme tratado anteriormente, a Lei nº 14.990, de 2024, prevê a concessão de crédito fiscal sobre a CSLL para produtores e consumidores de HBC, mediante procedimento

concorrencial prévio, e corresponderá a um percentual de até 100% da diferença entre o preço estimado do HBC e o preço estimado de bens substitutos (BRASIL, 2024f). Desse modo, espera-se uma regulação conjunta entre órgãos reguladores do setor tributário e de combustíveis. O primeiro deverá capitanear a definição de regras do leilão, que deverá atender a disponibilidade orçamentária. O segundo deverá fornecer informações sobre os substitutos do hidrogênio e seus preços médios de mercado, bem como subsídios sobre a definição de critérios de aferição para a intensidade de emissões e o adensamento da cadeia de valor.

A lei prevê atributos mínimos ao procedimento concorrencial, mas delega ao regulamento o estabelecimento das diretrizes detalhadas para sua realização, nos termos do art. 3º, *caput* e § 1º, e art. 4º § 7º (BRASIL, 2024f). A previsão de atribuições ao regulamento permite uma ampla possibilidade de aplicação de regimes baseados em incentivos. Essa estratégia regulatória deverá permitir o alinhamento da formulação dos agentes regulados aos objetivos públicos, claramente estabelecidos no texto legal.

Além disso, a seleção por meio de critérios objetivos, como o menor custo do crédito, favorece a transparência e a justa alocação dos recursos públicos, ao mesmo tempo em que incentiva a inovação e a redução de custos ao longo do tempo. A previsão de benefícios fiscais vinculados à baixa emissão de carbono pode atrair investidores nacionais e internacionais interessados em projetos sustentáveis.

Importante mencionar que a política de incentivos, mesmo que concedidos mediante procedimento concorrencial, pode ser analisada à luz da teoria da captura regulatória. A leitura do disposto no art. 4º, § 12, que estabelece que “somente poderão participar do procedimento de que trata o § 7º deste artigo os projetos previamente habilitados, nos termos do regulamento”, suscita um sinal de alerta para a possibilidade de exclusão de novos entrantes no certame, caso haja uso abusivo de regras de habilitação prévia. Nesse sentido, mostra-se relevante a necessidade de adoção de critérios de habilitação que não restrinjam demasiadamente novos investidores, sob pena de lançar névoa sobre a lisura do procedimento concorrencial e sobre a isenção do regulador frente à possibilidade de captura.

4.2.2. Incentivos regulatórios

4.2.2.1. Conta de Desenvolvimento Energético

Um dos principais desafios para a implementação da nova regulação do setor de hidrogênio no Brasil reside na alocação dos custos associados aos incentivos. A legislação

aprovada prevê que o Tesouro Nacional seja o principal financiador dos subsídios ao hidrogênio por meio de créditos fiscais, mas esse mecanismo possui valores e horizonte temporal bem definidos. Como se viu neste trabalho, o histórico mostra que esse tipo de incentivo é frequentemente transitório e vulnerável a mudanças nas prioridades governamentais, podendo não ser prorrogados ou estendidos caso o cenário político mantenha a necessidade de constante esforço fiscal, como observado no decorrer da história republicana contemporânea. Quando esses incentivos não são sustentados a longo prazo, os segmentos beneficiados tendem a buscar alternativas que transferem os custos para outros setores econômicos. Foi isso que ocorreu com a CDE, quando a União reduziu expressivamente seus aportes em razão de restrições fiscais, deixando a conta para os consumidores na forma de subsídios cruzados.

Uma antecipação dessa dinâmica foi observada durante a tramitação do projeto de lei que instituiu o marco legal do HBC, em que foram sugeridas diversas propostas que direcionavam a alocação dos custos de produção de hidrogênio justamente para a CDE. Medidas como essa, caso venham a ser adotadas futuramente, teriam como resultado um aumento dos subsídios cruzados pagos pelos consumidores de energia elétrica, que passariam a arcar indiretamente com os incentivos à produção de hidrogênio. Tal estratégia política não prosperou na tramitação da lei original, mas pode vir a receber impulsos futuros de segmentos beneficiários, que se mostram insistentes e bem organizados, e atuam tanto no Congresso Nacional como nas agências reguladoras.

Os incentivos regulatórios não se materializam somente a partir da concessão direta de subsídios. A adoção de conceitos como a adicionalidade poderia gerar custos adicionais aos consumidores de energia elétrica. Caso esse conceito seja adotado em momento futuro para definir a taxonomia do hidrogênio verde, algo que se intencionou durante a tramitação do projeto de lei no Congresso Nacional, seriam excluídas dessa rota as fontes de geração de energia já existentes, mesmo que de origem renovável.

A reserva de mercado gerada a partir da aprovação do conceito de adicionalidade criaria uma pressão artificial que impulsionaria a demanda por energia nova e renovável das fontes incentivadas (solar, eólica e outras), que recebem subsídios da CDE por força de regra legal que trata do setor elétrico. Consequentemente, se elevariam os custos dos subsídios cruzados do setor de energia elétrica, que são majoritariamente rateados pelos consumidores finais. Quanto maior a expansão das fontes incentivadas beneficiadas, maior o

volume requerido para subsídios. Em 2023, foram despendidos R\$ 9,35 bilhões de subsídios para fontes incentivadas, e, em 2024, esse valor foi para R\$ 12,54 bilhões (ANEEL, 2025).

À época da tramitação do PL nº 2.308, de 2023, encontrava-se em vigor a Medida Provisória nº 1.212, de 2024, que estendia em 36 meses o prazo de vigência dos descontos aplicados às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição de energia (TUST e TUSD) para as fontes incentivadas. Apesar de ter expirado sem que fosse convertida em lei ordinária, essa MPV gerou efeitos duradouros⁴ decorrentes de medidas adotadas no período de sua vigência, relacionadas ao registro de empreendimentos. Se ocorresse a aprovação do conceito de adicionalidade durante a vigência dessa Medida Provisória, o resultado seria um número bastante expressivo de novos projetos de geração renovável.

Revela-se compreensível, pois, a razão pela qual esse conceito, apesar de proposto nas versões iniciais das proposições legislativas, não figurou no texto legal submetido à aprovação. O legislador adotou uma postura conservadora a respeito da repartição de custos oriundos desses incentivos, cioso por buscar equilíbrio entre o estímulo ao HBC e a modicidade tarifária.

Aqui reside uma preocupação importante quanto à hipótese de captura regulatória, relacionada à liberdade do regulador em resgatar o critério de adicionalidade na taxonomia do hidrogênio. Para tanto, poderia se amparar em algum dos objetivos da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, instituídos no art. 3º da Lei nº 14.948, de 2024. Um bom fundamento para essa abordagem está no inciso XVI desse artigo, que estabelece a necessidade de “fomentar a transição energética com vistas ao cumprimento das metas do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e demais tratados internacionais congêneres”. Conforme anteriormente mencionado, mesmo que não sejam autoaplicáveis ou coercitivos, os objetivos gerais de uma política balizam a ação estatal e fundamentam decisões administrativas (BUCCI, 2021).

4.2.2.2. Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI)

O marco legal do HBC abriu caminho para outra forma de instituição indireta de incentivos regulatórios. A inclusão do hidrogênio na política energética nacional, e a

⁴ O Congresso Nacional detém a prerrogativa de disciplinar, por decreto legislativo, as relações jurídicas decorrentes da edição das Medidas Provisórias. Não se materializando a edição do referido decreto legislativo no prazo de 60 dias, as relações jurídicas constituídas durante o período de vigência conservam-se regidas pela MPV, nos termos do art. 62, §§ 3º e 11, da Constituição Federal de 1988.

previsão legal para a participação da Aneel na regulação do segmento, possibilitaram o provimento de projetos de hidrogênio com recursos do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI), que destina percentual da receita operacional líquida de concessionários de serviços públicos do setor elétrico para projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação, mediante seleção regulada pela agência.

Logo, mesmo sem ter ocorrido uma concessão direta de subsídios, a legislação possibilitou a destinação de benefícios regulatórios, já previstos em outras leis, para o segmento do hidrogênio. Até a data de publicação deste trabalho, o departamento técnico responsável pela análise dos projetos apresentados no âmbito desse certame havia aprovado 13 projetos de desenvolvimento plantas de hidrogênio, a serem patrocinados com recursos desse programa. Segundo o extrato da decisão da diretoria da agência (ANEEL, 2024a, p. 2003), os projetos foram submetidos à aprovação da diretoria colegiada, mas um dos diretores pediu vista durante o processo de votação.

Necessário registrar que, de acordo com o voto da relatora (2024a, p. 1994), entre esses projetos do PDI, a Petrobras propôs o de maior volume financeiro, referente a uma planta piloto de produção de HBC via eletrólise da água integrado a uma refinaria de petróleo. O investimento total desse projeto é de R\$ 497 milhões, correspondente a exatamente um terço do investimento total dos 13 projetos somados, de R\$ 1,49 bilhão.

Embora não haja indícios de que tenha ocorrido favorecimento ou captura nesse processo, chama a atenção que a maior fatia dos recursos tenha sido destinada à sociedade de economia mista, que é a maior empresa do Brasil em valor de mercado⁵. Uma vez que a empresa dispõe de receita própria suficiente para a realização desse tipo de investimento, a mera ausência de um limite claro para a concessão de subsídios para esse perfil de pleiteante pode ser suficiente para abrir caminho para a captura regulatória em procedimentos futuros. Conforme mencionado neste trabalho, Baldwin, Cave e Lodge (2012) entendem que uma das limitações dos regimes baseados em incentivos é a de que podem resultar em benefícios maiores para empresas de grande porte, com maior capacidade de obter subsídios. Compete ao Poder Público buscar alternativas para corrigir essa distorção na implementação da política.

⁵ De acordo com informações Bolsa de Valores (B3), veiculadas na imprensa, conforme reportagem disponível em: <https://exame.com/invest/guia/quais-sao-as-maiores-empresas-do-brasil/>

4.2.2.3. Experiência internacional

Comparando o caso brasileiro com a legislação da UE, podemos estabelecer um paralelo importante entre as abordagens regulatórias. Algumas políticas europeias ligadas à transição energética estão alinhadas à estratégia de comando e controle, tais como a obrigatoriedade de que novos automóveis de passageiros e vans tenham zero emissão de CO₂ a partir de 2035 (UE, 2023b, p. 8), o que deve resultar na proibição da venda de veículos com motores a combustão a partir dessa data. Essa abordagem revela o elevado grau de comprometimento da UE com os objetivos da transição energética, que levam a regulação a adotar estratégias com interferência bastante agressiva sobre o domínio econômico.

Entretanto, no segmento de hidrogênio, a estratégia de comando e controle parece ter sido utilizada de forma menos incisiva. Conforme se verificou neste trabalho, a abordagem europeia para esse energético se assemelha à de regimes baseados em incentivos, uma vez que se optou pela introdução de benefícios econômicos para subsidiar a produção de rotas de baixa emissão, o que deve levar à mudança nas escolhas dos produtores para permitir a captação desses benefícios.

É importante notar que a estrutura da norma europeia sobre o hidrogênio sugere certo grau de influência de setores econômicos na escolha dos parâmetros da política pública. O Regulamento Delegado UE 2023/1184 (UE, 2023), estabelece metodologia com regras detalhadas para a produção de combustíveis líquidos e gasosos renováveis de origem não biológica destinados aos transportes. Em seu próprio título, o normativo exclui, entre as rotas possíveis para a produção de HBC, os combustíveis de origem biológica, ou biocombustíveis, que são tratados em normativo específico. Não se pode deixar de registrar que essa separação pode representar um embaraço para a inserção do hidrogênio oriundo do etanol brasileiro no mercado europeu, uma vez que, para ser considerado apto a ingressar na UE, deve cumprir requisitos previstos em normativo que sequer prevê a sua existência. Caso essa aparente incompatibilidade normativa prevaleça, a abordagem europeia com relação ao hidrogênio oriundo do etanol revela uma possível captura, voltada ao favorecimento das rotas que utilizam eletrólise da água.

A elaboração da política energética europeia historicamente acompanha a de outros segmentos, sobretudo o industrial. Dessa forma, o incentivo à expansão das fontes renováveis de geração de energia elétrica ocorreu em conjunto com fortes investimentos na fabricação de equipamentos e componentes. A Alemanha, por exemplo, foi uma das lideranças

mundiais na produção de dispositivos votados à geração de energia solar, além de pioneira na fabricação de placas e inversores. A opção por elevar a participação de energia solar e eólica foi uma das razões que impulsionaram a decisão do país de abolir a geração de energia elétrica nuclear (ALEMANHA, 2023), mesmo sendo essa uma fonte não poluente. Esses incentivos regulatórios intersetoriais podem estar relacionados a parte da formulação da política sobre o hidrogênio naquele continente.

CONCLUSÕES

A presente pesquisa buscou traçar o panorama que se desenhou a partir da promulgação do marco legal do HBC e da lei que instituiu o PHBC, bem como compreender os desafios que deverão se impor no processo de implantação e crescimento do mercado desse importante insumo. A legislação que instituiu o marco legal e a política de incentivos foi concebida com a promessa de permitir o alinhamento do Brasil ao mercado energético global, que demanda soluções energéticas mais sustentáveis. A análise demonstrou que, embora o marco legal possa criar oportunidades para o desenvolvimento do setor, também pode gerar desafios relacionados à potencial distorção de incentivos e barreiras ao livre exercício de atividades econômicas.

Conforme se discutiu no capítulo 2 deste trabalho, o Brasil encontra-se em posição privilegiada no curso da transição energética. Dono de uma matriz com forte participação de fontes renováveis, o país não necessita acelerar a qualquer custo o avanço da participação de energéticos limpos. A situação brasileira permite a adoção de soluções equilibradas de incentivo, prescindindo de abordagens agressivas, como as adotadas por países da UE, dependentes de combustíveis fósseis importados de países envoltos a instabilidade política. Ainda assim, a pesquisa comprovou o investimento de percentual expressivo de subsídios cruzados no financiamento desse tipo de opção energética. Ainda, que essa situação, por si, aponta para um cenário de forte influência de agentes regulados na perpetuação de incentivos por eles recebidos, situação que pode se agravar com a introdução do hidrogênio, devido a sua condição de forte demandante de energia.

Conforme se depreende do que foi tratado no capítulo 3, será essencial que a regulamentação estabeleça critérios claros que permitam a coordenação regulatória entre os órgãos responsáveis por implementar a política do HBC. A definição de um cronograma interno por parte do próprio Poder Executivo, que preveja prazos para a publicação das diferentes etapas da regulação, é uma ferramenta de controle social que poderá reduzir as chances de captura regulatória, que pode se manifestar a partir da omissão dos órgãos responsáveis pela regulação.

Além disso, a definição de critérios claros para a concessão de subsídios, baseados em análises de custo-benefício e sustentabilidade, é fundamental para assegurar que

os incentivos realmente contribuam para os objetivos estratégicos de longo prazo do setor energético brasileiro.

Considera-se que as perguntas de pesquisa foram respondidas. O capítulo 4 comprovou a existência de diversos espaços para captura regulatória a partir da legislação aprovada. Nos segmentos sujeitos à aplicação da estratégia de comando e controle, o risco de captura pode decorrer do excesso de rigor na formulação dos normativos, agravada pelo maior rigor presente no marco legal em comparação às leis que regem seus energéticos concorrentes. Esse cenário pode suscitar exclusão de novos entrantes e favorecimento de empresas estabelecidas.

Nas estratégias baseadas em incentivos, concluiu-se que a adoção de critérios de habilitação excessivamente restritivos pode excluir novos investidores interessados em participar do procedimento concorrencial voltado à seleção de projetos que receberão os créditos fiscais. Além disso, a liberdade do regulador em resgatar critérios superados na discussão do marco legal, como o de adicionalidade na taxonomia do hidrogênio, pode resultar no estabelecimento de reserva de mercado para as fontes incentivadas, em detrimento de geradores de energia limpa já existentes.

Quanto à possibilidade de fomento ou coibição do desenvolvimento do mercado, dependerá de uma atuação coordenada das autoridades reguladoras, para que cada uma exerça seu papel no âmbito de suas competências. Uma coordenação regulatória competente será capaz de prevenir a ausência do regulador em temas nos quais sua inércia constitua fator crítico. Espera-se, nesse contexto, a elaboração de normativos conjuntos pelas agências reguladoras responsáveis, conforme os insumos utilizados em cada rota de produção a ser adotada.

A abordagem europeia fornece um importante insumo ao Brasil na formulação de sua política de hidrogênio. O exemplo da UE sugere que a busca pelas simbioses econômicas oferece externalidades positivas, o que resulta na necessidade de se avaliar a implantação de políticas não somente de forma isolada, mas aliadas a outras potencialidades nacionais a serem exploradas. No caso da legislação brasileira aprovada, houve um importante avanço ao não se privilegiar rotas específicas em detrimento de outras, mas, em vez disso, valorizar atributos ambientais específicos a elas associadas, sem discriminação tecnológica.

Essa abordagem, levada adiante por uma regulação equilibrada, poderá permitir o amplo aproveitamento da diversidade de fontes energéticas disponível na matriz brasileira.

Por fim, o principal desafio a ser enfrentado no processo de regulação do tema parece ser o de encontrar um equilíbrio entre a promoção do desenvolvimento do mercado de hidrogênio e a prevenção de distorções econômicas e sociais que possam surgir de escolhas regulatórias enviesadas. Isso exige maior transparência e participação social no processo regulatório, garantindo que os interesses públicos sejam adequadamente ponderados em relação aos privados. Conforme tratado por Aranha (2024, p. 310), é essencial o exercício do controle social previsto nas estruturas centrais de decisão das agências reguladoras, assegurado a partir da publicidade das decisões.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, Rafaela Ueked de Alvarenga. RIBAS, Luíz César. **Hidrogênio verde e usos múltiplos dos recursos hídricos: análise crítica de (integração de e entre) políticas públicas e legislação ambiental**. Scientific Journal ANAP, [S. l.], v. 1, n. 9, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/4464>. Acesso em: 14 set. 2024.

ALEMANHA, Perfil. **Virada Energética – Projeto para gerações**. Meio ambiente e clima. 2024. Disponível em: <https://www.tatsachen-ueber-deutschland.de/pt-br/clima-e-energia/virada-energetica-projeto-para-geracoes>. Acesso em: 12 fev. 2025.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Processo nº 48500.008476/2022-06. Chamada Pública nº 023/2024**. Projeto Estratégico: “Hidrogênio no Contexto do Setor Elétrico Brasileiro”. Brasília, 2024a. Disponível em: <https://sicnet2.aneel.gov.br/sicnetweb/pesquisa.asp>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Receitas no Orçamento da CDE**. Relatório da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE). Brasília, 2024b. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/contadesenvolvimento#!>. Acesso em 24 jan. 2025.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Subsidiômetro**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/subsidiometro> . Acesso em 10 jan. 2025.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 43, de 6/12/2007**. Institui o Regime de Segurança Operacional para as Instalações de Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Natural. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-43-2007?origin=instituicao&q=43/2007>. Acesso em: 28 jan. 2025.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. UERJ Reg – Laboratório de Regulação Econômica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. **Manual de boas práticas regulatórias**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/aceso-a-informacao/arq/manual-boas-praticas-regulatorias.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2025.

ARANHA, Marcio Iorio. **Teoria Jurídica da Regulação: entre Escolha Pública e Captura**. RDP, Edição Especial, 11-37, 2019. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.idp.edu.br/direitopublico/article/view/3314/pdf>. Acesso em 17 dez. 2024.

ARANHA, Marcio Iorio. **Manual de Direito Regulatório: Fundamentos de Direito Regulatório**. 9ª edição rev. ampl. – ISBN 979-83-336-5712-1. London: Laccademia Publishing, 2024.

ARIGONY, Alexandre Foch. **O poder normativo das agências reguladoras e a constitucionalidade dos princípios inteligíveis**. Revista Digital de Direito Administrativo 6(1):202-224. 2019. DOI:10.11606/issn.2319-0558.v6i1p202-224. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331583413_O_poder_normativo_das_agencias_reguladoras_e_a_constitucionalidade_dos_principios_inteligiveis. Acesso em: 12 fev. 2025.

AZADNIA, Amir Hossein Azadnia, et al. **Green hydrogen supply chain risk analysis: A european hard-to-abate sectors perspective**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 182, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113371>. Acesso em 15 dez 2024.

BALDWIN, Robert. CAVE, Martin, LODGE, Martin. **The Oxford Handbook of Regulation**. Oxford University Press Inc., Nova Iorque, 2010.

BALDWIN, Robert. CAVE, Martin, LODGE, Martin. **Understanding Regulation: Theory, Strategy, and Practice**. Second Edition. Oxford University Press Inc., Nova Iorque, 2012.

BRANQUINHO, Adely *et al.* **O primeiro leilão do Banco Europeu do Hidrogênio**. Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Gesel/UFRJ. Rio de Janeiro. 2024. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2024/06/Branquinho_2024_06_14.pdf. Acesso em 8 nov. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 10.712, de 2 de junho de 2021**, que regulamenta a Lei nº 14.134, de 8 de abril de 2021, que dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição, e sobre as atividades de escoamento, tratamento, processamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Decreto/D10712.htm. Acesso em: 20 dez 2024.

BRASIL. Ministério da Economia. Relatório de Avaliação da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE). Prestação de Contas do Presidente da República: Anexo – Informações adicionais. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/cgu/pt-br/assuntos/auditoria-e-fiscalizacao/avaliacao-da-gestao-dos-administradores/prestacao-de-contas-do-presidente-da-republica/arquivos/2019-1/relatorio-de-avaliacao-da-conta-de-desenvolvimento-energetico-cde.pdf>. Acesso em 30 jan. 2025.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei de 2023**, da Comissão Especial para Debate de Políticas Públicas sobre Hidrogênio Verde. Brasília, 2023a. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9483988&ts=1720030747733&disposition=inline>. Acesso em: 30 out. 2024.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Relatório Preliminar nº 1, de 2023**. CEENERG - Comissão Especial para Estudo, Avaliação e Acompanhamento das Iniciativas e Medidas Adotadas para Transição Energética – Fontes Renováveis e Produção de Hidrogênio no Brasil. Brasília. Outubro, 2023b. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2353428&filenam e=REL%201/2023%20CEENERG. Acesso em 5 nov. 2024.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Parecer de Plenário Pelas Comissões de Minas e Energia e de Constituição, Justiça e de Cidadania ao Projeto de Lei nº 2.308, de 2023**. Brasília, 2023c. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2364907&filenam e=Tramitacao-PL%202308/2023. Acesso em 8 nov. 2024.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Audiência pública e deliberação extraordinária**. Comissão Especial para estudo, avaliação e acompanhamento das iniciativas e medidas

adotadas para transição energética - Fontes Renováveis e Produção de Hidrogênio Verde no Brasil. 3 de Outubro de 2023. Brasília, 2023d. Disponível em: <https://escriba.camara.leg.br/escriba-servicosweb/html/69981>. Acesso em 13 nov. 2024.

BRASIL. Senado Federal. **Emenda nº 25-Plen-PL 2308/2023**. Brasília, 2024a. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9637167&ts=1725363591656&disposition=inline&ts=1725363591656>. Acesso em: 26 dez. 2024.

BRASIL. Senado Federal. **Emenda nº 45-Plen-PL 2308/2023**. Brasília, 2024b. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9680419&ts=1725363591785&disposition=inline&ts=1725363591785>. Acesso em: 28 dez. 2024.

BRASIL. Senado Federal. **Parecer nº 100, de 2024 – PLEN/SF**. Redação final das Emendas do Senado ao Projeto de Lei nº 2.308, de 2023, do Deputado Gilson Marques. Brasília. 2024d. Disponível em: https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9680553&ts=1725363591387&rendition_principal=S&disposition=inline. Acesso em: 28 dez. 2024

BRASIL. Senado Federal. **Trecho das notas taquigráficas** da Sessão Deliberativa Ordinária, realizada em 3/7/2024, referente ao Parecer nº 101/2024-PLEN/SF, proferido pelo Senador Otto Alencar, sobre a Emenda nº 45, apresentada à redação final do PL nº 2308/2023. 2024c. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9680667&ts=1725363591356&disposition=inline>. Acesso em: 27 dez. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.948, 2 de agosto de 2024**. Institui o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono; dispõe sobre a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono; institui incentivos para a indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono; institui o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro); cria o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC); e altera as Leis nºs 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e 9.478, de 6 de agosto de 1997. Brasília, 2024e. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2023-2026/2024/Lei/L14948.htm. Acesso em 10 out. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.990, de 27 de setembro de 2024**. Institui o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC); e altera a Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024. Brasília, 2024f. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2023-2026/2024/lei/L14990.htm. Acesso em: 10 nov. 2024.

Bucci, Maria Paula Dallari. **Fundamentos para uma teoria jurídica das políticas públicas**. 2 ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2021.

CAMARGO, Antônio Alvaro de Souza. **Faz sentido pensar em etanol como fonte sustentável de hidrogênio verde – H2V?** Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Gesel/UFRJ, 2021. Disponível em: https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/18_camargo_2021_11_19.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025.

CASTRO, Nivalde de. *et al.* **A Economia do Hidrogênio:** Transição, descarbonização e oportunidades para o Brasil. Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Gesel/UFRJ. Rio de Janeiro. 2023. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2023/04/livro_economia_do_h2.pdf. Acesso em: 28 jan. 2025.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Certificação de Hidrogênio:** Posicionamento H2Global. Versão 1.0. 03/02/2023. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/documents/80415/919444/Posicionamento%20Estrat%C3%A9gico%20H2Global.zip/668d7f84-cce6-01a5-87fd-1bbdd718926c>. Acesso em: 2 jan. 2025.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Contas setoriais.** 2025. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/mercado/contas-setoriais/conta-de-desenvolvimento-energetico-cde>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CHELVAM, Kalppana *et al.* **A review on the environmental performance of various hydrogen production technologies:** An approach towards hydrogen economy. Energy Reports, Volume 11, 2024, P. 369-383. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.11.060>. Acesso em 28 dez 2024.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. **Resolução nº 6, de 20 de abril de 2021.** Determina a realização de estudo para proposição de diretrizes par ao Programa Nacional do Hidrogênio. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/resoluescnp6_2021.pdf. Acesso em: 15 dez. 2024.

COHEN, Isadora. PEREIRA, Daniel Silva. **A ilusão do comando e controle: multas milionárias e baixa arrecadação.** Jornal Jota. Seção Infra. 23 ago. 2024. Disponível em: <https://www.jota.info/opiniao-e-analise/colunas/infra/a-ilusao-do-comando-e-controle-multas-milionarias-e-baixa-arrecadacao>. Acesso em 28 jan. 2025.

DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. **Direito Administrativo.** 35. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio.** 2021. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidrog%C3%A9nio_rev01%20\(1\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidrog%C3%A9nio_rev01%20(1).pdf). Acesso em: 14 dez. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Produção e Consumo de Hidrogênio em Refinarias no Brasil.** 2022a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-667/NT-EPE-DPG-SDB-2022-01%20-%20Hidrog%C3%AAnio%20em%20Refinarias.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2024

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Hidrogênio Cinza: Produção a partir da reforma a vapor do gás natural.** 2022b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-654/NT%20Hidrog%C3%AAnio%20Cinza.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2024

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Hidrogênio Azul: Produção a partir da reforma do gás natural com CCUS.** 2022c. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-654/NT%20Hidrogenio%20Azul.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2024

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. 2024a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 26 dez 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Hidrogênio no Brasil. Potencial técnico de produção de hidrogênio de baixo carbono no Brasil**. 2024b. Disponível em: <https://gisepeprd2.epe.gov.br/arcgisportal/apps/storymaps/stories/68332aaa3fc64524a656583e1367daa3>. Acesso em: 20 dez 2024

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional – BEN**. Ano base 2023. Relatório Síntese. 2024c. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em 30 dez 2024.

FORTE, Sérgio H. A. C. GAZILLO, Anderson Montenegro. **Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará**. Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87. Disponível em: <http://fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/480/pdf>. Acesso em: 25 nov. 2024.

HEINEN, Juliano. **Regulação experimental ou sandbox regulatório** – compreensões e desafios. Revista da Faculdade de Direito UFPR, Curitiba, v. 68, n. 1, p. 113-136, jan./abr. 2023. ISSN 2236-7284. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/direito/article/view/85389>. Acesso em: 30 dez. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rfdufpr.v68i1.85389>.

HERTOG, Johan den. *Review of Economic Theories of Regulation*. Utrecht School of Economics. Utrecht University. Dez. 2010. Disponível em: https://www.uu.nl/sites/default/files/rebo_use_dp_2010_10-18.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

LI, Hanyu *et al.* **Hydrogen in pipeline steels: Recent advances in characterization and embrittlement mitigation**, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 105, 2022, 104709, ISSN 1875-5100, <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2022.104709>. Disponível em: (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510022002979>). Acesso em: 26 jan. 2025.

LIMA, Leandro Jose Barbosa. HAMZAGIC, Miroslava. **Estratégias para a transição energética: revisão de literatura**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 06, Vol. 08, pp. 96-120. Junho de 2022. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/transicao-energetica>. Acesso em: 3 jan. 2025.

LUCCHESI, Rafael. **Teoria da Regulação e Agência Reguladora**. Jusbrasil. 2005. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/teoria-da-regulacao-e-agencia-reguladora/152015530>. Acesso em: 5 out. 2024.

LUSCHINI, Ariela Caraseni. **As consequências da guerra Rússia-Ucrânia no processo de transição energética**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-17012024-090834/en.php>. Acesso em: 5 jan. 2025. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.3.2023.tde-17012024-090834>.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Mudanças climáticas ameaçam saúde de comunidades vulneráveis, alerta OMM**. ONU News. Perspectiva Global Reportagens Humanas. 3 de novembro de 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/11/1822877>. Acesso em 28 jan. 2025.

PASSOS, Edlayan; GUEDES, Pedro; LEITE, Clauber. **Adicionalidade para H2 no contexto brasileiro**. Série E+ Estudos Técnicos. Posicionamento N°001. Dezembro, 2024. Disponível em: <https://emaisenergia.org/publicacao/adicionalidade-para-h2-no-contexto-brasileiro/>. Acesso em: 26 dez 2024

RASKIN, David B. *The Regulatory Challenge Of Distributed Generation*, 4 **Harv. Bus. L. Rev. Online** 38, 2013. Disponível em: <http://www.hblr.org/?p=3673>. Consultado em: 12 dez 2024

SAMPAIO, Patrícia R. P. e PAIVA, Juliana L. B. V. B. C. **Relevância da coordenação regulatória: o conflito ANA-ANEEL na outorga de direitos de uso de recursos hídricos para empreendimentos de geração de hidreletricidade**. In: Temas Relevantes no Direito de Energia Elétrica – Tomo X. ISBN 9786586214918. Editora Synergia, 2023.

SCHNEIDERS, Thorsten *et al.* **Economia do Hidrogênio e os significados dos termos Pt-X**. Projeto H2Brasil – Expansão do Hidrogênio Verde. Coleção 1. Volume 5. Brasília, 2023a. Disponível em: https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2024/06/Livro-05-Col-1_final_JTF-1.pdf. Acesso em 20 dez 2024

SCHNEIDERS, Thorsten *et al.* **Hidrogênio Verde e oportunidades de mercado: nacional e internacional**. Aplicação do H2 Verde no Mercado. Projeto H2Brasil – Expansão do Hidrogênio Verde. Coleção 2. Volume 4. Brasília, 2023b. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Julian-Hunt/publication/378078642_Hidrogenio_Verde_e_oportunidades_de_mercado_nacional_e_internacional/links/65c60f611e1ec12eff7dc560/Hidrogenio-Verde-e-oportunidades-de-mercado-nacional-e-internacional.pdf. Acesso em 20 dez 2024.

SILVA, Antônio José e. **A regulação responsiva nas atividades de fiscalização do transporte aéreo no Brasil**. Debates em Administração Pública. IDP. V.4 n. 1. 120. 2023. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.idp.edu.br/redap/article/download/7312/3050/24562>. Acesso em: 28 jan. 2025.

TCU. Tribunal de Contas da União. Plenário. **Relatório TC nº 001.814/2019-2**. Rel. Augusto Nardes, Julgamento em: 17/03/2021. Disponível em: <https://contas.tcu.gov.br/egestao/ObterDocumentoSisdoc?codPapelTramitavel=64105875>. Acesso em 28 jan. 2025.

UE – União Europeia. **Diretiva UE 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho**, de 11 de dezembro de 2018, relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis. Jornal Oficial da União Europeia L 328/177. 21.12.2018. Versão em português. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=ES>. Acesso em 19 dez 2024.

UE – União Europeia. **Regulamento Delegado (UE) 2023/1184 da Comissão**, de 10 de fevereiro de 2023, que completa a Diretiva (UE) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do

Conselho estabelecendo uma metodologia da União que determina regras pormenorizadas aplicáveis à produção de combustíveis líquidos e gasosos renováveis de origem não biológica para os transportes. Jornal Oficial da União Europeia. L 157/11. 20.6.2023. **2023a**. Versão em português. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1184>. Acesso em 20 dez 2024.

UE – União Europeia. **Regulamento 2023/851 do Parlamento Europeu e do Conselho**, de 19 de abril de 2023, que altera o Regulamento (UE) 2019/631 no que diz respeito ao reforço das normas de desempenho em matéria de emissões de CO₂ dos automóveis novos de passageiros e dos veículos comerciais ligeiros novos em consonância com o aumento da ambição da União em matéria de clima. Jornal Oficial da União Europeia. L 110/5. 25.4.2023. **2023b**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0851>. Acesso em 20 dez 2024.

Valor Econômico. **Silveira cobra ANP por demora na regulamentação do Gas Release**. Reportagem de Murillo Camarotto. 3/12/2024. Disponível em: <https://valor.globo.com/brasil/noticia/2024/12/03/siqueira-cobra-anp-por-demora-na-regulamentacao-do-gas-release.ghtml>. Acesso em: 28 jan. 2025.

VIANNA, Eduardo Araujo Bruzzi. **Regulação das Fintechs e Sandboxes Regulatórias**. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre. Escola de Direito do Rio de Janeiro da Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/b8e1d337-3f2b-4486-8ea8-52c41df15787>. Acesso em: 25 jan. 2025.

WEINSTEIN, Sarah. **Regulatory Capture. Definition, Criticisms & Examples**. 2023. Disponível em: <https://study.com/academy/lesson/regulatory-capture-definition-theory.html>. Acesso em 27 jan. 2025.