



Hidrogênio de Baixo Carbono no Brasil e no Ceará: Conexões e Limitações das Políticas Públicas frente aos ODS

Low-Carbon Hydrogen in Brazil and Ceará: Policy Connections and Limitations in Relation to the SDGs

Denis Specht¹; <https://orcid.org/0009-0006-8601-6012>
Sthéfanny S. Frizzarim²; <https://orcid.org/0000-0001-9932-2744>
Flávia M. de A. Collaço³; <https://orcid.org/0000-0003-4277-9043>
Miguel E. M. Udaeta⁴; <https://orcid.org/0000-0002-7323-3302>

RESUMO: A crise climática evidencia os limites do modelo econômico vigente, marcado pela ampliação das desigualdades socioeconômicas e da pressão sobre os limites ecológicos do planeta. Nesse cenário, políticas públicas eficazes tornam-se fundamentais para o cumprimento de compromissos internacionais como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, orientando uma transição energética que seja, ao mesmo tempo, justa e sustentável. O hidrogênio verde (H2V), produzido por eletrólise com eletricidade renovável, desponta como uma tecnologia estratégica para o setor energético e na descarbonização de indústrias pesadas, substituindo fontes fósseis. Visando aproveitar seu potencial, o Brasil tem impulsionado essa indústria por meio de políticas públicas específicas, como a Política Nacional do Hidrogênio de Baixo Carbono (PNHBC) e a Política Estadual do Hidrogênio Verde, Sustentável e Derivados do Ceará (PEHV). O artigo analisa o alinhamento dessas políticas com os ODS por meio de uma matriz analítica estruturada em dois eixos: reconhecimento explícito e identificação de sinergias e trade-offs. Os resultados apontam para uma baixa aderência às dimensões social e ambiental dos ODS e revelam riscos associados ao modelo de implantação focado na exportação do H2V e na atração de grandes investimentos, o que pode aprofundar desigualdades locais e reforçar padrões extrativistas, gerando outros problemas socioambientais.

¹ Mestrando em Energia, Planejamento e Políticas Públicas no Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP) e integrante do Grupo de Pesquisas em Políticas Públicas, Energia e Sociedade (POLENS-EESC). **Email:** denisspecht@usp.br

² Doutoranda em Energia, Planejamento e Políticas Públicas no Programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP) e integrante do Grupo de Pesquisas em Políticas Públicas, Energia e Sociedade (POLENS-EESC). **Email:** fanyasanchez@usp.br

³ Professora do Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP). Coordenadora do Grupo de Pesquisas em Políticas Públicas, Energia e Sociedade (POLENS-EESC). **Email:** flavia.collaco@usp.br

⁴ É engenheiro eletricista, com mestrado, doutorado e livre-docência pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Atualmente é professor e pesquisador no GEPEA/EPUSP, com experiência em planejamento integrado de recursos, gás natural, energia e meio ambiente e desenvolvimento sustentável. **Email:** udaeta@usp.br

Palavras-chave: Hidrogênio verde; H2V; Objetivos de Desenvolvimento Sustentável; ODS; Políticas públicas.

ABSTRACT: The climate crisis highlights the limits of the current economic model, characterized by widening socioeconomic inequalities and increasing pressure on the planet's ecological boundaries. In this context, effective and coherent public policies become essential for fulfilling international commitments such as the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda, guiding an energy transition that is both just and sustainable. Green hydrogen (GH2), produced through electrolysis powered by renewable electricity, emerges as a strategic technology for the energy sector and for the decarbonization of heavy industries, replacing fossil sources. Seeking to harness this potential, Brazil has been actively promoting this industry through specific public policies, such as the National Low-Carbon Hydrogen Policy (PNHBC) and the State Policy for Green, Sustainable Hydrogen and Derivatives of Ceará (PEHV). This article analyzes the alignment of these policies with the SDGs through an analytical matrix structured along two axes: explicit recognition and the identification of synergies and trade-offs. The results indicate a low level of adherence to the social and environmental dimensions of the SDGs and reveal risks associated with an implementation model focused on GH2 exports and the attraction of large-scale investments, which may deepen local inequalities, reinforce extractivist patterns, and generate additional socio-environmental challenges.

Key-words: Green hydrogen; GH2; Sustainable Development Goals; SDG; Public policies.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação da crise climática expõe os limites do modelo econômico baseado em combustíveis fósseis, cujas emissões de GEE afetam desproporcionalmente populações vulneráveis (IPCC, 2022). Nesse cenário, políticas públicas são essenciais para enfrentar tal problema e cumprir com os ODS da Agenda 2030 (Chacon; Nascimento, 2020), onde o setor energético ocupa papel central (Martins *et al.*, 2024).

O Brasil encontra-se em posição singular por ter cerca de 50% da matriz energética renovável (EPE, 2025), frente a 20% da média global (IEA, 2024), com expansão contínua de eólica e solar nos últimos anos (EPE, 2025). No âmbito estadual, o Ceará tem protagonismo por suas condições naturais e infraestrutura industrial e portuária estratégica (Ceará, 2024). Entretanto, apesar do panorama vantajoso, persistem desafios relacionados à desigualdade e à distribuição dos benefícios dessa transição.

Neste contexto, o hidrogênio verde (H2V), produzido via eletrólise a partir de eletricidade renovável, surge como vetor para descarbonizar setores intensivos e reduzir emissões de GEE (Oliveira, 2022). Apesar do potencial, a indústria do H2V pode aprofundar desigualdades e gerar conflitos socioambientais (Kalt; Tunn, 2022), o que exige cautela na formulação das políticas relacionadas.

Nesse sentido, compreender e analisar os possíveis impactos da indústria do H2V é fundamental para avaliar se ela pode contribuir para a construção de uma economia de baixo carbono que seja simultaneamente inclusiva e resiliente, além de alinhada aos

compromissos da Agenda 2030 e às especificidades de cada país. Diante disso, este artigo tem como objetivo avaliar se e como a Política Nacional do Hidrogênio de Baixo Carbono (PNHBC) e a Política Estadual do Hidrogênio Verde, Sustentável e Derivados do Ceará (PEHV) contribuem para o alcance dos ODS.

Na literatura consultada, não foram encontradas avaliações similares aplicadas ao contexto brasileiro ou cearense. No entanto, trabalhos inseridos na temática oferecem *insights* relevantes. Odenweller e Ueckerdt (2025) apontam uma lacuna entre estratégias de H2V e suas implementações, devido à ausência de mecanismos operacionais e indicadores de monitoramento. Peyerl e van der Zwaan (2024) destacam tanto o potencial de descarbonização do H2V quanto os riscos socioambientais associados, como o uso intensivo de água. Weidner, Tulus e Guillén-Gosálbez (2023) reforçam sua baixa pegada de carbono em comparação a outras rotas de produção, mas alertam para impactos como o esgotamento de minerais. Já Strelkovskii e Komendantova (2025) alertaram que os ODS têm sido pouco integrados nas estratégias para o avanço do H2V em diversos países, pois há priorização de metas econômicas e tecnológicas em detrimento de quesitos socioambientais.

A literatura evidencia a importância do alinhamento entre os objetivos e instrumentos das políticas públicas para o H2V, além de reforçar a necessidade dessas políticas considerarem de forma equilibrada todas as dimensões da transição energética.

As políticas públicas voltadas ao hidrogênio existem desde o final dos anos 1990, voltadas à pesquisa e desenvolvimento tecnológico, destacando-se o “Programa Brasileiro de Células a Combustível” (PROCAC), lançado em 2002. No entanto, por anos o tema perdeu prioridade na política energética nacional (Chantre *et al.*, 2022).

Recentemente, a temática voltou a ser impulsionada por questões geopolíticas, como a guerra entre Rússia e Ucrânia, e ganhar destaque na agenda nacional dadas as vantagens competitivas brasileiras. Em 2021, o governo federal brasileiro lançou as Diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), para consolidá-lo como vetor estratégico na transição energética do país. O programa foi instituído pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), por meio da Resolução nº 6, de 23 de julho de 2022, e depois atualizado pela Resolução nº 4, de 20 de março de 2023 (Chantre *et al.*, 2022). Em 2024, foi instituída a PNHBC (Lei federal nº 14.948, de 2024), com o objetivo de consolidar uma estratégia para a produção e o uso do hidrogênio de baixo carbono, com ênfase no H2V.

Em paralelo, o governo estadual do Ceará já sinalizava intenção de se tornar um polo da indústria. Em 2021, por meio de um memorando de entendimento (MoU) entre o governo do Estado, a Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC), a Universidade Federal do Ceará (UFC) e o Complexo Industrial e Portuário de Pecém (CIPP), deu-se início à estruturação do “HubH2V”. No ano seguinte, foi instituído o Plano Estadual de Transição Energética Justa do Ceará, por meio do Decreto Nº 34.733, de 2022, formalizando o direcionamento estratégico estatal para o H2V (Ceará, 2022). Em 2023, esse movimento foi consolidado com a criação da

PEHV (Lei estadual nº 18.459, de 2023), que estabeleceu diretrizes para o desenvolvimento da nova indústria no estado.

Tanto a PNHBC como a PEHV representam marcos regulatórios fundamentais para a estruturação da emergente indústria do H2V. Entretanto, restam dúvidas quanto à capacidade destas políticas de gerar benefícios que contemplem de forma equilibrada todas as dimensões dos ODS. O presente trabalho visa, portanto, dimensionar o desempenho dessas políticas frente aos ODS, identificando suas conexões, sinergias e trade-offs.

2. METODOLOGIA

O artigo adota uma abordagem qualitativa e exploratória, voltada à análise da PNHBC e da PEHV. A análise busca avaliar a aderência de seus objetivos e instrumentos frente aos ODS. Para organização da análise, os ODS foram agrupados em 4 dimensões (ver Figura 1), conforme Chacon e Nascimento (2020).

Figura 1 - ODS por dimensão

| ODS | Dimensão |
|--|---------------|
| 1 – Erradicação da Pobreza | Social |
| 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável | Social |
| 3 – Saúde e Bem-Estar | Social |
| 4 – Educação de Qualidade | Social |
| 5 – Igualdade de Gênero | Social |
| 6 – Água Potável e Saneamento | Social |
| 7 – Energia Acessível e Limpa | Social |
| 8 – Trabalho Decente e Crescimento Econômico | Econômica |
| 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura | Econômica |
| 10 – Redução das Desigualdades | Econômica |
| 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis | Social |
| 12 – Consumo e Produção Responsáveis | Econômica |
| 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima | Ambiental |
| 14 – Vida na Água | Ambiental |
| 15 – Vida Terrestre | Ambiental |
| 16 – Paz, Justiça e Instituições Eficazes | Social |
| 17 – Parcerias e Meios de Implementação | Institucional |

Fonte: Elaboração própria a partir de Chacon e Nascimento (2020).

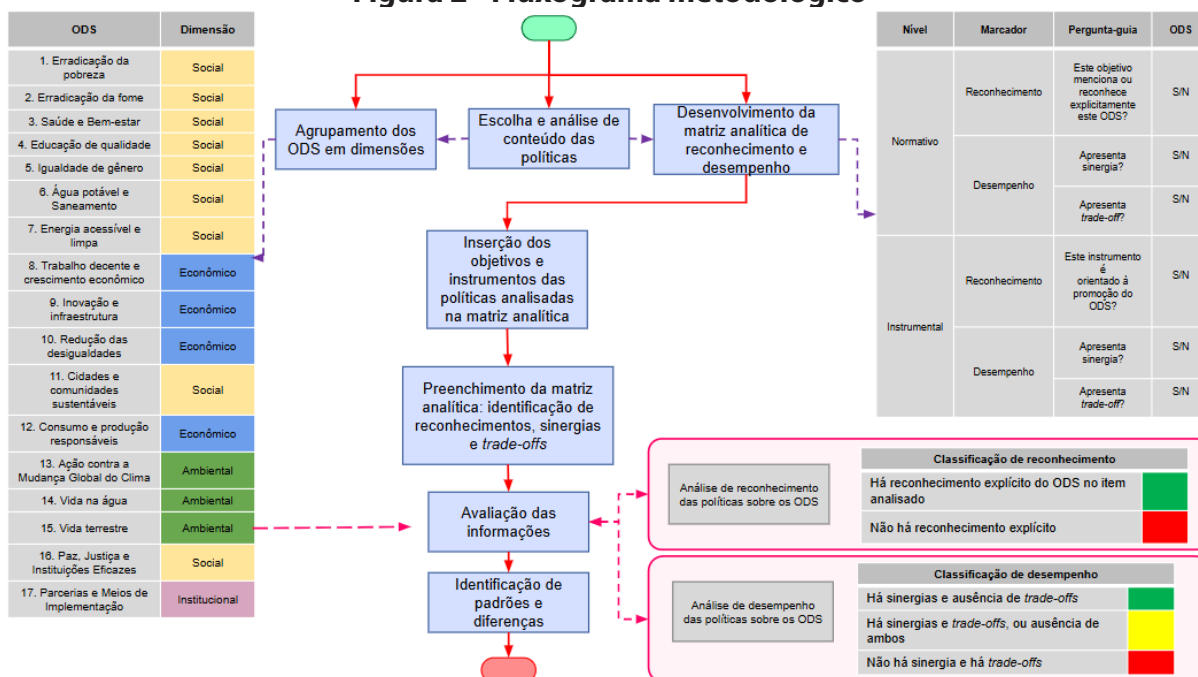
Foi desenvolvida uma matriz analítica, cujas linhas representam os elementos das políticas (objetivos e instrumentos), submetidos a perguntas-orientadoras, enquanto suas colunas correspondem aos 17 ODS. A matriz permitiu a análise em dois níveis: normativo (conteúdo dos objetivos) e instrumental (instrumentos de política pública).

Em ambos os níveis, os elementos foram avaliados quanto à presença de reconhecimento explícito dos ODS, bem como à existência de sinergias e *trade-offs*. Foram

consideradas sinergias as situações em que o objetivo ou instrumento da política contribui positivamente para o ODS analisado, promovendo alguma dimensão de suas metas, de forma direta ou indireta. Já os *trade-offs* foram identificados quando tais elementos apresentavam potencial de gerar retrocessos ao cumprimento do ODS. Como exemplo de sinergia, destaca-se na PEHV o objetivo de reduzir desigualdades sociais e regionais no Ceará, sinergia direta com o ODS 10. Já no caso do ODS 13, os incentivos à cadeia do H2V e à industrialização, presente em ambas as políticas, podem gerar pressões por infraestrutura e recursos, ampliando emissões em outras etapas do ciclo de vida do hidrogênio.

Por fim, a matriz foi aplicada separadamente à PNHBC e à PEHV, abrangendo todos os seus respectivos objetivos e instrumentos frente aos 17 ODS, resultando em 2 *frameworks*, que serviram como insumo para as seções 4 e 5. A figura 2 demonstra todas as etapas metodológicas aplicadas no trabalho.

Figura 2 - Fluxograma metodológico



Fonte: Elaboração própria (2025).

3. ANÁLISE DE CONTEÚDO

3.1 PNHBC

A PNHBC foi instituída pela lei federal nº. 14.948/2024 e possui 20 objetivos, dos quais destacam-se a promoção, em bases econômicas, sociais e ambientais, da participação do hidrogênio de baixa emissão de carbono na matriz energética brasileira, o incentivo às suas diversas rotas de produção e a ampliação da competitividade do País no mercado internacional.

A política conta com 5 instrumentos, a saber: o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro), o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), o Sistema Brasileiro de Certificação do Hidrogênio (SBCH2) e o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC) (Brasil, 2024a).

O PNH2 ainda será regulamentado por diretrizes do CNPE, cabendo ao Comitê Gestor do Programa Nacional do Hidrogênio (Coges-PNH2) definir suas orientações e diretrizes. O comitê será formado por representantes do Executivo, estados, setor produtivo e comunidade científica, sem representação da sociedade civil (Brasil, 2024a).

Por sua vez, o Rehidro concede diversos incentivos fiscais voltados à aquisição de bens e serviços para infraestrutura. Empresas em Zonas de Processamento de Exportação (ZPEs), como o CIPP, terão isenções adicionais (Brasil, 2024a), favorecendo grandes multinacionais exportadoras.

Em adição, também estão previstos esquemas de certificação, o que irá impor novos custos ao governo. Para atender aos critérios internacionais, especialmente dos países europeus, será necessário garantir emissões inferiores aos 7 kg de CO₂ equivalente por kg de hidrogênio produzido, estipulados pela PNHBC (Brasil, 2024a),

Por fim, o PHBC, apesar de criado pela mesma lei, foi instituído posteriormente pela lei federal nº 14.990/2024 e, portanto, possui diretrizes, objetivos e incentivos próprios. Neste trabalho o PHBC é entendido como um instrumento do próprio Marco Legal. O programa tem por objetivo constituir a principal fonte de recursos para o desenvolvimento da indústria e poderá cobrir até 100% da diferença de preço entre o hidrogênio produzido e o preço de bens substitutos, via abatimento ou ressarcimento de valores da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL) das beneficiárias. Entre 2028 e 2032, os montantes destinados ao PHBC podem chegar a R\$18.3 bilhões (Brasil, 2024b).

3.2 PEHV

A PEHV foi instituída pela Lei nº 18.459/2023, e possui 10 objetivos, dentre os quais destacam-se o aumento da participação do H2V na matriz energética estatal e a redução de desigualdades sociais e regionais, inclusive no meio rural. A política conta com 9 iniciativas (instrumentos), cujos principais são: a celebração de parcerias público-privadas para P&D, incentivos financeiros e fiscais para promover a produção, o uso do H2V e a capacitação de recursos humanos e parcerias para qualificação da mão de obra na indústria (Ceará, 2023).

Em adição, a lei criou o Conselho Estadual de Governança e Desenvolvimento da Produção de Hidrogênio Verde, Sustentável e seus Derivados, com a competência de definir diretrizes e coordenar as estratégias e ações voltadas à cadeia do H2V. O Conselho é composto por representantes de diversas secretarias e órgãos estaduais e pela administração do Complexo Industrial e Portuário de Pecém (CIPP). Da mesma maneira que a PNHBC, não há nenhuma entidade representante da sociedade civil e da população local compondo o conselho.

Em suma, ambas as políticas possuem foco no estabelecimento de incentivos fiscais e financeiros para criar um cenário favorável para empresas investirem e se instalarem no estado. A PEHV possui mais elementos direcionados ao desenvolvimento regional e à redução de desigualdades socioambientais, embora ambos falham em questões de representatividade e representação da população na tomada de decisão.

4. DESEMPENHO DAS POLÍTICAS FRENTE AOS ODS

Para a avaliação de desempenho da PNHBC e da PEHV, a matriz analítica foi organizada em 2 eixos: primeiro, de menção ou reconhecimento dos ODS; e segundo, de presença de sinergias e trade-offs. Em ambas, as únicas respostas possíveis foram “sim” ou “não”. Entretanto, a complexidade das interações entre sinergias e trade-offs justifica sua representação separada, possibilitando uma análise mais aprofundada.

No primeiro eixo, as células da matriz foram coloridas em verde quando havia menção ou reconhecimento explícito do ODS por um objetivo ou instrumento das políticas, e em vermelho quando essa menção inexistia. No segundo eixo, as cores indicaram a interação entre sinergias e trade-offs: verde para sinergia sem trade-off, vermelho para trade-off sem sinergia e amarelo para presença ou ausência de ambos simultaneamente (Figuras 3 a 6).

Essa forma de visualização permite a rápida identificação de quais ODS recebem mais ou menos destaque pelas políticas. Em ambas, observa-se um padrão: pouco reconhecimento dos ODS 1 a 6 e 16, da dimensão social, e 14 e 15, da dimensão ambiental, enquanto os ODS 7, 9 e 13, são bastante reconhecidos, refletindo a ênfase econômica das políticas e o potencial de descarbonização apresentado pelo H2V.

Já nas matrizes de sinergias e trade-offs, observa-se a predominância de células amarelas em ambas as políticas, indicando um cenário ambíguo, no qual sinergias costumam vir acompanhadas de trade-offs. Essa ambiguidade representa mais tensão do que coerência com os ODS.

No caso da PNHBC, dos 425 registros avaliados, 62% são amarelos, 19% vermelhos (trade-offs claros) e apenas 19% verdes (sinergias sem trade-offs). Já na PEHV, de 340 registros, 49% são amarelos, 12% vermelhos e 38% verdes — ou seja, apresenta um desempenho mais favorável em termos de sinergias, embora ainda marcado por lacunas.

As células vermelhas estão concentradas sobretudo nos ODS sociais (1 a 6) e ambientais (14 a 16), enquanto os verdes aparecem com mais frequência nos ODS 9, 13 e 17, reforçando o foco das políticas em infraestrutura, descarbonização e cooperação.

De forma geral, os dados mostram que os trade-offs — explícitos ou combinados a sinergias — superam as sinergias isoladas, revelando lacunas importantes na coerência das políticas com os objetivos do desenvolvimento sustentável.



Figura 3 - Visualização de desempenho da PNHBC

| Objetivos/ Instrumentos | ODS 1 | ODS 2 | ODS 3 | ODS 4 | ODS 5 | ODS 6 | ODS 7 | ODS 8 | ODS 9 | ODS 10 | ODS 11 | ODS 12 | ODS 13 | ODS 14 | ODS 15 | ODS 16 | ODS 17 |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| OBJ 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 4 - Visualização de desempenho da PEHV

| Objetivos/ Instrumentos | ODS 1 | ODS 2 | ODS 3 | ODS 4 | ODS 5 | ODS 6 | ODS 7 | ODS 8 | ODS 9 | ODS 10 | ODS 11 | ODS 12 | ODS 13 | ODS 14 | ODS 15 | ODS 16 | ODS 17 |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| OBJ 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 5 - Visualização de desempenho da PNHBC

| Objetivos/ Instrumentos | ODS 1 | ODS 2 | ODS 3 | ODS 4 | ODS 5 | ODS 6 | ODS 7 | ODS 8 | ODS 9 | ODS 10 | ODS 11 | ODS 12 | ODS 13 | ODS 14 | ODS 15 | ODS 16 | ODS 17 |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| OBJ 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 6 - Visualização de desempenho da PEHV

| Objetivos/ Instrumentos | ODS 1 | ODS 2 | ODS 3 | ODS 4 | ODS 5 | ODS 6 | ODS 7 | ODS 8 | ODS 9 | ODS 10 | ODS 11 | ODS 12 | ODS 13 | ODS 14 | ODS 15 | ODS 16 | ODS 17 |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| OBJ 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBJ 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inst 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaboração própria (2025).

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 DIMENSÃO SOCIAL

De modo geral, as políticas apresentaram baixa aderência à dimensão social, com poucos objetivos que os reconhecem explicitamente e poucos instrumentos voltados à sua promoção (Quadros 1 a 3). A PEHV demonstra desempenho ligeiramente superior à PNHBC, com destaque para o ODS 11, explicado pela maior ênfase no uso doméstico do H2V. Em ambas, há uma falta de instrumentos voltados à distribuição de benefícios à população e mecanismos de redução de vulnerabilidades.

Quadro 1 - Reconhecimentos da PNHBC na dimensão social

| Nível | ODS 1 | ODS 2 | ODS 3 | ODS 4 | ODS 5 | ODS 6 | ODS 7 | ODS 11 | ODS 16 | TOTAL |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Normativo | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 11 | 3 | 0 | 16 |
| Instrumental | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 2 - Reconhecimentos da PEHV na dimensão social

| Nível | ODS 1 | ODS 2 | ODS 3 | ODS 4 | ODS 5 | ODS 6 | ODS 7 | ODS 11 | ODS 16 | TOTAL |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Normativo | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 5 | 1 | 15 |
| Instrumental | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 7 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 3 - Cobertura das políticas na dimensão social

| Dimensão | Política | ODS considerados | ODS reconhecidos | Cobertura (%) |
|----------|----------|------------------|------------------|---------------|
| Social | PNHBC | 9 | 4 | 44.4 |
| | PEHV | 9 | 6 | 66.7 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Em relação ao ODS 1 ambas as políticas apresentam sinergias limitadas, centradas na geração de empregos e na dinamização de cadeias produtivas. Ao priorizarem a importação de equipamentos e a exportação do H2V, revela-se um trade-off importante: a ênfase na demanda externa tende a reduzir os benefícios internos. Um maior uso doméstico (transporte, agricultura e energia para populações vulneráveis) ampliaria o potencial de redução da pobreza. Como apontam Caiafa *et al.* (2023), essa orientação voltada à exportação tende a restringir os benefícios locais e a aprofundar desigualdades de renda e gênero, comprometendo avanços no ODS 1.

As sinergias com esse ODS dependem fortemente da adoção de mecanismos distributivos, frequentemente ausentes, o que fragiliza a capacidade das políticas de enfrentar vulnerabilidades sociais — especialmente em contextos como o do Ceará, onde 23,19% da população vive em situação de pobreza, frente a 13,43% no Brasil (PNUD; IPEA;

FJP, 2022).

Em relação ao ODS 2, há conexões diretas pela aplicação do H2V na indústria de fertilizantes. Nesse caso, até mesmo elementos com foco tecnológico ou comercial, geram sinergias com a promoção de sistemas mais “sustentáveis” no setor alimentício. Entretanto, há dúvidas quanto ao seu real impacto na erradicação da fome caso o uso dos fertilizantes se restrinja a latifúndios exportadores, dado que a maior parte da oferta doméstica de alimentos vem da agricultura familiar (IBGE, 2019).

Em adição, na PEHV, destaca-se o objetivo de reduzir as desigualdades sociais e regionais do Ceará, buscando promover a inclusão social e produtiva de comunidades vulneráveis e ampliando a cidadania e a qualidade de vida no meio rural por meio do combate à pobreza energética. Entretanto, há uma lacuna entre essa ambição declarada e os mecanismos para sua viabilização. Seus instrumentos, não são suficientes para garantir o cumprimento integral desse objetivo, pois não abordam questões voltadas ao acesso equitativo à energia, subsídios para comunidades vulneráveis ou tecnologias descentralizadas adaptadas ao meio rural.

O ODS 3 foi um dos mais contemplados pelas políticas, pois o H2V pode substituir fontes fósseis em usos industriais, reduzindo emissões de GEE e, conseqüentemente, melhorar a qualidade do ar, o que impacta diretamente na redução de mortes e doenças relacionadas à poluição atmosférica. No entanto, caso a produção seja majoritariamente destinada à exportação, os benefícios de saúde pública serão pouco usufruídos pela população local, beneficiando mais a população do país importador, provavelmente no Norte global.

No caso do ODS 4, há espaço para criação de programas de capacitação e cursos técnicos que insiram a população local nas atividades da cadeia do hidrogênio. A PEHV abordou melhor esse aspecto do que a PNHBC, ao designar uma iniciativa específica à oferta de cursos profissionalizantes na área da energia renovável em escolas estaduais. É importante frisar que, na ausência de cursos e capacitações, os postos de trabalho gerados à população tendem a ser temporários e de baixa remuneração, como já tem sido apontado pela literatura para o caso das eólicas *onshore* (Gorayeb *et al.*, 2018).

Com relação ao ODS 5, observou-se que a igualdade de gênero não é mencionada ou reconhecida diretamente em nenhum dos objetivos ou instrumentos de ambas as políticas. Suas possíveis sinergias dependem de programas de inclusão nos empregos e processos seletivos gerados pela indústria, mas não há indicação concreta para isso. Desta forma, as políticas tendem a manter ou até agravar desigualdades de gênero.

Por sua vez, o ODS 6 é o menos mencionado, reconhecido ou conectado com as políticas analisadas dentro da dimensão social. Considerando que a indústria de H2V demanda grande volume de água, seu uso pode competir com outros usos essenciais, como o abastecimento residencial, especialmente em regiões áridas e semiáridas, como o Ceará. O estado tem um quadro histórico de insegurança hídrica domiciliar e enfrenta

dificuldades crônicas no abastecimento de água, que afetam principalmente as populações já vulneráveis (Tomaz; Santos; Jepson, 2023). Há uma grande lacuna na integração entre a política energética e a gestão de recursos hídricos no estado, com riscos prejudiciais à vida da população.

O ODS 7 é contemplado significativamente por ambas políticas, pois promovem o uso de fontes renováveis e o fortalecimento da infraestrutura energética de baixo carbono, contribuindo para a descarbonização da matriz elétrica brasileira e a diversificação das fontes energéticas. No entanto, há também trade-offs relevantes: o alto custo de produção, armazenamento e distribuição do H2V, somado ao foco em projetos de exportação, pode direcionar investimentos para mercados externos e não para a universalização do acesso no Brasil. Essa lógica pode aprofundar desigualdades regionais e sociais, sobretudo em áreas já desassistidas. Ademais, o foco em grandes empreendimentos pode marginalizar soluções descentralizadas, mais adequadas para comunidades rurais.

Em adição, a inserção acelerada de projetos de grande escala de energia renovável, especialmente em áreas rurais e de povos e comunidades tradicionais, tem gerado uma série de conflitos fundiários, socioambientais e culturais, como já documentado por diversos estudos no Brasil e no exterior. Por exemplo, Maia *et al.* (2023) e Gorayeb *et al.* (2022) abordaram a problemática dos projetos de parques eólicos no nordeste brasileiro e seus impactos socioambientais em povos e comunidades tradicionais (PCT), assim como Liljenfeldt e Pettersson (2017) analisaram as injustiças energéticas decorrentes de parques eólicos na Suécia.

No que diz respeito ao ODS 11, as políticas analisadas apresentam sinergias quando orientadas à promoção do uso interno do H2V em setores industriais, reduzindo a poluição, construindo cidades mais limpas e favorecendo a inclusão social através de capacitação e pesquisa. Entretanto, essa contribuição torna-se limitada quando predomina a lógica exportadora, que pode restringir aplicações e demandas domésticas, além de gerar conflitos fundiários e deslocamentos forçados que afetam o direito à cidade da população, em especial de comunidades tradicionais (Tunn *et al.*, 2024).

Por sua vez, com relação ao ODS 16, nem a PNHBC nem a PEHV apresentaram menções explícitas, mas diversos de seus objetivos podem ter implicações diretas para a governança e robustez institucional. Por um lado, há sinergia quando as políticas fomentam pesquisa e desenvolvimento (inclusive para usos energéticos e industriais), promovendo o fortalecimento de instituições públicas e a formação de competências locais. Por outro lado, muitos dos dispositivos e instrumentos previstos na política nacional (como o PNH2, o PHBC, o SBCH2 e o Rehidro) não prevêem mecanismos para representar a sociedade civil ou para garantir sua participação nas tomadas de decisão, apresentando *trade-offs* significativos, pois a falta de representação e transparência aumenta o risco de decisões arbitrárias, capturas institucionais e perda de legitimidade das instituições públicas.

5.2 Dimensão Econômica

A dimensão econômica foi a mais reconhecida por ambas as políticas, com destaque para o ODS 9, refletindo a ênfase na ampliação da infraestrutura e fomento à inovação. Uma notável divergência entre as políticas foi o desempenho frente ao ODS 8, tendo sido reconhecido duas vezes mais pela PEHV do que pela PNHBC, por conta das iniciativas voltadas à capacitação da mão de obra local.

Em adição, os ODS 10 e 12 são os menos contemplados, pois exigem a reformulação do paradigma de crescimento a qualquer custo e demandam inclusão social e proteção ambiental, elementos pouco presentes nas políticas (Quadros 4 a 6).

Quadro 4 - Reconhecimentos da PNHBC na dimensão econômica

| Nível | ODS 8 | ODS 9 | ODS 10 | ODS 12 | TOTAL |
|--------------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Normativo | 2 | 11 | 4 | 3 | 20 |
| Instrumental | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 5 - Reconhecimentos da PEHV na dimensão econômica

| Nível | ODS 8 | ODS 9 | ODS 10 | ODS 12 | TOTAL |
|--------------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Normativo | 0 | 5 | 3 | 0 | 8 |
| Instrumental | 4 | 4 | 3 | 0 | 11 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 6 - Cobertura das políticas na dimensão econômica

| Dimensão | Política | ODS considerados | ODS reconhecidos | Cobertura (%) |
|-----------|----------|------------------|------------------|---------------|
| Econômica | PNHBC | 4 | 4 | 100 |
| | PEHV | 4 | 3 | 75 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Com relação ao ODS 8, houve pouco reconhecimento direto de ambas as políticas, sendo que a PEHV desempenha melhor que a PNHBC, pois possui dois instrumentos específicos para a qualificação da mão de obra local. Apesar das poucas menções diretas, ambas apresentaram número significativo de sinergias com o ODS, dado que este possui metas específicas de crescimento econômico, evidenciando o viés mercadológico que a implantação de H2V vem assumindo.

Em adição, os ODS 8 e 4 estão intimamente relacionados, já que a criação de empregos decentes fica condicionada à capacitação acessível e inclusiva. Sem essa base, os empregos gerados devem ser temporários e com baixa remuneração, mantendo ou agravando desigualdades de renda, com risco de precarização, terceirizações e violação de direitos trabalhistas, como mostraram Akhtar *et al.* (2023). O estudo também indica que o potencial de crescimento econômico da indústria do H2V depende da nacionalização da

cadeia produtiva — aspecto ainda ausente na legislação brasileira, em linha com Caiafa *et al.* (2023).

Ambas as políticas apresentam fortes sinergias com o ODS 9 ao promoverem inovação, tecnologias limpas e o fortalecimento de cadeias produtivas, tanto em seus objetivos quanto instrumentos. O fomento ao setor de P&D pode favorecer o desenvolvimento de tecnologias menos intensivas em carbono. Entretanto, a rapidez com que a instalação da indústria tem sido conduzida, impulsionada por incentivos e pela busca de protagonismo internacional, tende a levar à importação de *know-how* e tecnologia, movimento que pode limitar o desenvolvimento autônomo do país.

O ODS 10 estabelece ações de distribuição de renda e inclusão socioeconômica, por meio de políticas fiscais, econômicas e de proteção social. Neste sentido, ambas as políticas pouco direcionam seus mecanismos para esses fins e, apesar de apresentarem sinergias indiretas, estas vêm, geralmente, acompanhadas de *trade-offs*. Destaca-se positivamente, na PEHV, o objetivo de redução de desigualdades sociais e regionais do Ceará e de inclusão social e produtiva de comunidades vulneráveis, com foco na redução da pobreza energética. Já a PNHBC adota uma abordagem mais econômica, priorizando a livre concorrência e competitividade internacional, sem prever medidas claras de inclusão ou redistribuição de renda.

Em relação ao ODS 12, as políticas apresentaram desempenho ambíguo. Embora promovam o H2V como alternativa ao hidrogênio fóssil, priorizando a redução de emissões de GEE, negligenciam impactos como uso intensivo de água, terra e minerais. Shen *et al.* (2024) apontam que, sem mudanças estruturais no modelo de produção e consumo, a transição ao H2V pode apenas deslocar a crise ambiental do clima para outros fatores, como saúde humana e escassez de recursos.

5.3 Dimensão Ambiental

A dimensão ambiental foi a menos abordada por ambas as políticas, com total ausência de menções aos ODS 14 e 15, o que evidencia uma negligência à conservação da biodiversidade aquática e terrestre. O foco recai exclusivamente sobre o ODS 13, especialmente na PNHBC (Quadros 7 a 9).

Quadro 7 - Reconhecimentos da PNHBC na dimensão ambiental

| Nível | ODS 13 | ODS 14 | ODS 15 | TOTAL |
|--------------|--------|--------|--------|-------|
| Normativo | 8 | 0 | 0 | 8 |
| Instrumental | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 8 - Reconhecimentos da PEHV na dimensão ambiental

| Nível | ODS 13 | ODS 14 | ODS 15 | TOTAL |
|--------------|--------|--------|--------|-------|
| Normativo | 3 | 0 | 0 | 3 |
| Instrumental | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 9 - Cobertura das políticas na dimensão econômica

| Dimensão | Política | ODS considerados | ODS reconhecidos | Cobertura (%) |
|-----------|----------|------------------|------------------|---------------|
| Ambiental | PNHBC | 3 | 1 | 33.3 |
| | PEHV | 1 | 1 | 33.3 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Essa concentração revela uma agenda voltada à mitigação climática, baseada em descarbonização e P&D. Embora nem sempre citado explicitamente, o ODS 13 é incorporado significativamente às estratégias das duas políticas. No entanto, há trade-offs: os estímulos à cadeia do H2V e à industrialização podem gerar pressões por infraestrutura e recursos, ampliando emissões em outras etapas do ciclo de vida (Shen *et al.*, 2024).

Em adição, verifica-se uma agenda de descarbonização pautada em instrumentos econômicos, especialmente a PNHBC. Essa estratégia pode gerar impactos positivos, como a produção de fertilizantes com H2V, reduzindo a dependência externa, fortalecendo a segurança alimentar e descarbonizando uma cadeia intensiva em emissões. Entretanto, há uma falta de avaliação de impactos ambientais indiretos, o que pode gerar soluções que reduzem emissões de GEE, mas acarretam outras formas de degradação ambiental.

Com relação especificamente à PEHV, destaca-se a criação de dispositivos com forte potencial de sinergia, ligados à formação de capacidades locais, à oferta de educação profissionalizante e ao incentivo à pesquisa. Tais elementos podem fortalecer o desenvolvimento econômico e científico do estado, promovendo uma redução de emissões mais ancorada no contexto e competências locais.

Já com relação ao ODS 14, há uma lacuna clara: nenhuma diretriz, objetivo ou instrumento cita o tema, e eventuais sinergias ou *trade-offs* são apenas implícitos, decorrentes das escolhas estratégicas e não de uma orientação clara das políticas para preservação de corpos d'água e ecossistemas marinhos. Esse resultado é preocupante uma vez que a água é um dos principais insumos da indústria em questão. Em adição, a expansão da infraestrutura e da cadeia de fornecimento, fomentada por ambas as leis sem salvaguardas, representa uma ameaça para a preservação de zonas sensíveis e para o cumprimento do ODS 14.

Em adição, os incentivos fiscais previstos nas políticas não preveem diretrizes específicas para mitigar riscos ao ambiente aquático, o que evidencia uma lacuna crítica de planejamento. Por exemplo, poder-se-ia vincular a previsão de incentivos e certificações, como o SBCH2, ao cumprimento de metas para uso racional da água e a preservação e

recuperação de recursos hídricos. No caso da PEHV, não há preocupação explícita com a escassez hídrica, ignorando a relação crítica entre fomento produtivo e disponibilidade de água em região vulnerável à desertificação — um aspecto particularmente sensível para uma região caracterizada por escassez hídrica. Estabelecer regras e incentivos representa oportunidade para incorporar critérios socioambientais, mas, da forma proposta, permitirá a existência de empreendimentos com potencial de impactar áreas sensíveis próximas a corpos hídricos.

O ODS 15, da mesma forma, não é mencionado diretamente nas políticas, embora vários objetivos e instrumentos o afetem de alguma forma. Isso inclui pressões adicionais sobre o uso da terra, além de riscos à recuperação de solos e habitats naturais.

A previsibilidade para formulação de regulamentos e concessão de incentivos para esta indústria, na forma prevista pelas leis, não considera claramente riscos à biodiversidade. Em adição, o foco em atrair investimentos para o H2V intensifica a disputa por locais de instalação, pressionando áreas sensíveis e a mudança no uso do solo.

Há, contudo, objetivos que revelam sinergias pontuais, como o aproveitamento racional da infraestrutura existente, que reduz a necessidade de novas construções e contribui para evitar a fragmentação de habitats e espécies. Na PEHV, o objetivo de ampliar a participação do H2V na matriz energética requer infraestrutura adicional, aumentando a pressão por mudanças no uso do solo e potenciais perdas de biodiversidade, como na Caatinga. Já na PNHBC, observa-se ausência de orientação ao ODS 15 e predominância de trade-offs ligados à ocupação de áreas sensíveis e à alteração de ecossistemas. A cooperação em P&D pode gerar sinergias se orientada à eficiência e baixo impacto ambiental, mas também pode produzir trade-offs se não houver diretrizes de proteção e recuperação de habitats.

Por fim, embora o incentivo à transição energética para cumprimento de metas climáticas apresente uma clara sinergia com a mitigação das mudanças do clima, esta lógica não exige as políticas de considerar as pressões associadas à instalação de infraestrutura e às mudanças no uso e cobertura do solo, especialmente considerando que as energias renováveis tendem a demandar mais área e mais recursos naturais quando comparadas às fósseis.

5.4 Dimensão Institucional

A Política Nacional e a Política Estadual demonstram significativa aderência ao ODS 17, o único da dimensão institucional (Quadros de 10 a 12).

Quadro 10 - Reconhecimentos da PNHBC na dimensão institucional

| Nível | ODS 17 | TOTAL |
|--------------|--------|-------|
| Normativo | 11 | 11 |
| Instrumental | 0 | 0 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 11 - Reconhecimentos da PEHV na dimensão institucional

| Nível | ODS 17 | TOTAL |
|--------------|--------|-------|
| Normativo | 4 | 4 |
| Instrumental | 3 | 3 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 12 - Cobertura das políticas na dimensão institucional

| Dimensão | Política | ODS considerados | ODS reconhecidos | Cobertura (%) |
|---------------|----------|------------------|------------------|---------------|
| Institucional | PNHBC | 1 | 1 | 100 |
| | PEHV | 1 | 1 | 100 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

As políticas reforçam o ODS 17 ao enfatizarem a cooperação internacional para o avanço do H2V, por meio do incentivo à pesquisa, intercâmbio tecnológico e atração de investimentos. No entanto, carecem de mecanismos eficazes para fortalecer capacidades locais, o que pode gerar dependência externa e limitar a autonomia nacional. A ênfase na exportação, sem diretrizes claras para equilibrar interesses internos, pode comprometer a transição energética doméstica.

Iniciativas da PNHBC, como o PHBC e o Rehidro, ampliam a cooperação técnico-científica e a integração de setores estratégicos, mas exigem salvaguardas para evitar desvio de recursos de áreas prioritárias (como saúde e educação) e para garantir transparência e controle social nas parcerias, prevenindo renúncias fiscais sem contrapartidas socioambientais, o que não ocorre no desenho da política.

Como demonstrado pelas análises realizadas, as políticas apostam fortemente na atração de investimentos e tecnologias estrangeiras para consolidar essa cadeia produtiva. Se, por um lado, são fatores que podem acelerar o desenvolvimento e a implantação do setor no país, por outro, esse arranjo contém riscos significativos para uma transição energética soberana e justa.

A simples oferta de incentivos às indústrias estrangeiras não garante a internalização de tecnologia, leva à dependência externa e não assegura uma distribuição equânime dos benefícios socioeconômicos e ambientais às comunidades locais, ampliando assim a vulnerabilidade do país e de seus territórios a pressões externas e assimetrias no desenvolvimento dessa cadeia produtiva. Tal arranjo poderia replicar o padrão histórico de exploração de recursos naturais e *commodities* no país, promovendo uma lógica de “exportação de energia e de insumos de baixo valor agregado” enquanto aumenta a vulnerabilidade interna e não conduz à transformação do aparato produtivo e tecnológico nacional. Há o risco de uma nova rodada de dependência e assimetrias nas relações

econômicas internacionais, sob o pretexto da transição energética global.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo avaliou a aderência da PNHBC e da PEHV aos ODS, examinando em que medida seus objetivos e instrumentos incorporam as temáticas propostas pela Agenda 2030. Os resultados apontam para uma orientação econômica e tecnológica de ambas as políticas, destacando-se o alinhamento aos ODS 9 e ODS 13. Entretanto, essa orientação é realizada em detrimento de princípios de justiça socioambiental, com a distribuição de benefícios socioeconômicos e ambientais, assim como uma equanimidade nos potenciais impactos negativos.

A dimensão social, como exemplo, é pouco abordada pelas políticas, sendo insuficientes, ou até mesmo ausentes, os elementos voltados à redução de vulnerabilidades e inclusão da população. Por sua vez, na dimensão ambiental, há um foco grande das políticas na redução de emissões de GEE, enquanto negligenciam possíveis outros riscos trazidos pela indústria, como a degradação de habitats naturais e esgotamento e poluição de corpos d'água e os conflitos por uso da terra. Já a dimensão institucional apresenta conexões relevantes, mas carece de mecanismos efetivos para fortalecimento de capacidades locais e autonomia tecnológica.

Em adição, a estratégia utilizada para implantação da indústria, baseada na atração de investimentos e na exportação do H2V prioritariamente, gera trade-offs significativos em todas as dimensões dos ODS, inclusive a econômica. Ainda que promova descarbonização, os benefícios ambientais gerados pelo H2V tendem a ser aproveitados externamente, enquanto os custos recaem internamente, como pressões sobre infraestrutura, ausência de empregos qualificados, pouca adição em renda local e impactos desiguais sobre territórios que sediam os empreendimentos. Sem exigências de salvaguardas, essa política corre o risco de reforçar um padrão de crescimento desigual e insustentável, sob uma roupagem “verde”.

Por fim, para que a transição do H2V contribua de fato para os ODS, é essencial qualificar a implementação das políticas vigentes, estabelecendo instrumentos que internalizem os benefícios gerados pela indústria. Recomenda-se incorporar salvaguardas socioambientais, estabelecer critérios de justiça distributiva e condicionar os incentivos públicos à geração de emprego e renda locais, ao uso de soluções com menor impacto ambiental e atribuir prioridade às tecnologias desenvolvidas no país, de modo a fortalecer o campo de pesquisa e desenvolvimento de forma estratégica. Cabe ressaltar que este trabalho se limita à análise das disposições normativas e instrumentais contidas nos textos da legislação nacional e estadual. Estudos complementares poderão aprofundar a análise no nível “prático”, investigando quais são os impactos concretos da implantação da indústria.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio institucional da Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP), por meio do Edital FUSP Mudanças Climáticas, ao projeto registrado sob o número P 4324. Esta pesquisa também contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio da bolsa de doutorado concedida (processo nº 141292/2025-3), e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), com a concessão de bolsa de mestrado (processo nº 88887.142256/2025-00).

REFERÊNCIAS

AKHTAR, M. S. *et al.* Green hydrogen and sustainable development – A social LCA perspective highlighting social hotspots and geopolitical implications of the future hydrogen economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 395, abr.2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136438>. Acesso em: 28 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.948, de 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 nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e 9.478, de 6 de agosto de 1997. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília: DF, 2 ago. 2024a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14948.htm. Acesso em: 29 maio 2025.

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. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 27 set. 2024b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14990.htm. Acesso em: 29 maio 2025.

CAIAFA, Clara Rabelo *et al.* Can green hydrogen exports contribute to regional economic development? Exploring scenarios from the Dutch-Brazilian green hydrogen corridor for the State of Ceará. Vienna: Austrian Institute of Economic Research (WIFO), 2023. **WIFO Working Papers**, n. 667. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/wfo/wpaper/y2023i667.html>. Acesso em: 23 jun. 2025.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). **Farol da economia cearense: nº 04/2024**. Fortaleza: IPECE, 2024. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2025/01/farol_da_economia_cearense_n042024.pdf. Acesso em: 23 jun. 2025.

CEARÁ. **Decreto nº 34.733, de 12 de maio de 2022**. Institui o Plano Estadual de Transição Energética Justa do Ceará – Ceará Verde, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Ceará, Poder Executivo, Fortaleza, CE, 12 maio 2022. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/ce/decreto-n-34733-2022-ceara-institui-o-plano-estadual-de-transicao-energetica-justa-do-ceara-ceara-verde-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 4

jul. 2025.

CEARÁ. **Lei nº 18.459, de 4 de outubro de 2023**. Institui a Política Estadual do Hidrogênio Verde, Sustentável e seus Derivados no âmbito do Estado do Ceará. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, CE, 5 out. 2023. Disponível em: <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/meio-ambiente-e-desenvolvimento-do-semiarido/item/8476-lei-n-18-459-de-07-09-23-d-o-11-09-23>. Acesso em: 29 maio 2025.

CHACON, Suely Salgueiro; NASCIMENTO, Verônica Salgueiro do. Para além do (pré)conceito e do discurso: proposta de avaliação de políticas públicas com base na sustentabilidade. **Revista Aval**, Fortaleza, v. 4, n. 18, p. 62–87, jul./dez. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58750>. Acesso em: 23 maio 2025.

CHANTRE, Caroline *et al.* Hydrogen economy development in Brazil: An analysis of stakeholders' perception. **Sustainable Production and Consumption**, v. 34, p. 26–41, ago. 2022. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.028>. Acesso em: 23 maio 2025.

OLIVEIRA, Rosana Cavalcante de. **Panorama do hidrogênio no Brasil**. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2022. p. 1–61. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf. Acesso em: 28 maio 2025.

EPE. **Balanco Energético Nacional - Relatório Síntese 2025: ano base 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>. Acesso em: 01 jul. 2025.

GORAYEB, Adryane *et al.* Wind power gone bad: Critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy Research & Social Science**, [s. l.], v. 40, p. 82–88, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.11.027>. Acesso em: 04 jul. 2025.

GORAYEB, Adryane *et al.* Análise multicritério de parques eólicos onshore e offshore no Ceará: em foco as comunidades tradicionais litorâneas. **Revista Mutirão**, Recife, v. 3, n. 2, p. 32–60. 2022. DOI: <https://doi.org/10.51359/2675-3472.2022.253079>. Acesso em: 05 jul. 2025.

IEA. **Global Hydrogen Review 2024**. [s.l.]: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>. Acesso em: 01 jun. 2025.

IBGE. **Censo Agro 2017: Resultados Definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acesso em: 01 jul. 2025.

IPCC. Poverty, livelihoods and sustainable development. In: **CLIMATE CHANGE 2022 – impacts, adaptation and vulnerability**: Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2023. p. 1171–1284. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.010>. Acesso em: 28 maio 2025.

KALT, Tobias; TUNN, Johanna. Shipping the sunshine? A critical research agenda on the global hydrogen transition. **GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society**, [s.l.], v. 31, n. 2, p. 72–76, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.14512/gaia.31.2.2>. Acesso em: 30 maio 2025.

LILJENFELDT, Johanna; PETTERSSON, Örjan. Distributional justice in Swedish wind power development – An odds ratio analysis of windmill localization and local residents' socio-economic characteristics. **Energy Policy**, [s.l.], v. 105, p. 648-657, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.007>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MAIA, Fernando Joaquim Ferreira *et al.* **Problemas jurídicos, econômicos e socioambientais da energia eólica no Nordeste brasileiro**. 1. ed. Recife: EDUFRPE, 2023.

MARTINS, Flavio Pinheiro *et al.* Hydrogen and the sustainable development goals: synergies and trade-offs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 204, out. 2024. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2024.114796>. Acesso em: 29 maio 2025.

PNUD; IPEA; FJP. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Brasília, DF: PNUD, IPEA, FJP, 2022. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SHEN, Haiping *et al.* Environmental and climate impacts of a large-scale deployment of green hydrogen in Europe. **Energy and Climate Change**, v. 5, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2024.100133>. Acesso em: 07 jul. 2025.

TOMAZ, Paula Alves; SANTOS, Jader de Oliveira; JEPSON, Wendy. Household water insecurity and social vulnerability in the municipal context of the semi-arid region of Ceará. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 35, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-69988x>. Acesso em: 23 jun. 2025.

TUNN, Johanna *et al.* Green hydrogen transitions deepen socioecological risks and extractivist patterns: evidence from 28 prospective exporting countries in the Global South. **Energy Research & Social Science**, v. 117, nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103731>. Acesso em: 27 jun. 2025.

ODENWELLER, Adrian; UECKERDT, Falko. The green hydrogen ambition and implementation gap. **Nature Energy**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 110-123, 14 jan. 2025. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41560-024-01684-7>. Acesso em: 30 maio 2025.

PEYERL, Drielli; ZWAAN, Bob van Der. Analyzing the green hydrogen value chain against the sustainable development goals. **Discover Sustainability**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 1-2, 16 ago. 2024. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s43621-024-00374-4>. Acesso em: 01 jun. 2025.

STRELKOVSKII, Nikita; KOMENDANTOVA, Nadejda. Integration of UN sustainable development goals in national hydrogen strategies: a text analysis approach. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s.l.], v. 102, p. 1282-1294, fev. 2025. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.01.134>. Acesso em: 01 jun. 2025.

WEIDNER, Till; TULUS, Victor; GUILLÉN-GOSÁLBEZ, Gonzalo. Environmental sustainability assessment of large-scale hydrogen production using prospective life cycle analysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s.l.], v. 48, n. 22, p. 8310-8327, mar. 2023. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.044>. Acesso em: 01 jun. 2025.