



## **Impactos na Indústria de Petróleo na Transição Energética à Economia do Hidrogênio de Baixo Carbono**

BATISTA, Carlos<sup>1</sup>; MUNIZ, Pablo<sup>2</sup>.

carlos@evolluti.com.br; pablorm@ifes.edu.br

<sup>1</sup>Mestrando em Eficiência Energética, Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vitória, Vitória-ES.

<sup>2</sup>Doutor em Engenharia Industrial, Prof. Titular do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vitória, Vitória-ES

### **Informações do Artigo**

Palavras-chave: (3)  
Hidrogênio de Baixa  
Emissão de Carbono  
Eficiência Energética  
Transição Energética  
Descarbonização

### **Resumo:**

*Nos últimos dois séculos verificou-se que a interferência humana sobre o planeta Terra proporcionou um desequilíbrio ambiental causador de eventos climáticos extremos originados por gases de efeito estufa (GEEs). Uma vez que os combustíveis fósseis são as principais fontes emissoras destes gases, estudos estão concentrados em apresentar o Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (BEC) como substituto do carvão e dos derivados de petróleo na matriz energética mundial. A entrada em operação da cadeia econômica do hidrogênio irá apresentar riscos e oportunidades para o seguimento de óleo e gás, o qual, em virtude de seu histórico de enfrentamento aos desafios, pode permanecer como líder no cenário energético nacional e mundial por apresentar os requisitos técnicos, humanos e financeiros necessários para participar com protagonismo deste momento energético. Conclui-se do texto que a participação das empresas de O&G, além de proporcionar oportunidades para as próprias corporações, poderão apresentar melhores condições sociais à comunidade envolvida no processo de produção do hidrogênio.*

### **Abstract**

*Over the last two centuries, it has been observed that human interference on planet Earth has led to an environmental imbalance that has caused extreme weather events caused by greenhouse gases (GHGs). Since fossil fuels are the main sources of these gases, studies are focusing on presenting Low Carbon Hydrogen (LCE) as a fuel to replace coal and petroleum derivatives in the global energy matrix. The entry into operation of the hydrogen economic chain will present risks and opportunities for the oil and gas sector, which, due to its history of overcoming challenges, can remain a leader in the national and global energy scenario by presenting the technical, human and financial requirements necessary to participate with protagonism in this energy moment. The text concludes that the participation of O&G companies, in addition to providing opportunities for the corporations themselves, may provide better social conditions for the community involved in the green hydrogen production process based on the experiences lived with the development resulting from the oil industry.*

## 1. Introdução

Ao longo de sua existência, a humanidade passou por processos fundamentais de aprendizado para a formação da sociedade mundial atual. A primeira grande transformação foi a passagem do nomadismo para o sedentarismo, quando o homem conquistou o espaço ao seu redor e começou a construir residências, abrir estradas, desmatar florestas para realizar plantações e inúmeras outras atividades [1].

Desde então a dominação humana sobre o meio ambiente sempre cresceu a ponto de, em cerca de 250 anos de industrialização [2], estarmos sob o risco de sofrermos com eventos catastróficos, como perdas de ecossistemas completos e da capacidade de cultivo de culturas básicas, “com impactos sociais que incluem deslocamentos em massa, instabilidade política e colapso financeiro” [3]. Durante a 28ª Conferência do Clima da ONU (COP-28) ocorreu a apresentação do Global Tipping Points – Report 2023 (GTPR-2023), o qual apresentou à comunidade os Pontos de Não Retorno [3], limiares críticos do sistema climático, a partir dos quais as mudanças ocorridas no ecossistema tornam-se irreversíveis, levando a transformações qualitativas no modo de vida de todo o planeta. O documento foi esclarecedor no que diz respeito à necessidade de ações urgentes e ambiciosas que precisam ser realizadas para impedir o alcance dos pontos de não retorno. Tais ações devem ter como objetivo a redução, e até a eliminação, das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Os GEE (greenhouse gases – GHG), conforme lecionado por [4], “são aqueles gases que têm a propriedade de reter calor na atmosfera terrestre”. Os principais gases de efeito estufa, além do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), são o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) – todos de origem natural – e os gases fluorados, de origem industrial.

A Figura 1 apresenta a evolução das emissões de GEE entre os anos de 1990 até 2019. Neste período percebeu-se um aumento total de 50% nas emissões, reflexo do incremento da industrialização mundial a qual tem como

principal elemento motriz os combustíveis fósseis.

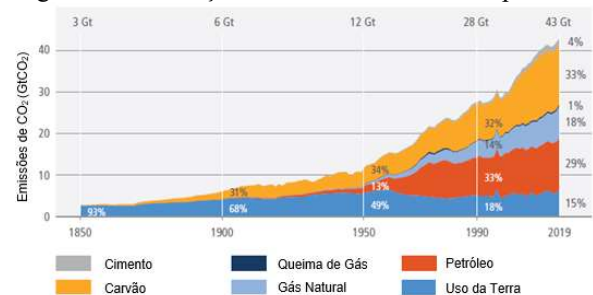
Figura 1 – Evolução das Emissões de GEEs



Fonte: [5]

A Figura 2 representa a evolução das emissões equivalentes de dióxido de carbono por tipo de fonte ao longo dos anos. A partir do ano 1900 tem-se uma elevada e contínua presença da utilização do carvão na matriz energética mundial e, a partir dos anos 1940, a mesma evolução referente à utilização de petróleo e seus derivados.

Figura 2 – Evolução das Emissões de CO<sub>2</sub> por Fonte



Fonte: [5]

Em função desse cenário a economia do hidrogênio (H<sub>2</sub>) está em desenvolvimento e se tornou assunto central nas discussões do setor energético, principalmente nas respostas de longo prazo, em função da redução de seus custos, convergência com objetivos nacionais de descarbonização e diversidades de usos [6]. Deste modo, de acordo com a matriz energética dos países, espera-se que o H<sub>2</sub> tenha condições de desempenhar, em maior ou menor grau, um papel fundamental na transição energética mundial:

- Integrando as fontes de energias renováveis à geração de energia para uso final;
- Distribuindo a energia entre regiões;
- Aumentando a resiliência do sistema energético;

- d. Descarbonizando o sistema de transporte;
- e. Descarbonizando o uso da energia na indústria e o fornecimento de energia elétrica e calor nas edificações;

Através dos pontos supracitados é possível verificar que o hidrogênio, combustível não poluente, disponível por todo o planeta e com os processos de produção dominados, veio para disputar consumidores com o petróleo e seus derivados: combustível fóssil, poluente e *commodity* controlada por determinadas estruturas privadas.

Neste ponto é de fácil constatação que impactos negativos sobre a indústria do petróleo poderão ocorrer, assim como oportunidades poderão surgir. Parte do processo de descarbonização da atmosfera ocorrerá por redução nas emissões de GEEs provenientes dos motores de automóveis, caminhões, navios e aviões pela substituição de combustível derivado de petróleo por combustível de baixa, ou nenhuma, emissão de carbono. Assim, o objetivo deste texto é apresentar as oportunidades de novos negócios e os desafios que serão apresentados à indústria de óleo e gás em um ambiente onde os seus atuais produtos tenham o hidrogênio de baixa emissão de carbono como um concorrente direto.

## 2. Contextualização

### 2.1. Breve histórico da indústria do petróleo no Brasil

A primeira citação referente à exploração de petróleo no Brasil data de 1864, quando a primeira permissão para um empreendimento prospectar petróleo para fins comerciais foi concedida pelo Governo Imperial. Esta concessão ocorreu em Camamu e Ilhéus, Província da Bahia e o seu objetivo era localizar óleo para ser utilizado em iluminação em substituição aos derivados de carvão e os óleos de origem animal [7].

Nos anos seguintes outros pontos de exploração foram iniciados, mas sem sucesso. Após a Proclamação da República e com a

Constituição de 1891, esperava-se um crescimento da exploração de petróleo, algo semelhante ao que ocorreu nos Estados Unidos, mas não foi este o resultado. Acreditava-se que o baixo consumo do combustível no Brasil naquele período (1.100 barris/dia) não motivou os empresários em se aventurarem neste novo setor [7].

Em 1927, o então adido comercial brasileiro nos Estados Unidos, Monteiro Lobato, retorna ao Brasil após conhecer os avanços da indústria do Petróleo naquele país e com o conhecimento adquirido emite a ordem de criação da Companhia de Petróleo do Brasil, com venda de parte de suas ações na bolsa de valores [8]. Entre 1930 e 1953 o Brasil alternou políticas que permitiam a exploração de petróleo pelo setor privado, nacional e internacional, e momentos de controle estatal total. Quando, em 1953, é instituída pelo Presidente Getúlio Vargas a empresa Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobrás S.A., monopólio estatal responsável por pesquisa, exploração, refino e transporte de petróleo [8].

Em função do déficit tecnológico e da falta de recursos técnicos, a Petrobras contrata em 1955 o geólogo Walter K. Link, profissional com experiência em prospecção e exploração da Standard Oil (EUA), quem liderou uma campanha de treinamentos e capacitação na empresa. Após a fase de qualificação, iniciaram-se estudos prospectivos ao longo da costa brasileira, verificando-se que o Brasil apresentava um perfil marítimo para a exploração de petróleo. Apesar do desafio apresentado, a Petrobras inicia em meados da década de 1960 a exploração marítima de petróleo aplicando técnicas anteriormente experimentadas na Califórnia e no Golfo do México [8]. O resultado motivador fez com que a empresa, em 1966, encomendasse a primeira plataforma autoelevável no Brasil, a Petrobras I, com o objetivo de operar em profundidade de 30 m no primeiro campo de petróleo na plataforma continental no litoral de Sergipe.

A este sucesso, seguiram-se outros. Prospecções pelas costas dos estados de

Alagoas, Rio Grande do Norte e Ceará apresentaram resultados animadores [9]. Em 1968 as campanhas de exploração chegaram ao litoral do Rio de Janeiro, onde foi localizado o Campo de Garoupa, na Bacia de Campos, ambiente no qual a Petrobras desempenhou suas maiores ações exploratórias em função dos desafios e oportunidades que surgiram.

A partir da década de 1970, em especial após a crise do petróleo em 1973 [10], houve uma grande expansão dos negócios da Petrobras com o objetivo de minimizar a dependência do óleo proveniente de outros países. Refinarias foram projetadas, linhas de dutos subterrâneos e marítimos interligando unidades de processo foram construídas e embarcações de apoio foram desenvolvidas ao longo do território brasileiro [10].

No mesmo período, o Governo Federal desenvolve o PROALCOOL. Programa com o objetivo de desenvolver um combustível alternativo à gasolina para minimizar a dependência de outros países. Uma vez que o etanol era proveniente da cana-de-açúcar, todo o conhecimento necessário para a sua produção estava sob o controle nacional. Surge assim uma opção à gasolina como elemento motriz da malha rodoviária brasileira e com menos impacto ambiental [11].

O fim do monopólio no setor petrolífero ocorreu em 1997. A denominada Lei do Petróleo proporcionou a entrada de empresas privadas nacionais e internacionais em toda cadeia petrolífera, incluindo pesquisa, exploração e comercialização de petróleo e seus derivados. A mesma normativa que flexibilizou o monopólio estatal do petróleo, criou o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP), órgãos responsáveis pela definição das estratégias energéticas nacionais e pela concessão de blocos exploratórios [11]. Atualmente existem mais de 50 empresas operando os processos que envolvem a cadeia de óleo e gás por todo o Brasil. A Tabela 1 apresenta uma das maiores produtoras de óleo e gás e a sua atividade no mês de agosto de 2024.

Tabela 1 – Produção de O&G por Operador

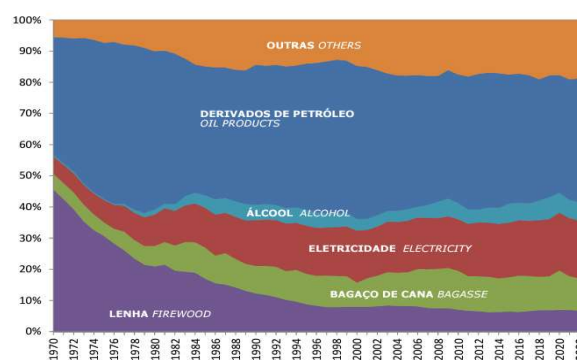
Ordem	Operador	Produção Total (boe/d)
1	PETROBRAS	3.876.025
2	EQUINOR BRASIL	3.072
3	PETRO RIO JAGUAR	67.420
4	TOTALENERGIES EP	55.758
5	ENEVA	43.756

Fonte: ANP (2024) [12]

Atualmente, 75,5% da produção total de óleo e gás tem origem nas áreas de produção do Pré-sal [12]. As descobertas das jazidas desta camada geológica datam de 2006 e corresponderam a um grande desafio de prospecção e exploração. Com poços localizados em pontos com mais de 2.000 m de lâmina d'água e mais de 5.000 m de perfuração, a operação destes locais requisitou recursos, projetos e equipamentos especiais, transformando o Brasil em líder na exploração e produção em águas profundas e ultraprofundas [11].

A Figura 4 apresenta o consumo de combustíveis no Brasil desde os anos 1970 de acordo como tipo de uso final. É possível verificar que o quantitativo energético a partir de derivados de petróleo é significativo, em

Figura 4 – Consumo Final de Combustível por Fonte



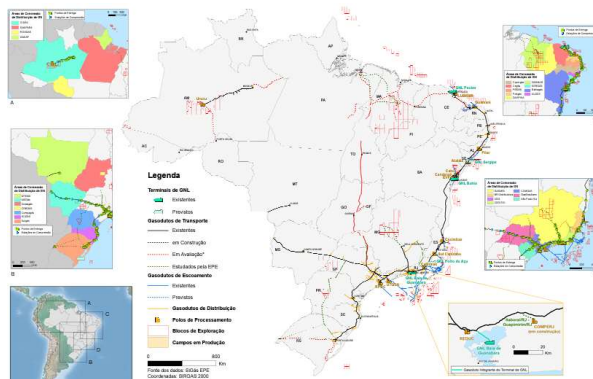
Fonte: [13]

torno de 45%, com participação praticamente constante nesse período. Somam-se a estes os valores referentes à utilização de carvão mineral (1%), coque de carvão mineral (3%) e carvão vegetal (1%) [13]. Deste modo, uma vez operacional, as tecnologias de baixa

emissão de carbono possuem o desafio de ganhar 50% do mercado energético brasileiro, proporcionando significativas reduções de gases de efeito estufa.

Apesar de não apresentar capilaridade interiorana, a rede de oleodutos e gasodutos existente no Brasil não pode ser ignorada. Apresentando uma cobertura litorânea significativa, a malha de dutos brasileira possui cerca de 50.000 km, divididos em 9.400 km de malha dutoviária e 41.500 km referentes à malha de distribuição. A Figura 5 apresenta uma imagem com a distribuição da malha de dutos pelo Brasil [14].

Figura 5 – Malha de gasodutos brasileira



Fonte: [14]

## 2.2. Histórico do desenvolvimento da Indústria do Hidrogênio no Brasil

O desenvolvimento da indústria do hidrogênio é recente no Brasil. Conforme o Programa Nacional do Hidrogênio, o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação implementou o Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH), em 1998. Seu objetivo inicial era “organizar e promover ações de pesquisa e desenvolvimento tecnológico” [15]. Em 2002 teve início o Programa Brasileiro de Células a Combustível (ProCaC), o qual contou com a participação de centros de pesquisa e entes da iniciativa privada.

Em 2005, foi organizado o Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio, sob coordenação do Ministério de Minas e Energia

[16]. De acordo com o documento metas de desempenho seriam estabelecidas para o horizonte de 20 anos que deveriam sinalizar as rotas tecnológicas mais vantajosas ao Brasil, a participação do Gás Natural (GN) durante a transição até o predomínio das tecnologias do hidrogênio e difundir a nova tecnologia em mercados de geração distribuída. Todavia, em função dos deslocamentos das verbas para os programas referentes à exploração de petróleo no pré-sal, as atividades de desenvolvimento do hidrogênio foram interrompidas.

A partir de 2018 o hidrogênio, como recurso energético, volta a fazer parte do planejamento do Estado com o Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis. Em 2020, O Plano Nacional de Energia 2050 (PNE) apresentou o hidrogênio como “uma tecnologia disruptiva e como elemento de interesse no contexto da descarbonização da matriz energética” [16].

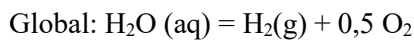
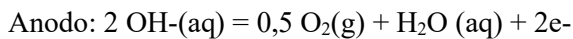
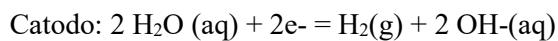
A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, publica em 2021 as “Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio” o que vem a ser o novo caminho a ser trilhado para o desenvolvimento deste recurso como fonte energética. Neste documento é apresentado o panorama do mercado mundial, rotas de produção, investimentos, desafios e o papel do hidrogênio na transição energética para uma economia descarbonizada. Tal documento “buscou consolidar aspectos conceituais e fundamentais para subsidiar a construção da estratégia brasileira de hidrogênio” [17].

O Programa Nacional do Hidrogênio foi apresentado em 2021 com o objetivo de proporcionar ao Brasil desenvolver-se de forma sustentável e “aumentar a competitividade e a participação do hidrogênio na matriz energética nacional” [18]. O documento propôs ações a serem desenvolvidas e distribuídas em um plano trienal com o foco em fortalecer as bases tecnológicas, desenvolvimento de recursos humanos, planejamento energético, arcabouço legal e regulatório e neindustrialização, mercado e competitividade [18].

A instituição do marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono em agosto de 2024 manifesta o interesse estatal em desenvolver esta tecnologia. Com o objetivo de instituir incentivos e criar o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC), tal normativa também surge a fim de proporcionar estabilidade e segurança ao setor que está em estado inicial [19].

### 3. Métodos de Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono

A tecnologia mais adequada para a geração de hidrogênio de baixa emissão de carbono é a eletrólise a partir de fontes fotovoltaicas e eólicas [20]. Neste processo, a separação do hidrogênio e do oxigênio da molécula da água ocorre em função de um fluxo de corrente elétrica contínua através de eletrodos (catodo e anodo) imersos em uma solução aquosa alcalina em temperatura ambiente. Conforme ensinado por [20] “entre os eletrodos, existe uma membrana para a separação dos gases e migração dos elétrons na forma iônica carregada negativamente”. As reações eletroquímicas que governam o processo de eletrólise alcalina da água são apresentadas abaixo:



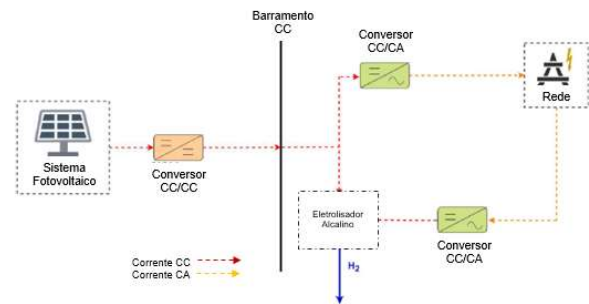
O processo de eletrólise que utiliza uma membrana trocadora de prótons (PEM) tem por princípio a condução de prótons do ânodo ao cátodo e o bloqueio à passagem de elétrons.

Atualmente, segundo [20], “encontra-se em desenvolvimento uma variante dos eletrolisadores PEM que utiliza membranas trocadoras de ânions OH<sup>-</sup> (AEM), que diferentemente da tecnologia anterior, não utiliza catalisadores com metais nobres”. Estas duas tecnologias apresentam a vantagem de proporcionar uma resposta rápida às flutuações

de corrente observadas na geração de energia elétrica com fontes renováveis intermitentes [20].

A Figura 6 ilustra o processo de eletrólise a partir de um sistema fotovoltaico para a produção de hidrogênio. A luz do Sol, como fonte primária de energia, tem vantagem sobre as demais por apresentar um menor custo [21].

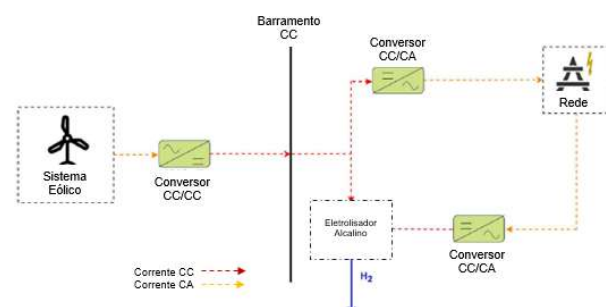
Figura 6 – Diagrama esquemático para a produção de H<sub>2</sub> por fonte fotovoltaica de energia



Fonte: [21]

A produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono a partir de fontes de energia eólica é similar ao processo utilizado pelos sistemas fotovoltaicos. A diferença está na forma de se obter a corrente elétrica para a realização da eletrólise da água. Na Figura 7 [21] nos apresenta o diagrama de produção de H<sub>2</sub> a partir de uma fonte eólica. Com a rotação da turbina eólica a corrente elétrica produzida é direcionada a um conversor e deste para uma unidade de eletrólise, ocasionando a quebra das moléculas de água em gás oxigênio e gás hidrogênio [21].

Figura 7 – Diagrama esquemático para a produção de H<sub>2</sub> por fonte eólica de energia



Fonte: [21]

## 4. Cenários Socioeconômicos

O conhecimento dos cenários socioeconômicos proporciona obter informações sobre as realidades nacionais e avaliar os impactos da inserção de uma nova tecnologia nesse ambiente

### 4.1. Impactos Socioeconômicos

São apresentados alguns planejamentos energéticos nacionais levando-se em consideração a importância do hidrogênio de baixa emissão de carbono: O Marrocos com perfil exportador de hidrogênio de baixa emissão de carbono; A Alemanha, país desenvolvedor de tecnologia e perfil importador; e o Estados Unidos da América como país com grande representatividade da indústria de óleo e gás.

#### 4.1.1. Caso Marrocos

Países europeus buscam no hidrogênio um combustível para solucionar dois problemas regionais diretamente conectados ao uso de combustíveis fósseis: A ameaça ao meio ambiente e a vulnerabilidade e dependência de países fornecedores de óleo e gás [22]. Assim, tornou-se vital desenvolver um combustível adequado para substituir os combustíveis derivados de petróleo.

Uma vez que a Europa não apresenta as condições climáticas ideais para a produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono, parte destes recursos deverá ser importado. Assim surge o Marrocos, país do norte da África com condições muito interessantes para a produção do combustível [22]. A localização geográfica do país proporciona condições muito favoráveis para a geração de energia a partir de fonte solar e eólica. Em função destes fatores a União Europeia escolheu o Marrocos, junto com o Egito, a compor uma das três rotas de importações de hidrogênio. Apesar desta riqueza de recursos, 68% de seus insumos energéticos são produzidos a partir de combustíveis fósseis importados [22]. Apesar desta contradição, o Marrocos pretende

transformar-se e um *hub* energético e exportar 10 TWh de energia elétrica até 2030, 115 TWh até e 2050 e 20 TWh para utilização local [22]. Verifica-se neste contexto a plena valorização do mercado internacional em detrimento dos compromissos sociais e ambientais uma vez que não há previsão na redução do consumo dos combustíveis fósseis, mantendo-se assim, questões ambientais e sociais em segundo plano [22].

Outro ponto a favor do país africano é o acordo celebrado com o governo alemão. A Parceria Energética Germânica Marroquina (German Moroccan Energy Partnership - PARMA) assinada em 2020 estabeleceu uma relação ativa entre os dois países para promover o hidrogênio de baixa emissão de carbono e criar um planejamento até 2050 para o desenvolvimento do setor no Marrocos. O acordo prevê o investimento de € 300 milhões na industrialização do setor energético marroquino com a condição de permitir ao Estado alemão acesso a este recurso no futuro [23].

Deve-se atentar que, para a construção deste poderio energético, o Marrocos deverá disponibilizar seus recursos naturais para a instalação das unidades operacionais. Neste caso, em especial, a utilização de água doce para o processo de eletrólise. De forma similar à redução de sua capacidade hídrica, o uso da terra também deverá ser avaliado. Usinas fotovoltaicas e eólicas utilizam dimensões de terra significativas para a sua implantação. A disponibilização desses recursos para a manutenção de contratos realizados com outros países deve ser equilibrado com as condições de manutenção da vida pelos habitantes locais [23].

#### 4.1.2. Caso Alemanha

A Alemanha assumiu um compromisso, interno e externo, em liderar a transição energética para uma economia de baixo carbono. Assim, planeja-se uma grande penetração de fontes renováveis de energia a partir do mercado externo em sua matriz energética em detrimento da dependência de

recursos emissores de GEE [24]. Este cenário é resultado do mínimo potencial energético proveniente de recursos renováveis disponíveis no país. Assim, em função da ambiciosa meta de até 2045 alcançar a neutralidade de emissão de gases de efeito estufa e minimizar a atual dependência dos combustíveis fósseis, o Estado Alemão recorreu a convênios e acordos para suprir suas necessidades.

No Âmbito da cooperação com fins de desenvolvimento da economia do hidrogênio com baixa emissão de carbono ao redor do mundo, a Alemanha apoia o estabelecimento de indústrias de H<sub>2</sub> no Brasil, África do Sul, Argélia, Marrocos, Namíbia e Tunísia [25]. A Alemanha busca ser líder mundial detentora da tecnologia do mercado do hidrogênio e usufruir das benesses de desenvolver um ambiente sem emissão de carbono ao custo de desenvolver os pátios industriais em países parceiros [25].

As consequências geopolíticas desta opção pelo governo alemão não podem ser ignoradas em função da extrema necessidade dos recursos energéticos provenientes de outras nações. Apenas da Rússia, a Alemanha importou 34% de óleo bruto e 40% do gás natural consumido no país em 2022 [26]. Assim, além das questões ambientais e sociais, aspectos geopolíticos fazem parte da opção germânica pelo aprimoramento da economia do hidrogênio [26]. O país irá trocar a sua atual dependência energética de países com níveis de instabilidade significativa (em função de guerras e concentração de influência sobre as *commodities*) pela liderança e hegemonia em um novo mercado energético.

#### 4.1.3. Caso Estados Unidos

O avanço do desenvolvimento da economia do hidrogênio está muito atrasado quando comparado com países europeus e asiáticos [27]. Assim como em qualquer parte do mundo, a ausência de normatização governamental, tecnologia incipiente e as próprias dificuldades dos processos são também obstáculos no Estados Unidos da

América. Questões ambientais e referentes às políticas internacionais deverão servir de propulsores para o desenvolvimento desta tecnologia, o que inclui ações de descarbonização e incentivos ao desenvolvimento de fontes renováveis. Além destes pontos, surge a necessidade de redução e eliminação dos subsídios direcionados para a indústria de óleo e gás, o que poderá ser um transtorno em função da grande penetração econômica e política que este setor possui no país [27]. Uma redução gradual nos subsídios aos combustíveis fósseis poderia ajudar ao desenvolvimento do H<sub>2</sub> como recurso energético, permitindo que suas tecnologias “superem as barreiras econômicas e ajudem a revelar os verdadeiros custos dos combustíveis fósseis” [27].

O Estados Unidos não possui políticas públicas para o desenvolvimento das tecnologias referentes ao hidrogênio de baixa emissão de carbono [27]. Em relação às questões normativas, O Department of Energy (DOE) definiu o Plano do Programa H<sub>2</sub> e estabeleceu as bases para a expansão do hidrogênio verde. Este planejamento terá como objetivo apresentar o arcabouço legal referente a códigos e padrões regulatórios que darão suporte à implementação de sistemas de células de combustível (estacionárias e portáteis), veículos à hidrogênio e infraestrutura necessária [27].

Lembra-nos [28] que o avanço de novas tecnologias pode ser facilitado, dificultado, ou mesmo interrompido, em função do apoio público. Assim, salienta que a escolha pela utilização de energia limpa requer que o seu “acesso seja tão fácil como a utilização de gasolina, eletricidade ou gás natural” [28]. Além disso, a conexão da utilização do hidrogênio com tragédias (dirigível Hindenburg) e sua conexão com armamentos (bomba H) podem levar a sociedade a rejeitar a utilização do hidrogênio como recurso energético [28]. Desta forma, a percepção da comunidade de o hidrogênio apresentar vulnerabilidades pode ser uma barreira para a sua utilização em função da suspeita de

insegurança devido à percepção de riscos em postos de abastecimento.

#### **4.2. Oportunidades de Negócios para o Setor de Óleo e Gás no Brasil**

Em um primeiro momento o processo de transição energética mundial para a economia de baixo carbono surge como um risco para as empresas de óleo e gás, uma vez que seus produtos e derivados são emissores de gases de efeito estufa. Este risco é real e, em um cenário de substituição total de derivados de petróleo pelo hidrogênio, é forte a tendência de grandes perdas econômicas para as empresas do referido setor. Todavia, oportunidades existem [29]. A infraestrutura de transporte, estocagem, recursos financeiros, técnicos e humanos proporcionam condições para a indústria de óleo e gás participar da transição energética em vigor como forma de aprimorar seus negócios, desenvolver tecnologia e manter a sua posição de liderança no cenário energético nacional e mundial.

O armazenamento de hidrogênio tem um aspecto fundamental para o desenvolvimento de sua economia, uma vez que a intermitência das fontes eólicas e solar é o principal aspecto para a utilização de usinas térmicas movidas a GN em momentos de condições hídricas negativas [30]. Assim, surge como uma solução o armazenamento geológico de hidrogênio em campos de gás *offshore* em declínio de produção [30]. As tecnologias para a compressão ou bombeamento de produtos para os campos esgotados não é uma novidade. O bombeamento de água de formação e a compressão de CO<sub>2</sub> para pressurização das jazidas em declínio e proporcionar um maior tempo de atividade para o poço de exploração é uma atividade comum no meio *offshore*. A questão a ser respondida é no tocante à seleção do reservatório geológico a ser utilizado para o armazenamento do hidrogênio, uma vez que a diferença entre a estocagem de H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> é o fato de o primeiro necessitar de um armazenamento de curto prazo e o segundo de prazo indeterminado.

Uma segunda alternativa às empresas de óleo e gás para o armazenamento de H<sub>2</sub> seria a sua combinação com um segundo produto. A sua aplicação consiste em armazenar o hidrogênio combinado com um segundo produto sendo este de características orgânica e líquido à temperatura ambiente. O Metilciclohexano é um composto que atende aos requisitos. Através de uma reação catalítica, o hidrogênio presente no composto é desassociado e utilizado como combustível. O sistema MTH (Metilciclohexano-Tolueno-Hidrogênio) apresenta estado líquido em temperatura ambiente, ponto de ebulição próximo ao da água e viscosidade próxima à da gasolina [31]. Tais características pressupõem uma possibilidade de armazenamento, bombeio e transporte em unidades em operação, contudo, este processo requer validação e avaliação de viabilidade.

A utilização de recursos já existentes proporciona menos um empecilho para a viabilidade do empreendimento. Neste sentido, a utilização das linhas de gasodutos e de distribuição de GN podem ser utilizadas para a movimentação de hidrogênio. A proposta consiste em realizar adição incremental de hidrogênio ao GN de modo a promover uma combustão mais eficiente, reduzir as emissões de GEE e aproveitar as características energéticas do H<sub>2</sub> [32]. Apesar de factível, esta proposta esbarra em quesitos tecnológicos, regulatórios e econômicos. No tocante à tecnologia, sua implementação requer uma avaliação de como a mistura gás natural + gás hidrogênio impacta na fragilização da tubulação, corrosão nos equipamentos e segurança no processo [32]. Em relação aos aspectos econômicos, vale comentar que os custos de produção do hidrogênio de baixa emissão de carbono são mais elevados que os custos com a produção do GN. Deste modo, o ganho em escala da produção do H<sub>2</sub> é fundamental para a redução de seus custos operacionais a fim de viabilizar o empreendimento. Assim, deve-se atentar para a legalidade da operação, o que torna os quesitos regulatórios fundamentais para a entrada em operação desse fornecimento.

A utilização do hidrogênio de baixa emissão de carbono como combustível para a eletromobilidade urbana é uma grande oportunidade de negócios [33]. Os e-combustíveis serão elementos fundamentais no processo de descarbonização do setor de transportes em função da significativa redução de GEE por eles produzido que pode chegar a 60% quando comparada com seus pares de origem fóssil [34]. Em relação à mobilidade aérea, o hidrogênio aparece como elemento propulsor para aeronaves em substituição ao querosene de aviação (QAV). Em novembro de 2021 entrou em vigor a Lei 14.248, que estabelece o Programa Nacional do Bioquerosene o qual incentiva a pesquisa e o fomento na produção de energia à base de biomassa e hidrogênio [34]. O objetivo deste programa é desenvolver diretrizes para a introdução de parafina de aviação no Brasil e enriquecer o bioquerosene, um combustível de biomassa renovável para uso em turbinas de aeronaves, com hidrogênio de baixa emissão de carbono [34].

O Anexo 1 apresenta o Quadro 01, obtido em [34], o qual contempla atividades ao alcance das empresas de óleo e gás com o objetivo de elaborar projetos em um cenário de baixa emissão de carbono, mantendo o pioneirismo destas corporações no mercado energético.

## 5. Resultados e Discussão

A partir dos objetivos principais a serem alcançados com a economia do hidrogênio de baixa emissão de carbono (atender a questões ambientais e minimizar a dependência de combustíveis fósseis), pode-se reconhecer os atores no cenário geopolítico mundial em função de seu relacionamento de acordo com a sua visão para o hidrogênio:

a. Países Europeus: interessados em manter a sua segurança energética, buscam alternativas para se desligarem ou reduzir a sua dependência de países com maior grau de instabilidade. Por apresentarem recursos naturais limitados, atuam no setor de desenvolvimento tecnológico e, através de

acordos e transferência de tecnologia, buscam formar parcerias com países de melhores recursos energéticos;

b. Norte da África: em função da proximidade com o maior mercado consumidor do futuro combustível e de suas condições climáticas favoráveis, os países do norte da África surgem como produtores de hidrogênio de baixo carbono. A possibilidade de produção, conversão em energia elétrica e a transmissão por cabos submarinos torna o investimento europeu nestes países bastante atrativo.

c. Brasil: com pretensões de atuar como um *hub* de energia, o Brasil apresenta condições climáticas, políticas e técnicas muito positivas para atuar de forma significativa neste ambiente. O problema é o fato de estar distante do maior mercado consumidor para o hidrogênio. Isso significa investir e desenvolver um sistema logístico robusto e produzir o combustível com custos mínimos. Todos estes recursos necessários para o desenvolvimento da indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono já estão à disposição da indústria de O&G.

O ambiente apresentado para o mercado de hidrogênio prevê liderança exercida pelos países europeus, tendo à frente a Alemanha, através de um controle significativo da tecnologia aplicada ao processo de produção do hidrogênio [35]. Os acordos bilaterais buscam criar relacionamentos sólidos entre as partes a fim de garantir a credibilidade e segurança na relação [35]. Todavia, apesar da diversidade de possíveis cenários, o preço do produto será fundamental para a realização desta visão. Conforme [24] o preço do hidrogênio de baixa emissão de carbono, US\$ 4,80/kg (ano base 2022), não proporciona viabilidade ao combustível em relação ao hidrogênio produzido a partir de processos emissores de carbono, com custo atual de US\$0,70-2,20/kg. Projeta-se para 2030 em função do ganho de escala da produção, o valor do hidrogênio de baixa emissão de carbono seja comercializado abaixo de US\$ 1,00/kg produzido no mercado europeu o que proporcionaria uma competição com seus concorrentes [24]. A produção do Marrocos,

em função dos acordos existentes de transferência de tecnologia com países europeus, está estimando para US\$ 2,54/kg em 2030 [36], o qual será convertido em eletricidade, ainda no Marrocos, e transmitido para a Europa por linhas de transmissão submarinas. A soma destes dois serviços irá compor o preço final do H<sub>2</sub> para o mercado europeu

Em relação ao Brasil o cenário torna-se desafiador em função da necessidade de envio do produto até o centro consumidor. A questão logística deve ser compensada com minimização dos custos de geração de energia por fontes renováveis, desenvolvimento de tecnologia e o consentimento de incentivos fiscais para a implementação do processo. Assim, segundo [37] o hidrogênio de baixa emissão de carbono apresentará um custo ao redor de US\$ 1,50/kg, o que torna o transporte fator fundamental para o Brasil ser competitivo no comércio europeu.

No mercado interno, uma vez viável econômica e tecnicamente, o hidrogênio com baixa emissão de carbono poderá se tornar um risco para os combustíveis fósseis [38]. Somada à esta realidade, a eletrificação da frota de veículos brasileira amplia este cenário negativo. Junta-se aos dois combustíveis anteriores o etanol. Presente no mercado brasileiro desde a década de 1970, o etanol apresenta condições de participar de maneira significativa neste contexto energético [38]. A combinação destas três motorizações também é possível (sistemas híbridos), o que proporciona maior segurança operacional e alternativa de combustíveis. Todavia, como lembra [38], a opção pela plataforma automobilística a ser desenvolvida no Brasil deve ser uma orientação de Estado para o Brasil não ficar refém de um único fabricante sem uma cadeia de suprimentos confiável ou utilizar uma tecnologia ultrapassada.

O setor de aviação contribui com 2,0% das emissões de CO<sub>2</sub> por todo planeta com tendência de elevação e previsão de contribuir em 2030 com 5,0% [39]. A substituição de derivados de petróleo na aviação ainda está distante de passar pelo hidrogênio. A aplicação

de células de combustível ainda não proporciona viabilidade técnica, econômica e segurança operacional. Assim, surge o biodiesel como propensa alternativa [39]. O combustível apresenta viabilidade em função de sua estrutura molecular fixa independente do processo de produção além de uma cadeia produtiva disponível pelo Brasil. Os aspectos negativos são seu menor poder calorífico inferior e alto ponto de congelamento [39]. O programa nacional para o desenvolvimento do biodiesel também apresenta um viés social, o qual proporciona a aquisição da produção de pequenos agricultores familiares pelas empresas fabricantes do biodiesel. Com esta ação as empresas adquirem o Selo de Combustível Social, o que lhes confere condição especial para a participação em leilões de comercialização de combustível [39].

Em [40] é apresentado o fato de o sistema de produção do hidrogênio de baixa emissão de carbono ser dividido em dois estágios. O primeiro é o capital, o qual se refere ao investimento na fabricação dos equipamentos e recursos físicos para a sua produção. O segundo é definido como Operação, o qual faz referência às matérias primas, fornecimento de energia elétrica e mão-de-obra necessária. Pelo texto é possível verificar que os riscos sociais são menores em países onde as ações de Capital são implantadas [40]. Em oposição, os países que se apresentam como Operadores podem apresentar problemas como condições econômicas desfavoráveis, acesso limitado à educação de qualidade e alta taxa de desemprego [40]. Este cenário é compreensivo em função de as tecnologias aplicadas no setor de produção de hidrogênio de baixa emissão de requererem processos mais complexos. Deste modo a falta de qualificação profissional abre espaço para a contratação de mão-de-obra externa, o que, por sua vez, restringe o acesso às melhores condições de trabalho e melhores salários. Condições semelhantes foram enfrentadas pela indústria do petróleo e gás ao longo de seu desenvolvimento. Em um primeiro momento, houve a necessidade de desenvolvimento de pessoal em exploração de campos terrestres, seguindo-se a este o

desenvolvimento de tecnologia e recursos humanos em exploração e produção de óleo e gás em águas profunda, ultraprofundas e, mais recentemente, em todas as etapas do desenvolvimento da exploração dos campos pré-sal. Assim, as petrolíferas proporcionam qualidade social ao seu capital humano na forma de critérios rígidos de segurança operacional, salários acima da média nacional e qualificação, entre outros aspectos [41].

Em relação ao meio ambiente vale comentar o fato de os processos de produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono requerer o uso de água. Quanto mais “pura” a água, menores os custos operacionais da fabricação do combustível e melhores condições competitivas o país poderá apresentar ao mercado consumidor. Deste modo, os países com pretensão exportadora deverão apresentar condições de proteção aos seus cidadãos e ao ambiente em caso de condições climáticas extremas. Tanto o Brasil quanto o norte da África, futuros produtores e exportadores de hidrogênio de baixo carbono, devem atentar para seus recursos naturais de forma a proteger seus interesses internos em caso de escassez hídrica. Assim, a prioridade de fornecimento de água ao povo deve ser prioridade ao fornecimento do recurso para a produção de  $H_2$  e tal normativa deve fazer parte do contrato de fornecimento.

## 6. Conclusões

O hidrogênio surge como um dos atores principais de um processo mundial de transição energética. E, apesar das dificuldades presentes para o desenvolvimento de sua cadeia produtiva, o futuro da tecnologia é promissor. Com o mercado consumidor surgindo na Europa, pretensos fornecedores do combustível estão em expansão pelo mundo.

Com o foco em exportação de hidrogênio de baixo carbono, surgem os países do norte da África e o Brasil. Devido às condições climáticas favoráveis para a geração de eletricidade a partir de fontes eólicas e fotovoltaicas, estas regiões se apresentam

como hubs de energia para atender às demandas mundiais.

No Brasil, as empresas de Óleo & Gás apresentam condições técnicas, financeiras e humanas para participarem com pioneirismo e liderança neste processo. O histórico positivo de desafios vencidos por estas empresas em função da qualificação de seus recursos humanos, condições de financiamento junto ao Estado e particulares e recursos técnicos à disposição contam ponto a favor para serem líderes no processo de transição energética para o hidrogênio BEC.

Todavia, desafios existem. A possibilidade de redução do faturamento com o fornecimento de combustíveis fósseis pode causar deficiência aos cofres destas empresas ao ponto de inviabilizar seus negócios uma vez que o fornecimento de gasolina, óleo diesel, gás natural (GN), gás liquefeito de petróleo (GLP), querosene de aviação (QAV), entre outros combustíveis, enfrentará o hidrogênio ou outro combustível de baixa emissão de carbono nesta transição energética para combustíveis não emissores de GEE.

Os aspectos sociais também fazem parte deste processo de transição. A economia de baixo carbono deve servir de ferramenta para o desenvolvimento social tanto nos países importadores quanto nos exportadores de  $H_2$ . No Brasil, a exigência do recolhimento de *royalties* em função da exploração de petróleo e a aplicação destes recursos em desenvolvimento de infraestrutura permitiu a muitas cidades conhecerem um crescimento significativo [42]. De forma semelhante os futuros recursos recebidos a partir da economia do hidrogênio de baixa emissão de carbono também deverão proporcionar melhor qualidade de vida aos cidadãos, o que inclui ensino público de qualidade, ações ambientais positivas, segurança e condições de trabalho dignas.

## 7. Referências

- [1] HARARY, Y. N., *Uma Breve História da Humanidade Sapiens*, São Paulo, 2015.
- [2] HOBSBAWM, E. J., *Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo, 5ª edição*, Editora Forense Universitária – 2000.
- [3] LENTON, T. M., *The Global Tipping Points Report 2023*. University of Exeter, Exeter, UK, 2023.
- [4] MATSUMARA, E., *Instituto E+ Transição Energética (2020): Manual de Termos e Conceitos: Transição Energética*, Rio de Janeiro/RJ – Brasil
- [5] SHUKLA, P. R., [et al.], *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Oxford University Press, Oxford, UK. 2022.
- [6] IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. *Global Energy Transformation: A Roadmap To 2050*. 2019. Disponível em: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA\\_Global\\_Energy\\_Transformation\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf). 2022 Acesso em: 15 de maio de 2024.
- [7] DIAS, J. L. DE M.; QUAGLINO, M. A. *A Questão Do Petróleo No Brasil: Uma História Da Petrobras*. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1993.
- [8] MORAIS, J. M. DE. *Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore*. IPEA, Brasília, 2013.
- [10] MARTINS, D. *Ipiranga: A Trajetória De Uma Refinaria Em Rio Grande (RS) Rumo À Consolidação De Um Grupo Empresarial (1930-1967)*. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2008.
- [11] LUSTOSA, M. C. J. *Meio Ambiente, Inovação E Competitividade Na Indústria Brasileira: A Cadeia Produtiva Do Petróleo*. Instituto De Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- [12] ANP – Agência Nacional do Petróleo. *Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural – Circulação Externa*, Rio de Janeiro, 2024.
- [13] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Balanco Energético Nacional 2024*. Rio de Janeiro, 2024.
- [14] EPE EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, *Mapa da Infraestrutura de Gasodutos de Transporte no Brasil*, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/mapa-da-infraestrutura-de-gasodutos-de-transporte-no-brasil>. Acesso em 04 out 2024.
- [15] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Programa Nacional do Hidrogênio*. Disponível em: Acesso em 07 de agosto de 2021
- [16] BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Hidrogênio de Baixo Carbono: Oportunidades para o Protagonismo Brasileiro na Produção de Energia Limpa*. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22665/1>
- [17] EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2021). *Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira de Hidrogênio*. Nota Técnica. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-bases-para-a-consolidacao-da-estrategia-brasileira-do-hidrogenio>. Acesso em 30 nov. 2024.
- [18] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. PNH2 – *Programa Nacional Do*

- Hidrogênio: Proposta De Diretrizes*. Brasília, DF: MME, 2021f. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrogênioRelatríodiretrizes.pdf>. Acesso em: 30 set. 2024.
- [19] BRASIL. *Lei nº 14.948* de 2 de agosto de 2024. Institui o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2024.
- [20] ABDALLA, A. M., [et. al], *Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: A review, Energy Conversion and Management* – Brunei, 2018.
- [21] HASSAN, Q., [et. al], *Renewable energy-to-green hydrogen: A review of main resources routes, processes and evaluation*, Diyala, Iraque. 2023.
- [22] CAILARD, A. *A Critical analysis of Morocco's Green Hydrogen Roadmap: a modelling approach to assess country readiness from the energy trilemma perspective*. Imperial College London, Londres. 2023
- [23] PAREMA - German-Moroccan Energy Partnership, Berlim, 2012. Disponível em: <https://gh2.org/countries/morocco>. Acesso em 01 out de 2024
- [24] BLOHM, M. *Green hydrogen production: Integrating environmental and social criteria to ensure Sustainability*. Flensburg, German. 2023.
- [24] BRUNER, S., *Towards green hydrogen? – A comparison of German and African visions. Systems Analysis and Technology Evaluation*, Germany, 2023.
- [25] DEUTSCHE WELLE, *Alemanha Aposta No Hidrogênio Verde, Emergentes Fornecem*, Disponível em <https://www.dw.com/pt-br/alemanha-aposta-no-hidrog%C3%AAnio-verde-emergentes-fornecem/a-66355156>. Acesso em 04 out de 2024.
- [26] ATZLER, F., *The Energy Situation in the Federal Republic of Germany: Analysis of the Current Situation and Perspectives for a Non-Fossil Energy Supply*, Technische Universität Dresden, Alemanha, 2023.
- [27] BADE, S. O., *Economic, Social, And Regulatory Challenges Of Green Hydrogen Production And Utilization In The US: A Review*, Grand Folks, EUA. 2024.
- [28] TOWARD S. T., *A More Secure And Cleaner Energy Future For America: National Hydrogen Energy Roadmap: Production, Delivery, Storage, Conversion, Applications, Public Education, And Outreach*, Department of Energy, Washington, EUA, 2002.
- [29] HUNT, D. J., *Possible pathways for oil and gas companies in a sustainable future: From the perspective of a hydrogen economy*, Vitória, Brasil, 2022
- [30] CIOTTA, M., *Hydrogen storage in depleted offshore gas fields in Brazil: Potential and implications for energy security*, São Paulo, Brasil.
- [31] SEMENTE, A., *Prospects and challenges for the green hydrogen market and expectations in the context of the H2Atlas-Africa Project*. Lisboa, Portugal.
- [32] CASTRO, N., *O Blend Gás + Hidrogênio Verde Como Vetor Da Transição Energética*, Rio de Janeiro, Brasil.
- [33] CHANTRE, C., *Hydrogen economy development in Brazil: An analysis of stakeholders' perception*, UFRJ, Rio de janeiro, 2022.
- [34] BRASIL. *Lei 14.248* de 25 de novembro de 2021. Estabelece o Programa Nacional do Bioquerosene para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira. Brasília, DF, 2021.

- [35] BMWI, *Die Nationale Wasserstoffstrategie*; Consultado em 17 de agosto de 2023; Disponível em: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.html>, 2020. Acesso em 07 out. 2024
- [36] OURVA, I., *Assessment Of Green Hydrogen Production In Morocco, Using Hybrid Renewable Sources (PV And Wind)*. Marrocos, 2023.
- [37] CEBRI - BRAZILIAN CENTER FOR INTERNATIONAL RELATIONS, *Hydrogen And Energy Transition: Opportunities For Brazil*, Rio de Janeiro, Brasil, 2022.
- [38] LEAL, T. A. C. B. ; CONSONI, F. L. . *Eletrificação Veicular: definições, tendências, e possíveis impactos na indústria automotiva nacional*. São Paulo, 2022.
- [39] CREMONEZ, P. A., *Environmental, economic and social impacts of aviation biofuel brazilian aviation*, Curitiba, Brasil, 2015
- [40] AKTHAR, M. S., *Green hydrogen and sustainable development – A social LCA perspective highlighting social hotspots and geopolitical implications of the future hydrogen economy*, Seul, Coréia do Sul, 2023.
- [41] OLIVEIRA, J. M. R. R., *Impacto Das Rendas Do Petróleo Nos Indicadores Socioeconômicos Dos Municípios Brasileiros*, Rio de Janeiro, 2019.
- [42] BRASIL, *Lei nº 7.453 de 27 de novembro de 1985, dispõe sobre a Política Nacional do Petróleo*, Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1985, Disponível em : [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1980-1988/17453.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/17453.htm). Acesso em 10 out 2024.

## 8. Anexos e Apêndices

### ANEXO A

Quadro 1 – Atividades técnicas que o setor de Óleo e Gás a desempenhar em uma economia do hidrogênio de baixa emissão de carbono

Atividade Atual	Atividade Futura	Descrição
Exploração e produção	Mapeamento e exploração de reservas naturais de hidrogênio	A localização e exploração de jazidas de naturais podem tornar o hidrogênio competitivo.
Atividades oceânicas	Geração de energia eólica offshore	A qualidade do vento em alto mar e a existência da cadeia logística de serviços marítimos tornam a realização deste serviço interessante, tanto para a autoprodução de energia das plataformas, quanto para a utilização no processo de eletrólise da água.
Armazenamento e transporte de gás	Liquefação de hidrogênio	Desenvolver tecnologia para armazenar e transportar o hidrogênio em estado líquido
	Armazenar o hidrogênio em tanques	Desenvolver tanques para o armazenamento do hidrogênio em estado líquido ou gasoso
	Transporte de hidrogênio por gasodutos	Adaptar gasodutos utilizados para o transporte de GN para operarem com hidrogênio
	Distribuição final	Adaptar os gasodutos atuais para fornecer hidrogênio ao cliente final
Serviços	Acionamento de máquinas	Utilizar o hidrogênio em substituição do GN no acionamento de turbinas, sistemas térmicos e geradores de energia

Fonte: [29]