


A EVOLUÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS INTERMITENTES NO BRASIL

 <https://doi.org/10.56238/arev7n3-072>

Data de submissão: 10/02/2025

Data de publicação: 10/03/2025

Juliane Taise Piovani

Doutora e Mestre em Energia

Universidade Federal do ABC (UFABC)

E-mail: juliane.piovani@ufabc.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0051117472038609>

Matheus Souza Ruiz

Mestre em Oceanografia

Universidade de São Paulo (USP)

E-mail: matheusruiz@unisantabr

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0698093535208941>

Federico Bernardino Morante Trigos

Doutor e Mestre em Energia

Universidade de São Paulo (USP)

Docente da Universidade Federal do ABC (UFABC)

E-mail: federico.trigos@ufabc.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0149421197228356>

RESUMO

A transição do uso de fontes não renováveis para fontes renováveis é uma realidade mundial. Neste quesito, o Brasil é um dos poucos países que utilizam mais fontes renováveis em sua matriz elétrica. O objetivo deste trabalho é contextualizar e discutir alguns aspectos referentes ao setor de energia no Brasil. A metodologia adotada baseia-se nas informações de revisão de literatura obtidas a partir de artigos científicos, documentos nacionais e internacionais de extrema relevância para análise e discussão do tema, trabalhos acadêmicos e páginas eletrônicas relacionadas direta ou indiretamente ao setor de energia. Este ensaio teórico engloba introdução, fundamentação teórica e conclusão. O estudo sobre o tema, mostrou incertezas diante da preparação do país para períodos sazonais e para o futuro.

Palavras-chave: Energias renováveis. Fontes de energia. Fontes intermitentes. Matriz elétrica. Matriz energética.

1 INTRODUÇÃO

O fim da Primeira Revolução Industrial (final do século XIX) foi o marco inicial para a produção de energia elétrica no Brasil. Os primeiros avanços tecnológicos contribuíram com a transição da mão-de-obra animal e humana, para o uso das máquinas a vapor, avançando gradativamente para outros segmentos industriais, como a química, metalurgia e a indústria têxtil. Com isso também se inicia a procura por outras fontes de energia, buscando-se expansão das redes elétricas e impulsionando a economia no país, já no início da Segunda Revolução Industrial (século XX) (PIOVANI; TRIGOSO, 2023, pg. 133; SAES, 2012).

Muitas mudanças ocorreram nessa transição. Apesar do desenvolvimento da indústria, engenharia e tecnologia serem úteis e necessárias, nessa época não se tinha preocupações com impactos ambientais futuros. Com o aumento da demanda de energia, utilizou-se de forma exacerbada os combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e seus derivados, que são os principais agentes causadores de mudanças climáticas no planeta (*INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY* (IRENA), 2023, pg. 30; PIOVANI; TRIGOSO, 2023, pg. 133).

A concentração elevada de gases de efeito estufa (GEE) emitidas na atmosfera, são responsáveis por mudanças climáticas severas, que inclui eventos climáticos extremos como furacões, períodos de estiagem mais longos, *tsunamis*, aumento da temperatura global, diminuição da camada de ozônio, dentre outros, gerando danos ao meio ambiente, à sociedade e a economia mundial (IRENA, 2023, pg. 30; *UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME* (UNEP), 2022). Esses danos são observados com maior intensidade com o passar dos anos.

Desde a década de 70, cientistas discutem os danos ambientais oriundos do uso dos combustíveis fósseis no planeta. Com isso, iniciaram-se acordos governamentais mundiais, em busca de outros métodos alternativos de fontes de energia, visando a preservação ambiental mundial. Foi uma época em que pesquisadores iniciaram discussões sobre “Energia, Desenvolvimento e Sustentabilidade”, reiterando a necessidade de políticas de conscientização social, ambiental e econômica, a partir da premissa de que os combustíveis fósseis são finitos e que o uso responsável é essencial, pensando-se nas gerações futuras (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2022).

Importantes instituições internacionais iniciaram campanhas e acordos governamentais em busca de estratégias para reduzir o consumo de combustíveis fósseis pelo mundo. Com o “Acordo de Paris”, firmado em 2015, os países buscam alternativas para reduzir o consumo de combustíveis fósseis na matriz energética e elétrica mundial, aumentando o uso de fontes renováveis, como uma tentativa para manter o aumento da temperatura média global inferior a 2 °C, acima dos níveis pré-industriais, chegando a 1,5 °C até o ano de 2050 (IRENA, 2023, p. 15).

Graças aos acordos governamentais, prevê-se um consumo menor de combustíveis fósseis na matriz elétrica mundial a cada ano. As tecnologias voltadas para esses combustíveis estão perdendo participação de mercado para tecnologias de energia limpa em todo o mundo, graças ao comprometimento das nações no cumprimento dos acordos. Segundo estimativas, prevê-se uma queda de 60% do consumo de carvão até o ano de 2050 (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA)*, 2023a, p. 26).

O Brasil também firmou acordos governamentais e tem substituído gradativamente o uso de combustíveis fósseis por fontes renováveis ao longo dos anos. Atualmente, o Brasil é um dos países que mais utilizam fontes renováveis em sua matriz elétrica, porém, apesar desse diferencial, há preocupações perante o abastecimento elétrico a médio e a longo prazo no país, devido às mudanças climáticas que têm afetado todo o planeta. O Brasil é considerado um dos países mais ricos em água e recursos energéticos e mesmo tendo a água como fonte principal e primária para obtenção de energia, os períodos de escassez de chuvas tem sido um cenário de preocupação nacional, uma vez que as hidrelétricas são as fontes predominantes na matriz elétrica brasileira (EPE, 2024; GOLDEMBERG; MOREIRA, 2005, p. 217, 226).

Apesar das incertezas perante os períodos de escassez de chuvas, para cumprir com as metas estabelecidas pelo “Acordo de Paris”, o Governo Federal apostará em investimentos de usinas hidrelétricas de pequeno porte (ou Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH)) em regiões ainda não aproveitadas, a partir do ano de 2026 (BRASIL, 2021, pg. 52). O Plano Nacional de Energia ((PNE 2050), 2020, pg. 77) validou um potencial hidrelétrico de 176 GW, sendo que 108 GW estariam em operação e construção até 2019 e também validou 68 GW de potencial hidrelétrico inventariado, distribuídos em todo o Brasil, que inclui usinas hidrelétricas (UHE) e projetos hidrelétricos menores de 30 MW, identificados e aprovados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Na literatura, Moretto, *et al.* (2012, p. 142), também afirmam que existe um grande potencial hidrelétrico disponível no território brasileiro, porém, inexplorado por restrições ambientais. Todavia, observa-se muitas discussões e controvérsias referentes à futuros empreendimentos de hidrelétricas no país, desde meados do ano 2000. Por exemplo, Bermann, (2007, pg. 139), menciona que as hidrelétricas são viáveis somente nos períodos de alta pluviosidade, onde é possível se obter maior quantidade de energia dos reservatórios. Goldemberg e Lucon (2007, pg. 19) mencionam que mesmo com a abundância de recursos renováveis na matriz energética nacional, o país desperdiça, de certa forma, um maior crescimento no setor, por falta de políticas públicas e questões governamentais no setor de energia. Nogueira (2007, pg. 103) enfatiza a situação, questionando as políticas superficiais

adotadas no país, ocasionando desperdícios de matéria-prima no setor de energia e Vainer (2007, pg. 132) enfatiza que a energia, o uso e a gestão de recursos hídricos juntamente com a apropriação do território e recursos ambientais são relevantes e decisivos em qualquer estratégia ou projeto nacional do país, devido ao vasto território e possibilidades de extração. Como visto, essas questões são discutidas desde 2000 e ainda não foram totalmente solucionadas.

Órgãos governamentais internacionais como o IRENA também apostam e incentivam a construção de novas UHE em todo o planeta (IRENA, pg. 68, 69, 2023).

Diante desse contexto, surge a necessidade de discutir se realmente é viável mais investimentos em novos projetos de UHE e a atual importância para mais investimentos em outras fontes primárias de energia, aproveitando o espaço de instalação das UHE já existentes. Com o avanço mundial das pesquisas aplicadas para outras fontes renováveis, como energia solar, eólica, hidrogênio verde (H2V) e energia dos oceanos, o país desperdiça novos investimentos e oportunidades de expansão e de autonomia, como já dito por Goldemberg e Moreira (p. 217, 2005).

Assim, o objetivo deste trabalho é contextualizar e discutir alguns aspectos referentes ao setor de energia no Brasil. Este trabalho destaca a necessidade da discussão do tema e da importância de se estabelecer metas concretas para o avanço de novas tecnologias, o que implica em ações conjuntas de pesquisadores, investimentos e responsabilidades federais e estaduais para alcançar as emissões zero no país.

A metodologia adotada nesta pesquisa (que será apresentada a seguir), baseia-se nas informações de revisão de literatura obtidas a partir de artigos científicos, documentos nacionais e internacionais de extrema relevância para análise e discussão do tema, trabalhos acadêmicos e também páginas eletrônicas relacionadas direta ou indiretamente ao setor de energia.

Este ensaio teórico é composto por introdução, fundamentação e conclusão. A motivação deve-se à necessidade de uma publicação mais atual sobre o tema “energia” para esta renomada revista, além de contribuir com uma apresentação mais crítica desta temática à estudantes, pesquisadores e leigos em todas as áreas do conhecimento.

1.1 METODOLOGIA

A metodologia adotada para atingir o objetivo proposto, seguiu as seguintes etapas:

a) Pesquisa bibliográfica: Esta etapa foi realizada com o intuito de obter dados e informações referentes ao tema, em livros, artigos científicos, teses, dissertações, documentos e relatórios técnicos nacionais e internacionais, mapas, sites diversos e documentos interligados diretamente ou indiretamente ao tema de Energia.

b) Referencial teórico: Buscou-se artigos e documentos de autores seminais, que abordam a temática. Neste caso, optou-se por artigos e relatórios mais antigos, para elaborar o embasamento teórico. Para comparação da evolução da matriz elétrica nacional foram adotados relatórios da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mais recentes (últimas publicações) e alguns mais antigos (2005 e 2015)¹. Para confrontar as informações e avaliar a evolução da matriz elétrica ao longo dos anos, deu-se preferência para publicações recentes (publicados há 5 anos), uma vez que o setor de energia encontra-se em constante expansão e evoluiu ao longo de 20 anos.

c) Seleção de relatórios setoriais: Foram selecionados relatórios desenvolvidos por órgãos governamentais e prestadoras de serviços competentes que abordam perspectivas de expansão do setor de energia, considerando os diversos recursos energéticos disponíveis. A EPE juntamente com o Ministério de Minas e Energia (MME) tem participado ativamente das grandes discussões que dizem respeito ao setor energético brasileiro. O Balanço Energético Nacional (BEN) elaborado pela EPE e MME é extremamente relevante, pois trata-se de um relatório de divulgação anual sobre a oferta e consumo de energia no Brasil, considerando as atividades de extração de recursos energéticos primários, conversão em formas secundárias, importação e exportação, distribuição e o uso final da energia (EPE, 2023). A EPE também atua com outras agências reguladoras, como ANEEL, Agência Nacional de Águas (ANA), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (EPE, 2024).

O Plano Decenal de Energia (2030) e (2034) são documentos nacionais informativos, que mostram perspectivas de expansão futura do setor de energia pelo Governo Federal, a longo prazo (no horizonte decenal) (EPE, 2024), por isso são relevantes para este estudo.

Também adotou-se relatórios internacionais por estarem interligados aos acordos governamentais relacionados ao Acordo de Paris que são usados mundialmente para estudos. A IRENA, é uma agência intergovernamental global líder para transformação energética, que apoia países na transição energética e fornece dados e análises de última geração sobre tecnologia, inovação, política, finanças e investimento, fundada pela Organização das Nações Unidas (ONU) ou *United Nations* (UN) (IRENA, 2011-2022). Já a IEA está associada à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (*Organization for Economic Co-operation and Development* (OCDE)) que trabalha com governos e indústrias para moldar um futuro energético seguro e sustentável mundial (IEA, 2023).

¹A EPE foi instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004 e do Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004.

d) Ensaio teórico: A concepção de ensaio adotado é descrita por Michel (2015)²: “O ensaio acadêmico defende uma ideia ou visão original de algo, sendo que não precisa ser original na sua concepção, podendo apresentar um novo viés, uma nova abordagem, nova característica, qualidade ou problema do objeto de interesse”.

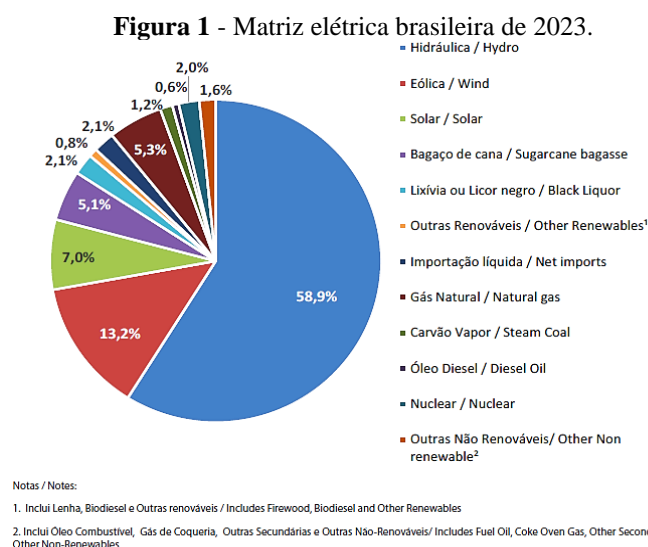
A proposta deste trabalho é elucidar o leitor sobre o tema, fazendo com que o mesmo avalie a temática e obtenha suas próprias conclusões, a partir das reflexões e considerações finais elencadas neste trabalho.

e) Divisão do Trabalho: Este trabalho apresenta quatro seções, sendo a primeira seção a introdução; a segunda seção abordará a evolução do sistema elétrico brasileiro; a terceira seção discute os investimentos futuros em fontes renováveis alternativas no Brasil e a quarta e última seção apresentará as considerações finais.

2 EVOLUÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

A matriz elétrica brasileira é um conjunto de fontes de energia que são usadas para gerar eletricidade. Em 2023, a somatória representou em média, 89,2% no uso de fontes renováveis no Brasil. Observa-se que as energias renováveis são predominantes na matriz elétrica brasileira (EPE, 2024, pg. 12).

As hidrelétricas são as fontes predominantes na geração de energia elétrica, porém, seu uso tem sido reduzido anualmente, graças à adição de outras fontes renováveis como energia eólica, biomassa e energia solar. A Figura 1 mostra a matriz elétrica brasileira de 2023.

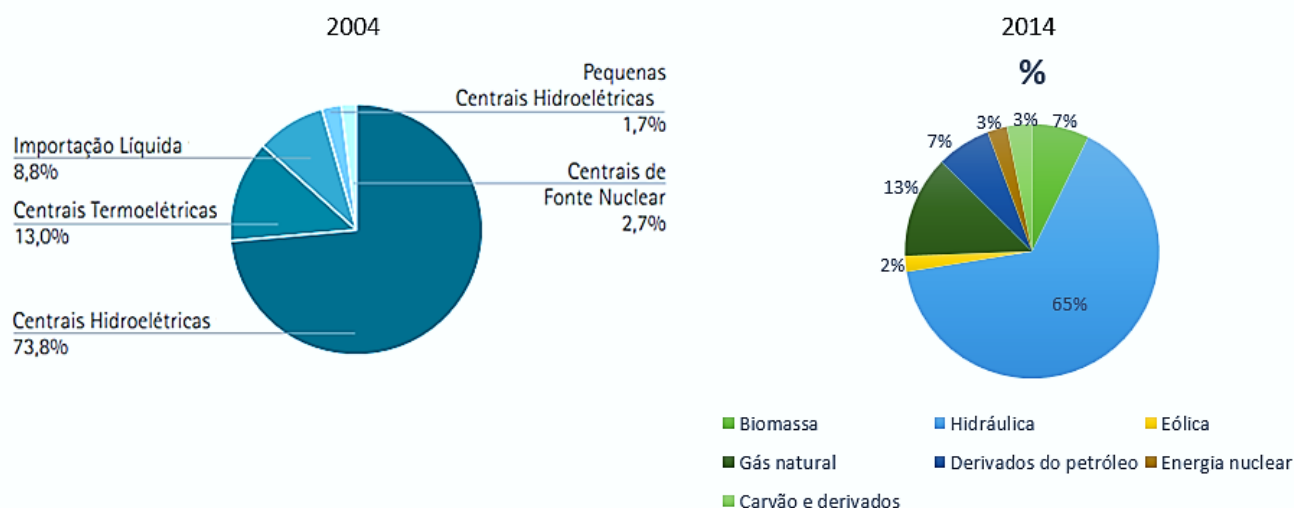


Fonte: EPE, 2024.

² SOARES, S. V., PICOLLI, I. R. A.; CASAGRANDE, J. L. Pesquisa bibliográfica, pesquisa bibliométrica, artigo de revisão e ensaio teórico em administração e contabilidade. **Administração: ensino e pesquisa**, 19(2), p. 308-339, 2018.

A matriz elétrica brasileira vem se modificando ao longo dos anos, para que o uso de fontes de energias renováveis seja intensificado no país. Isso é nitidamente observado quando se compara as fontes utilizadas na matriz elétrica brasileira, nos anos de 2004 e 2014, vistos na Figura 2 (EPE, 2005; 2015).

Figura 2 - Evolução da matriz elétrica brasileira nos anos de 2004 e 2014.



Fonte: EPE, 2005; 2015 (adaptado).

Pelas Figuras 1 e 2, observa-se que num período médio de 20 anos, as fontes hídricas ainda prevalecem, porém, vem reduzindo. Observa-se que em 2004 a energia térmica era a segunda fonte mais usada, representando 13%. O Brasil era dependente de exportações para atender a demanda elétrica do país (EPE, 2005). Comparando os anos de 2004 e 2014, observa-se a presença da biomassa e da energia eólica e uma diminuição no uso de fontes não renováveis em 2014.

Comparando os anos de 2023 (Figura 1) e 2014 (Figura 2), observa-se nitidamente a redução das fontes fósseis na matriz elétrica. Num período de 9 anos, as fontes eólicas cresceram em média 11%. Também se observa um crescimento de biomassa.

Na matriz energética também ocorreram alterações. Em 2020, cerca de 48,4% da energia primária nacional provém de recursos renováveis, o que contrasta significativamente com a média global de 14,1% e com a média de 11,5% comparada aos países da OECD (EPE, 2023a, pg. 12). Desde 2004, o Brasil já ocupava posição de destaque no uso de energias renováveis, quando comparando com a média global, visto na Tabela 1. Em 2023, o Brasil atingiu 49,1%. Nesse quesito, o Brasil apresenta uma condição bastante favorável em relação aos demais países.

Tabela 1 – Evolução do uso de fontes renováveis no Brasil e no Mundo.

País/ano	2020	2012	2010	2004
Brasil	48,4%	41,9%	44,7%	43,5%
Mundo	14,1%	13,2%	13,2%	14%
OECD	11,5%	8,6%	8%	6%

Fonte: EPE (2024, 2023, 2022, 2015, 2012, 2004) (adaptado).

Mesmo com a evolução do sistema elétrico brasileiro ao longo dos anos, o Brasil tem um grande potencial para investir em outras fontes renováveis, porém, devido à falta de investimentos e questões de legislação, ocorrem atrasos nos processos, impedindo avanços a curto prazo no setor. Goldemberg e Moreira (pg. 217, 2005) já discutiam essas questões, alertando a necessidade de mais investimentos iniciais em políticas energéticas para favorecer o crescimento de novos mercados e investimentos, abrindo novas oportunidades, condições de trabalho e mão-de-obra especializada, além de investimentos em tecnologias para produção nacional de peças e equipamentos, resultando em maior visibilidade e independência financeira ao país.

2.1 A QUESTÃO DAS HIDRELÉTRICAS NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Do século XX à atualidade, o Brasil passou por diversas transformações no setor elétrico. Além das questões de mudanças climáticas, as empresas se adaptaram às novas mudanças de hábitos, provenientes do período pandêmico (COVID-2019), que se estendeu até o início de 2022. Essas mudanças promoveram maior consumo de energia elétrica nas residências e essa tendência tornou-se mundial.

As mudanças impactaram numa preocupação, discutida por pesquisadores, referente a necessidade de planos e estratégias do setor elétrico para atender a demanda energética do país a médio e a longo prazo (PIOVANI; TRIGOSO, 2023, pg. 135).

As hidrelétricas, como já mencionado, são as principais fontes de eletricidade do Brasil, dado também as características geográficas existentes (EPE, 2021, pg. 15). A forte base da energia hidrelétrica torna o sistema elétrico brasileiro vulnerável à variabilidade climática, principalmente em períodos sazonais que promovem seca intensa. Essa problemática iniciou-se em 2001, onde ocorreu um período de seca associado a um evento natural, conhecido por “La Niña”, que afetou seriamente o sistema hidrelétrico, ocasionando “apagões” em algumas regiões do território nacional (PIMENTA; ASSIREU, 2015, pg. 757).

Desde 2012, o Brasil tem passado por fortes secas (principalmente no Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste), sendo necessário o uso das termelétricas para atender a demanda do país. As termelétricas são acionadas somente em eventos extremos, porém, em 2021, mesmo com o aumento das fontes

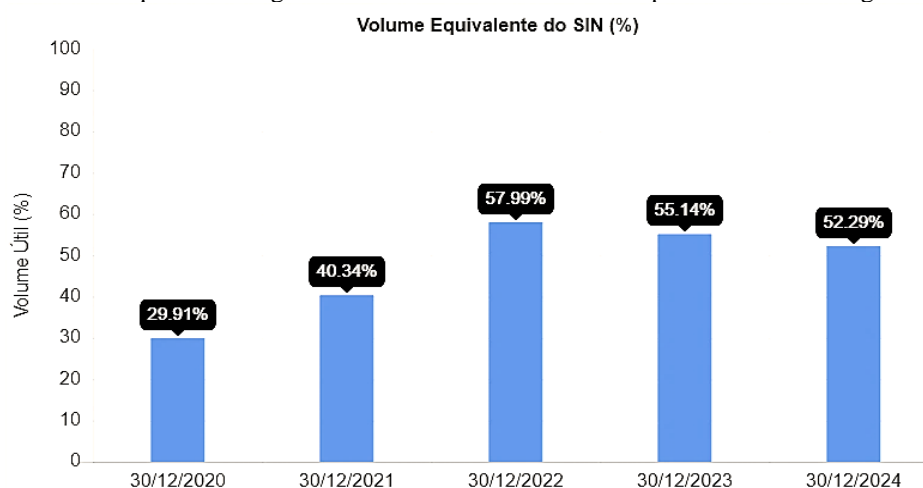
eólica e solar na matriz elétrica, a geração foi insuficiente, sendo necessário o seu acionamento, que representaram 19,6% na matriz elétrica. Essa tendência de utilização das termelétricas permaneceu nos últimos anos, o que implica no aumento do uso de combustíveis fósseis na matriz elétrica brasileira (DANTAS, *et al.* 2017, pg. 998; PIMENTA; ASSIREU, 2015, pg. 757).

Com o término da estiagem, em 2022 o uso das fontes térmicas reduziu em 8% (cerca de 5.373 MW), sendo a menor taxa registrada nos últimos 10 anos (CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE), 2023, pg. 22).

O uso das termelétricas é desfavorável, pois o custo extra é repassado à bandeira tarifária, resultando num aumento das contas de luz dos consumidores residenciais, comerciais e industriais. Fatores econômicos relacionados às variações do dólar, IGP-M (Índice Geral de Preços – Mercado) e o aumento de custos pelo baixo nível dos reservatórios, também são repassados ao consumidor (ANEEL, 2025; AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS, 2021).

No Brasil tem-se 10 reservatórios; 91 usinas a fio d'água; 61 usinas com reservatório e 1 usina de bombeamento (ANA, 2025). De acordo com a Figura 3, observa-se que nos anos de 2020 e 2021, os reservatórios operaram com capacidade média menor que 50%. De 2022 a 2024, os reservatórios operaram com menos de 60% em pleno verão.

Figura 3 - Volume equivalente registrado nas hidrelétricas nacionais pelo Sistema Interligado Nacional (SIN).



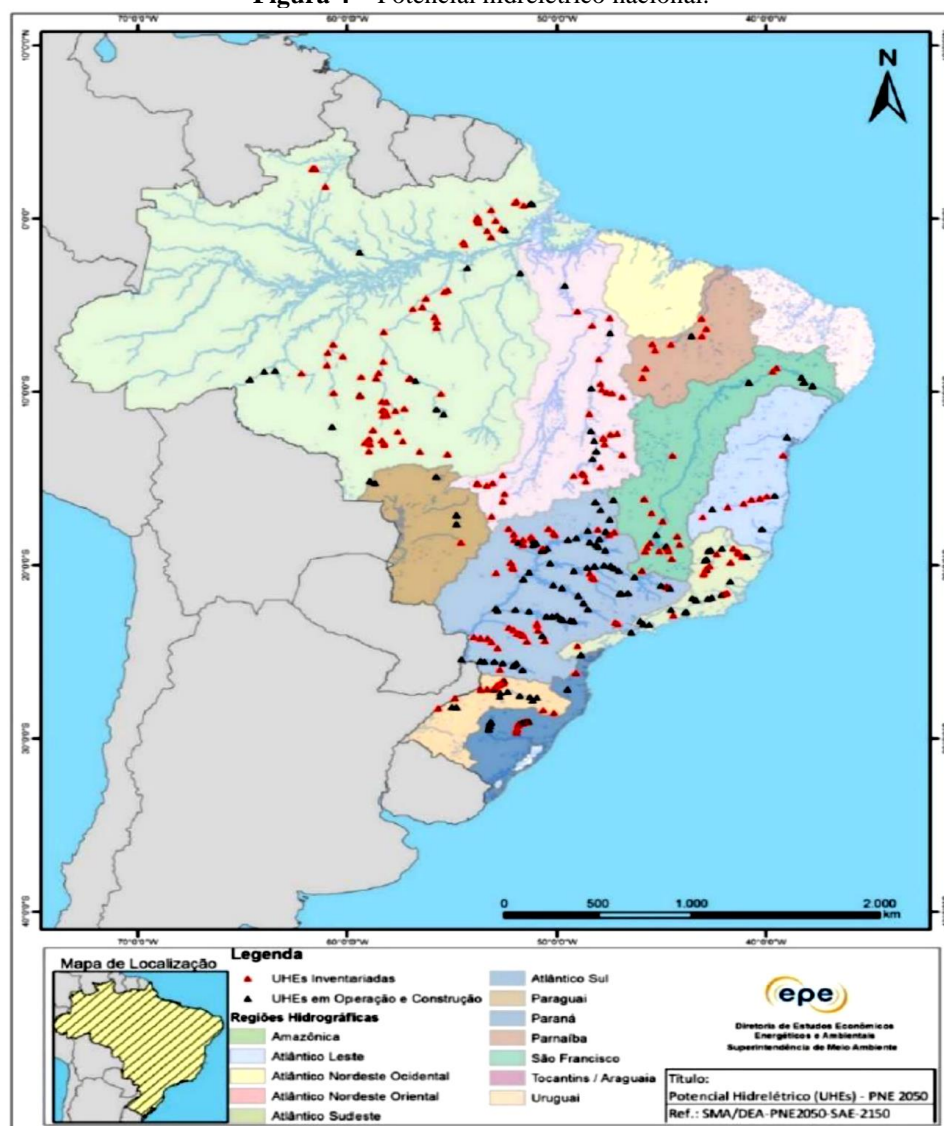
Fonte: ANA, 2025.

As hidrelétricas são essenciais para manter a elevada participação de fontes renováveis num país, além de contribuir com as baixas emissões de GEE a longo prazo (IRENA, 2023, pg. 68; 69; BRASIL, 2020, pg. 77). Pela abundância do recurso no país, o Governo Federal aposta em grandes investimentos nesse setor, porém, a questão das hidrelétricas tem sido discutida e não é bem vista, devido aos impactos ambientais e sociais causados para sua implementação. No caso das fontes

hidrelétricas, pode-se dizer que são fontes viáveis pela redução dos GEE, porém, implicam no uso de grandes áreas alagadas e a infraestrutura causam severos danos ambientais e sociais.

A ANEEL identificou possíveis áreas de aproveitamento hidrelétrico em praticamente todas as regiões hidrográficas do Brasil, entretanto, a maior parte dos locais apropriados encontram-se nas regiões hidrográficas do Amazonas e do Tocantins-Araguaia (BRASIL, 2020, pg. 77), de acordo com a Figura 4.

Figura 4 – Potencial hidrelétrico nacional.



Fonte: BRASIL, 2020.

Indiscutivelmente, a Bacia Amazônica, que está localizada majoritariamente na região Norte, possui o maior potencial hidrelétrico brasileiro, porém, apresenta as maiores restrições do ponto de vista ambiental e social, onde mais de 44% do potencial apresenta interferência direta com terras indígenas e futuros transtornos à biodiversidade local (NADALETI; SANTOS; LOURENÇO, 2020,

p. 1377; BERMANN, 2007, pg. 140). Assim, os impactos ambientais causados pelas hidrelétricas precisam ser estudados a médio e a longo prazo (MORETTO *et al.*, 2012 pg. 142).

Para Bermann (2007, pg. 140, 141) investimentos relevantes encontram-se nas bacias dos rios Paraná e Uruguai. Também ressalta a necessidade de avaliar esses investimentos, considerando outras atividades essenciais à população como pesca; irrigação; turismo e biodiversidade.

Para Pereira, *et al.* (2017, pg. 12), investimentos em hidrelétricas também são considerados desfavoráveis, devido as mudanças climáticas acompanhadas a eventos extremos, que acabam reduzindo os níveis dos reservatórios, resultando em queda na capacidade de geração de energia elétrica, também mencionado por Bermann (pg. 139, 2007), por serem fontes intermitentes, ou seja, são dependentes da vazão dos rios e da disponibilidade de água para gerar eletricidade suficiente para abastecimento.

Nessa questão de novos projetos de hidrelétricas, a IRENA apoia somente projetos que seguem o Padrão de Sustentabilidade da Energia Hidrelétrica (*Hydropower Sustainability Standard*)³ que estão sendo desenvolvidos pela China. Trata-se de um esquema de certificação global que detalha as expectativas de sustentabilidade para projetos de energia hidrelétrica em todo o mundo (IRENA, 2023, pg. 68). O Brasil está bem distante desse cumprimento de normas.

Diante do exposto, fica evidente a necessidade de rever a questão de abastecimento elétrico no país, pensando-se em outras fontes alternativas de energia para complementar o sistema hidrelétrico, principalmente em períodos de escassez de chuvas, que tem afetado o Brasil.

3 INVESTIMENTOS FUTUROS EM FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS

Visando atingir as metas estabelecidas pelo Acordo de Paris (2015), o mundo busca outras fontes renováveis. Pensando-se a longo prazo, é necessário um aumento de 77% no uso de fontes renováveis na matriz energética mundial para alcançar a meta de 1,5°C até 2050. Para alcançar as metas estabelecidas, a IRENA (2023, pg. 33) propôs seis indicadores universais, vistos no Quadro 1:

Quadro 1 - Indicadores listados pelo IRENA.

- Utilizar energias renováveis para geração de eletricidade tanto na matriz elétrica como na matriz energética;
- Considerar a participação das energias renováveis no consumo de energia final e na quantidade de bioenergia moderna utilizada;
- Realizar melhorias na rede de distribuição energética;
- Investir na infraestrutura dos setores de distribuição de rede e utilização final.
- Incentivar políticas de produção e fornecimento de hidrogênio verde e de combustíveis derivados.
- Realizar captura e remoção de gás carbônico.

Fonte: IRENA, 2023.

³Detalhes do *Hydropower Sustainability Standard* podem ser consultados em: <https://www.hydropower.org/sustainability-standard>.

As grandes apostas concentram-se no aumento da biomassa e no uso do gás hidrogênio (H₂). A meta é que 94% do gás H₂ produzido seja de origem renovável (IRENA, 2023, pg. 19). O uso do gás H₂ está relacionado à substituição da gasolina, incentivando veículos elétricos no mercado mundial, apesar do custo atual ser desfavorável mundialmente (OLIVEIRA, R. C., 2022, pg. 19).

Para alcance dessa meta desafiadora, acredita-se que metade das reduções dessas emissões virão das tecnologias que atualmente encontram-se em fase de demonstração ou com um protótipo final em escala de testes. As tecnologias *offshore* e as tecnologias que utilizam o meio, onde encontram-se rios, lagos, cursos ou espelhos d'água, por exemplo, são bem vistas e encontram-se em expansão pelo planeta.

A energia eólica e as energias oceânicas são tecnologias desenvolvidas no meio *offshore*; já as plataformas flutuantes solares são instaladas nas águas das usinas hidrelétricas, lagos e espelhos d'água. As energias oceânicas, que convertem a energia dos oceanos em energia elétrica, também se encontram em estágio avançado de testes no planeta. Muitos já estão sendo avaliados em escala real na Europa, América do Norte, região asiática e Oceania (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY-OCEAN ENERGY SYSTEMS (IEA-OES), 2023, pg. 2).

E no Brasil? Quais as propostas para essas fontes alternativas? Serão mencionados os sistemas solares flutuantes (FPV), energia eólica *offshore*, energias oceânicas e a produção de hidrogênio verde (H₂V).

3.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES

O sistema fotovoltaico flutuante (*floating photovoltaic system* (FPV)) é uma das tecnologias emergentes, vista como uma fonte potencial de energia para os próximos anos. Grandes extensões de terras ocupadas por painéis solares tradicionais para gerar quantidades significativas de energia, podem ser substituídas pelo uso da superfície das águas para a instalação de grandes usinas fotovoltaicas (STIUBIENER *et al.* 2020, p. 765).

Para Lopes, *et al.* (2022 pg. 1024) e Stiubiener *et al.* (2020, p. 765), o Brasil possui um potencial promissor para instalação de FPV, devido à variedade e quantidade de corpos hídricos disponíveis em seu território. Segundo Lopes, *et al.* (2022, pg. 1024) a ANA catalogou cerca de 241 mil corpos hídricos no país. No Brasil, as FPV encontram-se em testes experimentais e quatro usinas foram recentemente instaladas, sendo três no Estado de São Paulo e uma no Arquipélago de Fernando de Noronha, como mostra a Tabela 2. Os projetos de 2019, 2016 e 2014 foram desenvolvidos para aumento de capacidade, porém, não sofreram adaptações até 2023.

Tabela 2 – Usinas Fotovoltaicas Flutuantes experimentais no Brasil.

Ano	Estado	Usina	Potência (inicial-final)	Fonte
2024	São Paulo	Represa Billings	Até 5 MWp	EMAE, 2023
2023	Arquipélago de Fernando de Noronha (PE)	Açude do Xaréu	630 kWp	COMPESA, 2022
2023	São Paulo	Cava de mineração, Roseira/SP	1 MWp	CONFEA, 2024
2023	São Paulo	Usina solar flutuante, Campinas/SP	1 MWp	SUNERGIA 2024
2019	Bahia	Usina Hidrelétrica de Sobradinho	1 MWp	CHESF, 2019
2016	Amazonas	Usina Hidrelétrica de Balbina	1 MWp-5 MWp	BRASIL, MME, 2017
2014	São Paulo	Usina de Rosana	50 kWp-0,5 MWp	CESP, 2020

Fonte: Autor, 2024.

Os FPVs também poderiam ser implantados no reservatório de represas hidrelétricas para complementar as infraestruturas existentes e melhorar a produção de energia, utilizando os recursos de transmissão já existentes, proporcionando maior flexibilidade em termos de despacho de energia para a rede (LOPES, *et al.* 2022, pg. 1024; STIUBIENER *et al.* 2020, p. 765).

A questão é que o Brasil ainda investe muito pouco nesta tecnologia, apesar de ter condições geofísicas excepcionais para expansão (STIUBIENER *et al.* 2020, p. 765). O Brasil é privilegiado pelos altos índices de incidência da radiação solar decorrentes da localização geográfica, que favorece a existência de raios solares, praticamente o ano todo, com variações no território nacional, o que permite desenvolver projetos solares viáveis em diferentes regiões, inclusive sob a superfície de águas (BRASIL, 2020, pg. 109; PEREIRA, *et al.* 2017, pg. 20, 21).

O PNE (2050) descreve quatro situações emergenciais e necessárias para o avanço da energia solar até 2030, descritos no Quadro 2 (BRASIL, 2020, pg. 116):

Quadro 2 – Ações para implementação das FPVs no Brasil.

- Fornecer melhores ferramentas de planejamento e gestão para operação do sistema elétrico;
- Fornecer melhorias em estudos socioambientais para futuras instalações;
- Integrar estudos de expansão da geração solar e planejamento dos sistemas de transmissão de energia;
- Implementar uma regulação referente à reciclagem das peças do sistema fotovoltaico.

Fonte: BRASIL, 2020.

3.2 USINAS EÓLICAS OFFSHORE

Assim como a energia solar, a energia eólica também é um recurso considerado abundante no Brasil, principalmente na Região Nordeste. A competitividade do mercado também foi um fator

importante para seu crescimento, favorecendo a redução de preços. Com isso, o Brasil investiu em estudos de potencial eólico *onshore* e capacitação qualificada para atuação no país, visando seu desenvolvimento (BRASIL, 2020, pg. 99).

De acordo com o PNE (2050), além do potencial eólico *onshore* já identificado, o Brasil também apresenta um grande potencial eólico *offshore*. Estimativas mostram que sem a expansão das hidrelétricas, a energia eólica seria a fonte renovável líder no país que ultrapassaria as fontes hidrelétricas até 2050 (BRASIL, 2020, pg. 99). Porém, assim como a energia solar, a energia eólica encontra alguns desafios que precisam ser solucionados até 2030. Os desafios são: aprimorar a geração para operação do sistema elétrico pela ONS; oferecer melhorias em estudos socioambientais para implementação de novos parques eólicos; integrar a expansão da geração eólica com o planejamento de expansão para transmissão; e avaliar a logística empregada para facilitar o transporte dos equipamentos eólicos (BRASIL, 2020, pg. 108).

O fator predominante para instalação desses equipamentos é ter velocidade de ventos constantes, sem grandes alterações de velocidades ou direções. As características dos ventos no Brasil foram importantes para novos investimentos, pois os geradores eólicos no Brasil chegam a um fator de capacidade superior a 50%, enquanto a média mundial varia de 20% a 25%. No mapeamento inicial do potencial eólico *offshore* disponível no Brasil, foram identificadas áreas com ventos superiores a 7 m/s, concentradas principalmente na região Nordeste e Sul (ABEEÓLICA, 2025; BRASIL, 2020).

De acordo com a Tabela 3, existem 96 projetos em processo de licenciamento ambiental abertos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (BRASIL, 2024). Observa-se que o maior potencial se encontra disponível no Rio Grande do Sul (RS).

Tabela 3 – Projetos de energia eólica *offshore* em licenciamento ambiental no Brasil.

Estado	Projetos	Potência (MW)
Santa Catarina (SC)	1	5.700
Rio Grande do Sul (RS)	27	69.629
Rio de Janeiro (RJ)	14	38.661
Espírito Santo (ES)	6	11.230
Rio Grande do Norte (RN)	14	25.468
Piauí (PI)	6	13.014
Maranhão (MA)	3	6.168
Ceará (CE)	25	64.351
Total	96	234.220

Fonte: BRASIL, 2024 (adaptado).

Observa-se que a questão do desenvolvimento da energia eólica *offshore* é semelhante à energia solar em sistemas flutuantes. Ambas necessitam de avaliação legislatória e mais investimentos no setor, principalmente relacionados à necessidade de expansão de potência complementar, por serem

fontes intermitentes (BRASIL, 2021, pg. 51). Por isso é necessário estudos mais amplos e detalhados sobre o assunto para possíveis instalações a longo prazo.

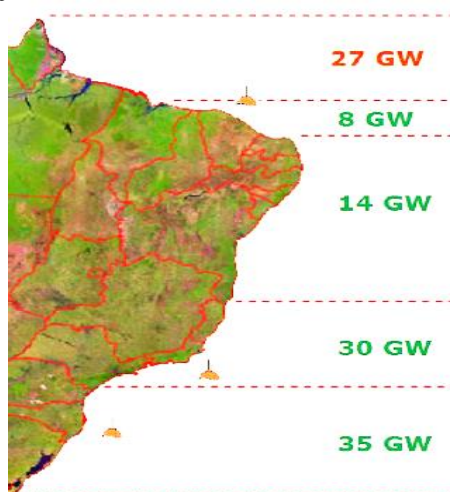
3.3 ENERGIAS OCEÂNICAS

De um modo geral, as tecnologias de energias oceânicas referem-se a energia das ondas, marés (maremotriz), correntes de marés, correntes oceânicas (ou marinhas) e conversão de energia térmica oceânica (*Ocean Thermal Energy Converter* (OTEC)). As correntes de marés e oceânicas estão associadas ao movimento horizontal das águas, provenientes de marés meteorológicas (MOURA, *et al.*, 2018). A energia maremotriz está relacionada às forças gravitacionais do sistema Terra-Lua-Sol (Lewis, *et al.* 2011). Atualmente, a União Europeia é líder nesse segmento e pretende gerar 1 GW de energia oceânica até 2030 e 40 GW até 2050 (IEA, 2021, pg. 63, 64).

Um diferencial das energias oceânicas é que são previsíveis, ou seja, não são fontes intermitentes. As variações existentes da energia das marés são frequentemente citadas como “baixas” em comparação com outras fontes de energias renováveis e a periodicidade da maré, permite previsões precisas por meio de análises harmônicas ou técnicas de modelagem (LEWIS, *et al.* 2019).

No Brasil os estudos práticos referentes às energias oceânicas iniciaram-se em 2013 no Instituto Alberto Luiz Coimbra, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), em parceria com a *Seahorse Wave Energy*, onde foi realizado um estudo preliminar que estimou um potencial teórico nacional de 114 GW, considerando somente os recursos de energia maremotriz e ondas em toda a costa brasileira, como mostra a Figura 5. Somente na região Norte, o potencial teórico disponível de energia maremotriz é de 27 GW e nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul, o potencial teórico de energia das ondas chega em torno de 87 GW (TOLMASQUIM, M. T. 2016, pg. 417).

Figura 5 - Distribuição regional do potencial energético de ondas e marés no Brasil.



Fonte: TOLMASQUIM, M. T., 2016.

A grande aposta inicial no Brasil foi no segmento de energia maremotriz, na região Norte do país. Com o tempo, iniciaram-se estudos em tecnologia das ondas e OTEC no litoral brasileiro. Porém, a questão de desenvolvimento de energia maremotriz, enquadra-se principalmente em questões ambientais, por ser um investimento grandioso, semelhante as UHE, além dos possíveis impactos ambientais em áreas de proteção ambiental.

Com exceção da energia maremotriz que se encontra consolidada na Europa, as demais fontes encontram-se em testes avançados, muitos em escala real de funcionamento.

O grupo de pesquisas do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Energias Oceânicas e Fluviais (INEOF) e Shadman, *et al.* (2019, p.11) relatam que a energia de correntes de marés e marinhas, são inviáveis no Brasil, pela baixa velocidade das correntes marítimas no fundo do mar, porém, estudos referentes a velocidade das correntes no litoral brasileiro, mostram a necessidade de estudos aprofundados, para instalações de equipamentos de correntes de marés de baixa velocidade, onde países como China, Filipinas e Indonésia realizam testes em escala real. Muitas características do litoral desses países assemelham-se às características do litoral brasileiro, evidenciando a necessidade de pesquisas sobre o tema (PIOVANI, 2023).

3.4 HIDROGÊNIO VERDE (H2V)

O gás hidrogênio (H_2) não é encontrado na natureza em quantidades viáveis para produção, sendo, portanto, um vetor energético, ou seja, um armazenador de energia. Para sua produção é necessário extraí-lo de uma fonte primária de energia, que contenha H_2 , pois, o gás H_2 é uma fonte secundária de energia (LINARDI, 2010).

Atualmente, a produção do gás H_2 no Brasil, encontra-se centralizada no segmento petrolífero (refino e indústria) e fertilizantes (amônia). Vale ressaltar que o gás H_2 obtido do petróleo e outras fontes fósseis não é H2V, pois liberam CO_2 e CO na atmosfera (OLIVEIRA, R. C., 2022, pg. 6).

O H2V pode ser obtido pelo processo de eletrólise da água e por sistemas termoquímicos solares (GUO, *et al.* 2010, pg. 4422). Por isso, as energias renováveis *offshore* e os sistemas fotovoltaicos flutuantes são tecnologias promissoras e as mais indicadas para a produção do H2V, uma vez que são tecnologias já interligadas à uma rede elétrica. A energia dos oceanos também é avaliada para a produção de H2V a longo prazo.

Pesquisadores propõe que os recursos eólicos *offshore* e FPVs sejam utilizados para complementar o sistema elétrico do Brasil, a partir do desenvolvimento de projetos híbridos eólico-hidrelétrico ou solar-hidrelétrico, principalmente em locais remotos (PIMENTA; ASSIREU, 2015, p. 765).

Os investimentos em H₂ encontra-se na Resolução nº 6, de 23 de junho de 2022 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que criou o Programa Nacional de Hidrogênio (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV), 2023).

As condições climáticas no Brasil são favoráveis para geração de energia elétrica a partir do H₂V. A tendência de redução de custos das energias renováveis (em particular, solar fotovoltaico e eólico), favorece o interesse na obtenção do hidrogênio por eletrólise da água, principalmente com os investimentos em energia eólica *offshore* em todo o mundo (AGÊNCIA SENADO, 2023a; OLIVEIRA, R. C. 2022, pg. 17).

O Brasil também aposta no H₂V, após as instalações eólicas *offshore*, que ocorrerão provavelmente após 2030, porém, para implementação, incluindo novos investimentos é necessário avaliar a viabilidade técnica e econômica das tecnologias e aprimoramento dos aspectos tecnológicos, legais, regulatórios, ambientais, sociais e governamentais para investimentos futuros no país (BRASIL, 2018a, pg. 163).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade da redução dos GEE na atmosfera em atendimento ao Acordo de Paris foi importante para as nações mundiais avaliarem o uso dos combustíveis renováveis e não renováveis em suas respectivas matrizes energéticas. O Brasil encontra-se numa posição vantajosa, por utilizar mais fontes renováveis, graças as usinas hidrelétricas que atualmente, geram incertezas para o futuro.

A questão no Brasil está novamente interligada ao desenvolvimento tecnológico e investimentos em infraestrutura, pensando-se somente a médio e longo prazo. Apesar dos investimentos realizados no Brasil para atender o Acordo de Paris, os demais países, inclusive os emergentes, realizam pesquisas e investimentos há tempos para implementação de fontes renováveis alternativas, referentes a energia solar flutuante, energia eólica *offshore* e energias dos oceanos, enquanto no Brasil ocorrem estudos preliminares, por falta de mais investimentos em pesquisa e por falta de parcerias entre instituições de ensino e empresas. Essas parcerias são realizadas nos países desenvolvidos e isso tem alavancado investimentos e avanços.

No caso das energias oceânicas, outro segmento bastante estudado e indicado como “fonte do futuro” por diversos relatórios internacionais (inclusive o IRENA e o IEA-OES) é a tecnologia de aproveitamento de energia por velocidade das correntes de marés, porém, no Brasil, não se tem registros dessas correntes em nenhum órgão institucional, o que dificulta a realização de pesquisas, também já relatadas por pesquisadores (inclusive por Piovani, 2023). É necessário realizar um

mapeamento das velocidades das correntes de marés na costa brasileira, assim como foi feito para a energia eólica *offshore*.

Com a Lei n. 15.097, sancionada em 10 de janeiro de 2025 que “dispõe sobre o aproveitamento de bens da União para a geração de energia elétrica a partir de empreendimento *offshore*”, abrem-se oportunidades para o Brasil em investimentos e pesquisas no setor que inclui energias oceânicas. A Lei é um avanço necessário para o país, uma vez que empreendimentos eólicos *offshore* foram avaliados a partir de empreendimentos eólicos *onshore*, como é o caso do estudo para instalações das usinas eólicas *offshore* no litoral brasileiro.

O Brasil tem uma longa costa litorânea, diversificada em recursos, porém, por falta de incentivos e parcerias, acaba desperdiçando oportunidades de se tornar um país líder no uso de energias renováveis, visto que a energia eólica *offshore* já vem sendo pesquisada desde 1991, na Dinamarca, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente. No Brasil, o primeiro estudo realizado foi o “*Roadmap Eólica Offshore Brasil*”, publicado em 2020.

Para produzir H2V tem-se diversas questões de armazenamento e transporte por meio de dutos e tanques especiais que terão custos mais elevados e será necessária uma avaliação de logística para o transporte em mar e em terra. Essa questão do armazenamento vem sendo discutida mundialmente.

Leis e normas específicas para a certificação é outra questão desfavorável, pela burocracia e lentidão de ações. Com isso, o Brasil fica “atrasado”, perante os demais países, pois muitos desses investimentos realizados pelos órgãos de fomento, são testes, enquanto nos países desenvolvidos e até em alguns emergentes, se tem protótipos testados em escala real. As normas regulamentares são, portanto, importantes, uma vez que podem acelerar o processo ou constituir um forte impedimento ao mesmo.

Com isso, apesar das condições favoráveis já mencionadas sobre as demais fontes renováveis tem-se muitas incertezas perante a concretização desses projetos até o ano de 2050. É essencial oferecer e garantir viabilidade econômica para novos investimentos no país.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e a Universidade Federal do ABC (UFABC).

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA. Dez fatos sobre energia eólica brasileira que você talvez não saiba, 2025. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/dez-fatos-sobre-energia-eolica-brasileira-que-voce-talvez-nao-saiba/>>. Acesso em: 23 fev. 2025.

AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. Crise hídrica é resultado de má gestão dos reservatórios das usinas, dizem debatedores. *Câmara dos Deputados*, 16 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/795057-crise-hidrica-e-resultado-de->>. Acesso em: 04 jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA), *Sistema Interligado Nacional*, 2025. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sar/sin>>. Acesso em: 22 fev. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Bandeiras Tarifárias. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 23 fev. 2025.

AGÊNCIA SENADO. Brasil tem grande potencial de produção de hidrogênio verde, dizem especialistas. *Senado Notícias. Agência Senado*, 2023a. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/05/17/brasil-tem-grande-potencial-de-producao-de-hidrogenio-verde-dizem-especialistas>>. Acesso em: 05 fev. 2024.

AGÊNCIA SENADO. Confúcio Moura: Brasil deve investir na geração de energias renováveis. *Senado Notícias*, 14 mar. 2023. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/03/14/confucio-moura-brasil-deve-investir-na-geracao-de-energias-renovaveis>>. Acesso em: 05 mai. 2023.

BERMANN, C. Impasses e controvérsias da hidreletricidade. *Estudos Avançados*, 21 (59), 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/i/2007.v21n59/>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética/Ministério de Mina e Energia. *Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2030*. Brasília: EPE/MME, p. 453, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética/Ministério de Mina e Energia. *Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050*. Rio de Janeiro: EPE/MME, p. 186, 2018a.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). *Mapas de projetos em licenciamento - Complexos Eólicos Offshore*, IBAMA, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/mapas-de-projetos-em-licenciamento-complexos-eolicos-offshore>>. Acesso em: 06 fev. 2024.

BRASIL. Lei nº 15.097, de 10 de janeiro de 2025. Dispõe sobre o aproveitamento de bens da União para a geração de energia elétrica a partir de empreendimento *offshore*. Brasília: DF, 2025. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/L15097.htm>. Acesso em: 19 fev. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, 2017. Disponível em: <https://antigo.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias//asset_publisher/pdAS9IcdBICN/content/hidreletrica-balbina-inicia-projeto-com-flutuadores-para-gerar-energia-solar>. Acesso em: 29 jul. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2034*. Brasília: EPE/MME, p. 576, 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia 2050*. Brasília: MME/EPE, p. 243. 2020. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 06 fev. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia 2030*. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/ptbr/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-energia/plano-nacional-de-energia-2030>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). *Balanço de consumo e geração de 2022*. São Paulo, p. 37, 2023. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/o/ccee/documentos/CCEE_1068101>. Acesso em: 31 jan. 2024.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). Geração de energia renovável bateu recorde em 2022, aponta CCEE, 2023a. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br>>. Acesso em: 31 jan. 2024.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO (CESP). Disponível em: <<https://www.cesp.com.br/energia/>>. Acesso em: 22 jun. 2024.

COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF), 2019. Disponível em: <https://www.chesf.com.br/_layouts/15/Chesf_Noticias_Farm/Noticia.aspx?IDNoticia=373>. Acesso em: 22 jul. 2024.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO (COMPESA), 2022. Disponível em: <<https://servicos.compesa.com.br/governo-do-estado-e-neoenergia-firmam-convenio-para-implantacao-de-sistema-solar-flutuante-em-fernando-de-noronha/>>. Acesso em: 29 jul. 2024.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA), 2024. Conheça a primeira usina fotovoltaica flutuante em cava de mineração da América Latina. Disponível em: <<https://www.confea.org.br/conheca-primeira-usina-fotovoltaica-flutuante-em-cava-de-mineracao-da-america-latina>>. Acesso em: 28 fev. 2025.

DANTAS, G. A. *et al.* Prospects for the Brazilian electricity sector in the 2030s: Scenarios and guidelines for its transformation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, part 2, 2017. pp. 997-1007. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.003>>. Acesso em: 26 jan. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanço Energético Nacional 2024: Ano base 2023*. Rio de Janeiro: EPE/MME, p. 275. 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanço Energético Nacional 2023*: ano base 2022. Empresa de Pesquisa Energética, EPE. Rio de Janeiro: EPE/MME, p. 275, 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanço Energético Nacional 2021*: Ano base 2020. Rio de Janeiro: EPE/MME, p. 292, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanço Energético Nacional 2015*: Ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, p. 291, 2015. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 22 fev. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanço Energético Nacional 2005*: Ano base 2004. Rio de Janeiro: EPE/MME, p. 189, 2005. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 22 fev. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional, BEN. Relatório Síntese 2024. Ano base 2023. MME/EPE. Rio de Janeiro, p. 71, 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) . Balanço Energético Nacional, BEN. Relatório Síntese 2023. Ano base 2022. MME/EPE. Rio de Janeiro, p. 65, 2023a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional, BEN. Relatório Síntese 2022. Ano base 2021. MME/EPE. Rio de Janeiro, p. 67, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2024.

EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA (EMAE), 2023. Disponível em: <<http://emae.com.br/usinaflutuante/>>. Acesso em: 29 jul. 2024.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Pesquisadores revelam oportunidades de uso de hidrogênio verde no Brasil. *FGV*, 17 fev. 2023. Disponível em: <<https://portal.fgv.br/en/news/researchers-reveal-opportunities-use-green-hydrogen-brazil>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

GOLDEMBERG; LUCON. Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, 21 (59), 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/i/2007.v21n59/>>. Acesso em: 09 jul. 2024.

GOLDEMBERG, J. ; MOREIRA, J. R. Política energética no Brasil. *Estudos Avançados*, 19 (55), 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/i/2005.v19n55/>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

GUO, L. J. *et al.* Reprint of: Solar hydrogen production and its development in China. *Energy*, v. 35, n. 2, pp.4421-4438, 2010. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.010>>. Acesso em: 05 fev. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). About, 2023. Disponível em:<<https://www.iea.org/about>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA, p. 224. 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>>. Acesso em: 31 jan. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). World Energy Outlook 2023. França: IEA, p. 355. 2023a. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>>. Acesso em: 31 jan. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY-OCEAN ENERGY SYSTEMS (IEA-OES). Annual Report: An Overview of Ocean Energy Activities in 2022. The Executive Committee of IEA Ocean Energy Systems. Nova Scotia: IEA-OES, p. 228, 2023. Disponível em: <www.ocean-energy-systems.org>. Acesso em: 31 jan. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). About IRENA. Disponível em: <<https://www.irena.org/About>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway. Abu Dhabi: IRENA, v. 1, p. 176. 2023. Disponível em: <<http://www.irena.org/publications>>. Acesso em: 31 jan. 2024.

LEWIS *et al.* Ocean Energy. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Nova York, Reino Unido/Nova York, EUA: Cambridge University Press, pp. 497-534, 2011. Disponível em: <http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch06.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.

LEWIS, M. *et al.* Power variability of tidal-stream energy and implications for electricity supply. *Energy*, v. 183, pp.1061-1074, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.181>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

LINARDI. *Introdução à ciência e tecnologia de células a combustível*. São Paulo: Artliber, 2010.

LOPES, M P. C. L. *et al.* Technical potential of floating photovoltaic systems on artificial water bodies in Brazil. *Renewable Energy*, v. 181, pp. 1023-1033, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.104>>. Acesso em: 29 ago. 2023.

MORETTO, *et al.* Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira amazônica. *Ambiente & Sociedade*, v. 15, n. 3, p. 141-164, set.-dez. 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/asoc/a/7fk7SbTFMD6KbhDSFMVRr8C/>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

MOURA, *et al.* Eventos naturais da formação das marés meteorológicas e os efeitos negativos à navegação marítima. In: Cláudio Nahum Alves [*et al.*]. Educação ambiental e sustentabilidade na Amazônia, v. 2, p. 604, E-book, 2018. Belém, Pará, Brasil: UFPA, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324521482_Eventos_naturais_da_formacao_das_mares_meteorologicas_e_os_efeitos_negativos_a_navegacao_maritima/figures?lo=1>. Acesso em: 15 jan. 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br>>. Acesso em: 05 fev. 2024.

NADALETI; SANTOS; LOURENÇO. The potential and economic viability of hydrogen production from the use of hydroelectric and wind farms surplus energy in Brazil: A national and pioneering analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 45, n° 3, pp. 1373-1384, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.199>>.

NOGUEIRA. Uso racional: a fonte energética oculta. *Estudos Avançados*, 21 (59), 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/i/2007.v21n59/>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

OLIVEIRA, R. C. Panorama do hidrogênio no Brasil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro: *IPEA*, p. 61, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

PEREIRA, E. B. *et al.* *Atlas brasileiro de energia solar*. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/thisInformationItemHomePage.html>>. Acesso em: 25 jan. 2024.

PIMENTA, F. M.; ASSIREU, A. T. Simulating reservoir storage for a wind-hydro hybrid system. *Renewable Energy*, v. 76, p. 757-767, 2015. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.047>>. Acesso em: 26 jan. 2024.

PIOVANI, J. T. *Dimensionamento de um umidificador para células a combustível em aplicações móveis*. 160 fls. Programa de Pós-graduação em Energia (Dissertação de mestrado), Universidade Federal do ABC, UFABC, 2011.

PIOVANI, J.T. *Geração de energia elétrica baseada no uso de conversores de correntes de marés de baixa velocidade*. 195 fls. Programa de Pós-graduação em Energia (Tese de Doutorado), Universidade Federal do ABC, UFABC, 2023.

PIOVANI, J. T.; TRIGOSO, F. B. M. *Perspectivas energéticas no Brasil e no Mundo*. Org. Leonardo de Carvalho Vidal, Nilmara A. G. J. R. M. E. A. In: *Engenharias - automação, robótica, metrologia e energia: estudos e tendências*. Guarujá: Científica Digital, v. 2, 2023. Cap. 9, p. 131-149. Disponível em: <<https://www.editoracientifica.com.br/>>. Acesso em: 03 ago. 2023.

SAES. Light vs. CBEE: Energia Elétrica na formação da Indústria Brasileira, 1900-1920. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL GLOBALIZACIÓN, INNOVACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE REDES TECNICAS UUBANAS EM EN AMÉRICA Y EUROPA, 1890-1930, Barcelona, 23-26 jan. p.16, 2012. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/Simposio/cSaes_Light.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

SHADMAN, *et al.* Ocean Renewable Energy Potential, Technology, and Deployments: A Case Study of Brazil Generation Of Electricity Based On Ties Energy In The North And Northeast Region Of Brazil. *Energies*, v. 12, p. 3658, 2019. DOI: <10.3390/en12193658>. Acesso em: 24 ago. 2020.

STIUBIENER *et al.* PV power generation on hydro dam's reservoirs in Brazil: A way to improve operational flexibility. *Renewable Energy*, pp. 765-776, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.003>>.

SUNERGIA. Geração de usina solar flutuante em Campinas (SP). Disponível em: <<https://sunergia.com.br/>>. Acesso em: 28 fev. 2025.

TOLMASQUIM, M. T. *Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica*. 1. ed. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Programa para o meio ambiente, UNEP/ONU, 2022. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

VAINER, C. B. Recursos hidráulicos: questões sociais e ambientais. *Estudos avançados*, 21 (59), 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/i/2007.v21n59/>>. Acesso em: 10 jul. 2024.