



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

William Hornburg Santestevan

**Investigação do Papel da Energia Eólica como Protagonista em uma Economia
de Baixo Carbono: Caso Brasileiro**

Araranguá
2023

William Hornburg Santestevan

**Investigação do Papel da Energia Eólica como Protagonista em um Economia
de Baixo Carbono: Caso Brasileiro**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético, Ambiente e Sociedade.

Orientador(a): Profa. Carla de Abreu D'Aquino,
Dr.(a)

Coorientador(a): Prof.(a) Drielli Peyerl, Dr.(a)

Araranguá

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santestevan, William Hornburg
Investigação do Papel da Energia Eólica como Protagonista
em um Economia de Baixo Carbono: Caso Brasileiro / William
Hornburg Santestevan ; orientador, Carla de Abreu
D'Aquino, coorientador, Drielli Peyerl, 2023.
65 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em
Energia e Sustentabilidade, Araranguá, 2023.

Inclui referências.

1. Energia e Sustentabilidade. 2. Energia Eólica. 3.
Brasil. 4. Setor Elétrico. 5. Economia de Baixo Carbono.
I. D'Aquino, Carla de Abreu. II. Peyerl, Drielli. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Energia e Sustentabilidade. IV. Título.

William Hornburg Santestevan

Investigação do Papel da Energia Eólica como Protagonista em um Economia de Baixo Carbono: Caso Brasileiro

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 16 de junho de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Kátia Madruga, Dra.
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luciano Hocevar, Dr.
Instituição Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Profa. Carla de Abreu D'Aquino, Dra.
Orientador(a)

Todos os grandes fatos e personagens da história universal aparecem como que duas vezes. Mas ele esqueceu-se de acrescentar: uma vez como tragédia e a outra como farsa. (MARX, 1852, p.1)

RESUMO

A economia de baixo carbono é baseada no desenvolvimento econômico utilizando fontes de energia com baixos níveis de emissões. A geração eólica possui características que a torna uma boa solução para alcançar o objetivo de uma economia descarbonizada. No Brasil essa tecnologia encontra bons ventos, boa aceitação pública, cadeia de suprimento estabelecida, incentivos governamentais e investimento de grandes empresas no ramo, esses fatores levam a crer que o crescimento do setor eólico no país continuará, e junto com a geração solar e hídrica serão as principais fontes de investimentos brasileiros, porém será que a energia eólica pode se tornar o principal vetor para o Brasil conseguir uma economia de baixo carbono? O presente trabalho contribui com o tema discutindo os principais fatores que podem levar a eólica para o estágio de protagonista no caso brasileiro. Para isso foram desenvolvidos dois artigos que discutem o tema, o primeiro discute o mercado eólico *offshore* no Brasil, estabelecendo os principais pontos de interesse nessa fonte no caso brasileiro, já o segundo artigo compara o desenvolvimento do setor eólico de 4 diferentes países, analisando os principais pontos de divergência e convergência com o caso do Brasil. Por último, foi feita uma discussão integradora entre esses, discorrendo sobre os principais pontos que podem elevar a prioridade da fonte eólica para alcançar uma economia de baixo carbono. Atualmente, o Brasil consegue alimentar sua alta demanda de energia sem um grande aumento no uso de fontes não renováveis, e por isso, com a utilização da geração eólica, juntamente com o mercado de hidrogênio verde, pode ganhar um protagonismo na transição energética.

Palavras-chave: Energia eólica, setor elétrico, economia de baixo carbono, Brasil.

ABSTRACT

The low-carbon economy is based on economic development using low-emission energy sources. Wind generation has characteristics that make it a good solution to achieve the goal of a decarbonized economy. In Brazil, this technology finds good winds, good public acceptance, an established supply chain, government incentives and investment by large companies in the field, these factors lead to believe that the growth of the wind sector in the country will continue, and along with solar and hydro generation will be the main sources of Brazilian investments, but can wind energy become the main vector for Brazil to achieve a low carbon economy? The present work contributes to the theme by discussing the main factors that can lead wind power to the stage of protagonist in the Brazilian case. For this, two articles were developed that discuss the subject, the first discusses the offshore wind market in Brazil, establishing the main points of interest in this source in the Brazilian case, the second article compares the development of the wind sector in 4 different countries, analyzing the main points of divergence and convergence with the case of Brazil. Finally, an integrative discussion was held between them, discussing the main points that can raise the priority of the wind source to achieve a low carbon economy. Currently, Brazil manages to feed its high demand for energy without a large increase in the use of non-renewable sources, and therefore, with the use of wind generation, together with the green hydrogen market, it can gain a leading role in the energy transition.

Keywords: Wind energy, electric sector, low carbon economy, Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número de artigos por país	21
Figura 2 – Representação da interligação dos artigos identificados	22
Figura 3 – Preço médio da energia eólica nos leilões no Brasil	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de artigos encontrados em cada base de dados considerando as diferentes combinações de palavras-chave	19
Tabela 2 – Análise SWOT de energia eólica offshore no Brasil	23
Tabela 3 – Dados de capacidade instalada e variação de energia não renovável dos principais países geradores de energia eólica	36
Tabela 4 – Comparação entre os países analisados	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COP	Convenção das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
IEA	International Energy Agency
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ABBeólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ZEE	Zona Econômica Exclusiva
CNUDM	Convenção das nações Unidas sobre o Direito do Mar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
SIN	Sistema Interligado Nacional
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
IRENA	International Renewable Energy Agency
FIT	Feed-in Tariff
CfD	Contracts of Difference
PNIEC	Plano Nacional Integrado de Energía y Clima
NFFO	Noun Fossil fuel Obligation
ROC	Renewable Obligation Certificate
CCC	Committee on Climate Change
GEE	Gases causadores do Efeito Estufa
LER	Leilão de Energia de Reserva

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 POSSIBILIDADES E DESAFIOS PARA INSERÇÃO DA GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE NO BRASIL¹	14
2.1 INTRODUÇÃO	15
2.2 METODOLOGIA	17
2.3 RESULTADOS	17
2.3.1 Revisão sistemática	17
2.3.2 Análise SWOT	22
2.3.3 Forças	23
2.3.4 Fraquezas	25
2.3.5 Oportunidades	28
2.3.6 Ameaças	30
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
3 CONTRIBUIÇÕES DO SETOR EÓLICO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: COMO ESTÁ O BRASIL?	32
3.1 INTRODUÇÃO	33
3.2 METODOLOGIA	35
3.3 DESENVOLVIMENTO	36
3.3.1 Espanha	36
3.3.2 Reino Unido	39
3.3.3 França	41
3.3.4 Brasil	43
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.5 CONCLUSÃO	50
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

O comportamento do homem, desde que se tornou parte dominante dos sistemas na Terra, proporcionou grande desequilíbrio ambiental. Modificações diretas na natureza aconteceram sem grandes preocupações com suas consequências. Atualmente, eventos naturais extremos vêm ocorrendo com mais frequência, e o efeito estufa vem se tornando uma preocupação cada vez maior.

Diante deste contexto, torna-se imperativa a busca pela transição energética, de uma economia altamente dependente do carbono para uma economia cada vez mais sustentável. A comunidade internacional decidiu que haveria a necessidade constante de divulgar e discutir as estratégias governamentais de diminuição dos impactos das mudanças climáticas, assim, em 1995 ocorreu a primeira Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP) em Berlim (CHRISTOFF, 2016). As políticas domésticas, nesse caso, passam a ter a possibilidade de um alcance global.

Em Paris ocorreu a COP-21, que conseguiu estabelecer um dos acordos internacionais mais importantes em relação ao meio ambiente. O Acordo de Paris surgiu com um objetivo claro de limitar o aumento da temperatura global em 2°C acima dos níveis pré-industriais (LAL, 2016).

Assim como, a pandemia do Covid-19 e a invasão russa à Ucrânia modificaram drasticamente a cadeia de suprimentos e o consumo de energia mundial, o que proporcionou uma alteração nas estratégias governamentais, em especial as metas de descarbonização (IEA, 2023).

Entretanto, a meta de 2°C estabelecida no Acordo de Paris pode ser insuficiente. Em outubro de 2018, o IPCC publicou um relatório sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C. Esta publicação concluiu que limitar o aquecimento global a 1,5°C exigiria transições rápidas, profundas e sem precedentes em todos os aspectos da sociedade, entre elas na produção e consumo de energia (IPCC, 2018).

O setor da economia que mais emite gases causadores do efeito estufa no mundo é o setor de Eletricidade e Aquecimento, representando 25% das emissões totais em 2014 (IPCC, 2014). E este fato faz com que este setor requeira um enfoque ainda maior nas medidas de diminuição de emissões de gases de efeito estufa.

O sistema energético mundial se desenvolveu com base em fontes de energia altamente poluidoras, e mesmo com esforço para diminuir a participação de combustíveis fósseis, o carvão, o petróleo e o gás natural ainda representam mais de 80% da oferta total de energia mundial (TIAN et al., 2022). O uso de fontes renováveis vem sendo pesquisado e cada vez mais estabelecido em todo o mundo, com a finalidade de alcançar as metas estipuladas e promover uma economia de baixo carbono.

A economia de baixo carbono consiste em um sistema que busca obter o menor impacto possível no meio ambiente, reduzindo as emissões e favorecendo a obtenção da neutralidade climática, obtida pela transição energética (FERREIRA; MACHADO, 2021).

Nesse cenário, a energia eólica recebe destaque internacional, uma vez que proporciona uma alternativa com baixo impacto ambiental e economicamente competitiva. Esta fonte apresenta rápido crescimento, e já está bem estabelecida em diversos países, já possui uma potência instalada em 2022 de 365 MW na China, 140 MW nos Estados Unidos da América e 66 MW na Alemanha (IRENA, 2023).

Segundo dados da ABEEólica (2023), o Brasil possui um potencial de mais de 1.500 GW de potência instalada em todo o seu território, e, juntando este fato com uma matriz elétrica predominantemente renovável traz oportunidades para o país alcançar uma economia de baixo carbono, podendo ainda exportar energia “limpa”. Com este viés, o presente trabalho busca discutir a importância da energia eólica para o Brasil alcançar uma economia de baixo carbono.

Para atingir esse objetivo foram aplicadas metodologias de revisão bibliográfica e documental, como resultado foram redigidos dois artigos científicos, os quais são apresentados nos capítulos 2 e 3. Os documentos expostos representam na íntegra os artigos gerados como resultado da pesquisa. Posteriormente, no capítulo 4 foi realizada uma discussão integradora entre os artigos e documentos recentes sobre o tema.

No capítulo 2 foi realizada uma avaliação da possibilidade de expansão da fonte eólica no Brasil para o mar, contribuindo para uma análise focada em uma forma de geração eólica ainda não presente no país, e, que em diversos países já possui um grande investimento governamental.

No capítulo 3 foi apresentado uma análise comparativa entre 4 países que apresentam tendências em utilizar a fonte eólica com vetor para alcançar uma economia de baixo carbono. Esta parte colocou em comparação os seguintes países: Brasil, Espanha, Reino Unido e França, com uma visão mais centralizada nas medidas que fizeram com que tais países aumentassem a capacidade eólica em suas matrizes.

O capítulo 4 traz uma discussão integradora comparando os resultados obtidos nos artigos anteriores, expõem-se as diferenças entre a situação da geração eólica durante as publicações com o período atual. Por último, salienta-se os principais pontos levantados sobre a energia eólica como protagonista para alcançar uma economia de carbono zero.

2 POSSIBILIDADES E DESAFIOS PARA INSERÇÃO DA GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE NO BRASIL¹

RESUMO

A Zona Econômica Exclusiva Brasileira é um ambiente único e apresenta uma velocidade média de vento maior do que a das áreas continentais brasileiras, tornando-se um local interessante para a geração de eletricidade. No Brasil, a geração eólica já é bem conhecida, sendo uma importante fonte na matriz elétrica, contudo ainda não há nenhum gerador eólico no mar. O potencial de geração eólica na plataforma continental brasileira já foi analisado, mas antes que comece a ser explorado são necessários estudos para regular a atividade, uma vez que a implantação de turbinas eólicas no mar pode gerar conflitos com outros aspectos, como pesca, transporte, defesa, turismo e meio ambiente. Assim, o presente trabalho utilizou a análise bibliométrica e revisão sistemática para compreender a situação atual da energia eólica *offshore* no Brasil e no mundo. Uma análise SWOT foi realizada a fim de determinar os pontos de interesse desta tecnologia. Como resultado, verificou-se que a geração eólica *offshore* no Brasil tem baixa prioridade, principalmente devido ao domínio de outras fontes de energia.

Palavras-chave: Energia eólica; *Offshore*; Zona Econômica Exclusiva; Concessão de áreas; SWOT.

ABSTRACT

The Brazilian Exclusive Economic Zone is a unique environment and presents a higher average wind speed than in the Brazilian continental areas. Wind generation is already well-known in Brazil, being an important source in the electric electricity mix, but no wind generator is installed at sea. The potential for wind generation on the Brazilian continental shelf has already been analyzed. Still, before it starts to be explored, studies are needed to regulate the activity due to the potential conflicts with other sectors, such as fishing, transportation, defense, tourism, and the environment. This work used bibliometric analysis and a systematic review to

¹ Artigo publicado, Santestevan, W. H., Peyerl, D., & Carla de Abreu, D. (2021). Possibilidades e desafios para inserção da geração eólica offshore no Brasil. *Revista Brasileira de Energia* | Vol, 27(4).

understand *offshore* wind energy in Brazil and the world. SWOT analysis was used to determine the points of interest of this technology to what should be avoided or improved. As a result, it was found that *offshore* wind generation in Brazil has a low priority, mainly due to the dominance of other energy sources.

Keywords: Wind energy; Offshore; Exclusive Economic Zone; Concession area; SWOT.

2.1 INTRODUÇÃO

A Zona Econômica Exclusiva (ZEE), estabelecida pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) e assinada pelo Brasil em 1982, é definida como “uma zona situada além do mar territorial e a este adjacente (CNUDM, art.55) (...) e não se estenderá além de 200 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial (CNUDM, art. 57)” (DE SOUZA, 1999). Ao Estado costeiro competem os direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não vivos das águas sobrejacentes ao leito do mar, e seu subsolo (CNUDM, art. 56) (DE SOUZA, 1999). Assim, se inicia a regulação sobre a exploração de atividades econômicas na plataforma continental brasileira.

Segundo dados do Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil (IBGE, 2011), o país possui uma área coberta pelos limites legais da ZEE de 3.539.919 km². Adiciona-se a informação de que, atualmente, a medida de superfície brasileira totaliza 8.515.767 km². Observa-se, assim, uma oportunidade de nova área territorial para promoção de desenvolvimento econômico, científico e social. Além disso, a atual demanda energética nacional e mundial tem apoiado-se numa transição para fontes energéticas menos poluidoras. Sendo que a participação das energias renováveis no consumo total de energia primária do mundo aumentou 14% em 2015, com a estimativa de que represente 63% em 2050 (GIELEN et al., 2019).

No Brasil, desde a contratação dos projetos eólicos no Leilão de Energia de Reserva de 2009, a fonte eólica tornou-se a segunda maior fonte de energia na matriz elétrica brasileira, com capacidade instalada de 19,1 GW, em fevereiro de

2021, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA, 2021). Este grande aumento foi possível devido, principalmente, à ambição do governo brasileiro de incentivar a geração de energia por fontes alternativas renováveis, em detrimento de fontes baseadas em combustíveis fósseis, contribuindo assim, principalmente, para a redução das emissões de dióxido de carbono (ONU, 2015).

No Brasil, atualmente, o aproveitamento de geração de energia eólica concentra-se em um contexto *onshore* (continental). Diferente do que ocorre em outros países, como o Reino Unido, que se destaca pelos vários parques eólicos *offshore* (marítimos), e por possuir uma política de expansão da geração *offshore* muito bem estabelecida (TOKE, 2011).

Mesmo que o crescimento da geração eólica *onshore* no Brasil não apresente tantos empecilhos por causa da dimensão e ocupação territorial, os melhores ventos estão situados na zona costeira, dentro da ZEE, conforme o *Roadmap* de eólicas *offshore* publicado pela EPE (2020b). Considerando esse cenário, uma análise da geração eólica *offshore* no Brasil se torna relevante, pois, além de uma matriz energética diversificada e confiável, há a possibilidade de aproximação da área geradora de energia elétrica da área consumidora. Para que se concretizem projetos de implementação de parques eólicos na ZEE brasileira é necessário que sejam superados empecilhos relevantes, tais como a ausência de arcabouço legal e o custo elevado dos projetos.

O presente artigo apresenta os resultados de uma pesquisa bibliométrica e realizou-se uma análise SWOT (do inglês: *Strengths* - Forças, *Weaknesses* - Fraquezas, *Opportunities* - Oportunidades e *Threats* - Ameaças) a partir do investimento em energia eólica *offshore* no Brasil. Os aspectos relevantes de possíveis conflitos com outros setores são a legislação e a preservação dos recursos naturais oceânicos na ZEE brasileira. Parte dos temas destacados no presente artigo foram discutidos inicialmente no trabalho de Santestevan (2019).

2.2 METODOLOGIA

Os métodos descritivo e qualitativo foram empregados, por meio de uma análise bibliométrica, juntamente com a revisão sistemática dando prioridade a geração eólica *offshore* e a concessão de áreas para geração de energia; o procedimento é descrito detalhadamente em Santestevan & D'Aquino (2019). Tanto para a análise bibliométrica como para a revisão sistemática, as palavras-chave selecionadas em seu sentido mais amplo (em português e inglês) foram energia eólica, *offshore*, concessão de área, *wind energy*, *concession area*, *grant area* e *area*. Quantificou-se o número de artigos em cada base de dados utilizando as diferentes combinações das palavras-chave. Tanto a análise bibliométrica quanto a revisão sistemática utilizaram diferentes bases científicas e acadêmicas, como por exemplo: *Web of Science* e *Capes*, bem como documentos oficiais do governo brasileiro.

Posteriormente, aplicou-se uma análise SWOT, a qual possibilita a percepção de variáveis controláveis e incontroláveis, e auxilia na tomada de decisões para a inserção desta tecnologia. É uma ferramenta utilizada para análise de cenário, sendo usada como base para gestão e planejamento estratégico de uma corporação ou empresa, mas podendo ser utilizada para qualquer tipo de análise de cenário (COSTA JÚNIOR et al., 2021).

Assim, foram elencados os fatores que mais influenciariam a inserção da geração a partir dos ventos no mar. Em seguida, há a discussão dos motivos de ainda não haver geração eólica *offshore* no Brasil, e quais os passos necessários para que a eólica *offshore* se torne economicamente competitiva no país.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Revisão sistemática

Os resultados são expressivos para as palavras-chave, individualmente, quando da consulta às bases de dados do IEEE e *Web of Science*. Assim, determinou-se quatro combinações distintas com as palavras-chave e, posteriormente, foi utilizado o software VOSviewer para visualização dos resultados

e das relações entre artigos, citações e autores, o que permite sintetizar os resultados da análise bibliográfica. A Tabela 1 apresenta as combinações de palavras utilizadas na análise bibliométrica; três delas indicam uma quantidade muito pequena de artigos publicados. Todavia, a combinação (*Wind Energy + Offshore + Area*) é expressiva, com 268 artigos identificados na base de dados *Web of Science*.

Tabela 1 – Número de artigos encontrados em cada base de dados considerando as diferentes combinações de palavras-chave

Palavras - chave	Base de Dados					
	CAPEs	BDTD	IEEE	OASIS BR	SCIELO	Web of Science
Energia Eólica	1361	1155	0	2583	141	4
Wind Energy	2751	1237	31172	2987	415	84289
Energia Eólica + Offshore	80	42	0	105	3	0
Wind Energy + Offshore	16	42	1802	172	8	2074
Energia Eólica + Offshore + Concessão de área	0	1	0	2	0	0
Wind Energy + Offshore + Concession area	18	0	0	1	0	0
Wind Energy + Offshore + Grant area	36	1	0	1	0	0
Wind Energy + Offshore + Area	48	39	194	1	2	268

Fonte: Autor

Os primeiros artigos relacionados ao tema datam de 1996, de acordo com a combinação de palavras escolhidas. Destaca-se o artigo intitulado de Barthelmie & Palutikof (1996b), o qual descreve modelos para estimar a velocidade do vento na costa. Um dos pontos relevantes desse estudo trata da dificuldade de se medir a velocidade e direção do vento no mar, pelo fato de haver poucas estações fixas e embarcações para tais medições. Enfatiza-se que o problema citado é de menor relevância, atualmente, pelo fato de existirem modelos mais precisos para estimar o vento e a possibilidade de se utilizar boias, radares, lasers e até satélites para a obtenção de dados precisos (TESSLER; GOYA, 2005).

Outro artigo publicado ainda em 1996, por Barthelmie & Palutikof (1996a), descreve projetos em operação e com potencial de implementação da energia eólica *offshore* em diversos países. Os projetos tinham potência instalada de pouco mais

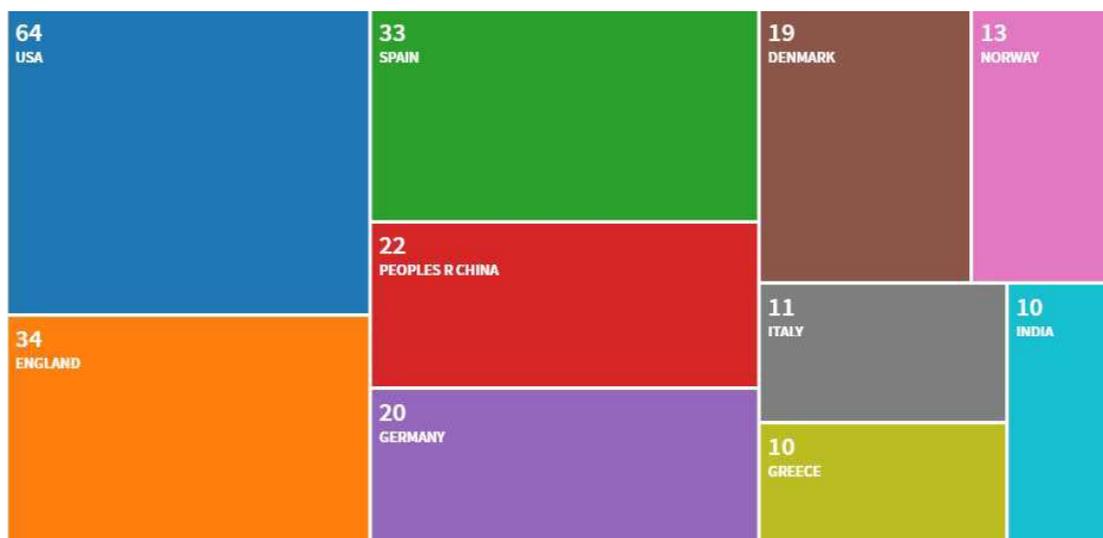
de 12 MW e estavam todos no norte europeu. Seguindo a análise dos artigos identificados, observamos que os locais nos quais essa tecnologia prosperou foram principalmente China, norte europeu e Estados Unidos da América (IEA, 2019).

Um artigo recente, publicado por Lin et al. (2021), analisa a utilização do método de TMD (*Tuned Mass Damper*) em estruturas de tipo *Jacket* sobre turbinas eólicas localizadas em águas profundas sujeitas a terremotos. Este estudo concentra-se no estudo de caso de Taiwan, a qual se encontra em uma região que tem grande incidência de terremotos, e vem utilizando ainda mais a geração eólica no mar. Assim, apenas considerando os dois artigos mais antigos e o artigo mais atual analisados, já teríamos uma visão de uma forma de geração elétrica que possui muitos desafios a serem tratados.

A partir da base de dados *Web of Science* foi possível identificar a origem dos artigos publicados, conforme a Figura 1, na qual destaca-se:

- O país que mais publicou no assunto, até a data da realização da coleta de dados, foram os Estados Unidos, num total de 64 publicações. Um dos projetos pioneiros foi o Block Island Wind Farm, no estado de Rhode Island, em 2015 (GILBERT et al., 2019);
- O maior número de unidades de geração eólica *offshore* concentra-se no norte da Europa. 146 publicações de autores dos seguintes países foram identificados: Inglaterra, Espanha, Alemanha, Dinamarca, Noruega, Escócia, Holanda, França e Bélgica e Irlanda;
- O país que está tendo um crescimento expressivo da geração eólica *offshore* é a China, que é o quarto lugar em publicação, totalizando 23 publicações;
- Em vigésimo segundo lugar na lista de países que mais publicaram encontra-se o Brasil, com apenas três publicações.

Figura 1 – Número de artigos por país

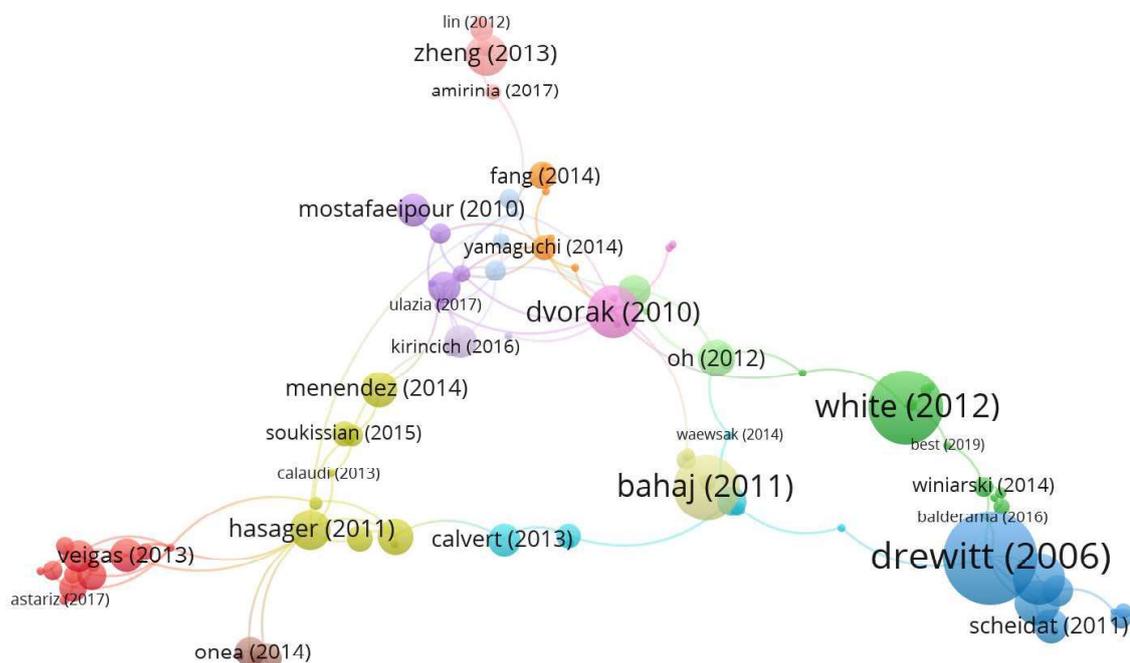


Fonte: Autores

O *software* VOSviewer permitiu visualizar as citações entre os artigos filtrados pela pesquisa, e a Figura 2 apresenta os casos de destaque. Com isso, dois artigos receberam destaque. O primeiro artigo mais citado entre os próprios artigos selecionados (13 vezes) denomina-se “*California offshore wind energy potencial*” (DVORAK; ARCHER; JACOBSON, 2010). O artigo tem como foco a possibilidade de se utilizar a geração eólica *offshore* no estado da Califórnia – Estados Unidos, e apresenta o potencial dessa forma de geração de energia.

O segundo artigo a ser destacado com mais citações no geral (299 citações) é intitulado “*Assessing the impacts of wind farms on birds*” (DREWITT; LANGSTON, 2006). O artigo trata dos potenciais impactos ambientais causados pela utilização da geração de energia eólica, e tem foco no estudo migratório de aves. A relevância está associada ao fato de que questões ambientais são fundamentais para a implementação de qualquer forma de geração de energia (SANTESTEVEAN; D'AQUINO, 2019). Na Figura 2, quanto maior o círculo, mais vezes o trabalho foi citado. As linhas conectando os círculos representam a associação das citações, e as cores indicam temas.

Figura 2 – Representação da interligação dos artigos identificados



Fonte: Autores

2.3.2 Análise SWOT

A revisão sistemática e a análise bibliográfica possibilitaram conhecer o estado da arte da geração eólica *offshore*, e os desafios sobre a concessão de áreas em outros locais do mundo. A partir deste conhecimento pode-se determinar os 13 principais pontos a serem elencados na análise SWOT, os quais estão sumarizados na Tabela 2. Destaca-se que esses pontos foram determinados e alinhados conforme cruzamento da literatura analisada pelos autores, ou seja, pontos em comum para discussão e análise da SWOT. Além disso, examina-se as informações encontradas, principalmente de outros países, como lições a serem verificadas e adaptadas para o caso brasileiro.

Tabela 2 – Análise SWOT de energia eólica *offshore* no Brasil

Forças	- Potencial de geração; - Impacto socioambientais.
Fraquezas	- Impacto ao meio ambiente; - Inexistência de tecnologia nacional para geração no mar; - Inexistência de legislação própria; - Custo elevado (O&M); - Dependência do vento.
Oportunidades	- Perspectiva de crescimento; - Proximidade a grandes centros de consumo; - Tecnologia nacional para <i>offshore</i> ; - Aproveitamento de normas para concessão de área no mar
Ameaças	- Falta de mão-de-obra; - Possíveis conflitos.

Fonte: Autores

As forças foram determinadas considerando a características que favorecem tanto o recurso, quanto de minimização de impacto social quando comparada com a eólica continental. As fraquezas apontaram e discutiram aspectos que impedem ou dificultam o desenvolvimento da atividade no Brasil. As oportunidades e ameaças procuraram elencar fatores que podem alavancar o setor e fatores que podem representar problemas, respectivamente.

2.3.3 Forças

Condição do recurso

Ortiz & Kampel (2011) elaboraram um estudo apresentando o potencial de energia eólica *offshore* no Brasil, e os resultados de velocidade média e densidade média de potência, a uma altura de 50 metros. Os autores destacam três áreas com potencial: a) costa de Sergipe e Alagoas; b) Rio Grande do Norte e Ceará; c) Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e salientam que a costa brasileira, em geral, tem um grande potencial para geração de energia eólica no mar, sendo que a velocidade média do vento *offshore* é 70% maior se comparada velocidade média em terra.

Destaca-se ainda o trabalho de Pimenta, Kempton e Garvine (2008), ao compararem diferentes métodos de medição de ventos sobre os oceanos e estimarem o potencial de geração de energia. Os autores relatam que os ventos

offshore são mais fortes e menos variáveis do que os terrestres. Evidencia-se que o vento no mar varia menos devido à ausência de barreiras físicas, como montanhas, prédios e vegetação, potencialmente produzindo mais energia elétrica, de forma mais confiável, diminuindo a necessidade de fontes de *backups* (ESTEBAN et al., 2011).

O custo de fundação das torres para geração eólica *offshore* influencia bastante no custo total do projeto e, portanto, procura-se preferencialmente locais de implementação com baixas profundidades. Destaca-se que um estudo realizado na zona costeira brasileira constatou que a plataforma continental do país é rasa e longa, principalmente nas regiões Norte, Nordeste e Sul (TESSLER; GOYA, 2005). Estes locais foram apontados como os de maior potencial, ou seja, que favorecem a geração eólica *offshore*.

Impacto social amenizado

O primeiro impacto a ser analisado é o ruído, que pode ser produzido pela rotação das pás, e também pela dissipação de energia pelo atrito entre as peças do gerador (MOURA & PINHEIRO, 2013). Segundo Churro et al. (2004), o ruído depende de uma série de fatores, como: a distribuição espacial das turbinas, o modelo da turbina instalada, relevo do terreno, velocidade e direção do vento. Um estudo feito no Complexo Eólico Canoas e Lagoas registrou ruídos dos aerogeradores entre 67,7 a 75,2 dB (DA SILVA; ABRANTES, 2019), muito acima do limite, por exemplo, de 35 dB para o campo e 60 dB para áreas industriais. A energia eólica *offshore* teria vantagem, uma vez que está distante da população, representando assim um ponto forte em comparação com a eólica *onshore*.

O conflito por território na geração *offshore* pode ser menor devido aos usos limitados da área para outras atividades (TODT; GONZÁLEZ; ESTÉVEZ, 2011). Porém, o conflito pode ocorrer devido aos locais de preservação, rotas marítimas, zonas de pesca, aquicultura e exploração de hidrocarbonetos, mas essa disputa é menor quando comparado com a geração *onshore*. Evidencia-se que as comunidades locais tradicionais, principalmente as dependentes da pesca e do turismo, são as mais impactadas pela estrutura e funcionamento de um parque eólico *offshore* (XAVIER et al., 2020).

O último impacto analisado é a interferência eletromagnética. Um parque eólico pode causar distúrbio em sistemas de telecomunicações de rádio, micro-ondas, celular e sistemas de controle de tráfego aéreo (KRUG; LEWKE, 2009). A torre e as pás podem obstruir, refletir ou refratar as ondas eletromagnéticas. O grau e a natureza da interferência dependerão da localização da turbina entre o transmissor e o receptor, das características das pás, frequência do sinal, características do receptor e da propagação das ondas de rádio na atmosfera local (KRUG; LEWKE, 2009). Pelo fato da geração eólica *offshore* ser realizada no mar, os impactos mencionados podem ser mais brandos quando comparados com estruturas de parques eólicos em área *onshore* (ARAÚJO; MOURA, 2017).

2.3.4 Fraquezas

Impactos ao meio ambiente

Uma das principais preocupações em torno dos parques eólicos é o risco de que eles causem mortalidade aviária por meio de colisões. Drewitt & Langston (2006) consideraram a taxa de mortalidade relativamente baixa, de até 23 mortes por turbina, por ano. Porém, parques instalados em rotas migratórias podem ter impactos ainda mais significativos, como a remoção do habitat natural das aves marinhas (COELHO, 2007).

Outro impacto a ser destacado considera que muitos cetáceos usam a ecolocalização para encontrar comida e se comunicar. Os cetáceos têm uma audição muito sensível, que pode ser prejudicada pelos ruídos altos associados aos parques eólicos (THOMSEN et al., 2006). No parque eólico de Nysted, na Dinamarca, a população de focas cinzentas foi monitorada antes, durante e após a construção de um parque eólico no mar. A operação do parque não pareceu impactar significativamente a abundância de focas, no entanto, diminuíram o número de focas observadas em um local de criação próximo. Assim, presumiu-se que a diminuição estava relacionada ao barulho emitido pelas turbinas (CARSTENSEN; HENRIKSEN; TEILMANN, 2006). Os peixes também podem ser muito sensíveis aos ruídos, ocorrendo, porém, uma grande variabilidade entre os sistemas auditivos de

peixes, e espécies de peixes respondem de maneira diferente ao ruído (THOMSEN et al., 2006). Muitas espécies de peixes também são sensíveis a campos elétricos e magnéticos, que podem ser causados por cabos subaquáticos, incluindo espécies de peixes importantes para pesca no Brasil, como exemplo o atum-amarelo (NEDWELL; LANGWORTHY; HOWELL, 2003).

Além desses efeitos negativos, têm ocorrido discussões sobre o potencial de impactos positivos de parques eólicos *offshore* no meio marítimo. Após a construção de um parque eólico, as fundações de turbinas poderiam servir como substrato para invertebrados bentônicos, atraindo assim peixes. As plataformas de petróleo *offshore* são bem conhecidas por essa propriedade (VATTENFALL; SKOV-OG, 2006).

Apesar de alguns pontos acima mencionados serem interpretados como positivos, a instalação de torres eólicas do mar apresenta impactos relevantes para o meio marinho e deve estar sujeita aos estudos de impacto ambiental. Por isso, este ponto foi determinado como uma fraqueza.

Inexistência de tecnologia nacional de geração

As empresas líderes no desenvolvimento da tecnologia para geração de energia eólica (fundação, turbinas *offshore*, plataformas, embarcações e cabos) são: Siemens, EEW Group, ENERCON, Vestas, Dong Energy e Senvion (GILBERT et al., 2019). No Brasil, algumas empresas trabalham com a fabricação de componentes da geração de energia eólica, sendo as mais importantes a WEG e Nordex, contudo são empresas que estão começando a competir no cenário internacional, nessa área, e não possuem nenhum segmento para geração no mar.

Inexistência de legislação própria

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), responsável pelo licenciamento ambiental de parques eólicos, conta atualmente com oito projetos de produção de energia eólica marinha, porém nenhum deles conseguiu licença ambiental prévia para que ocorra o início da construção. Evidencia-se que o Brasil ainda não possui uma legislação própria para concessão de áreas para a geração eólica *offshore* e, que a adaptação de

legislações atuais aplicadas a esse caso pode trazer incerteza jurídica e econômica para o desenvolvimento da atividade.

Custo elevado

Uma instalação de energia eólica *offshore* é mais complexa e dispendiosa, em comparação com a energia eólica *onshore* (BILGILI; YASAR; SIMSEK, 2011) devido principalmente à distância da costa, operação e manutenção em mar e difícil interligação às redes de transmissão elétricas (HENDERSON et al., 2003). Além disso, o custo da energia eólica *offshore* é entre 1,5 e 3 vezes mais elevado que um projeto similar em terra (BRETON; MOE, 2009). Sendo assim, o custo total, juntamente com a falta de normas específicas, se tornam os parâmetros mais relevantes para a inserção desta forma de geração de energia no Brasil. Destaca-se, que o ambiente de implementação desta forma de geração de energia é corrosivo para equipamentos elétricos e estruturais, e assim é exigido que os geradores possuem proteção catódica e de umidade, além do uso de tintas específicas para a estrutura, encarecendo mais o projeto (SNYDER; KAISER, 2009).

Os avanços tecnológicos registrados no segmento eólico *offshore* têm proporcionado redução de custos (BAYER, 2018). A característica mais marcantes dos projetos eólicos *offshore* é o uso de aerogeradores ainda maiores, quando comparado a eólica *onshore*, com diâmetro do rotor médio de 150 metros e potência nominal superior a 6 MW (EPE, 2018). O custo da geração eólica no Brasil variou. O custo total de um projeto eólico *offshore* depende de questões não controláveis, tais como: variações cambiais, disponibilidade de mão-de-obra especializada e restrição da cadeia de suprimentos (GREENACRE; GROSS; HEPTONSTALL, 2010).

Dependência do vento

A energia eólica depende da força dos ventos, que apresenta natureza estocástica, contendo um grau de imprevisibilidade. Com isso, existirão momentos em que a velocidade do vento é relativamente baixa, não sendo suficiente para a geração de energia (DAMASCENO; ABREU, 2018). Esse fator negativo está atrelado a diversas fontes de energia que são dependentes da natureza, como por exemplo a geração solar. Uma solução adotada para a intermitência da energia

eólica à rede elétrica é a complementaridade com a energia das hidrelétricas (HUNT; FREITAS; PEREIRA JÚNIOR, 2016). O Brasil apresenta uma matriz elétrica com grande participação da fonte hídrica, de forma que a dependência do vento pode se tornar mais branda.

Por último, com uma análise histórica da velocidade e direção do vento, e a aplicação de modelos estatísticos, pode-se prever com um bom grau de certeza a geração de energia (WITZLER, 2016), fazendo com que a venda e compra de energia seja facilitada pela previsibilidade de geração, diminuindo a necessidade de fontes de *backup*.

2.3.5 Oportunidades

Perspectivas de crescimento

A pandemia do COVID-19 trouxe impactos para o setor energético, ainda a serem melhor compreendidos. No caso do desenvolvimento de projetos eólicos *offshore* ocorreu um aumento do tempo de implementação e, conseqüentemente, um aumento do custo (IEA, 2019). No Brasil, a afirmação inicial é que não houve prejuízos nos parques eólicos em construção, contudo ressalta um impacto na cadeia de suprimentos em toda América Latina (SAMPAIO; BATISTA, 2021). O fator de capacidade da geração eólica no Brasil é bem elevado comparado com a média mundial. Em 2019, o fator de capacidade da geração eólica no Brasil era de cerca de 32%, bem maior quando comparado com a média europeia, de aproximadamente 21% (EPE, 2020).

Proximidade de grandes centros

Altas densidades demográficas dificultam a instalação de grandes centrais de geração de energia, dada a necessidade de área. A instalação de grandes centrais longe dos grandes centros de consumidores, reflete na perda de energia na transmissão devido às longas distâncias. Historicamente, o desenvolvimento do Brasil concentrou-se na faixa litorânea, o que permite que esse centro consumidor seja abastecido com energia proveniente da geração de plantas eólicas *offshore*, diminuindo assim a perda de transmissão (SANTESTEVEAN; D'AQUINO, 2019). No

caso do Brasil, a tecnologia de linhas de transmissão no mar advindas de um *know-how* da indústria de petróleo e gás natural (PEYERL, 2019) poderá contribuir com as instalações e infraestrutura de plantas eólicas na área *offshore*.

Tecnologia offshore

O desenvolvimento tecnológico *offshore* pela indústria brasileira de petróleo e gás natural, como anteriormente mencionado, pode contribuir para o processo de infraestrutura de plantas eólicas. Por exemplo, os guindastes marítimos desenvolvidos por essa indústria permitem que turbinas maiores sejam montadas em áreas *offshore* (MUSIAL; BUTTERFIELD, 2004).

Quando se trata de instalações *offshore*, é necessária a existência de uma estrutura portuária que suporte todo o serviço de construção, montagem e transporte. Esta estrutura pode ser suprida pela malha de portos existente na região, aproveitando construções feitas para atender a indústria de petróleo e gás.

Um grande problema nas estruturas que se encontram no mar é o requerimento de manutenção, principalmente pelo fato da rápida corrosão. Para isso, empresas brasileiras têm se especializado em tintas especiais, métodos e equipamentos para a manutenção no mar, sendo o país referência neste setor (COSTA; ABRANTES, 2015).

Aproveitamento de normas para concessão de áreas no mar

Em geral, sugere-se que a geração eólica *offshore* tenha um órgão específico que delimite as áreas que serão concedidas para a construção dos parques eólicos, e regule essa concessão. Tanto para aquicultura no mar quanto para exploração de hidrocarbonetos há normas para utilização de áreas, assim como órgãos governamentais responsáveis pela fiscalização, os quais podem servir de esboço para regulamentação da geração eólica *offshore* (SANTESTEVEAN; D'AQUINO, 2019).

2.3.6 Ameaças

Falta de mão-de-obra

No Brasil, a indústria de petróleo e gás natural é forte e apresenta qualificações nas áreas de: análise do terreno marinho; manutenção no mar; materiais específicos para utilização no oceano; transporte de grandes estruturas; e instalação de estruturas no mar (GILBERT et al., 2019). Parte desse conhecimento poderá ser utilizado na eólica *offshore*, no entanto, a mão-de-obra específica e especializada inicialmente virá de outros países, representando uma ameaça inclusive economicamente para o país (SANTESTEVEAN; D'AQUINO, 2019).

Possíveis conflitos

Qualquer estrutura colocada na ZEE brasileira deve receber uma permissão da Marinha do Brasil (PINTO CALDERON et al., 2019). Além disso, com objetivo de proteger interesses nacionais, qualquer concessão de área na ZEE requer ainda o parecer da ANP, para assim não conflitar com a exploração de petróleo, segundo a Lei nº 8987, de 13 de fevereiro de 1995. Uma vez implementado um parque de geração de eólica *offshore*, é necessário que a energia seja transmitida até o Sistema Interligado Nacional (SIN). Linhas de transmissão subaquáticas necessitarão ser construídas e bem estudadas, para que se evite ao máximo danos ao meio ambiente marítimo e perdas excessivas. Para evitar conflitos com as atividades já realizadas na ZEE brasileira, reforça-se a necessidade de dialogar com todos os órgãos governamentais que regem estas atividades, a fim de se fazer um marco regulatório.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram realizadas, inicialmente, duas análises distintas envolvendo a geração eólica *offshore*, ambas com o enfoque na concessão de áreas. A primeira análise permitiu verificar os trabalhos científicos mais relevantes, de forma qualitativa, permitindo uma visão ampla sobre o assunto. Como resultado da análise bibliométrica, concluiu-se que, o território brasileiro possui potencial e condições

ambientais favoráveis para o desenvolvimento da energia eólica *offshore*, porém, uma série de impedimentos, como regulação, mão-de-obra e tecnologia precisam ser revistos e aprimorados urgentemente.

Por meio da utilização da ferramenta SWOT, foi possível observar vários pontos de análise e experiências internacionais que podem contribuir com o desenvolvimento de um arcabouço regulatório junto a investimentos de P&D nessa área. Em relação a pontos técnicos, a análise demonstrou que a geração eólica *offshore* é mais favorável em países que possuem uma plataforma continental extensa e rasa. Bem como, com uma alta densidade demográfica na zona costeira, a qual justifica a localização de parques próximos a grandes zonas consumidoras, e onde não há área disponível em terra. Esses pontos são relevantes, visto que permitem fundações mais simples e baratas para as torres eólicas *offshore*. Alguns dos países que mais se adequam a essas características são: Inglaterra e Japão.

A análise SWOT também permitiu a determinação de pontos importantes os quais têm impedido a viabilização da geração eólica *offshore* no Brasil, combinado pelo alto custo de empreendimentos e *know-how* tecnológico. A criação de normas específicas para geração eólica *offshore* é outro importante ponto a ser mencionado novamente para que o país possa estar preparado para que ocorra a inserção desta fonte de energia, oferecendo segurança jurídica a novos empreendimentos e investimentos.

Assim, espera-se que este trabalho traga luz ao desenvolvimento da geração eólica, principalmente no Brasil, ao abordar diferentes aspectos que necessitam ser trabalhados e retrabalhados principalmente pelos governos junto ao seu planejamento do setor energético.

3 CONTRIBUIÇÕES DO SETOR EÓLICO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: COMO ESTÁ O BRASIL?²

RESUMO

A geração eólica tem um papel de destaque no caso brasileiro, teve seu início recente e, atualmente, representa a terceira maior fonte na matriz elétrica. O objetivo principal do artigo é discutir o mercado eólico do Reino Unido, Espanha, França e Brasil de forma comparativa, considerando a importância do setor eólico para uma economia de baixo carbono, observando em especial, um cenário de pós pandemia COVID-19 e conflito internacional entre Rússia e Ucrânia. Analisando o desenvolvimento do setor eólico nos países discutidos, pode-se concluir, que grandes investimentos em políticas públicas para inserção da geração eólica resultaram no desenvolvimento do setor nesses países, porém a maneira que esses investimentos ocorreram foi determinante para o sucesso da fonte eólica em cada um dos países. Mostrando que existe mais de um caminho para alcançar o desenvolvimento eólico, e há fatores decisivos para um bom resultado.

Palavras-chave: Brasil. Canadá. Reino Unido. Espanha. COVID-19. Economia de baixo carbono.

ABSTRACT

Wind generation has a prominent role in the Brazilian case, had its beginning recently and currently represents the third largest source in the electrical matrix. The main objective of the article is to discuss the wind market in the United Kingdom, Spain, France and Brazil in a comparative way, considering the importance of the wind sector for a low carbon economy, looking in particular at a post-pandemic COVID-19 scenario and international conflict between Russia and Ukraine. Analyzing the development of the wind sector in the countries discussed, it can be concluded that large investments in public policies for the insertion of wind generation resulted in the development of the sector in these countries, but how these investments occurred was decisive for the success of the wind source in each of the countries.

² Artigo submetido para a Revista Ambiente e Sociedade (ISSN 1809-4422) e aceito para o processo de avaliação em abril de 2023.

There is more than one way to achieve wind development, and there are decisive factors for a good result.

Keywords: Brazil. Canada. United Kingdom. Spain. COVID-19. Low Carbon Economy.

RESUMEN

La generación eólica tiene un papel destacado en el caso brasileño, tuvo su inicio recientemente y actualmente representa la tercera mayor fuente en la matriz eléctrica. El objetivo principal del artículo es discutir el mercado eólico en el Reino Unido, España, Francia y Brasil de forma comparativa, considerando la importancia del sector eólico para una economía baja en carbono, mirando en particular un escenario post pandémico de COVID-19 y un conflicto internacional entre Rusia y Ucrania. Analizando el desarrollo del sector eólico en los países discutidos, se puede concluir que las grandes inversiones en políticas públicas para la inserción de la generación eólica dieron como resultado el desarrollo del sector en estos países, pero la forma en que se dieron estas inversiones fue decisiva para el éxito de la fuente eólica en cada uno de los países. Demostrando que hay más de una forma de lograr el desarrollo eólico, y existen factores determinantes para un buen resultado.

Palabras-clave: Brasil. Canadá. Reino Unido. España. COVID-19. Economía Baja en Carbono.

3.1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais e o declínio ambiental são em grande parte causados pelo comportamento humano, que por muitos anos usufrui de forma descontrolada os recursos naturais (IPCC, 2014). O consumo de energia é de longe a maior fonte de emissões de gases de efeito estufa causadas por seres humanos, responsável por 73% das emissões mundiais (Ritchie & Roser, 2020), fazendo com que esse setor necessite de um olhar mais atento.

Destaca-se que, as decisões sobre a política energética têm repercussão de longo prazo, basta observar como escolhas no passado resultaram no desenvolvimento, por exemplo, dos biocombustíveis, da energia nuclear e da hidroeletricidade, que moldaram a matriz energética brasileira (EPE, 2021b). Durante a COP-27 (Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas), realizada em 2022, foram estabelecidas regras sobre transição energética justa, no entanto, nenhum avanço significativo na fase de diminuição no uso de combustíveis fósseis (ESCR-NET, 2022).

Com a invasão russa na Ucrânia e os seus efeitos, em primeiro momento as sanções impostas trouxeram um questionamento perante a muitos países europeus, suas grandes dependências de combustíveis fósseis provenientes da Rússia. Dessa forma, uma procura ocorreu para determinar a solução, o setor de energias renováveis ainda não estava pronto para preencher esse vazio, então essas metas de descarbonização começaram a ser revistas.

Esse cenário reforça a importância das energias renováveis, mas destaca como os países estão globalmente relacionados e dependentes do setor energético. Uma economia de baixo carbono é a fase onde os objetivos de redução de emissões, em especial as emissões de CO₂, são alcançadas (YUAN et al., 2011). Para chegar neste objetivo é necessário grande esforço de diferentes atores da sociedade, sendo o principal responsável por emissões globais é o setor de energia (JEWELLI et al., 2019), por isso há grande investimento na transição deste setor e em fontes renováveis de energia, como eólica, solar e biocombustíveis. Neste âmbito, a fonte eólica se apresenta como destaque, uma fonte renovável com grandes expectativas, países com o mercado eólico já bem estabelecido e arcabouço legal já desenvolvido.

Diante deste contexto, o presente artigo discutiu o mercado eólico do Reino Unido, Espanha, França e Brasil de forma comparativa, considerando a importância do setor eólico para uma economia de baixo carbono do Brasil. A principal contribuição está na percepção dos resultados positivos do Brasil diante das oscilações do mercado energético pós pandemia e, durante o período de instabilidade internacional, principalmente com as tensões da invasão russa da Ucrânia.

3.2 METODOLOGIA

Realizou-se uma análise da literatura cinzenta e acadêmica considerando os resultados do setor elétrico brasileiro e de três outros países. Para realizar uma discussão comparativa, a metodologia foi organizada em três partes: escolha dos países, determinação dos tópicos principais do mercado energético a serem investigados e destaque dos principais resultados de cada país. O trabalho escolheu como foco o ano de 2020, pelo fato de ser o primeiro da pandemia de COVID-19, proporcionando a investigação de dois períodos distintos: o cenário pré e pós pandemia (considerando a recuperação pós crise econômica) e os efeitos da guerra entre Rússia e Ucrânia no mercado energético internacional.

Com intuito de escolher 3 países para este estudo de forma sistemática, dois critérios foram determinados: (i) a capacidade eólica instalada em 2020 acima de 10 GW, assim selecionou-se apenas aqueles com uso relevante da fonte eólica e (ii) países comprometidos na descarbonização das suas matrizes elétricas, por meio da variação no uso de energias não renováveis entre 2015-2020.

Para a análise, utilizou-se os dados provindos do *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2021). Logo, a Tabela 3 foi organizada, considerando os 10 países que cumpriram o primeiro critério. O segundo critério destaca os três países com maior percentual de redução de fontes não renováveis entre 2015 e 2020. Quando os percentuais foram semelhantes, como ocorreu entre França e Itália, o país com maior capacidade instalada foi escolhido, sendo assim, o critério 1 utilizado como fator de desempate.

Tabela 3 – Dados de capacidade instalada e variação de energia não renovável dos principais países geradores de energia eólica

Países	Capacidade Instalada no ano de 2020 (GW)	Varição de fontes não renováveis entre 2015 - 2020 (%)
Alemanha	62,18	-3,0
Brasil	17,20	10,0
Canadá	13,58	1,0
China	281,99	27,0
Espanha	27,09	-13,0
Estados Unidos da América	117,74	-2,0
França	17,38	-9,0
Índia	38,56	19,0
Itália	10,84	-9,0
Reino Unido	24,49	-12,0

Fonte: Irena, 2020a, b, c, d, e, f, g, h, i, j

Conforme a Tabela 3, os três países selecionados foram Espanha, Reino Unido e França. Ambos já possuem banco de dados para a fonte eólica, mercado e arcabouço legal bem desenvolvidos, trazendo uma discussão interessante sobre o assunto. A análise do setor do eólico de cada país foi organizada em 6 tópicos, para assim obter uma comparação de forma sistemática e clara: matriz elétrica em 2020, utilização eólica em 2020, histórico do desenvolvimento da geração eólica, custos, efeitos da pandemia do COVID-19 e, pretensões com a geração eólica.

3.3 DESENVOLVIMENTO

3.3.1 Espanha

Matriz elétrica em 2020

A matriz elétrica espanhola se desenvolveu principalmente a partir de termelétricas. Esforços recentes trouxeram uma grande diminuição da utilização de fontes não renováveis, como a fonte nuclear, a qual proporciona a segurança energética necessária com o aumento de fontes intermitentes, como eólica e fotovoltaica (AEE, 2021). Entre 2015-2020 a potência instalada de carvão diminuiu de 52.789 para 5.022 MW, segundo o Informe do Sistema Elétrico Espanhol. Esta queda acentuada vem de encontro ao Plano Nacional do Clima e Energia, que apresenta um de seus objetivos para descarbonização da matriz a total eliminação do carvão para geração de energia elétrica (JEWELL et al., 2019).

Utilização eólica em 2020

No ano de 2020, pelo quinto ano consecutivo, a geração eólica se manteve como a segunda maior fonte de energia elétrica na Espanha. Neste ano, o recurso eólico representou 24,8% da capacidade instalada do país, com um total de 27.485 MW, 21,9% da energia gerada, com 54.899 GWh (RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, 2021). De acordo com o Anuário Eólico 2021, há na Espanha um total de 21.419 aerogeradores divididos em 1.265 parques eólicos (EVWIND, 2021). O maior parque eólico espanhol se encontra na cidade de San Silvestre de Guzmán (Huelva).

Histórico do desenvolvimento da geração eólica

A utilização de aerogeradores para produção de energia elétrica na Espanha começou em 1978 com a instalação de um protótipo na cidade de Tarifa na província de Cádiz (Marín, 2004). Desde então, a geração eólica tornou-se uma das principais fontes na matriz elétrica espanhola. A consolidação da geração eólica se deu com auxílio público, visto um anseio do governo espanhol de “limpar” sua matriz elétrica (FERREIRA; ACOSTA; DE LA ENERGÍA, 2014).

O primeiro plano de energia renovável foi instituído pelo Governo em 1986 (PEREZ; RAMOS-REAL, 2009). Inserindo tarifas *feed-in* (FIT) para diversas tecnologias, incluindo a geração eólica. Entretanto, segundo Dinica (2004), até 1994 as FIT tinham um valor baixo e o risco de preço era alto, principalmente pelo fato de a lei não detalhar o valor a ser empregado, deixando investidores céticos.

O Decreto Real 2818/98 proporcionou aos produtores de energia renovável uma escolha entre altos valores de FIT ou um sistema com prêmio garantindo preços mais baixos de mercado (PEREZ; RAMOS-REAL, 2009). Também foi sustentado um pagamento equivalente a 80-90% da taxa de varejo aos produtores de energia eólica, o que fez com que a Espanha fosse o primeiro país europeu a utilizar este esquema de apoio (HELD et al., 2014). Os regulamentos de FIT foram atualizados em 2004, permitindo que os produtores de energia renovável vendessem energia para as distribuidoras com tarifas reguladas (PEREZ; RAMOS-REAL, 2009).

Em 1994, a empresa nacional Gamesa Eólica foi criada, desenvolvendo sua primeira turbina em 1995 (COSTA et al., 2009). A fusão entre a empresa alemã

Siemens e a Gamesa, em 2016, formou uma das maiores empresas no ramo de tecnologias de geração eólica, em especial o ramo *offshore*.

No ano de 2017, após três anos consecutivos sem nenhuma nova instalação eólica no país, a Espanha voltou a realizar audiências para geração renovável, contudo não foi oferecido nenhum tipo de regime de auxílio ao setor da energia eólica (ROSALES-ASENSIO et al., 2019). Em 2021, uma nova política para incentivar a geração eólica, utilizando os *Contracts-for-Difference* (CfD) nas novas audições de capacidade.

Na Espanha esta fonte de energia encontrou locais com bons ventos, proximidade a grandes centros (proporcionando menores custos de transmissão), uma legislação que favorece a energia renovável, empresas interessadas em investir e financiar e, uma boa aceitação local. Resultando em cenário de alta penetração da fonte eólica na matriz (RÍO; UNRUH, 2007).

Custos

O custo da geração eólica em 2020 na Espanha teve um valor médio de € 31,75/MWh, propiciando aproximadamente 30.000 empregos diretos, com uma previsão de ter 60.000 pessoas empregadas no setor eólico em 2030 (EVWIND, 2021). Em janeiro de 2021, a Espanha fez audições para 3 GW de energia renovável utilizando CfD, obtendo uma margem de valor entre € 20/MWh e € 28,89/MWh. Tornando-se até então o menor valor para geração eólica *onshore* na Europa (WIND EUROPE, 2021).

Efeitos da pandemia do COVID19

A Espanha viveu o pior período da pandemia de COVID-19 durante março e abril de 2021, o que refletiu em uma redução de 13,49% do consumo de energia elétrica comparada com o mesmo período de 5 anos atrás. O aumento do consumo elétrico não veio junto com um aumento na tarifa, visto a maior disponibilidade de energia, diminuição do preço do gás natural e redução na geração de plantas de alto custo, como as termelétricas a carvão (SANTIAGO et al., 2020).

Pretensões da geração eólica

A Espanha possui um Plano Nacional Integrado de Energia e Clima (PNIEC) que objetiva atingir 42% da energia final em 2030 provinda de fontes renováveis. Para obter este resultado espera um incremento de 50 GW de potência instalada eólica mais repotenciação de 10-20 GW (JEWLL et al., 2019).

Durante a COP26, o presidente da Espanha anunciou que iria aumentar o financiamento para conseguir atingir os objetivos de 2025, mencionando a *Ley de cambio climático y transición energética, Lei 7/2021* (ESPANHA, 2021). Esta lei apresenta metas claras para atingir o objetivo de 1,5°C, como: 74% da geração de energia elétrica proveniente de fontes renováveis em 2030; 42% da geração de energia final proveniente de fontes renováveis em 2030; 3,5% de aumento anual de eficiência na intensidade de energia primária até 2030.

3.3.2 Reino Unido

Matriz elétrica em 2020

No Reino Unido, a geração eólica é a segunda maior fonte de energia elétrica, atrás apenas do gás natural, representando 21,9% da matriz elétrica em 2020. A fonte que apresentou a maior diminuição no intervalo de 2015-2020 foi o carvão mineral, e as que mais cresceram foram: gás natural, eólica e solar fotovoltaica. Estas três fontes juntas representam hoje mais de 70% da matriz elétrica do Reino Unido.

Utilização eólica em 2020

No ano de 2020, a capacidade instalada eólica foi de 23.203 MW, representando 21,9% da matriz elétrica, com a geração eólica *onshore* foi de 12.835 MW e a *offshore* foi de 10.365 MW (BMRS, 2021). No Reino Unido existem 8.721 aerogeradores *onshore*, e na modalidade *offshore* há 2.297 aerogeradores (DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY & INDUSTRIAL STRATEGY, 2021). A maior geração de energia eólica se encontra no norte, em especial na região da Escócia com 9.419,27 MW (BBC, 2022).

Histórico do desenvolvimento da geração eólica

A primeira turbina eólica conectada à rede no Reino Unido começou a operar em 1951, em Orkney Island, (PRICE, 2004). Porém, apenas em 1981 o primeiro gerador eólico de grande escala foi instalado, vindo da Dinamarca (BOSSANYI, 1983). Com o baixo conhecimento nacional na tecnologia, o governo inglês por um longo período não aplicou nenhum programa de investimento na geração eólica (MACKIE, 1985).

Em 1989, foi adotado o *Non-Fossil Fuel Obligation* (NFFO), que obrigava as novas companhias regionais de eletricidade a fazerem contratos com geradores de energia não fóssil (ELLIOTT, 1992). Os NFFOs criaram o primeiro mercado eólico com grandes oportunidades de geração no Reino Unido, mas também um forte movimento social contra a geração eólica (STENZEL; FRENZEL, 2008).

O Reino Unido apenas teve outro sistema de incentivo a fontes renováveis em 2002, com os Certificados de Obrigação Renovável (ROCs) que perduram até os dias de hoje. Devido a isso, a energia eólica foi de 425 MW em 2000 para 12.809 MW em 2014 (GRAZIANO et al., 2017).

Em 2013, uma nova ferramenta foi inserida, o CfD, a qual permitiu que fontes renováveis se tornassem mais economicamente competitivas com menos riscos iniciais (BP, 2016). No ano de 2015, os primeiros resultados de audições de CfD para geração eólica *offshore* foram anunciados, com valores entre € 132,51 a € 139,48/MWh para projetos a serem entregues em 2019. O primeiro projeto de geração eólica *offshore* no Reino Unido foi instalado em 2000, na costa de Northumberland (BOYLE, 2012). Com grandes expectativas nesta forma de geração de energia, o governo do Reino Unido licenciou 3 rodadas, para incentivar a inserção e futura consolidação da eólica *offshore* (PATERSON et al., 2018).

A energia eólica foi a segunda maior fonte em capacidade instalada desde do ano 2017 (DBEIS, 2021), o Reino Unido precisou adotar mais de uma solução para chegar neste ponto. A oposição local e a falta de grandes empresas nacionais no setor eólico se mostraram empecilhos relevantes para o desenvolvimento desta tecnologia, porém o anseio público, junto de fortes tarifas *feed in* em um dos países com melhor recurso eólico da Europa conseguiram consolidar a geração eólica.

Custos

Em 2020, o custo médio da geração eólica *onshore* foi estimado em € 88,94/MWh (HUGHES, 2021). Já a geração eólica *offshore*, que era de € 129,05-194,16/MWh em 2018, foi para um valor médio de € 87,84/MWh em 2020, por causa do regime de CfD e uma mudança que fez com que o preço do carbono seja aplicado em todas as tecnologias de geração (LOW CARBON CONTRACTS, 2021).

Efeitos da pandemia do COVID-19

A pandemia do COVID-19 no Reino Unido, resultou na variação nas curvas de carga residencial (ZHONG et al., 2020). O consumo residencial de energia elétrica cresceu cerca de 3,9% entre 2019 e 2020, em contrapartida houve diminuição no consumo no setor comercial e industrial, proporcionando uma queda de mais de 4,5% em 2020 (DIGEST OF UNITED KINGDOM ENERGY STATISTICS, 2021). Mesmo com a baixa no consumo, a geração renovável continuou crescendo, cerca de 2% em 2020.

Pretensões da geração eólica

O Reino Unido se comprometeu a zerar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) até o ano de 2050, assim como reduzir as emissões para 78% até 2035. O *Committee on Climate Change* (CCC) estimou que para atingir os objetivos pretendidos será necessário 75 GW de geração eólica *offshore* até o ano de 2050.

3.3.3 França

Matriz elétrica em 2020

A matriz elétrica francesa se desenvolveu inicialmente por meio de termelétricas a carvão, porém o setor vivenciou um rápido crescimento da geração nuclear, principalmente a partir da década de 1980 (VEYRENC, 2019). Entre o intervalo de 2015 e 2020 a França apresentou um grande investimento na fonte eólica, sendo a energia eólica a terceira maior fonte de energia em capacidade instalada em 2020.

Utilização eólica em 2020

A energia eólica na França em 2020 apresentou uma capacidade instalada de 17.380 MW, com 12,9% da matriz elétrica, e em geração alcançou 39.690 GWh, ou seja, 7,9% de toda geração de energia elétrica no ano (RTE, 2021). A França possui cerca de 8.000 aerogeradores, divididos em 1.942 parques eólicos e em todas as regiões do país. O maior parque eólico está localizado em Gruges, *Nord-Pas-de-Calais* (OSTWIND, 2022).

Histórico do desenvolvimento da geração eólica

A primeira turbina eólica instalada na França foi em 1991 em *Port-la-Nouvelle* pela *Compagnie du Vent* (MOLLARET, 2019). Em 1996 foi lançado o primeiro programa para incentivo da fonte eólica do país, o “*Éole 2005*”, com o objetivo de instalar 250 a 500 MW até o ano de 2005 (BELHOMME, 2002). Em 2001 este programa foi substituído por um sistema de garantia de preços e já no primeiro ano do programa os principais atores sinalizaram complicações como: falta de segurança legal e barreiras administrativas elevadas (BCG, 2004).

Em 2000, sancionou-se a *Loi de modernisation du service public de l'électricité* (Lei de modernização do serviço público de eletricidade), com isso o governo francês estabeleceu um sistema de apoio à eletricidade produzida a partir de energias renováveis, obrigando a compra a um preço regulado garantido por licitações (DE SUZZONI, 2004). A primeira FIT para a geração eólica na França era fixada entre 2,8 c€/kWh a 8,2 c€/kWh, essa lei foi substituída em 2016 (INSEE, 2016).

No ano de 2002, o movimento anti-energia eólica, denominado “*Vent de Colère*” foi formado, juntamente com a preferência dos políticos pela energia nuclear, são considerados os principais fatores complicadores para a uma maior inserção da fonte eólica no país (CHATAIGNIER; JOBERT, 2003), estando presentes até os dias atuais.

Em 2011 a França autorizou os primeiros projetos eólicos *offshore* de 3.000 MW de capacidade instalada. A França é o segundo país europeu com maior potencial eólico *offshore*, atrás apenas do Reino Unido, contudo, a predisposição

para essa fonte energética não proporcionou um desenvolvimento no setor (CHAMPYHAMPY; FOUQUÉ, 2021).

A lei de transição energética para o crescimento verde foi publicada em 2015, com principais objetivos de: redução das emissões de gases de efeito estufa em 40% até 2030, aumentar a quota de energias renováveis para 23 do consumo final bruto de energia em 2020, criação de 100.000 postos de trabalhos no setor energético, entre outros (*MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE*, 2017).

Efeitos da pandemia do COVID-19

O surto de COVID-19 teve um grande impacto nos sistemas de energia em todo o país, restringindo os investimentos e ameaçando desacelerar a expansão dos projetos de energia eólica. No entanto, espera-se que a disseminação da geração de eletricidade a partir de fontes alternativas de energia renovável, como energia hidrelétrica e solar, seja uma grande restrição para o crescimento do mercado de energia eólica na França (MORDORINTELLIGENCE, 2022).

Pretensões da geração eólica

De acordo com o Plano Nacional de Clima e Energia, a França pretende instalar até 35 GW de energia eólica *onshore* até 2028, contra 17 GW, a partir de 2020 (*MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE*, 2021). Em fevereiro de 2021, a **França** concedeu 520 MW de projetos na última rodada de seu programa de licitação para projetos eólicos *onshore*.

3.3.4 Brasil

Matriz elétrica em 2020

A matriz elétrica brasileira se desenvolveu principalmente a partir de hidroelétricas, facilitando o caminho para uma economia de baixo carbono. A fonte que apresentou um maior crescimento percentual no intervalo de 2015-2020 foi a fonte solar e em seguida a fonte eólica. As usinas hidroelétricas ainda representam mais da metade da capacidade instalada, demonstrando em especial a dependência brasileira no recurso hídrico (EPE, 2021a).

Utilização eólica em 2020

No ano de 2020, a capacidade instalada eólica no Brasil foi de 17.131 MW, representando a segunda maior fonte com 9,80% da matriz elétrica (EPE, 2021a). No país há 8.500 aerogeradores, todos *onshore*, divididos em 686 parques eólicos. A maior geração eólica se encontra na região Nordeste, onde 94,4% da energia consumida veio das eólicas (ABEEÓLICA, 2021).

Histórico do desenvolvimento da geração eólica

Em 1992, houve a instalação do primeiro aerogerador no arquipélago de Fernando de Noronha, com potência instalada de 75 kW. E, em 1994 foi instalado o primeiro parque eólico conectado ao Sistema Interligado Nacional (SIN), localizado na cidade de Gouveia (MG) (NUNES; MANHÃES, 2010). A preocupação com maior custo de geração das fontes renováveis alternativas no Brasil representou uma barreira, fazendo com que o setor eólico pouco se desenvolvesse sem uma política pública específica (DOS SANTOS LOPES et al., 2019).

Em 2001, o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE et al., 2001) foi publicado, indicando um potencial de 143,4 GW de geração eólica, capaz de gerar 272 TWh/ano (CEPEL, 2017). Nesse mesmo ano, ocorreu uma crise hídrica no Brasil, que acabou também por incentivar o setor eólico. O primeiro programa de larga escala para incentivo ao desenvolvimento da energia eólica foi lançado, o Programa Emergencial de Energia Eólica. E a fonte eólica recebeu um incentivo adicional sobre o preço de compra por kWh (RUIZ et al., 2007). Este programa serviu como base para o Programa Governamental de Incentivo às Fontes Renováveis (PROINFA) (NETO et al., 2017), que foi elaborado no ano de 2002, e teve como objetivo aumentar a participação da energia elétrica produzida por fontes alternativas de energia elétrica (ELETROBRAS, 2022).

O PROINFA apresentou incentivos do tipo FIT para os empreendimentos contratados, estipulando uma tarifa de compra de energia chamada Preço Premium, dada em R\$/MWh. O custo da energia eólica no início da vigência do PROINFA atingiu valores da ordem de € 53,13/MWh. Esses valores eram muito superiores ao custo das fontes convencionais de energia, que estavam na faixa de € 17,83/MWh (DUTRA; SZKLO, 2008). Em 2009 ocorreu o primeiro leilão exclusivo de energia

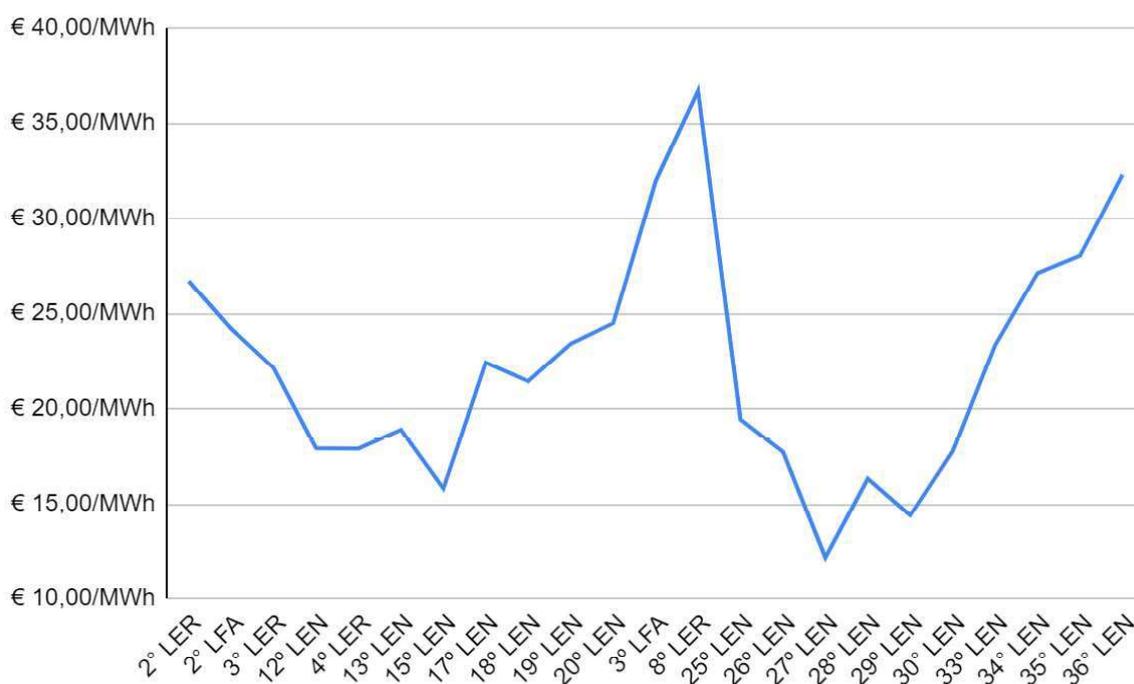
eólica no país, o 2º Leilão de Energia de Reserva (LER), obteve a contratação de 1.805,7 MW de capacidade instalada, com um preço médio final de venda de € 26,46/MWh (FERREIRA et al., 2014).

Em 2020, o Brasil publica o *roadmap* da energia eólica *offshore* em resposta à crescente pressão do setor e de investidores internacionais e nacionais para a implementação dessa nova forma de geração no Brasil (EPE, 2020c). Assim, abriu a possibilidade de novos empreendimentos, e na discussão do Brasil se tornar um dos principais exportadores de energia “verde” do mundo, utilizando em sua essência o Hidrogênio (BAETA, 2020).

Custos

A fonte eólica após o PROINFA apresenta ainda alto custo (€ 53,13/MWh). No entanto, os leilões de energia trouxeram uma nova forma de incentivo para a geração no país, como a possibilidade de incentivos governamentais diretos em fontes específicas (EPE, 2021c). A Figura I apresenta a variação do preço médio da geração eólica em todos os leilões de energia que tiveram ao menos um vencedor desta fonte.

Figura 3 – Preço médio da energia eólica nos leilões no Brasil



Fonte: CCEE, 2022

Efeitos da pandemia do COVID19

A pandemia do COVID19 e as decorrentes medidas de isolamento social no Brasil geraram impactos negativos na carga de energia, chegando a níveis semelhantes ao verificado nos anos de 2015 e 2016 (EPE, 2020a). Junto com a queda de consumo, o Brasil presenciou uma queda de geração em 2020. Entretanto, a mesma foi decorrente principalmente da disponibilidade de recursos, ventos abaixo da média de velocidade e baixa precipitação (CCEE, 2020). Mesmo assim, o setor elétrico brasileiro apresentou uma redução de emissão, cerca de 3 MtCO₂ no 1º semestre de 2020.

Pretensões da geração eólica

O Plano Nacional de Energia 2050 estabeleceu cenários no qual a participação da fonte eólica representará entre 28,5% a 32,1% na capacidade instalada na matriz elétrica no ano de 2050 (EPE, 2020b). Ainda não há previsão para a inserção da geração eólica *offshore*, contudo novos esforços governamentais estão estabelecendo arcabouço legal para este tipo de empreendimento (SAMPAIO; BATISTA, 2021).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta 16 quesitos para análise comparativa após a exposição do mercado eólico na Espanha, Reino Unido, França e Brasil. Os quatros países analisados possuem uma fonte majoritária com despacho de energia controlável, que é essencial para um cenário de grande crescimento da fonte eólica.

O Reino Unido é o único, dentre os países analisados, que apresenta um combustível fóssil como fonte majoritária, o que justifica o grande esforço nas metas de redução de carbono do país. Apresentou-se como o segundo país que mais diminuiu o uso de fontes não renováveis entre 2015 e 2020, conjuntamente com um aumento expressivo da fonte eólica, demonstrando resultado na tarefa de diminuir a importância de hidrocarbonetos em sua matriz elétrica.

Tabela 4 – Comparação entre os países analisados

	Brasil	Espanha	Reino Unido	França
Fonte majoritária	Hídrica	Nuclear	Gás Natural	Nuclear
Porcentagem de fonte renovável na matriz elétrica	83	54	45	11
Capacidade eólica instalada 2020 [MW]	17.198	27.485	24.485	17.385
Variação fonte eólica (%) 2015-2020	+125	+18	+71	+69
Quantidade de aerogeradores	8.500	21.419	8.721	9.000
Ano de promessa para atingir <i>net zero</i>	2050	2050	2050	2050
Valor kW da fonte eólica em 2019 [€]	1.386	1.381	1.687	1.406
Custo MWh da fonte eólica em 2019 [€]	42	45	63	52
Estratégia principal de mercado	FIT	CfD	CfD	FIT
Empregos gerados	19.000	25.000	29.000	25.500
Emissões setor energético em 2020 (Mt CO₂)	59	135	135	135
Emissões evitadas em 2022 (milhões toneladas CO₂/ano)	34,4	29	36	22
Variação do PIB (%) (2019-2020)	-5	-11	-10	-8
Variação da capacidade renovável instalada (%) (2019-2020)	5,5	2,8	0,9	2,1
Variação da capacidade renovável instalada (%) (2020-2021)	9,9	4,1	1,6	4,0
Variação da capacidade não renovável instalada (%) (2020-2021)	1,4	-2,0	0,0	-1,3
Fator de capacidade em 2022 (%)	44,8	24,0	31,84	26,5

Fonte: Autor

O Brasil possui uma matriz elétrica com grande penetração de fontes renováveis. Contudo, recentes investimentos em gás natural colocaram o país, dentre os 10 países da Tabela 3, como o terceiro que mais aumentou percentualmente o uso de fontes não renováveis. O gás natural representa um combustível de transição energética, por isso não destoa tanto da história do país

com uma matriz elétrica com baixas emissões. Entretanto, com o cenário de altos preços desse recurso no mundo em consequência da guerra na Ucrânia, pode representar um ponto de incerteza e risco para o Brasil

Na Espanha ocorreu o menor crescimento da fonte eólica entre 2015 e 2020, muito se deu por causa do alto custo de geração no país acarretar em um aumento do custo para o consumidor. Porém, os quatros países analisados obtiveram um desenvolvimento positivo no setor eólico por causa de um interesse em diversificar a matriz elétrica utilizando uma fonte renovável, mesmo que isso proporcionasse um maior custo de geração. A tendência da maturação do setor eólico proporciona um menor custo total, a questão fica se a alta inserção da fonte eólica no Brasil, acarretará um maior custo ao consumidor como ocorreu na Espanha.

Considerando-se a quantidade de aerogeradores e a potência instalada verificamos que a Espanha é o país que mais destoa dentre os analisados, possuindo um elevado número de geradores, no entanto uma potência final parecida com os demais. Indicando que o país possui aerogeradores menores, menos potentes e, em muitos casos mais antigos, fazendo com que a preocupação com o fim da vida útil destes projetos seja ainda mais discutida.

O Brasil e a França possuíam uma capacidade instalada praticamente semelhante em 2020. No entanto, o Brasil tem essa geração com um número menor de aerogeradores, sendo o fator de capacidade brasileiro o principal diferencial. Em comparação, Espanha e Reino Unido, possuem diferenças ainda maiores se compararmos suas capacidades instaladas em 2020 com o número de aerogeradores. Esse resultado do Reino Unido provém principalmente da eólica *offshore*, a qual tem como vantagens: aerogeradores maiores, aproveitamento de ventos de melhor qualidade e maior fator de capacidade. Ao observar o fator de capacidade da energia eólica (Tabela 4), o Brasil tem o maior fator de capacidade e maior variação da capacidade renovável instalada percentual.

Mesmo que os países possuam uma história diferente no desenvolvimento do setor eólico, os valores do kW no Brasil, Espanha e França são muito parecidos. Espanha iniciou o processo de desenvolvimento muito mais cedo que os outros dois países, por possuir uma forte indústria nacional no ramo, era de se esperar que o custo no país seria muito menor. Além disso, o Reino Unido apresentou o maior

valor apontado, principalmente pelo alto custo da implementação de parques eólicos *offshore*.

Em relação às metas a serem alcançadas para o setor eólico, diante do impacto da guerra entre Rússia e Ucrânia, o cenário mundial tem modificado as suas discussões energéticas, principalmente no que tange a dependência da importação de combustíveis fósseis da Rússia pelos países europeus, os quais já estão discutindo flexibilização das metas estabelecidas (ARAÚJO; MEDEIROS, 2022). Observa-se que no cenário de pandemia do COVID-19, a variação da capacidade instalada de renováveis foi de 5% no Brasil, 2,8% e 2,1% para Espanha e França, e 0,9% no Reino Unido (Tabela 4). Indicando que, os países europeus apresentaram um maior reflexo do impacto da pandemia no setor de renováveis. Enquanto o Brasil conseguiu conter um pouco melhor tanto a queda no PIB quanto manter o setor de renováveis, o que resultou também em uma recuperação mais positiva para o Brasil.

Ao considerar a variação da capacidade instalada não renovável no ano de 2020-2021, o Brasil foi o único país que apresentou crescimento positivo. O que demonstra o impacto das políticas de incentivo ao gás natural. O Reino Unido parece ter o caminho mais longo para a neutralidade líquida de emissões da sua matriz elétrica: possuindo ainda uma fonte não renovável como fonte majoritária, os maiores custos para a fonte eólica e uma lenta recuperação do setor pós pandemia, além de não usufruírem de um sistema elétrico altamente integrado como os outros dois países europeus analisados. O hidrogênio verde pode ser um grande auxílio para os ingleses alcançarem as metas de descarbonização, no entanto, com menos disponibilidade de fontes renováveis, o país teria que importar esse combustível, podendo impactar ainda mais o custo da energia.

Destaca-se que o mercado eólico tem um papel importante no atingimento das metas de baixo carbono dos países analisados. A expansão da eólica *offshore* pretendida pelo Brasil, pode ser uma faca de dois gumes, conforme a experiência do Reino Unido. De um lado aumentando a capacidade instalada, a participação das eólicas na matriz elétrica/energética e com menos aerogeradores. De outro, pode elevar os custos de MW e do MWh. Santestevan et al. (2020) investigaram as perspectivas e desafios do setor eólico *offshore* para o Brasil e destacaram que as

vantagens na geração eólica *onshore* não favorecem o investimento de grandes empresas na geração no mar.

Observou-se que investimentos em políticas públicas para inserção da geração eólica resultaram no desenvolvimento do setor eólico em todos os países. Diversos pontos influenciam no sucesso de uma política pública, como a aceitação que foi determinante no desenvolvimento do setor eólico nos países analisados. As mudanças ocorridas nos sistemas energéticos não são apenas do tipo técnico, elas também envolvem um amplo espectro de elementos sociais, tais como: equidade, descentralização, justiça, concepções culturais, morais e éticas (LENNON et al., 2019), bem como econômicos. A Espanha, por exemplo, apresentou aceitação pública no desenvolvimento do setor, o que favoreceu sua consolidação, no entanto quando a aceitação diminuiu o setor presenciou um esfriamento. Já na França, esse aspecto ainda é uma barreira ao setor.

No caso brasileiro não houve um movimento social forte contra a geração eólica, diferente do caso francês e inglês. No entanto, a aceitação pública é essencial para o pleno funcionamento do setor de geração elétrica, e o Brasil apresenta movimentos de resistência conforme destacado por D'Aquino et al. (2023), de forma que, os debates com diversos setores da sociedade deve ser usado como base para o Brasil lidar com a aceitação social da geração eólica, em especial considerando os esforços da geração eólica *offshore*.

3.5 CONCLUSÃO

O Brasil apresentou resultados mais positivos nos quesitos analisados em comparação aos países europeus avaliados. Percebendo-se um crescimento mais acelerado do setor que os outros países no período investigado. *Contracts-for-difference* é uma forma de incentivo governamental ainda não utilizado no Brasil, e presente em dois dos países analisados, de forma que uma avaliação desse incentivo pode ser considerada para determinar os próximos passos dessa fonte.

O Brasil e a França não possuem eólica *offshore* em operação por motivos diferentes. O caso brasileiro ainda há uma falta de segurança jurídica, e a alta

utilização da fonte solar e eólica *onshore* trazem questionamentos sobre a inserção de uma fonte de energia com maior custo no momento. No caso francês, possui um dos mais altos fatores de capacidade na Europa, porém movimentos sociais contrários e a preferência pela fonte nuclear diminuem os esforços na geração eólica *offshore*.

Pode-se concluir que, grandes investimentos em políticas públicas para inserção da geração eólica resultaram no desenvolvimento do setor eólico nos países, porém a maneira que esses investimentos ocorreram foi determinante para o sucesso da fonte eólica em cada um dos países analisados. Mostrando que existe mais de um caminho para alcançar o desenvolvimento eólico. Considerando que cada país possui suas peculiaridades, o objetivo deste artigo não foi encontrar a resposta certa para o caso brasileiro, mas discutir as respostas de outros três casos de sucesso e avaliar possíveis influências e soluções para o Brasil.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado no Capítulo 2, Santestevan et al. (2021) discutem os principais pontos da energia eólica *offshore* no Brasil, e, em muitos momentos comparam a energia eólica *onshore* com a *offshore*, concluindo que a energia eólica *onshore* apresenta mais possibilidades de crescimento no país. Contudo, um dos pontos fracos destacados no artigo, a falta de legislação própria, caminhou a passos largos, e o primeiro arcabouço legal surgiu no início de 2022, o Decreto 10.946/2022. A segurança jurídica é essencial para o desenvolvimento de um empreendimento de grande porte, principalmente no que tange o licenciamento ambiental. No entanto, mesmo havendo normas específicas, nenhum projeto obteve até o momento a licença para instalação. Indicando que ainda há limitações na legislação para dar fluxo aos processos de licenciamento de parques eólicos *offshore*.

Uma das discussões acerca da energia eólica *offshore* é a concessão de área, ainda não há clareza se após a licença será realizado um leilão ou uma concessão individual da área respectiva. Essa questão é relevante, pois garante segurança nos projetos e conseqüentemente viabilidade de execução dos mesmos (BALERONI; SCHONBERGER, 2022).

Nos últimos anos o Brasil conseguiu suprir sua alta demanda energética sem aumentos drásticos em fontes não renováveis, por meio do uso da geração eólica, solar fotovoltaica e hídrica. No entanto, como o cenário político energético nacional vem mudando, o Brasil incentivou a penetração do gás natural, principalmente como combustível de transição. Nesse ínterim, a guerra na Ucrânia alterou o cenário energético mundial, provocando uma insegurança na Europa e aumentando os preços do gás natural no mundo todo. Mundialmente, vários países passaram a rever suas estratégias energéticas. Esse cenário traz uma reflexão: a adição da eólica *offshore* pode representar para o país uma menor dependência do gás natural e a possibilidade de desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde (nova moeda energética)?

A produção do chamado hidrogênio verde é feita via eletrólise alimentada por fontes renováveis, um processo sem emissões de GEE (CASAGRANDE, 2021).

Há uma estimativa que pode-se gerar 21 kg de hidrogênio para cada 1 MWh de eletricidade fornecido (MORGAN, 2022). Por exemplo, há um projeto de geração eólica *offshore* em Santa Catarina com previsão de geração de 57.000 MWh/ano (SOUZA, 2022), ou seja, podendo gerar até 1.197 toneladas de hidrogênio verde por ano. Essa nova possibilidade de mercado dá mais razões para que grandes investidores olhem com mais ênfases a eólica *offshore* no país.

A comparação entre os países feita no terceiro capítulo demonstra que a Espanha e o Reino Unido estão utilizando a geração eólica como principal vetor de transformação de suas respectivas matrizes. Estes dois países, mesmo com características distintas optaram pela mesma fonte de energia. Já o Brasil coloca o protagonismo na fonte hídrica e que é completada por eólica, solar e biomassa. A Espanha possui uma das maiores empresas no ramo eólico no mundo, a Gamesa Siemens, uma empresa estatal, de forma similar à Petrobras no Brasil. A criação de uma empresa nacional para a geração eólica pode ser o incentivo certo para aumentar o horizonte desta fonte no país, entrando na Zona Econômica Exclusiva. Segundo de Oliveira (2023) o Brasil possui uma forte aversão social em investimentos públicos em empresas privadas, tirando boas oportunidades de crescimento de fontes renováveis, a utilização de uma empresa estatal focada no ramo pode ser a melhor forma de contornar tal adversidade.

O Reino Unido por outro lado não possui uma empresa nacional tão forte no ramo como a Espanha, e por isso focou-se na avaliação das possibilidades em seu país, julgando e posteriormente leiloando concessão de áreas para a geração eólica *offshore*. O Brasil publicou o *roadmap* da geração eólica *offshore* e estimou o potencial dessa energia no mar, porém se vê necessário novos estudos e medições *in loco*, assim ser possível apresentar mais informações a respeito de eventuais leilões de energia eólica no mar brasileiro. Entretanto, o *know-how* brasileiro em tecnologias *offshore*, em especial a exploração de hidrocarbonetos, deixa o país um passo mais perto da utilização dessa tecnologia (FERNANDES et al., 2023).

O desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde pode ser um bom propulsor para a energia eólica se tornar protagonista na transição para uma economia de baixo carbono no Brasil. Além disso, há uma pressão de *stakeholders* no governo para a criação de um cenário propício para o desenvolvimento de

projetos eólica *offshore*. Portanto, a energia eólica pode se tornar a principal fonte, no caso brasileiro, na busca por uma economia de baixo carbono.

Em suma, o Brasil possui muitas oportunidades para alcançar uma economia de baixo carbono, a energia eólica pode ser o vetor para alcançar esse objetivo, necessitando de pesquisas e incentivos específicos para isso. O governo brasileiro pode optar em utilizar a geração eólica com principal vetor, e para isso acontecer pode adaptar as diferentes estratégias utilizadas na Espanha e no Reino Unido. Destaca-se como principal conclusão desta pesquisa que a energia eólica *offshore* tem espaço no Brasil e pode ser impulsionada pelo mercado de hidrogênio verde. Ambos os caminhos necessitam de um esforço governamental tanto na garantia do estabelecimento dos processos regulatórios de concessão de áreas, quanto com incentivos iniciais para estas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ABEEólica, Associação Brasileira de Energia Elétrica. (2021). Boletim de Geração Eólica 2020.
- ABEEólica, Associação Brasileira de Energia Elétrica. (2021). Boletim de geração de energia eólica. ONS. Fevereiro de 2021, pp. 1-46.
- ABEEólica, Associação Brasileira de Energia Elétrica. (2023). Energia Eólica os bons ventos do Brasil. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/#:~:text=do%20brasil,a%20enfrentar%20a%20emerg%C3%Aancia%20clim%C3%A1tica>.
- Amarante, O., Brower, M., Zack, J., & Leite de Sá, A. (2001). Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. *CEPEL*.
- Araújo, A. A., Moura, G. J. B. de. A. (2014). Literatura Científica sobre os impactos causados pela instalação de Parques Eólicos: Análise Cienciométrica. *R. Tecnol. Soc. Curitiba*, v. 13, n. 28, pp. 207-223.
- Araújo, O. Q., Medeiros, J. L. (2022). Sustainable and equitable decarbonization. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1-3.
- Baeta, F. (2020). Aposta da Europa em hidrogênio verde abre janela ao Brasil.
- Baleroni, R. B., & Schonberger, P. M. (2022). Eólicas offshore-regulação e possível integração com E&P de petróleo offshore.
- Barthelmie, R. J., Paulutikof, J. P. (1996a). Coastal wind speed modelling for wind energy applications. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 62, n. 2-3, pp. 213-236.
- Barthelmie, R. J., Paulutikof, J. P. (1996b). Coastal wind speed modelling for wind energy applications. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 62, n. 2-3, pp. 213-236.
- Bayer, B. (2018). Experience with auctions for wind power in Brazil *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 2644-2658.
- BBC. (2022). How many more wind turbines will the UK build?. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/explainers-60945298>.
- Belhomme, R. (2002, January). Wind power developments in France. In *2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No. 02CH37309)* (Vol. 1, pp. 357-358). IEEE.
- Bezerra, F. D. (2021). Hidrogênio verde: nasce um gigante no setor de energia. Disponível em: <https://bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1109>.
- Bilgili, M., Yasar, A., Simsek, E. (2011). Offshore wind power development in Europe

and its comparison with onshore counterparts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15 (2), pp. 905-915.

Breton, S. P., MOE, G. (2009). Status, plans and technologies for offshore wind turbines in Europe and North America. *Renewable Energy*, v. 34, n. 3, pp. 646–654.

Bossanyi, E. (1983). Use of a grid simulation model for longer-term analysis of wind energy integration. *Wind Engineering*, 233-246.

Boston Consulting Group (BCG), 2004. Donner un nouveau souffle à l'éolien terrestre, développement de l'éolien terrestre en France. *Syndicat des énergies Renouvelables*.

BP. (2016). BP Statistical Review of World Energy. <https://shre.ink/ct9z>.

BMRS, Balancing Mechanism Reporting Service (2021). Disponível em: <https://shre.ink/ct9n>.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). (2022). Leilões. Disponível em: <https://shre.ink/ct9c>.

Carstensen, J., Henriksen, O. D., Teilmann, J. (2006). Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises: Acoustic monitoring of echolocation activity using porpoise detectors (T-PODs). *Marine Ecology Progress Series*, v. 321,8, pp. 295–308.

Casagrande, M. F. (2021). Eólica offshore no Brasil: viabilidade econômico-regulatória e estudo de políticas. *Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas)-Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro*.

CEPEL. (2017). Atlas do Potencial Eólico Brasileiro Simulações 2013.

Christoff, P. (2016). The promissory note: COP 21 and the Paris Climate Agreement. *Environmental Politics*, 25(5), 765-787.

Churro, D., Zambujo, M. J., Rodrigues, C. C., Coelho, J. L. B. (2004). Parques Eólicos-Estudo dos Impactos no Ambiente Sonoro I-Influência no Ruído Local. *Acústica 2004 Evento*. Portugal. pp. 1-8.

Champy, J., & Fouqué, C. (2021). A new horizon for offshore wind energy in France. Disponível em: <https://shre.ink/ct9b>.

Chataignier, S., Jobert, A., 2003. Des éoliennes dans le terroir. Enquête sur "l'inacceptabilité" de projets de centrales éoliennes en LanguedocRoussillon. *Flux 54. Planifier les Réseaux*, 36–48.

Coelho, C. (2007). Avaliação dos Impactes Ambientais dos Parques Eólicos em Áreas Protegidas: O Caso de Estudo do Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros. Dissertação de mestrado. Programa em Ciências e Tecnologias do

Ambiente. Universidade de Lisboa. Portugal. pp. 1-153.

Costa, R. A. D., Casotti, B. P., & Azevedo, R. L. S. D. (2009). Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica.

Costa, P. G. F. da, Duarte, F. J. De C. M., Lima, F. de P. A., Maia, N. C., ARAÚJO, A. N. (2015). A efetividade de metodologias de diagnóstico rápido em ergonomia em plataformas offshore: revisitando o conceito de modo degradado de funcionamento. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 40, n. 132, pp. 121–136.

Costa Júnior, J. F., Bezerra, D. de M. C., Cabral, L. dos S., Moreno, R. C. P., Pires, A. K. S. (2021). The SWOT Matrix and its Subdimensions: A Conceptual Innovation Proposal. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2.

D'Aquino, C. A., Netto, A. L. A., Jacobi, P. R., Peyerl, D.; Moretto, E. M. (2023). Aceitação Social de Empreendimentos de Energia Eólica no Brasil. In: *Transição Energética, Percepção Social e Governança. Editora Synergia*. 312 p. 2023.

DA SILVA, L., ABRANTES, R. (2019). Análise dos Ruídos Geradores por Aerogeradores no Complexo Eólico Canoas e Lagoas. XVIII.

Damasceno, V. S., Abreu, Y. V. (2018). Avaliação da energia eólica no Brasil utilizando a análise SWOT e PESTEL. *Interações (Campo Grande)*, v. 19, n. 3, pp. 503-514.

de Oliveira, M. G., & Menezes, D. F. N. (2023). O CENÁRIO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS NO BRASIL. *Revista Argumentum-Argumentum Journal of Law*, 24(1), 119-135.

De Souza, J. M. (1999). Mar territorial, zona econômica exclusiva ou plataforma continental. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 17, n. 1, pp. 79-82.

De Suzzoni, P. (2004). Les charges de service public liées à la cogénération et aux énergies renouvelables. *Réalités Industrielles*, 38.

Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2021). Electricity Plant installed capacity, by connection - United Kingdom. Disponível em: <https://shre.ink/ct9d>.

Dinica, Valentina. (2004). Support systems for the diffusion of renewable energy technologies - an investor perspective. *Energy Policy, Enschede*, p. 461-480. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.06.014>.

dos Santos Lopes, S., dos Santos, A. R., de Melo, J. M. G. N., & Farias, F. G. (2019). Ventos de mudança: políticas e impactos ambientais no setor eólico cearense. *Encontro de Extensão, Docência e Iniciação Científica (EEDIC)*, 4(1).

Drewitt, A. L., Langston, R. H. W. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis*, v. 148, pp. 29–42.

Dutra, R. M., & Szklo, A. S. (2008). Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. *Renewable Energy*, 33(1), 65-76.

Dvorak, M. J., Archer, C. L., Jacobson, M. Z. (2010). California offshore wind energy potential. *Renewable Energy*, v. 35, n. 6, pp. 1244-1254.

Eletrobras. (2022). Proinfa. <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Proinfa.aspx>.

Elliott, D. (1992). Renewables and the privatization of the UK ESI: A case study. *Energy Policy*, 20(3), 257-268.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2018). Plano Decenal De Expansão De Energia 2027. Brasília: MME/ EPE, pp.1-345.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2020) a. Balanço COVID-19 Impactos nos mercados de energia no Brasil 1º Semestre de 2020.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2020) b. Plano Nacional de Energia 2050.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2020) c. Roadmap Eólica Offshore Brasil: Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2021) a. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021: Ano base 2020.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2021) b. Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2021) c. Caderno de Preços de Geração 2021.

ENANPUR. (2019). Natal, Rio Grande do Norte, pp. 1-16.

ESCR-Net. (2022). COP delivers progress on Loss and Damage but fails on fossil fuels. Disponível em: <https://www.escri-net.org/news/2022/cop-27-delivers-progress-loss-and-damage-fails-fossil-fuels>.

Espanha. (2021). Ley 7/2021, Cambio Climático y Transición Energética. *Jefatura del Estado*. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8447.

Esteben, M. D., Diez, J.J., López, J. S., Negro, V. (2011). Why offshore wind energy? *Renewable Energy*, Vol. 36, 2, pp. 444-450.

EVWIND (2021). Anuario Eólico 2021: un análisis de la situación actual de la eólica en España. Disponível em: <https://www.evwind.com/2021/06/23/anuario-eolico-2021-un-analisis-de-la-situacion-actual-de-la-eolica-en-espana/>.

Fernandes, G., Azevedo, J. H. D., Ayello, M., & Gonçalves, F. (2023). Panorama dos desafios do hidrogênio verde no Brasil.

Ferreira, A. C., Blasques, L. C. M., & Pinho, J. T. (2014). Avaliações a respeito da evolução das capacidades contratada e instalada e dos custos da energia eólica no Brasil: do PROINFA aos leilões de energia. *Revista Brasileira de Energia Solar*, 5(1).

Ferreira, R. M. R., Acosta, H. C., & DE LA ENERGÍA, E. Ó. L. I. C. A. (2014). El desarrollo eólico en Brasil, Ecuador y España: Reflexiones a partir del marco normativo. *Revista de estudios económicos y empresariales*, (26), 95-112.

GIELEN, D., BOSHELL, F., SAYGIN, D., BAZILIAN, M. D., WAGNER, N., GORINI, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*. Vol. 24, pp. 38-50.

Ferreira, T. V. B.; Machado, G. V. (2021). O papel do planejamento na transição energética: mais luz e menos calor. *Revista Brasileira de Energia*, v. 27, n. 2, 2º Trimestre de 2021 - Edição Especial I.

Gilbert, C., Smith, H., Bidwell, D., Smythe, T., Moore, J., Mccann, J., Miller, E. (2019). Gatekeeping and Communities in Energy Transition: A Study of the Block Island Wind Farm. *Environmental Communication*, Vol. 13, 3, pp. 1041-1052.

Graziano, M., Billing, S. L., Kenter, J. O., & Greenhill, L. (2017). A transformational paradigm for marine renewable energy development. *Energy research & social science*, 23, 136-147.

Greenacre, P., Gross, R., Heptonstall, P. (2010). A Great Expectations: The cost of offshore wind in UK waters – understanding the past and projecting the future. Report. UK Energy Research Centre. pp. 1-138.

Held, A., Ragwitz, M., Gephart, M., Kleßmann, C. & de Visser, E. (2014). Best practice design features for RESE support schemes and best practice methodologies to determine remuneration levels. *Karlsruhe: Dia-Core Project*.

Henderson, A. R., Morgan, C., Smith, B., Sorensen, H., Barthelme, Boesmans, B. (2003). Offshore Wind Energy in Europe-A Review of the State-of-the-Art. *Wind Energy*, v. 6, pp. 35–52.

Hughes, Gordon. (2021). Wind Power Economics, Rhetoric & Reality, Vol.1: Wind Power Cost in the United Kingdom. *Renewable Energy Foundation*.

Hunt, J. D., Freitas, Pereira J., A. O. (2016). Usinas Hidrelétricas Reversíveis Sazonais Combinadas com Hidrelétricas em Cascata e Seus Benefícios para a Gestão de Recursos Hídricos e do Setor Elétrico Brasileiro. In: Encontro Nacional de Máquinas Rotativas, 2016, Rio de Janeiro. Encontro Nacional de Máquinas Rotativas, pp. 1-8.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). (2011). Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil. Rio de Janeiro. pp. 1-177.

International Energy Agency (IEA). (2019). Offshore Wind Outlook 2019. Technology Report. International Energy Agency.

International Energy Agency (IEA) a. (2020). Energy Profile Germany. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Germany_Europe_RE_SP.pdf.

International Energy Agency (IEA). (2020) b. Energy Profile Brazil. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/South%20America/Brazil_South%20America_RE_SP.pdf.

International Energy Agency (IEA). (2020) c. Energy Profile Canada. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/North%20America/Canada_North%20America_RE_SP.pdf.

International Energy Agency (IEA). (2020) d. Energy Profile China. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Asia/China_Asia_RE_SP.pdf.

International Energy Agency (IEA). (2020) e. Energy Profile Spain. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Spain_Europe_RE_SP.pdf.

International Energy Agency (IEA). (2020) f. Energy Profile United States of America. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/North-America/United-States-of-America_North-America_RE_SP.pdf?rev=73d666d5783d467385d16c03c818473d.

International Energy Agency (IEA). (2020) g. Energy Profile France. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/France_Europe_RE_SP.pdf.

International Energy Agency (IEA). (2020) h. Energy Profile India. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Asia/India_Asia_RE_SP.pdf.

International Energy Agency (IEA). (2020) i. Energy Profile Italy. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Italy_Europe_RE_SP.pdf.

International Energy Agency (IEA). (2020) j. Energy Profile United Kingdom. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/United%20Kingdom_Europe_RE_SP.pdf.

International Energy Agency (IEA). (2021). Wind Energy in France. *Technology Collaboration Program*. Disponível em: <https://iea-wind.org/about-iea-wind-tcp/members/france/>.

International Energy Agency (IEA). (2023). Energy Technology Perspectives 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). Top 10 Countries/areas. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>.

Jewell, J. et al. (2019). Prospects for powering past coal. *Natural Climate Change* 9, p. 592-597.

Krug, F., Lewke, B. (2009). Electromagnetic Interference on Large Wind Turbines. *Energies*, v. 2, 4, pp. 1118–1129.

Lal, R. (2016). Beyond COP 21: potential and challenges of the “4 per Thousand” initiative. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71(1), 20A-25A.

Lin, G., Lu, L., Lei, K., Liu, K., Ko, Y., Ju, S. (2021). Experimental study on seismic vibration control of an offshore wind turbine with TMD considering soil liquefaction effect. *Marine Structures*. Vol. 77, 102961.

Low Carbon Contracts. (2021). Sneddon Law Community Wind Farm. Disponível em: <https://www.lowcarboncontracts.uk/cfds/sneddon-law-community-wind-farm>.

Marín, Cayetano Espejo. (2021). Energia eólica en España. *Investigaciones Geográficas*.

Ministère de la Transition énergétique. (2017). Loi de transition énergétique pour la croissance verte. Disponível em: <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-transition-energetique-croissance-verte>.

Ministère de la Transition énergétique. (2021). Cadre européen énergie-climat. Disponível em: <https://shre.ink/ctJW>.

MordorIntelligence. (2022) Mercado de Energia Eólica da França - Crescimento Tendências, Impacto da Covid-19 e Previsões (2022-2027). *Industry Report*. Disponível em: <https://shre.ink/ctqw>.

Morgan, H. (2022). OPINION Why market dynamics will reduce the average price of green hydrogen to \$1.50/kg by 2030. *Recharge*. Disponível em: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/opinion-why-market-dynamics-will-reduce-the-average-price-of-green-hydrogen-to-1-50-kg-by-2030/2-1-1292801>.

Moura, M., Pinheiro, M. (2013). Os Parques Eólicos na Zona Costeira do Ceará e os Impactos Ambientais Associados. *Revista Geonorte*. Vol. 9, 1, p. 22-41.

Musial, W., Butterfield, S. (2004). Future for Offshore Wind Energy in the United States: Preprint. United States: N.

Nedwell, J., Langworthy, J., Howell, D. (2003). Assessment of subsea acoustic noise

and vibration from offshore wind turbines and its impact on marine wildlife; initial measurements of underwater noise during construction of offshore wind farms, and comparison with background noise. Report. Cowrie, pp. 1-72.

Neto, J. A., Queiroz, F. C. B. P., Queiroz, J. V., Furukava, M., Aramayo, J. L. S., Lima, N. C., & Terra, J. P. (2017). The brazilian wind energy development: a brief overview.

Nunes, G. D. A., & Manhães, A. A. (2010). Energia eólica no brasil: uma alternativa inteligente frente às demandas elétricas atuais. *Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense*, 1(1), 163-167.

Organização das Nações Unidas (ONU). (2015). Transformando nosso mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York, EUA.

Ortiz, G. P., Kampel, M. (2011). Potencial de energia eólica offshore na margem do Brasil. V Simpósio Brasileiro de Oceanografia. Santos, São Paulo, pp.1-4.

OSTWIND. (2022). Parcs éoliens de Fruges. Disponível em: <https://www.ostwind.fr/nos-projets/projets-mis-en-service/parcs-eoliens-du-canton-de-fruges>.

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). 2014. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.

Paterson, J., D'Amico, F., Thies, P. R., Kurt, R. E., & Harrison, G. (2018). Offshore wind installation vessels—A comparative assessment for UK offshore rounds 1 and 2. *Ocean Engineering*, 148, 637-649.

Perez, Y. & Ramos-Real, F. J. (2009). The public promotion of wind energy in Spain from the transaction costs perspective 1986-2007. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 13, p. 1058-1066.

Peyerl, D. (2019). The oil of Brazil. Switzerland: Springer International Publishing, 1-128.

Pimenta, F., Kempton, W., Garvine, R. (2008). Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil. *Renewable Energy*, v. 33, 11, pp. 2375–2387.

Pinto C., Moreno C., Munoz M., Ospino C. (2019). Technical and Economic Evaluation of a Small-Scale Wind Power System Located in Berlin, Colombia. *Tecciencia*, v. 13, 24, pp. 63–72.

Price, T. (2004). Blyth, James (1839-1906). *Oxford Dictionary of National Biography*. Oxford University Press.

Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). (2014). *Nações Unidas*. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.

RED Eléctrica de España. (2021). *El sistema eléctrico español 2020*. <https://www.ree.es/es/datos/publicaciones/informe-anual-sistema/informe-del-sistema-electrico-espanol-2020>.

Río, P. & Unruh, G. (2007). Overcoming the lock-out of renewable energy technologies in Spain: The cases of wind and solar electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, p. 1498-1513.

Ritchie, H., & Roser, M. (2020). CO2 and Greenhouse Gas Emissions, 2020. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.

Rosales, E. A., Borge, D. D., Blanes-Peiró, J., Péres, A. H. & Comenar, A. S. (2019). Review of wind energy technology and associated market and economic conditions in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 415-427.

Ruiz, B. J., Rodríguez, V., & Bermann, C. (2007). Analysis and perspectives of the government programs to promote the renewable electricity generation in Brazil. *Energy Policy*, 35(5), 2989-2994.

Santestevan, W. H. (2019). A zona econômica exclusiva brasileira e os parques eólicos offshore: aspectos legais. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia de Energia. Universidade Federal de Santa Catarina, pp. 1- 49.

Santestevan, W. H., D'AQUINO, C. de A. (2019). Análise bibliométrica da geração eólica offshore. 8º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul, pp. 496 – 1125.

Santestevan, W. H., Peyerl, D., Carla de Abreu, D. (2021). Possibilidades e desafios para inserção da geração eólica offshore no Brasil. *Revista Brasileira de Energia* Vol, 27(4).

Santos, V. M. (2021). O PAPEL DO HIDROGÊNIO NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA MUNDIAL E SEUS DESDOBRAMENTOS NO SISTEMA ENERGÉTICO BRASILEIRO. *A geopolítica da energia do século XXI*.

Sampaio, K. R. A., & Batista, V. (2021). O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, 10(1), e57710112107.

Santiago, I., Moreno, A. M., Quintero, P. J., Garcia, F. T. & Gonzalez, M. J. R. (2020). Electricity demand during pandemic times: The case of the COVID-19 in Spain. *Energy Policy*, v. 148, p. 1-17.

Stenzel, T., & Frenzel, A. (2008). Regulating technological change—The strategic reactions of utility companies towards subsidy policies in the German, Spanish and UK electricity markets. *Energy policy*, 36(7), 2645-2657.

Snyder, B., Kaiser, M. J. (2009). Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. *Renewable Energy*, v. 34, 6, pp. 1567–1578.

- Souza, R. (2022). Já pensou quantos projetos de energia eólica existem pelo Brasil? Então conheça abaixo os 66 maiores planos offshore em andamento. *CPG Click Petróleo e Gás*. Disponível em: <https://clickpetroleogas.com.br/ja-pensou-quantos-projetos-de-energia-eolica-existe-m-pelo-brasil-entao-conheca-abaixo-os-66-maiores-planos-offshore-em-andamento/>.
- Tessler, M. G., Goya, S. C. (2011). Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. *Revista do departamento de geografia*, 17, pp. 11-23.
- Thomsen, F., Lüdemann, K., Kafemann, R., Pider, W. (2006). Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. Report. COWRIE, pp. 1-62.
- Tian, J., Yu, L., Xue, R., Zhuang, S., & Shan, Y. (2022). Global low-carbon energy transition in the post-COVID-19 era. *Applied energy*, 307, 118205.
- Todt, O., González, M. I., Estévez, B. (2011). Conflict in the Sea of Trafalgar: offshore wind energy and its context. *Wind Energy*, v. 14, 5, pp. 699–706.
- Toke, D. (2011). The UK offshore wind power programme: A sea-change in UK energy policy. *Energy Policy*, v. 39, 2, pp. 526–534.
- Vattenfall, A., Skovog, N. (2006). Danish offshore wind-key environmental issues. Dong energy. (No. NEI-DK--4787), Report. Novembro, pp. 1-144.
- Xavier, T. W. de F., Caetano, A. G. N., Brannstrom, C. (2020). Parques eólicos offshore no Brasil e os potenciais impactos sociais: aplicação de matrizes SWOT. *Arquivo Ciência Marinha Fortaleza*, pp. 89-99.
- Wind Europe. (2021). Onshore wind energy scores lowest ever price under new Spanish auction design. Disponível em: <https://windeurope.org/newsroom/news/onshore-wind-energy-scores-lowest-ever-price-under-new-spanish-auction-design/>.
- Witzler, L. T. (2016). Metodologia para reconstrução de séries históricas de vento e geração eólica visando a análise da complementaridade energética no Sistema Interligado Nacional. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, pp. 1-203.
- Yuan, H., Zhou, P., & Zhou, D. (2011). What is low-carbon development? A conceptual analysis. *Energy Procedia*, 5, 1706-1712.
- Zhong, H, Tan Z., He, Y., Xie, L., Kang, C. (2020). Implications of COVID-19 for the electricity industry: A comprehensive review. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 6, no. 3, pp. 489-495.