

GUILHERME STOCKLER SATTAMINI

Avaliação do Potencial de Energia Eólica Offshore do ou no Brasil
- Uma Revisão Sistemática da Literatura

PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
APRESENTADO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL
DA PUC-RIO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO

Orientadora: Paula Maçaira
Co-orientadora: Tuany Barcellos

Departamento de Engenharia Industrial
Rio de Janeiro, 18 de Dezembro de 2023.

Abstract

Brazil is one of the most prominent countries in the exploration of onshore wind energy. However, despite also having the potential to be one of the biggest players in the growing and relevant offshore sector, this modality is not yet explored in the country. In order to assess the country's offshore wind potential, a Systematic Literature Review was carried out with the aim of evaluating the state of the art of the literature and synthesizing the results. The Scopus scientific database was chosen because it is one of the most important in the world. It was found that there is a knowledge gap on this topic, as only 7 studies have actually estimated the offshore wind potential of or in Brazil. In addition, the few studies carried out obtained different results due to different combinations of parameters, databases and technical, social, and environmental restrictive factors used in the calculations. However, despite the different combinations, most of the studies converged on the areas with the greatest wind potential and resources in the country, known as hotspots. The hotspots identified were areas along the northern coasts of MA, PI, CE and RN, this being the one with the greatest potential; areas along the coasts of SC and RS, especially between Florianópolis and the southern border of RS; the coasts of AP and PA; and smaller areas along the coasts of ES, RJ and SP. The highest gross potential calculated (without considering restrictive factors) was 10.800 GW (or 10,8 TW) for the total area of the Brazilian EEZ. The lowest calculated potential, considered more realistic and feasible because it considers restrictive technical, social and environmental factors, was around 330 GW, which is still considered significantly high, equivalent to almost double Brazil's total installed capacity from all energy sources in 2020 (174 GW).

Keywords: Brazil, Wind Power, Wind Energy, Wind Resources, Potential, Offshore

Resumo

O Brasil é um dos países de maior destaque na exploração de energia eólica *onshore*. Porém, apesar de também ter o potencial para ser um dos maiores *players* no crescente e relevante setor *offshore*, tal modalidade ainda não é explorada no país. Para avaliar o potencial eólico *offshore* no país, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura com o objetivo de avaliar o estado da arte da literatura e sintetizar os resultados. Foi escolhida a base de dados científica Scopus por ser uma das mais importantes do mundo. Foi constatado que há uma lacuna de conhecimento sobre o tema pois apenas 7 estudos efetivamente estimaram o potencial eólico apenas *offshore* do ou no Brasil. Além disso, os poucos estudos realizados obtiveram resultados diferentes, devido a diferentes combinações de parâmetros, bases de dados e fatores restritivos técnicos, sociais e ambientais utilizados nos cálculos. Porém, apesar das diferentes combinações, todos os estudos convergiram na sua maior parte quanto às áreas de maior potencial e recursos eólicos no país, chamadas de *hotspots*. Os *hotspots* identificados foram áreas dos litorais norte do MA, PI, CE e RN, sendo este o de maior potencial; áreas dos litorais de SC e RS, especialmente entre Florianópolis e a fronteira sul do RS; dos litorais do AP e PA; e áreas menores do litoral do ES, RJ e SP. O maior potencial Bruto calculado (sem considerar fatores restritivos) foi de 10.800 GW (ou 10,8 TW) para a área total da ZEE brasileira. O menor potencial calculado, considerado mais realista e viável por considerar fatores restritivos técnicos, sociais e ambientais, foi de cerca de 330 GW, ainda assim considerado muito elevado, equivalente a quase o dobro da capacidade total instalada no Brasil de todas as fontes de energia em 2020 (174 GW).

Palavras-chave: Brasil, Potencial, Energia Eólica, Recursos Eólicos, Offshore, Estimativa

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1. Histórico.....	9
2.2. No mundo.....	11
2.3. No Brasil.....	13
2.4. Offshore.....	17
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. Revisão Sistemática da Literatura.....	21
4. RESULTADOS.....	24
4.1. Análise Geral e Bibliométrica.....	24
5. CONCLUSÃO.....	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

Lista de Figuras

1. Emissões de CO2 evitadas por mês (Toneladas).....	11
2. Dados de Globais de Energia Eólica Offshore e Capacidade Instalada e Capacidade Nova.....	13
3. Ranking capacidade total instalada onshore.....	14
4. Matriz Elétrica Brasileira – Outubro, 2021.....	15
5. Evolução da Capacidade Instalada por MW eólica onshore.....	16
6. Evolução da Capacidade Instalada no SIN agosto 2022/ dez 2026.....	17
7. Procedimento de busca da literatura da SLR para seleção dos artigos.....	22
8. Seleção dos abstracts a serem lidos.....	24
9. Processo de seleção dos artigos.....	25
10. Evolução do número de artigos ao longo dos anos.....	26

Lista de Quadros

1. Palavras-chave selecionadas.....	22
2. Query considerada.....	23
3. No. de citações e artigos por autor.....	27
4. Número de artigos e citações por fonte.....	28
5. Artigos ordenados pelo número de citações.....	28
6. Resultados da abordagem 1 do artigo 2.....	32

Lista de Gráficos

1. Autores com no mínimo 2 citações (132 autores).....	41
2. Autores com no mínimo 3 citações (44 autores).....	41
3. Autores com no mínimo 4 citações (23 autores).....	42
4. Documentos com no mínimo 4 citações (7 documentos).....	43
5. Autores com no mínimo 1 citação (8 autores).....	44
6. Palavras-chave com no mínimo 2 ocorrências (16 palavras-chave).....	45
7. Palavras-chave com no mínimo 1 ocorrências (133 palavras-chave).....	45

1. INTRODUÇÃO

Desde o princípio da existência humana no planeta, os recursos naturais têm sido empregados para assegurar a sobrevivência da espécie, o que engloba o uso crescente desses elementos para a geração de energia. Assim, nota-se uma evolução contínua e ascendente na exploração desses recursos, tanto renováveis quanto recursos não-convencionais, isto é, não baseados em combustíveis fósseis. Devido à natureza desses recursos não-convencionais ou não renováveis e à tendência incessante e predominantemente insustentável a longo prazo da exploração dos mesmos, tal exploração desencadeia crescentemente a deterioração do ambiente e a liberação de gases que intensificam o efeito estufa, culminando em um aumento cada vez mais notável do fenômeno do aquecimento global.

Estimativas indicam que as ações humanas são responsáveis por aproximadamente 1,0°C de elevação da temperatura global acima dos patamares pré-industriais, com uma variação possível de 0,8°C a 1,2°C (Moreira, 2022). Destaca-se ainda que é provável que o aquecimento global alcance o limiar de 1,5°C entre os anos de 2030 e 2052, se persistir no ritmo atual. Adicionalmente, outros levantamentos foram conduzidos pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) em anos subsequentes, evidenciando as alterações climáticas no planeta (Moreira, 2022). Dessa forma, a crise ambiental severa e o esgotamento de recursos não renováveis demandam uma reconfiguração das políticas energéticas. As fontes de energia renovável representam uma importante alternativa sustentável.

Conforme apontado por Pacheco (2006), as energias renováveis originam-se direta ou indiretamente dos ciclos naturais causados pela irradiação solar no planeta, que é a fonte primordial das energias que se renovam constantemente e, por isso, não são esgotáveis. Essas fontes não desequilibram o balanço térmico terrestre, configurando-se como um conjunto de fontes energéticas que podem ser categorizadas como não-convencionais, isto é, não baseadas em combustíveis fósseis, sendo as principais a energia eólica (o vento origina-se por causa das diferenças de temperatura em áreas diferentes da superfície da Terra), solar direta (diretamente capturada e convertida em eletricidade por meio de painéis solares fotovoltaicos; ou energia eólica térmica), energia hídrica (na qual aproveita-se o ciclo da água impulsionado em grande parte pela energia solar, que leva à evaporação da água e desencadeia o ciclo hidrológico), geotérmica, energia maremotriz (provocada pelas marés), e a energia provinda de biomassa.

O atual panorama global de alterações climáticas destaca a relevância da adoção e ampliação das fontes de energia renovável nas estratégias governamentais referentes às matrizes energéticas e elétricas. De acordo com pesquisas da *International Energy Agency* –

IEA (2020), da *International Renewable Energy Agency* – IRENA (IEA/IRENA, 2017) e da *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* – REN21 (2022), as fontes renováveis de energia são cruciais para a transição energética global que visa diminuir o uso de combustíveis fósseis e viabilizar uma economia com baixas emissões de carbono, ressaltando especialmente a relevância das energias eólica e solar.

A dedicação do Brasil aos diversos componentes fundamentais para o enfrentamento das mudanças climáticas e seus efeitos se manifesta de forma contundente na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), estabelecida pela Lei nº 12.187/2009. Essa política reflete a inquietação nacional e global em relação ao desafio das alterações climáticas, atuando também como uma resposta aos acordos e convenções internacionais formulados sob a égide da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) (Oliveira, 2019). Os Planos Plurianuais (PPAs) detalham as iniciativas governamentais para mitigar as mudanças climáticas e seus efeitos, abrangendo um programa específico dedicado a essa questão, em vigor desde o ano 2000. O Programa Mudança do Clima, inserido no PPA 2016-2019, tem como meta principal assegurar a continuidade e efetivação da PNMC, contemplando os compromissos firmados no Acordo de Paris (2015) e por meio da execução da NDC do Brasil (Contribuição Nacionalmente Determinada, do inglês *Nationally Determined Contribution*) (Oliveira, 2019). Desde sua instituição legal, a PNMC estipula que seus princípios, objetivos, diretrizes e mecanismos sejam incorporados em outras políticas públicas, englobando os programas e iniciativas do PPA, sempre que pertinente (Oliveira, 2019).

Portanto, a PNMC define objetivos e orientações para a redução das emissões de gases que intensificam o efeito estufa em vários segmentos da economia, abarcando o setor energético. Isso engloba estímulos para o crescimento e alargamento das fontes renováveis de energia, com o intuito de diminuir a dependência de energias fósseis, que constituem uma das principais origens das emissões de gases de efeito estufa.

Nesse cenário, a energia eólica ganha notoriedade e se configura como uma das mais relevantes, particularmente no contexto brasileiro, que dispõe de abundantes recursos eólicos. Além disso, apresenta uma relação custo-eficácia vantajosa em relação a outras modalidades energéticas, como a energia hidráulica. Adicionalmente, a habilidade de integrar distintas fontes de energia, como aerogeradores complementados por módulos solares, potencializa ainda mais a sua eficácia (Lisboa, 2022).

O Brasil é um dos países de maior destaque no mundo na exploração de energia eólica *onshore*, isto é, em áreas terrestres do país, sendo um dos países mais proeminentes do mundo

desta modalidade, segundo o *Ranking Mundial do Global Wind Energy Council (GWEC)* (ABEEólica, 2021a). No ano de 2021, o Brasil posicionou-se em 6º lugar neste *Ranking*, com uma capacidade total *onshore* instalada de 21,5 GW. No mesmo ano, o Brasil destacou-se como o terceiro país do mundo com o maior número de novas instalações eólicas *onshore*, as quais atingiram cerca de 3,8 GW (ABEEólica, 2021a).

Porém, apesar de também possuir um vasto potencial para a exploração de energia eólica *offshore*, isto é, em áreas marítimas, com potencial para se tornar um dos maiores *players* do setor eólico *offshore* do mundo, assim como é no setor *onshore* (Vinhoza; Schaeffer, 2021), este potencial *offshore* ainda não é explorado. Ainda não há, até o presente momento deste estudo (Setembro de 2023), nenhum Parque Eólico Offshore (PEO) em operação no país (Vinhoza et al., 2023). Porém, menciona-se que, até o final de 2019, 6 projetos encontravam-se em fase de licenciamento ambiental pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), conforme mencionam Azevedo et al. (2020).

A modalidade eólica *offshore* consiste na produção de eletricidade por meio de estruturas marítimas que abrigam aerogeradores, os quais se valem da potência dos ventos oceânicos para a geração de energia elétrica. Este método assemelha-se à tecnologia *onshore*, mas emprega turbinas eólicas mais robustas, tornando-se uma excelente alternativa, por exemplo, para áreas com disponibilidade terrestres reduzidas, mas que possuem extensas faixas litorâneas (Giz, 2016).

Correia (2021) esclarece ainda algumas das superioridades da energia *offshore* em comparação à *onshore*: maior qualidade do recurso eólico em ambientes marítimos, onde a velocidade do vento costuma ser mais elevada, mais constante e com menor turbulência; disponibilidade de áreas mais extensas e, conseqüentemente, instalações de maior porte, resultando em produções maiores de energia; e posicionamento afastado de áreas habitadas, o que minimiza o impacto visual e sonoro, resultando em fatores de capacidade e densidades de potência mais elevados.

Ademais, além da produção eólica em terra (*onshore*), várias pesquisas apontam que o Brasil detém um potencial colossal, estimado em pelo menos 330,5 GW (Silva, 2019), para a implantação desse tipo de empreendimento em mar aberto (*offshore*). Contudo, mesmo com diversas iniciativas em fase de obtenção de licenças ambientais junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), essa categoria ainda não tem nenhum projeto concretizado no ambiente marítimo brasileiro.

Nessa direção, o Brasil se comprometeu a implementar o Planejamento Espacial Marinho (PEM) até o ano de 2030, tendo a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) como entidade responsável pela coordenação das atividades para sua formulação, conforme acordado na Conferência da ONU para os Oceanos em 2017 (CEMAVE, 2022).

Porém, apesar de sua relevância, atualidade e potencial, nota-se que ainda existem poucos estudos que realizam análises e estimativas do potencial da energia eólica *offshore* no Brasil.

Por este motivo, e considerando que tais estudos podem fomentar e acelerar o desenvolvimento de Parques Eólicos Offshore (PEOs) no país, o presente estudo buscou responder à pergunta de pesquisa: “Qual o potencial de energia eólica *offshore* do ou no Brasil”?

A quantidade pequena de artigos encontrados que estimam o potencial eólico apenas *offshore* brasileiro, em contraste com outros países grandes players desta modalidade, representa um desafio para a expansão desse setor promissor não apenas no Brasil como no mundo. Ao preencher essa lacuna, mais estudos acerca do potencial brasileiro podem oferecer informações cruciais para tomadores de decisão, investidores e formuladores de políticas públicas. Com uma compreensão mais clara dos recursos eólicos marítimos do país, será possível identificar áreas de maior viabilidade econômica e energética e facilitar a implementação de Parques Eólicos Offshore (PEOs).

Para isto, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura, com o objetivo de avaliar o estado da arte da literatura relacionado às estimativas do potencial eólico *offshore* brasileiro e consolidar e sintetizar as informações relacionadas à pergunta de pesquisa.

Além de serem escassos os estudos disponíveis na literatura sobre o tema, os resultados apresentam variações consideráveis, uma vez que utilizam diferentes metodologias, fontes de dados, fatores restritivos e parâmetros nos cálculos. Portanto, a revisão sistemática desempenhou um papel importante na compilação e comparação desses resultados, fornecendo uma visão mais completa do potencial eólico *offshore* no Brasil avaliado até o presente momento, assim como pode auxiliar pesquisas futuras sobre o tema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Histórico da Energia Eólica

Segundo Barra e Teixeira (2022), a potência eólica tem sido explorada para diversas aplicações tecnológicas desde os albores da humanidade. Os egípcios, há milhares de anos, utilizavam o vento para navegar pelo Rio Nilo em busca de alimento e insumos para suas edificações. Com a crescente demanda por uma alimentação mais diversificada e abundante, o vento passou a ser empregado por civilizações como os persas e chineses para o acionamento de bombas de água e moinhos destinados à moagem de cereais, também referidos como moinhos hidráulicos. Dessa forma, a produção alimentar se tornava mais automatizada e eficaz, liberando tempo para outros afazeres e permitindo o uso de animais, antes parte da força motriz, em diferentes tarefas.

As estruturas de moagem eólica desempenharam uma função vital até um período anterior à Revolução Industrial, sendo aplicadas em serrarias, prensas de cereais e manufaturas de papel. Com a introdução da máquina a vapor, mais eficiente e estável, os moinhos de vento foram gradativamente desvalorizados e substituídos. Após a identificação da eletricidade na década de 1830, começaram debates sobre a utilização de recursos naturais para a geração de energia elétrica. E, evidentemente, o vento fazia parte dessas deliberações (Dutra, 2008). Diversos estudos foram conduzidos com o intuito de utilizar a energia eólica como fonte propulsora para a geração de eletricidade. Cerca de cinquenta anos após o surgimento da energia elétrica, em 1888, o primeiro aerogerador com o objetivo de geração energética foi desenvolvido por Charles Brush, nos Estados Unidos. Este equipamento fornecia 12kW em corrente contínua, que eram armazenados em acumuladores. A energia desses acumuladores era empregada para acionar lâmpadas incandescentes (Dutra, 2008).

Aproximadamente cem anos mais tarde, na década de 1970, a crise petrolífera global fez com que fontes energéticas alternativas ganhassem destaque. A ambição de explorar novos métodos de geração energética atraiu investimentos, permitindo a fabricação mais rápida e econômica de componentes essenciais. A implementação em nível industrial começou a se intensificar e, em 1976, a primeira turbina eólica foi integrada à rede elétrica pública da Dinamarca (Burton *et al.*, 2001).

A partir dessa conjuntura, houve uma redução nos custos dos dispositivos necessários para a montagem das turbinas eólicas entre as décadas de 1980 e 1990. Ainda em território dinamarquês, o primeiro Parque Eólico Offshore (marítimo) do mundo foi estabelecido em

1991, compreendendo 11 aerogeradores com uma potência de 450kW cada, atingindo um total de 4,95MW de potência instalada. Atualmente, já existem aerogeradores com uma capacidade energética de até 9MW (NEOENERGIA, 2019).

No cenário brasileiro, os primeiros projetos de energia eólica emergiram na década de 1990. Esta forma de energia sustentável ganhou relevância por sua aptidão para substituir a energia hidrelétrica em certas áreas, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, onde diversas comunidades isoladas não contavam com fornecimento de energia convencional. Conforme apontado pela ABEEólica (2021a), o advento da geração eólica no Brasil ocorreu com a instalação do primeiro aerogerador, que começou a operar em 1992, no arquipélago de Fernando de Noronha (PE) (Sampaio; Batista, 2021).

Entretanto, Sampaio e Batista (2020) salientam que a nação historicamente priorizou a geração de energia elétrica através de hidrelétricas, em virtude do menor custo de construção e maior flexibilidade operacional. Essa visão, no entanto, foi revista durante a crise energética de 2001, momento em que o país se viu vulnerável por depender majoritariamente de uma única fonte de energia. Os autores mencionam ainda que, devido a essa situação, houve crescentes pressões internacionais para que o Brasil adotasse fontes de energia alternativas, com o intuito de mitigar impactos ambientais e o efeito estufa (Protocolo de Quioto) (Sampaio e Batista, 2020).

As turbinas eólicas contemporâneas apresentam diversos modelos e dimensões, variando conforme a sua aplicação. O design mais frequente, seja em versões grandes ou pequenas, é o de eixo horizontal (com o eixo das lâminas paralelo ao solo). Nesta configuração, duas ou três lâminas rotacionam em oposição ao vento, ancoradas em uma torre (Usher, 2019).

Turbinas eólicas de menor porte são comumente empregadas para prover energia em locais desconectados da rede elétrica, oscilando desde unidades extremamente compactas de 250 watts, concebidas para recarregar baterias em embarcações à vela, até turbinas de 50 quilowatts destinadas ao abastecimento de fazendas leiteiras e comunidades isoladas. À semelhança dos moinhos de vento rurais tradicionais, essas turbinas eólicas de dimensões reduzidas frequentemente possuem lemes de cauda que as mantêm alinhadas à direção do vento (Roy; Bandyopadhyay, 2019).

Ademais de constituir uma fonte energética de baixo impacto ao longo de seu ciclo de vida, a energia eólica não libera CO₂ durante sua operação, servindo assim como substituta para outras modalidades de geração elétrica que emitem gases. A Figura 1 ilustra a quantidade de emissões de CO₂ que são evitadas mensalmente pela geração eólica terrestre (*onshore*). Em

2020, evitaram-se 34,4 milhões de toneladas de CO₂, o que equivale às emissões anuais de aproximadamente 34 milhões de carros particulares. Para efeito de comparação, a metrópole de São Paulo conta com uma frota que supera os 19 milhões de veículos de passeio (ABEEÓLICA, 2021a).

Figura 1 - Emissões de CO₂ evitadas por mês (Toneladas)



Fonte: ABEEólica (2021a, p. 9).

2.2. Energia Eólica no Mundo

Em uma civilização contemporânea, a necessidade de energia é uma constante, assim como a exigência de que tal energia seja de alta qualidade e acessível universalmente. O provimento de energia elétrica impulsiona o crescimento econômico e a infraestrutura de uma nação, além de conferir bem-estar, conforto e dignidade à sua população. Dentro desse quadro, observa-se globalmente uma transição de paradigmas no âmbito energético, com a inclusão de fontes renováveis em suas matrizes energéticas. O aporte de recursos em energias eólica-solar, biomassa, biocombustíveis e hidrogênio verde configura uma tendência atual.

Entre os anos de 2005 e 2014, houve um acréscimo global de 525,5% na capacidade instalada, saindo de 59.091 MW (aproximadamente 59,1 TW) em 2005 para atingir 369.597 MW (aproximadamente 369,6 TW) em 2014. Em comparação com o Brasil, essa capacidade instalada mundialmente é superior ao dobro da brasileira (Abreu; Moraes, 2023).

A energia eólica vem ganhando relevância tanto estratégica quanto inovadora para administrações governamentais e corporativas, exibindo um crescimento acelerado em escala global e contribuindo para a diminuição das emissões de carbono (Saidi; Omri, 2020). De acordo com o *Global Wind Energy Council* (GWEC *apud* Lee; Zhao, 2021), tal expansão

atingiu um total de 742 GW de capacidade instalada ao redor do mundo em 2020, com países como China, Estados Unidos, Alemanha, Índia, Brasil e Reino Unido em destaque.

Deste total de 742 GW de capacidade instalada, 707,4 GW provêm da energia eólica terrestre (*onshore*) e 35,3 GW da marítima (*offshore*). O relatório da IRENA (*International Renewable Energy Agency*) - *Renewable Power Generation Costs* de 2020 enfatiza o progresso tecnológico da energia eólica *offshore* e sua penetração em novos mercados na última década. Ainda conforme dados do GWEC (*apud* LEE; ZHAO, 2021), prevê-se a instalação de mais de 205 GW de nova capacidade eólica *offshore* até o ano de 2030.

Em um cenário mais atual, a *Global Wind Energy Council* (GWEC, 2022) avaliou que aproximadamente 77,6 GW de nova capacidade eólica foram integrados às redes elétricas no ano de 2022, resultando em um aumento na capacidade instalada para 906 GW, o que representa um crescimento de 9% em comparação com o ano de 2021.

Os países líderes em mercados de energia eólica em 2022 incluem China, Alemanha, Suécia, Brasil e Estados Unidos. Juntos, esses cinco países correspondem a cerca de 71% das instalações globais. Com base em algumas projeções, estima-se que um total de 2 TW será alcançado em um período aproximado de sete anos. Segundo a GWEC Market Intelligence, houve um aumento nas metas a serem atingidas até 2030, com valores estimados em torno de 143 GW (GWEC, 2022).

No que concerne à energia eólica *offshore* em escala global, de acordo com o relatório mais abrangente do GWEC (2022) sobre o tema, os países com maior capacidade instalada incluem Reino Unido (10,20 GW), China (9,99 GW), Alemanha (7,72 GW), Holanda (2,61 GW), Bélgica (2,26 GW), Dinamarca (1,70 GW), Suécia (191,2 MW), Coreia do Sul (132,5 MW), Taiwan (128,0 MW) e Vietnã (99,0 MW). É importante ressaltar que ao término de 2020, um adicional de 6,1 GW de capacidade foi instalada, com países como China, Reino Unido, Alemanha, Coreia do Sul, Bélgica, Holanda, Estados Unidos e Portugal figurando como líderes em novas instalações nesse segmento (Figura 2).

Figura 2 – Dados de Globais de Energia Eólica Offshore (Gráfico 1); Nova capacidade instalada (Gráfico 2).

Gráfico 1: Dados Globais de Energia Eólica *Offshore* – Capacidade Instalada de Eólica *Offshore* por País

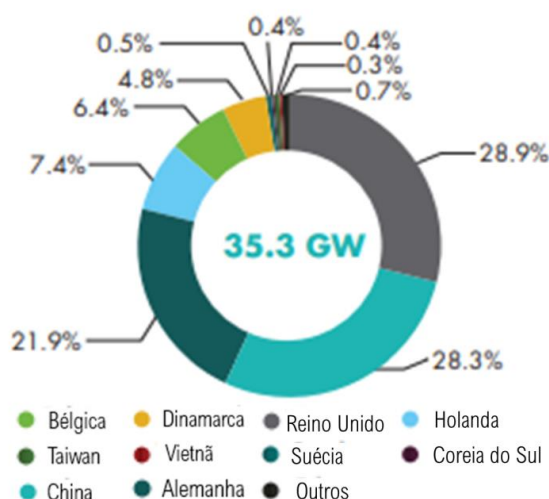
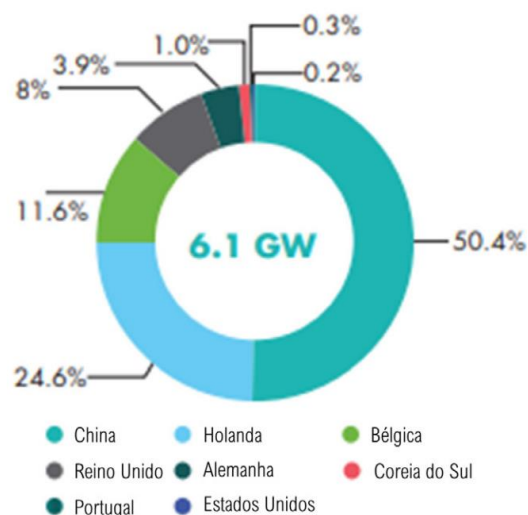


Gráfico 2: Evolução de Nova Capacidade Instalada de Energia Eólica *Offshore* – Dados Globais



Fonte: Lee e Zhao (2021).

Além disso, a recente capacidade instalada em energia eólica *offshore* aumentou de 2,2 GW em 2016 para 6,1 GW em 2020, elevando-se de 4% para 7% em termos de crescimento (Gráfico 2). Mesmo diante do cenário pandêmico, países como China (3,1 GW), Holanda (1,5 GW), Bélgica (706 MW), Reino Unido (483 MW) e Alemanha (237 MW) estabeleceram novos recordes em termos de nova capacidade. É válido destacar também o desempenho de novos entrantes no mercado de energia eólica *offshore*, como Coreia do Sul (60 MW) e Estados Unidos (12 MW) (Figura 2). (Lee; Zhao, 2021).

2.3. Energia Eólica no Brasil

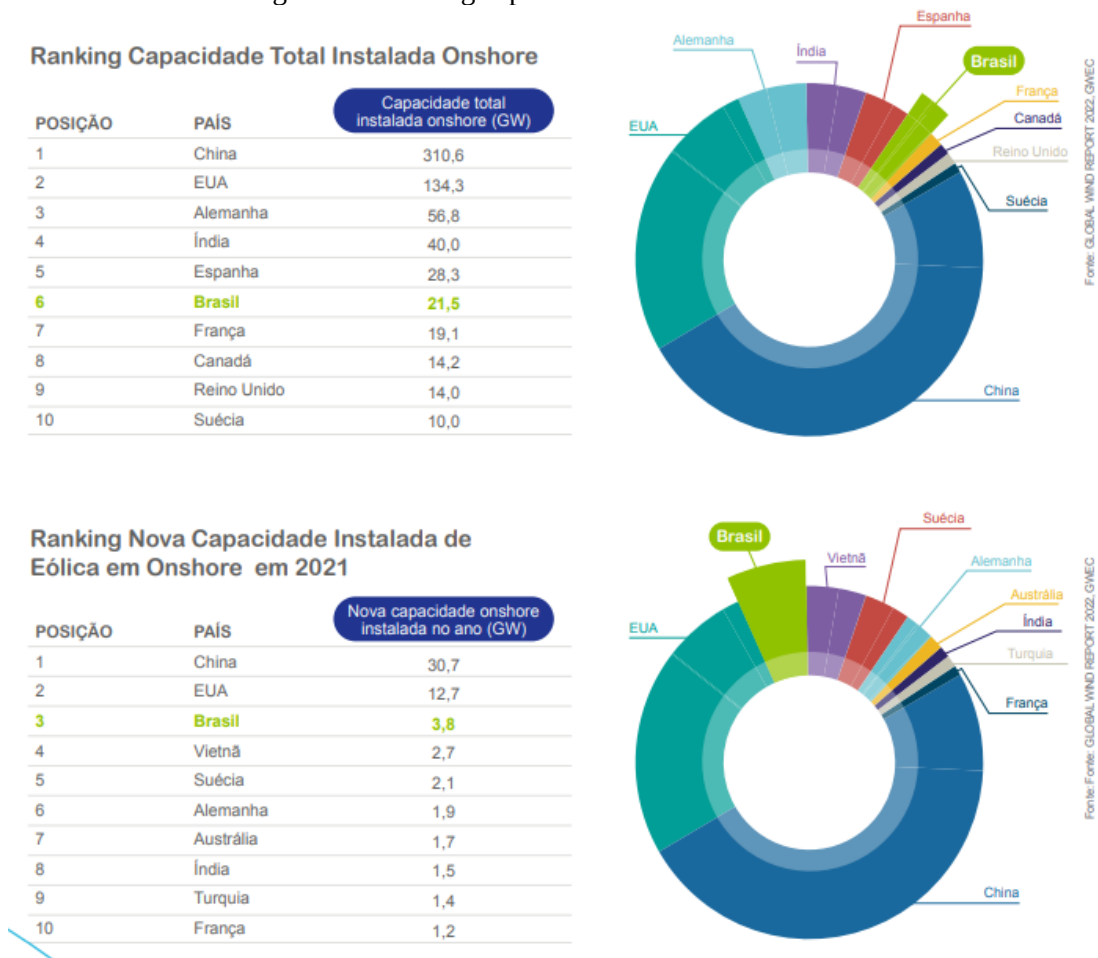
Nos anos recentes, a exemplo do que se observa globalmente, as fontes renováveis e de geração distribuída ganharam maior espaço na matriz energética do Brasil (Soares; Gava; Oliveira, 2021). O país é notável pelo seu trajeto ascendente no uso de energias não derivadas de combustíveis fósseis.

Em território brasileiro, as dificuldades energéticas enfrentadas na década de 2000 deram origem a um conjunto de políticas públicas voltadas para a ampliação da importância da energia eólica na matriz energética nacional. Entre os anos de 2000 e 2018, o Brasil elevou sua capacidade instalada em energia eólica de 0,1% para 9%, e essa forma de energia passou a

responder por 40% do consumo total na região do Nordeste. Nesse cenário, os conglomerados econômicos atuantes no setor eólico foram cruciais para a consolidação dessa área de mercado (Soares; Gava; Oliveira, 2021). O Brasil tem se destacado como um mercado eficiente na implementação e na instalação de energia eólica terrestre (*onshore*) (Rego; Ribeiro, 2018).

A Figura 3 abaixo mostra a proeminência do Brasil na modalidade *onshore* no mundo. No ano de 2021, o Brasil posicionou-se em 6º lugar no Ranking Mundial do *Global Wind Energy Council* (GWEC), com uma capacidade total *onshore* instalada de 21,5 GW. (ABEEólica, 2021a). Considerando as novas instalações no mesmo ano, o Brasil emergiu como o terceiro país com o maior volume de instalações eólicas, somando 3,8 GW (ABEEólica, 2021a). Portanto, evidencia-se a proeminência do Brasil no cenário mundial, sendo um dos maiores players na modalidade *onshore*.

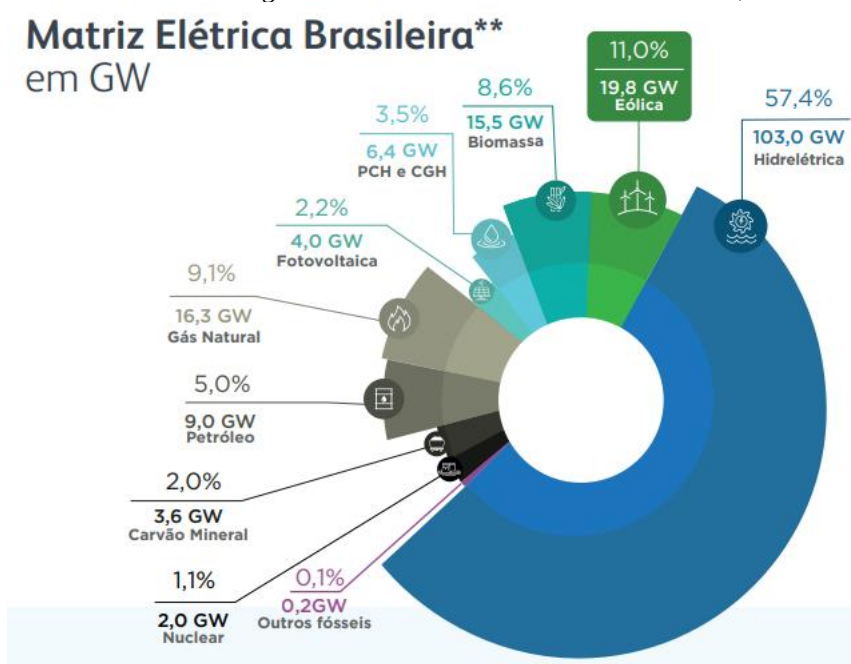
Figura 3 – Ranking capacidade total instalada onshore



Dessa maneira, o Brasil configura-se como uma nação cuja matriz elétrica é majoritariamente renovável. Conforme dados de capacidade supervisionada pela ANEEL –

Agência Nacional de Energia Elétrica (2021), 83% são de fontes renováveis e 17% de fontes não renováveis. As principais fontes dessa matriz incluem Hidrelétrica, Eólica, Solar, Biomassa, entre outras (Figura 4). Registros apontam que, em outubro de 2021, a energia eólica terrestre (*onshore*) foi a segunda maior fonte em capacidade instalada na matriz elétrica brasileira, totalizando 19,8 GW e constituindo 11,0% dessa matriz (NORONHA *et al.*, 2021).

Figura 4 - Matriz Elétrica Brasileira – Outubro, 2021



Fonte: ABEEólica (2021a) com base na ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

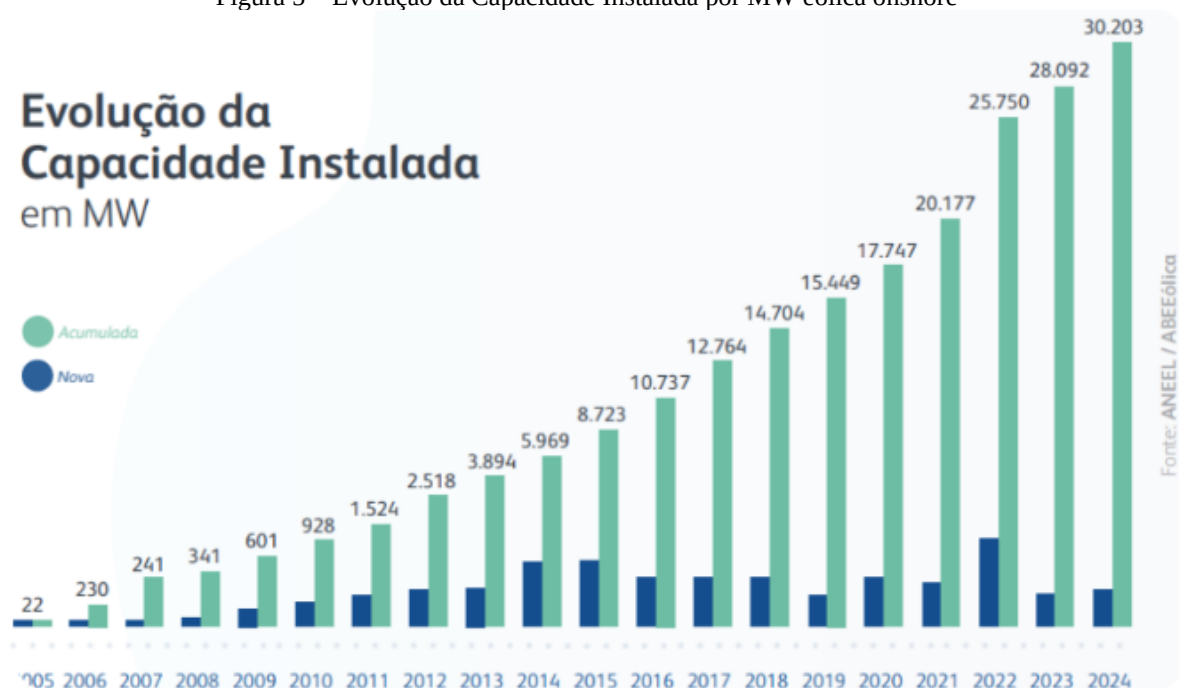
No contexto brasileiro, a matriz renovável é predominantemente formada por centrais hidrelétricas, estando, portanto, sujeita às flutuações hidrológicas e climáticas. Atualmente, aproximadamente 65,2% da produção energética do país são oriundos da matriz hídrica, segundo a ABEEólica (2021a).

Contudo, a energia eólica terrestre no Brasil, que ganhou ímpeto no final dos anos 2010, apresenta uma trajetória consideravelmente robusta. Com aproximadamente 19,77 GW de capacidade instalada em funcionamento comercial e 740 parques eólicos em território nacional, ela figura como a sétima maior indústria global no segmento, conforme indica a Associação Brasileira de Energia Eólica – ABEEólica (2021b).

O ciclo eólico se configura como suplementar ao regime hidrológico sazonal, representando, assim, uma opção viável para o Brasil. A sinergia entre essas duas fontes energéticas poderia trazer vantagens à matriz energética do país, predominantemente baseada em recursos hídricos (REZENDE, 2020).

É importante ressaltar que, em relação à qualidade dos ventos, o país apresenta um fator de capacidade superior à média global. O progresso eficaz da indústria eólica no Brasil pode ser atribuído à excelente qualidade dos ventos no país e ao investimento significativo por parte das empresas. Nos últimos 12 anos, foi construída uma cadeia produtiva nacional robusta para apoiar os objetivos estabelecidos e o grande potencial de expansão dessa fonte energética no Brasil. A Figura 5 demonstra a evolução da capacidade instalada (REINALDO, 2022).

Figura 5 – Evolução da Capacidade Instalada por MW eólica onshore

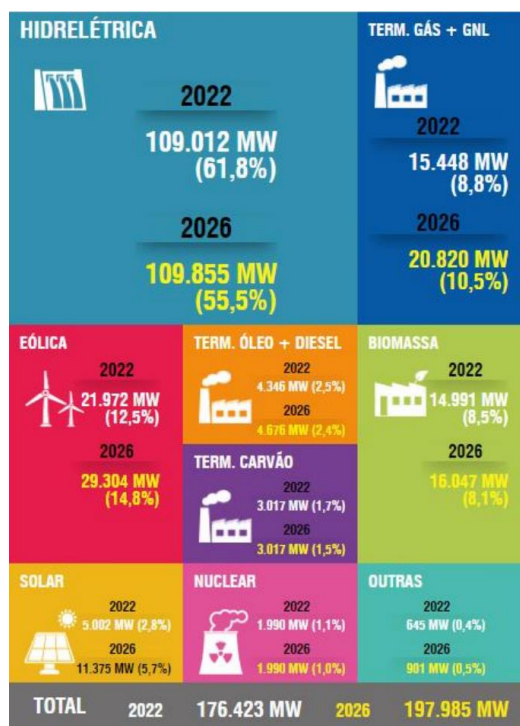


Fonte: Noronha *et al.* (2021, p. 38).

A Figura 6, elaborada pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), fornece um resumo da matriz elétrica em 2022 e as projeções para 2026. É relevante observar a diminuição da participação das fontes hidráulicas na matriz, especialmente após as lições aprendidas com uma das maiores crises no setor em 2021; além do aumento na representatividade das fontes eólica, solar e termelétricas alimentadas por gás e GNL.

Esse cenário ocorre em resposta aos marcos regulatórios de 2021 e 2022 em relação à energia eólica *offshore* (PL nº 576/2021), micro e minigeração fotovoltaica (Lei nº 14.300, de 2022), e à nova legislação sobre gás natural (Lei nº 14.134, de 2021).

Figura 6 – Evolução da Capacidade Instalada no SIN agosto 2022/ dez 2026



Fonte: ONS (2022).

2.4. Energia Eólica Offshore

Complexos eólicos podem ser categorizados em terrestres (*onshore*) e marítimos (*offshore*). Presentemente, a energia eólica é originada em instalações eólicas *onshore*, que se dedicam à transformação da energia dos ventos continentais em eletricidade. Em contrapartida, as unidades *offshore* concentram-se na geração elétrica a partir de ventos oceânicos, que geralmente apresentam velocidades superiores às dos ventos *onshore*. Assim sendo, as turbinas eólicas *offshore* são mais eficientes na produção de eletricidade e oferecem vantagens como maior extensão de território marítimo e redução de impactos sonoros e visuais em relação às suas contrapartes *onshore* (PINTO, 2017).

A modalidade *offshore* é vista como uma inovação tecnológica no setor, e diante das projeções de crescimento delineadas por Kitzing e González (2020), bem como as estimativas de entidades significativas do segmento energético como IEA – *International Energy Agency*, IRENA e GWEC, torna-se imperativo abordar diversos desafios que possam servir como lições para diferentes setores industriais interessados em estabelecer um marco regulatório regional robusto com foco em sustentabilidade ambiental, econômica e social.

Da mesma forma que os complexos eólicos *onshore*, os Parques Eólicos Offshore (PEOs) são altamente valorizados como estratégias para a descarbonização das redes elétricas

nacionais. Devido a ventos mais rápidos, menor turbulência e variabilidade no ambiente marítimo comparativamente ao terrestre, os PEOs ostentam fatores de capacidade e densidades de potência mais elevados. Enquanto complexos eólicos *onshore* exibem uma densidade de potência calculada em torno de $0,9 \text{ W/m}^2$, em virtude das interações entre as turbinas e a atmosfera (Miller; Keith, 2018), as estimativas para PEOs giram entre 3 a 5 W/m^2 , creditado à maior energia cinética presente nos ventos oceânicos (Tavares *et al.*, 2020).

Um benefício adicional dos PEOs reside na necessidade territorial para a produção eólica em larga escala. As exigências de terra para instalações eólicas *onshore* são consideráveis, especialmente por conta das baixas densidades de energia nas áreas ainda disponíveis. Adicionalmente, tais demandas têm ocasionado conflitos com comunidades locais devido a arranjos institucionais desequilibrados e desrespeito à justiça participativa e distributiva. Além disso, alguns estudiosos apontam para "apropriações de terras" decorrentes da expansão significativa da energia eólica *onshore* (CAPELLÁN-PÉREZ; CASTRO; ARTO, 2017), dando origem a novas formas de injustiça, um tema de crescente atenção no meio acadêmico (SOVACOOOL *et al.*, 2019).

Nesta ótica, os sistemas de inovação de energia eólica *offshore* desempenham uma função crucial na orientação dos principais trajetos que auxiliam na construção de marcos regulatórios, dado que possuem a capacidade de mobilizar saberes que podem ser extrapolados de setores nacionais e internacionais contíguos para estimular o progresso da energia eólica *offshore* (BRINK; MADSEN, 2017).

Globalmente, a energia eólica *offshore* tem se revelado uma alternativa cada vez mais factível para a produção de energia sustentável, incentivada por políticas energéticas favoráveis em resposta a questões ambientais, e por inovações tecnológicas oriundas de cadeias de fornecimento consolidadas em regiões com um alto número de projetos executados. Do conjunto de sistemas *offshore* instalados mundialmente, Reino Unido (34%), Alemanha (28%) e China (20%) detêm mais de 90% dos 23,1 GW já em operação (EPE, 2020).

No continente americano, os Estados Unidos deram início a suas operações no setor eólico *offshore* em 2016, com o estabelecimento do empreendimento *Deepwater Wind*, com capacidade de 30 MW. Esse evento foi seguido pelo incremento do suporte político de estados como Massachusetts, Nova York e Maryland, visando atrair a indústria de energia eólica *offshore*. Neste contexto, em setembro de 2016, a Estratégia Nacional Eólica Offshore do Departamento do Interior (DOI) foi divulgada, apontando as ações de pesquisa fundamentais para alcançar uma meta de 86 GW implementados até o ano de 2050. A Estratégia Nacional de

Energia Eólica Offshore esboça um plano para a formação de uma indústria *offshore* sólida e duradoura, minimizando custos e riscos tecnológicos (EPE, 2020).

Finalmente, é pertinente contrastar as energias eólicas *onshore* e *offshore*, uma vez que ambas apresentam os benefícios de serem limpas, renováveis, com vasta possibilidade de disseminação e operação. No entanto, instalações terrestres são mais econômicas do que as marítimas e demandam uma manutenção menos complexa; por outro lado, os sistemas *offshore* podem incorrer em custos de construção mais elevados devido à localização e componentes específicos (LIVI *et al.*, 2021).

As informações coletadas por Díaz e Soares (2020) indicam a existência de 53 instalações eólicas *offshore* em fase de projeto e construção globalmente, predominantemente localizadas na Europa (Bélgica, Dinamarca, Alemanha e Reino Unido) e Ásia (China, Coreia do Sul, Taiwan e Vietnã). Nota-se uma predominância em nações desenvolvidas, dada a necessidade de um investimento inicial elevado. Estima-se que tal investimento represente pelo menos três quartos do custo total ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Tal fato gera hesitação em países com instabilidade econômica, uma vez que o custo inicial supera o de fontes energéticas tradicionais, que correspondem a apenas dois quintos do custo ao longo da vida útil.

O Brasil, tendo a energia eólica *onshore* como sua segunda maior fonte de eletricidade e sendo um ator relevante na extração de petróleo e gás em mar aberto, configura-se como um candidato promissor no crescente mercado de eólicas *offshore*. No ano de 2022, foi sancionado o Decreto nº 10.946/2022, que versa sobre a cessão de áreas e o uso de recursos naturais para produção de energia elétrica *offshore*. Posteriormente, obteve aprovação no Senado Federal o Projeto de Lei 576/2021, que regula a concessão de autorização para exploração de potencial energético *offshore*, atualmente em fase de análise na Câmara dos Deputados (REINALDO, 2022).

Entretanto, ainda não há no Brasil nenhum Parque Eólico Offshore em operação até o presente momento deste estudo (Setembro, 2023). Contudo, segundo o *Energy Research Office* (EPE), que divulgou o *Roadmap* da energia eólica no Brasil em 2020, seis projetos encontram-se em etapa de licenciamento ambiental e, caso sejam aprovados, contribuirão com quase 10 GW de energia. Ademais, o país detém um litoral de 9650 km e aproximadamente 3,6 milhões de km² na Zona Econômica Exclusiva (ZEE), o que representa um vasto potencial a ser explorado (SILVA, 2015). Além disso, a capacidade eólica *offshore* estimada é de cerca de 70 GW em regiões com até 50m de profundidade (EPE, 2020).

O Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, confeccionado pela EPE, sinaliza uma capacidade geradora de eletricidade via eólicas *offshore* no território brasileiro da ordem de 16 GW até o ano de 2050, supondo um decréscimo de 20% no investimento de capital dessa modalidade energética. Tal projeção se sustenta mesmo diante da previsão de expressivo aumento da capacidade eólica *onshore* para o mesmo horizonte temporal (EPBR, 2022).

3. METODOLOGIA

3.1. Revisão Sistemática de Literatura

Segundo Torraco (2005), uma Revisão de Literatura (LR, do inglês “*Literature Review*”) pode ser entendida como uma forma de pesquisa que avalia, critica e sintetiza a literatura representativa sobre um tópico. Porém, Petticrew e Roberts (2006) argumentam que revisões da literatura tradicionais são frequentemente enviesadas e, muitas vezes, discordam entre si.

Petticrew e Roberts (2006) e Grant e Booth (2009) identificaram 14 tipos de revisões de literatura (LRs). A Revisão Sistemática de Literatura (SLR, do inglês “*Systematic Literature Review*”) é um destes tipos de Revisão de Literatura (LR) identificados.

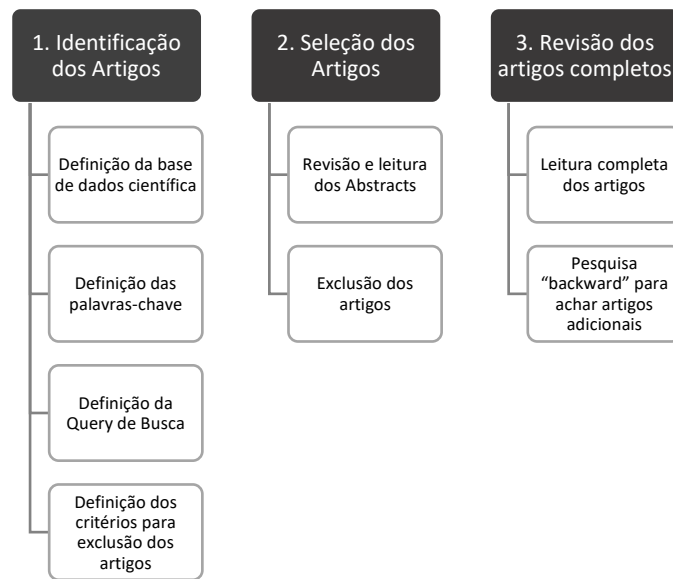
De acordo com Tranfield (2003), revisões sistemáticas diferem das revisões tradicionais ao adotarem um rigoroso processo científico, transparente e replicável, numa tentativa de reduzir o viés comum a revisões tradicionais. Segundo Reim et al. (2015), “pesquisadores anteriores argumentaram que o uso de tal abordagem para analisar a literatura pode garantir que o viés (ou seja, o erro sistemático) seja limitado, os efeitos aleatórios sejam reduzidos, e a legitimidade da análise de dados aumente”.

Segundo Aguilar et al. (2019), uma SLR essencialmente descreve, resume, avalia e clarifica a literatura relacionada a uma área ou tópico selecionado. Petticrew e Roberts (2006) afirmam que SLRs não apenas nos informam sobre o estado da arte do conhecimento sobre alguma área ou tópico específico, e sobre eventuais inconsistências na literatura, como também clarificam o que ainda falta saber, ou seja, identificam lacunas na literatura. SLRs também ajudam a identificar recomendações para pesquisas futuras (Grant e Booth, 2009).

Para abordar e responder à(s) pergunta(s) de pesquisa, foi utilizada uma abordagem metodológica similar à utilizada no artigo de Aguilar et al. (2019), que faz uso de um procedimento para a busca de literatura e seleção de artigos composto por 3 fases (Aguilar et al., 2019).

Fase 1: identificação dos artigos; fase 2: seleção dos artigos; e fase 3: revisão e leitura completa dos artigos selecionados. A figura 7 abaixo explicita estas 3 fases.

Figura 7 - Procedimento de busca da literatura da SLR para seleção dos artigos.



Fonte: Aguilar et al. (2019).

O primeiro passo da fase 1 consiste na definição da base de dados científica. Para este estudo, foi escolhida a base de dados Scopus, pois a mesma contém mais de 53 milhões de registros e quase 22.000 títulos de 5.000 editoras, sendo assim uma das maiores bases de dados de resumos e citações de literatura de pesquisa (Hlwiki, 2017).

Em seguida, foram definidas as palavras-chave para a busca na base Scopus, as quais são explicitadas no Quadro 1 abaixo. É importante considerar que as palavras-chave devem ser tanto abrangentes para não restringir artificialmente o número de estudos, como específicas o suficiente para trazer apenas os estudos relacionados ao tópico (Cooper, 2010).

Quadro 1 - Palavras-chave selecionadas.

País	Tipo de energia (eólica)	Localização da Energia Eólica
<i>Brazil</i>	<i>Wind Energy</i>	<i>Offshore</i>
<i>Brazilian</i>	<i>Wind Power</i>	
	<i>Wind Farm</i>	
	<i>Wind Farms</i>	
	<i>Wind Resource</i>	
	<i>Wind Resources</i>	

Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

A partir das palavras-chave selecionadas, foi definida a *query* explicitada no Quadro 2 abaixo para a busca na base Scopus.

Quadro 2 - Query considerada.

Scopus
TITLE-ABS-KEY ("Brazil*" AND "Offshore" AND "wind energy" OR "wind power" OR "wind farm*" OR "wind resource*")

Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

Em seguida, o quarto e último passo da fase 1 consiste na definição de critérios de exclusão de artigos, com o objetivo de selecionar apenas os artigos ou estudos relevantes para responder à(s) pergunta(s) de pesquisa da SLR (Rasool et al., 2015). Os seguintes critérios de exclusão foram definidos:

- Tipo da fonte: para garantir a qualidade dos dados e informações dos artigos, foram considerados apenas artigos publicados em *Journals*.
- Idioma: apenas artigos em inglês e português foram considerados.
- Artigos pagos não foram considerados.
- Relação com o tema e com a pergunta de pesquisa: apenas artigos que realizam estimativas do potencial de energia eólica *offshore* do ou no Brasil devem ser considerados, sejam estimativas do país como um todo ou de áreas costeiras no Brasil.

Em seguida, a Fase 2 tem início com a leitura dos *abstracts* dos artigos restantes para que sejam excluídos os artigos considerados fora do escopo do estudo e da pergunta de pesquisa.

Por sua vez, os artigos aprovados na fase 2 seguem para a leitura completa dos mesmos na fase 3, de forma que sejam finalmente selecionados apenas os artigos relevantes e dentro do escopo do estudo. É importante ressaltar que, durante a leitura completa dos artigos selecionados no primeiro passo da fase 3, outros documentos relevantes podem ser identificados nas suas respectivas referências (Aguilar et al., 2019), prática esta denominada *backward search*, constituindo assim o último passo do procedimento de seleção de artigos.

Finalmente, após as 3 fases da seleção dos artigos, são extraídas informações dos mesmos, incluindo dados obtidos a partir da base de dados científica para análises bibliométricas, quanto síntese das informações relevantes dos artigos selecionados para responder à pergunta de pesquisa.

Na análise bibliométrica, as medidas e os indicadores podem ser utilizados para criar mapas científicos para realizar avaliações de impacto, o que envolve a quantificação e a avaliação do desempenho e da influência da pesquisa científica (Cobo et al., 2011)

A análise inicial e mais simples realizada no banco de dados é a análise de citações. Essa análise consiste em examinar os autores mais influentes, quantificar a produção de artigos e as citações em diferentes áreas do conhecimento, instituições e países

A análise de co-palavras (também chamada de análise de co-ocorrência) revela a estrutura conceitual e os principais tópicos de um campo. Ela permite o exame e o monitoramento da trajetória evolutiva de um campo de pesquisa em intervalos de tempo sucessivos (Callon et al., 1983). Segundo Coulter et al. (1998), a análise de co-palavras simplifica uma coleção de palavras-chave em gráficos de rede, exibindo efetivamente suas interconexões. Os temas de pesquisa emergem pela contagem da frequência com que duas palavras-chave ocorrem nos documentos.

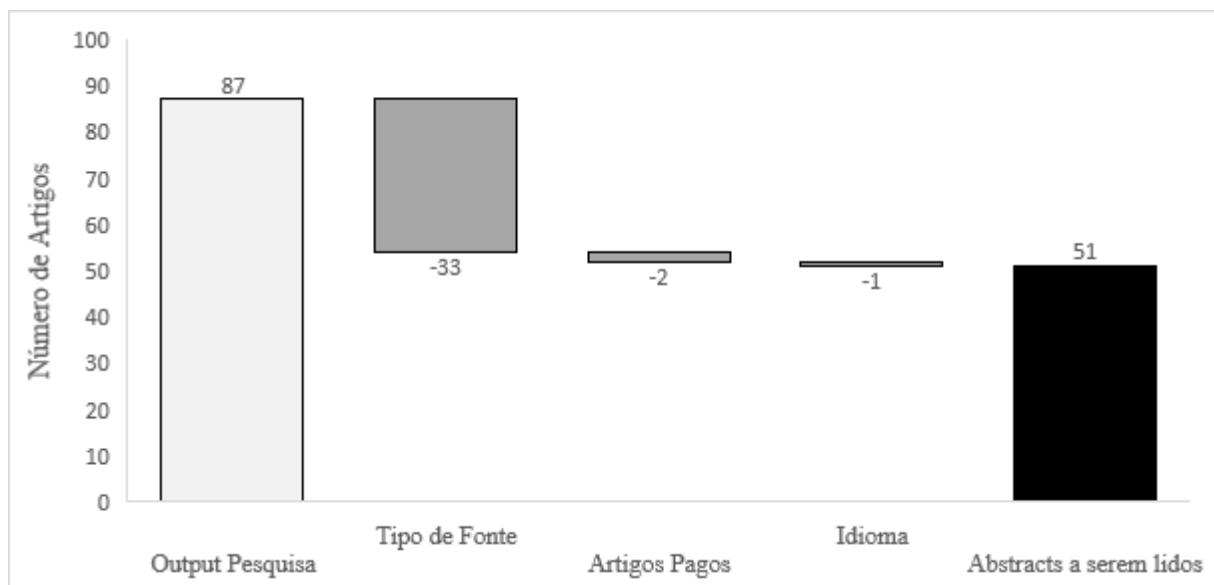
A análise de co-citação, conforme descrita por Small (1973), examina a estrutura intelectual em um domínio de pesquisa científica, revelando a relação entre autores que se concentram em tópicos semelhantes. Em outras palavras, dois artigos são considerados co-citados quando são referenciados juntos em um ou vários artigos subsequentes.

4. RESULTADOS

4.1. Análise Geral e Bibliométrica

A busca realizada na base Scopus resultou em 87 artigos. Conforme os critérios de exclusão definidos na seção 3.1, 33 artigos (38%) foram excluídos devido ao tipo de fonte, isto é, por não terem sido publicados em algum *Journal*; 2 artigos foram excluídos por serem pagos, impossibilitando, portanto, o acesso aos mesmos; e 1 artigo foi excluído por não ter sido escrito no idioma inglês ou português. Dessa forma, restaram 51 artigos para a leitura de seus respectivos *abstracts*. Ou seja, pouco mais da metade (59%) dos artigos encontrados na busca foram aprovados para a leitura dos *abstracts*. A Figura 8, abaixo, ilustra o processo descrito acima.

Figura 7 - Procedimento de busca da literatura da SLR para seleção dos artigos.



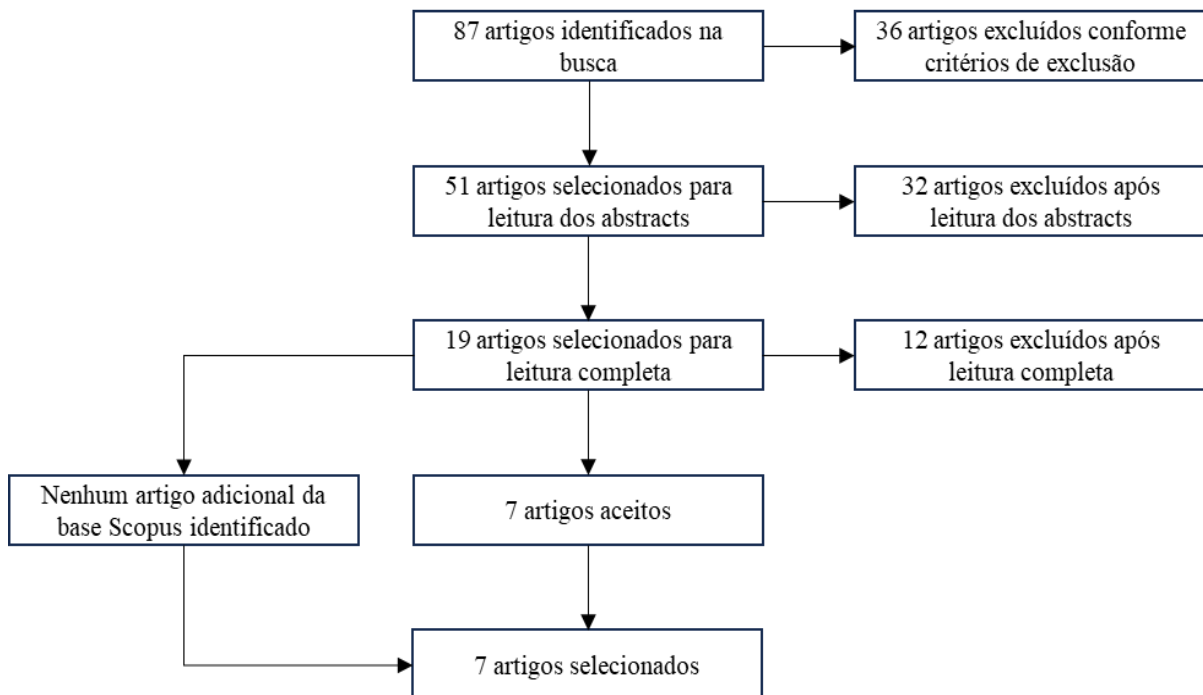
Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023), adaptado de Aguilar et al. (2019).

Após a leitura dos *abstracts*, 19 artigos foram selecionados para prosseguirem para a fase 3, isto é, para a leitura completa dos mesmos, representando 22% dos artigos totais da busca e 37% dos artigos selecionados para a leitura dos *abstracts*.

Dos 19 artigos aprovados para a leitura completa, 12 artigos foram excluídos por não atenderem ao quarto critério de exclusão definido na seção 3.1, isto é, por não terem

realizado estimativas do potencial de geração de energia eólica offshore no Brasil, seja do país como um todo, seja de alguma(s) região(ões) ou área(s) costeira(s) do país. A Figura 9 demonstra o processo de seleção de artigo.

Figura 9 - Processo de seleção dos artigos



Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023), adaptado de Aguilar et al. (2019).

Sobre os 12 artigos excluídos após a leitura completa, vale mencionar que:

- Não foram considerados artigos que não realizaram estimativas do potencial de energia eólica *offshore* do ou no Brasil, seja do país como um todo, seja de alguma(s) região(ões) ou área(s) costeira(s).
- Não foram considerados artigos que realizaram estimativas do potencial de geração de energia eólica *offshore* em conjunto com outra(s) fontes de energia, ou seja, que não separaram as estimativas do potencial eólico apenas *offshore*, nos quais as estimativas incluíram outras fontes energéticas que complementavam os cálculos, como, por exemplo, energia eólica *offshore* complementada por energia solar ou por energia provinda da indústria do petróleo. Dessa forma, não foram incluídos pois fogem da pergunta de pesquisa.
- Não foram considerados estudos que realizaram estimativas do potencial de energia eólica *offshore* em conjunto com áreas *onshore*.

- Não foram considerados artigos que realizaram apenas análises econômico-financeiras relacionadas à implementação de energia eólica *offshore*, sem terem sido realizadas estimativas do potencial de produção de energia eólica *offshore*.

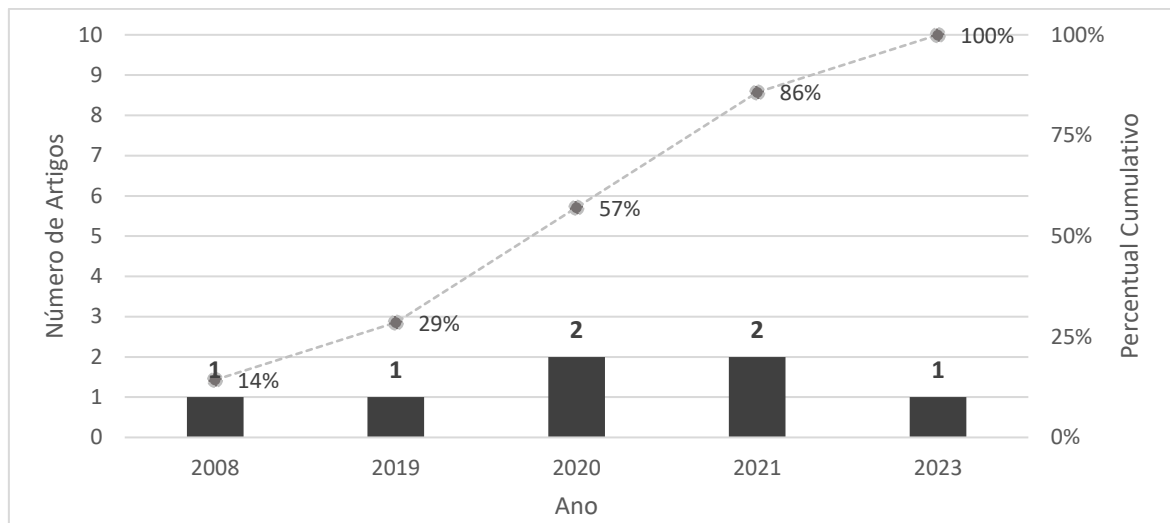
Ressalta-se que um artigo realizou tanto análises econômico-financeiras quanto estimativa do potencial de geração de energia eólica *offshore*, e, por este motivo, foi incluído na seleção.

Também vale ressaltar que, durante a *backward search*, foram identificados 3 artigos relevantes e relacionados à pergunta de pesquisa, mas que não se encontram na base Scopus, o que impossibilitou a inclusão dos mesmos na seleção, pois uma das premissas definidas na seção 3.1 foi a de considerar apenas artigos encontrados nesta base de dados científica.

Um importante ponto de atenção é a pequena quantidade de artigos aprovados na seleção, isto é, que efetivamente realizaram estimativas do potencial de geração de energia eólica *offshore* do ou no Brasil, apesar da crescente relevância e atualidade desta modalidade, principalmente quando comparados aos países mais proeminentes nesta modalidade. Isto evidencia uma lacuna de conhecimento deste tópico e a necessidade de mais estudos acerca do mesmo, especialmente ao ser considerado o enorme potencial do Brasil para geração de energia eólica *offshore*, assim como o fomento que tais estudos podem gerar para o desenvolvimento e implementação de Parques Eólicos Offshore (PEOs) no país.

Finalmente, com os artigos definidos na seleção, podem ser realizadas análises sobre os mesmos. A Figura 10 abaixo apresenta a evolução da publicação dos artigos ao longo dos anos até Setembro de 2023.

Figura 10 - Evolução do número de artigos ao longo dos anos



Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023), adaptado de Aguilar et al. (2019).

Nota-se que há uma considerável lacuna de tempo entre o primeiro artigo, publicado em 2008, e o segundo artigo, publicado 11 anos mais tarde. Além disso, 6 dos 7 artigos, ou seja, quase todos, foram publicados nos últimos 4 anos, o que mostra como é recente o aumento de interesse acerca da energia eólica *offshore* no Brasil, assim como a crescente relevância e atualidade do tema. Os únicos anos com mais de 1 publicação foram os anos 2020 e 2021, o que evidencia a necessidade de mais estudos sobre o tema.

O Quadro 3 mostra os autores ordenados pelo total de citações, do maior para o menor, assim como o número de artigo(s) publicado(s) pelos mesmos e seus respectivos anos de publicação. Nota-se que os mais citados são os 3 que escreveram o artigo de 2008, o mais antigo e mais citado. Felipe Pimenta, um destes 3, é o autor que lidera o número de citações, com 2 artigos publicados. Nota-se que apenas 3 de 24 (12%) dos autores possuem mais de 1 artigo publicado, sendo 2 o número máximo de artigos por autor. Vale destacar também os autores Amanda Vinhoza e Roberto Schaeffer, os únicos que, além do Felipe Pimenta, contribuíram com 2 artigos, sendo ambos os artigos recentes, mas que, apesar disso, possuem uma quantidade considerável de citações em comparação aos demais quando considerados os anos de publicação.

Quadro 3 - No. de citações e artigos por autor.

Autor	Total de Citações	No. de artigos	Ano Publicações
PIMENTA F / PIMENTA FM	155	1	2008, 2019
GARVINE R	131	1	2008
KEMPTON W	131	1	2008
DE ASSIS TAVARES LF	49	1	2020

DE FREITAS ASSAD LP	49	1	2020
ESTEFEN SF	49	1	2020
LANDAU L	49	1	2020
SHADMAN M	49	1	2020
SILVA C	49	1	2020
SCHAEFFER R	32	2	2021, 2023
VINHOZA A	32	2	2021, 2023
ASSIREU AT	24	1	2019
SAAVEDRA OR	24	1	2019
SILVA AR	24	1	2019
COSTA MALATEAUX DA SILVA E	23	1	2021
LOZER DOS REIS MM	23	1	2021
MITSUO MAZETTO B	23	1	2021
DA SILVA NF	5	1	2020
DE ARAÚJO RSB	5	1	2020
DE AZEVEDO SSP	5	1	2020
JÚNIOR AAC	5	1	2020
PEREIRA AO	5	1	2020
LUCENA AFP	2	1	2023
ROCHEDO PRR	2	1	2023

Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

O Quadro 4 mostra o número de artigos, o total de citações, e os respectivos anos dos artigos publicados por fonte.

Como esperado, nota-se um claro destaque para a fonte “*Renewable Energy*”, com quase a metade (49,8%) do total de citações, pois foi nessa fonte que o artigo mais antigo e citado foi publicado, o que pode explicar essa liderança. Vale destacar as fontes “*Energy*” e “*Renewable and Sustainable Energy Reviews*”, pois, mesmo tendo apenas 1 artigo recente publicado cada, ambas possuem mais citações do que as fontes “*Energies*” e “*Sustainable Energy Technologies and Assessments*”, que são as únicas com mais de 1 artigo publicado.

Quadro 4 - Número de artigos e citações por fonte.

Fonte	No. de artigos	No. de citações	Ano Publicações
Renewable Energy	1	131	2008
Energy	1	48	2020
Renewable and Sustainable Energy Reviews	1	30	2021
Energies	2	29	2019, 2020
Sustainable Energy Technologies and Assessments	2	25	2021, 2023

Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

O Quadro 5 mostra todos os 7 artigos deste estudo ordenados pelo número de citações, do maior para o menor, assim como seus respectivos autores, ano de publicação e fonte em que foram publicados.

Quadro 5 - Artigos ordenados pelo número de citações.

Nº	Artigo	Fonte	Citações	Autores	Ano
1	Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of southeastern Brazil	Renewable Energy	131	PIMENTA F; KEMPTON W; GARVINE R	2008
2	Assessment of the offshore wind technical potential for the Brazilian Southeast and South regions	Energy	48	DE ASSIS TAVARES LF; SHADMAN M; DE FREITAS ASSAD LP; SILVA C; LANDAU L; ESTEFEN SF	2020
3	Brazil's offshore wind energy potential assessment based on a Spatial Multi-Criteria Decision Analysis	Renewable and Sustainable Energy Reviews	30	VINHOZA A; SCHAEFFER R	2021
4	Brazil offshore wind resources and atmospheric surface layer stability	Energies	24	PIMENTA FM; SILVA AR; ASSIREU AT; DE S. E ALMEIDA V; SAAVEDRA OR	2019
5	Economic analysis for implantation of an offshore wind farm in the Brazilian coast	Sustainable Energy Technologies and Assessments	23	LOZER DOS REIS MM; MITSUO MAZETTO B; COSTA MALATEAUX DA SILVA E	2021
6	Assessment of offshore wind power potential along the Brazilian coast	Energies	5	DE AZEVEDO SSP; PEREIRA AO; DA SILVA NF; DE ARAÚJO RSB; JÚNIOR AAC	2020
7	Brazil's offshore wind cost potential and supply curve	Sustainable Energy Technologies and Assessments	2	VINHOZA A; SCHAEFFER R; LUCENA AFP; ROCHEDO PRR	2023

Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

Ressalta-se que, dos 7 artigos, 5 iniciaram suas análises a partir da costa brasileira como um todo (artigos 3, 4, 5, 6 e 7), enquanto 2 consideraram apenas áreas costeiras de uma ou duas regiões brasileiras (artigos 1 e 2), mas que foram incluídos no estudo pois o objetivo do mesmo é avaliar o potencial de energia eólica *offshore* do ou no Brasil, seja do país como um todo, seja de alguma(s) região(ões) ou área(s) costeira(s)

É importante mencionar alguns fatores determinantes e por vezes restritivos considerados nos cálculos das estimativas, apesar de diferenças entre as metodologias e cálculos dos estudos. Ou seja, nem sempre todos os fatores foram considerados nos cálculos, e, mesmo quando considerados, nem sempre foram considerados de maneira exatamente igual, como será visto adiante.

Fatores:

- Técnicos:
 - Batimetria (profundidade da água)
 - Velocidade mínima e máxima dos ventos
 - Tipo de turbina eólica (aerogerador) utilizada no cálculo
 - Área ocupada por cada turbina
 - Energia média produzida por turbina
 - Densidade de capacidade (energia produzida/área ocupada)
- Ambientais:
 - Áreas de proteção ambiental ou conservação marinha
- Sociais:
 - Distância mínima da costa (para diminuir o impacto visual)
 - Áreas de pesca comercial
 - Áreas com plataformas de petróleo
 - Rotas Marítimas

O primeiro artigo, de 2008, é considerado pioneiro no cálculo do potencial de energia eólica *offshore* no Brasil. Porém, apesar de seu pioneirismo, não foi estimado no estudo o potencial do Brasil como um todo, ou mesmo da costa completa de alguma(s) região(ões) do Brasil. As análises tiveram como ponto de partida apenas as costas das regiões Sul e Sudeste, mas o potencial efetivamente calculado abrange apenas uma área da costa da região Sul (entre as latitudes 28°S e 33°S, isto é, aproximadamente entre Florianópolis e a fronteira brasileira com o Uruguai, no Rio Grande do Sul), pois esta foi considerada a área com o maior potencial energético pelo estudo dentre as regiões analisadas (Sul e Sudeste).

O estudo combinou dados da tecnologia QuikSCAT, que utiliza satélites para a avaliação da distribuição de recursos em larga escala, com dados de estações meteorológicas (torres e boias meteorológicas), dados batimétricos e dados da velocidade dos ventos para realizar os cálculos. Não foram considerados fatores restritivos como rotas marítimas e locais de conservação marinha. Com estes dados mapeados, foram definidos os seguintes parâmetros para serem realizadas as estimativas: (i) o tipo de turbina; (ii) a área ocupada por cada turbina; (iii) a energia média produzida por cada turbina; e (iv) a área total viável para a estimativa, quando considerados os fatores restritivos. Além disso, o estudo realizou cálculos com 2 tipos de turbinas diferentes, mas, para fins de simplificação, aqui será considerado apenas o tipo utilizado mais comum à época.

- (i) GE 3.6s

- (ii) 0.54 km²/turbina
- (iii) 1.5 MW/turbina
- (iv) 77.848 km² (0 – 100m de batimetria)
 - a. 9.688 km² (0 – 20m)
 - b. 26.992 km² (20 – 50m)
 - c. 41.168 km² (50 – 100m)

Finalmente, o estudo estimou o potencial total de produção de energia considerando que a área (iv) fosse explorada em sua totalidade e chegou aos seguintes resultados:

- Área total: 216 GW
 - 0 – 20m: 27 GW
 - 20 – 50m: 75GW
 - 50 – 100m: 114 GW

O estudo finaliza mencionando que, mesmo considerando apenas o potencial estimado de produção de energia eólica *offshore* entre 0 e 50m dessa pequena área da costa brasileira (102 GW), este seria aproximadamente equivalente ao consumo esperado total de energia elétrica do Brasil todo no ano de 2008 (cerca de 100 GW). Como outra forma de comparação, também menciona que esse resultado obtido se encontra na faixa estimada calculada à época de potencial de energia eólica *onshore* de todo o território brasileiro (cerca de 60 a 143.5 GW), e a ultrapassa se considerada a área total (0 – 100m), o que resultaria em cerca de 216 GW de potencial, aproximadamente o dobro do consumo elétrico esperado do ano de 2008 para todo o país.

O segundo estudo inicia suas análises considerando apenas a costa das regiões Sul e Sudeste, isto é, do Rio Grande do Sul até o Espírito Santo, mencionando que essas duas regiões brasileiras possuem grande importância socioeconômica e alta demanda de energia pois incluem alguns dos maiores e mais populosos centros urbanos próximos à costa.

O estudo utiliza dados de 3 reanálises atmosféricas globais (i) “NCEP *Climate Forecast System Version 2*” (CFSv2); (ii) “*fifth-generation Atmospheric Reanalysis*” (ERA5); e (iii) “*The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications Version 2*” (MERRA2) para simular as velocidades e direções dos ventos a partir de dados históricos de 2011 a 2018. Os resultados das 3 reanálises foram validados e comparados com medições in-situ de boias meteo-oceanográficas obtidas através do programa brasileiro PNBOIA (Programa Nacional de Boias), que coleta dados meteorológicos e oceanográficos ao longo da costa brasileira. Após a validação e comparação, foi constatado que a reanálise ERA5 obteve

a melhor performance para representar os ventos da região estudada e, por isso, foi a escolhida para os cálculos.

Para as estimativas, foi considerada a turbina NREL 6-MW, baseada na tecnologia de turbinas eólicas *offshore* de 2015, que ocupa uma área de 2 km² e possui 3 MW/km² de densidade de capacidade.

Duas abordagens de estimativas foram realizadas. A primeira considera que a área da Zona Exclusiva Econômica (ZEE) das regiões Sul e Sudeste seria explorada em sua totalidade, isto é, da costa até o limite da ZEE, sem considerar fatores restritivos técnicos, ambientais ou sociais. Já a segunda abordagem busca realizar uma estimativa mais realista e viável, limitando a área a ser explorada ao aplicar alguns fatores restritivos técnicos, ambientais e sociais, como: (i) distância mínima da costa de 18km para diminuir o impacto visual; (ii) exclusão de áreas com profundidade maior do que 1000m a partir de análises batimétricas (devido às limitações tecnológicas da implementação de turbinas); (iii) exclusão de áreas com médias de velocidade dos ventos abaixo de 7 m/s a altitudes de 100m (altitude média de operação de turbinas eólicas *offshore*); e (iv) exclusão de áreas de proteção ambiental. Porém, não considera outros fatores restritivos como rotas marítimas, atividades de pesca e instalações de exploração de petróleo e gás.

A primeira abordagem estimou, para a área total da ZEE das regiões Sul e Sudeste, 2.698 GW (aproximadamente 2,7 TW) de capacidade nominal, isto é, a capacidade teórica obtida caso todos os equipamentos funcionassem a pleno, sem interrupções ou perdas, e um potencial médio de 578 GW para a região Sudeste, 592 GW para a região Sul, e 1.170 GW para ambas as regiões, o que representaria uma Produção Anual de Energia (PEA) de 10.249 TWh/ano, conforme mostrado na Quadro 6.

Quadro 6

Resultados da abordagem 1 do artigo 2.

Abordagem 1	Sudeste	Sul	Total
Área (km ²)	483.776	415.489	899.265
Capacidade Nominal [GW]	1.451	1.246	2.698
Produção Média [GW]	578	592	1.170
Produção de Energia Anual [TWh/ano]	5.063	5.186	10.249

Para se ter noção da magnitude do potencial, os resultados podem ser comparados com o consumo total de energia anual das regiões Sudeste e Sul em 2018, avaliados em 233 TWh e 85 TWh, respectivamente, conforme menciona estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Dessa forma, as PEAs estimadas das regiões Sudeste e Sul representariam,

ao comparar com o estudo da EPE, 2.173% e 6.101% do consumo energético anual, respectivamente, e 3.223% de ambas as regiões. O que demonstra a magnitude do potencial.

Porém, conforme esperado, há reduções significativas nas estimativas da segunda abordagem. Quando aplicados os fatores restritivos (i), (ii), (iii), (iv) definidos acima, o potencial estimado para ambas as regiões de capacidade nominal cai para 815 GW (redução de 70%), a produção média cai para aproximadamente 344 GW (redução de 71%), e a PEA cai para 3.013 TWh/ano (redução de 71%). Contudo, este potencial estimado de produção média ainda seria suficiente para atender à demanda energética anual das regiões estudadas, sendo estas PEAs estimadas das regiões Sudeste e Sul aproximadamente 470% e 2.256% de suas respectivas demandas energéticas anuais, o que evidencia que, mesmo aplicando as restrições técnicas, ambientais e sociais (i), (ii), (iii), e (iv), ainda assim o potencial é cerca de 4,7 vezes e 22,56 vezes maior do que as demandas energéticas anuais da região Sudeste e Sul, respectivamente, o que novamente demonstra a enorme magnitude do potencial, especialmente por ter tido como base apenas as costas destas 2 regiões e não do país como um todo.

De forma parecida, porém desta vez tendo como ponto de partida a área da ZEE brasileira restringida até 80 km da costa, ou seja, considerando a costa brasileira como um todo, o terceiro artigo utilizou a tecnologia GIS (do inglês, *Geographic Information System*) em conjunto com revisões da literatura e da metodologia SMCDA (*Spatial Multi-Criteria Decision Analysis*, ou GIS-MCDA, que é uma metodologia de análise de decisão multicritério com variáveis e restrições espaciais) para mapear as diferentes áreas sujeitas às restrições espaciais relacionadas aos fatores restritivos, as quais servem de base para as estimativas do potencial eólico *offshore* da costa brasileira total em 3 diferentes níveis, denominados: (i) Potencial Bruto; (ii) Potencial Técnico; e (iii) Potencial Ambiental e Social. Foi considerada uma densidade de capacidade de 3 MW/km² para os 3 níveis.

A estimativa do Potencial Bruto buscou calcular o potencial sem aplicar restrições técnicas, ambientais ou sociais, tendo como ponto de partida a área total da ZEE brasileira. Porém, devido a limitações de disponibilidade de dados de ventos, foi necessário restringi-la para até 80 km da costa, sendo esta a única restrição deste cenário. Ou seja, apesar de a área total da ZEE brasileira possuir cerca de 3,6 milhões de km², o estudo considerou uma área de 562.522 km² para a estimativa (i). A estimativa calculada resultou no Potencial Bruto de 1.688 GW, na qual não foi aplicada nenhuma restrição espacial exceto a citada acima, isto é, não foram considerados fatores restritivos técnicos, ambientais ou sociais. O estudo menciona

que, deste potencial, 84% do mesmo (1.418 GW) seria tecnicamente viável ao considerar como única restrição a profundidade máxima de 1000m, e 33% (559 GW) se consideradas águas com até 20m de profundidade. Se fosse considerada a área da ZEE em sua totalidade, o potencial bruto chegaria a cerca de 10.800 GW (ou 10,8 TW).

Para o cálculo do Potencial Técnico, são consideradas as limitações da tecnologia de turbinas eólicas *offshore* comerciais da época (2021). Ou seja, são aplicados apenas fatores restritivos técnicos. No estudo, foram consideradas a batimetria (profundidade da água) de até 1000m, e a velocidade mínima dos ventos de 7 m/s. O estudo constatou que, ao serem consideradas estas restrições, há uma redução de 37% do Potencial Bruto calculado. Ou seja, seria tecnicamente viável um potencial de 1.064 GW. A restrição batimétrica foi responsável por uma redução da área do Potencial Bruto de 16%, e a velocidade mínima dos ventos por uma redução de 21%. Se considerada a batimetria de 0 – 50m de profundidade, o potencial seria de aproximadamente 765 GW.

O Potencial Ambiental e Social (iii) representa um potencial mais realista pois considera a área efetivamente disponível para a implementação de PEOs ao serem considerados os fatores técnicos mencionados acima, assim como fatores ambientais e sociais. Os ambientais considerados foram: áreas de proteção marinha; habitats de espécies em extinção; e áreas importantes para recifes de corais, pássaros, morcegos, mamíferos marinhos e organismos bênticos (animais e vegetais que vivem no fundo do oceano). Os fatores sociais considerados foram: distância mínima de 8km da costa para reduzir o impacto visual; locais de pesca comercial; e locais com outras estruturas físicas ou atividades humanas como estruturas de patrimônio cultural, plataformas de petróleo e gás, tubulações, cabos, áreas de atividades de dragagem ou outros obstáculos.

O estudo concluiu que apenas 20% da área utilizada no cálculo do Potencial Bruto seria tecnicamente, ambientalmente e socialmente viável, resultando num Potencial Ambiental e Social (iii) de 330 GW. Ainda assim, este resultado é considerado um potencial bastante elevado, representando quase o dobro da capacidade total instalada no Brasil de todas as fontes de energia em 2020, que chegava a aproximadamente 174 GW, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Deste resultado (iii), mais da metade dessa área disponível se encontra em águas profundas (50 – 1000m), representando um potencial de 151 GW; 32% em profundidade média (20 – 50m), com capacidade instalável de 105 GW; e 22% em águas rasas (0 – 20m), resultando num potencial de 74 GW.

Após aplicadas as restrições espaciais no cenário (iii), o estudo concluiu que as áreas com maior potencial da costa brasileira se encontram no litoral do Nordeste, especialmente do MA, PI, CE e RN; no litoral de SC e RS, na região Sul; e em parte do litoral do PA, na região Norte. Com um potencial menor mas ainda considerável, encontram-se áreas no litoral do PR, SP e RJ; e áreas menores em parte do litoral da PB e SE. De todas estas, a área de maior potencial estende-se de parte do litoral nordeste do MA até parte do litoral noroeste do CE, sendo estimado um potencial de produção de 18,6 GW apenas para esta pequena área da costa brasileira, que possui apenas 6.199 km².

O quarto artigo levou em consideração um fator não considerado nos outros estudos: a estabilidade atmosférica. Os autores argumentam que, na maioria dos casos, os dados de ventos obtidos através de tecnologias via satélite, utilizados para as estimativas, são obtidos para a altitude de 10m acima da superfície do oceano e são extrapolados verticalmente para a altitude de operação de turbinas eólicas *offshore* (cerca de 100m acima da superfície). Porém, nesta extrapolação, são consideradas tipicamente condições neutras de estabilidade atmosférica para fins de simplificação, apesar de outros estudos ressaltarem a importância da estabilidade atmosférica na extrapolação vertical de ventos da superfície oceânica.

O estudo utilizou dados históricos do *Blended Sea Winds* (BSW), produto oferecido pela *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA) e cuja base de dados congrega medições de múltiplos satélites, para as estimativas dos recursos dos ventos à altitude de 10m e, em seguida, utilizou dados termodinâmicos e climatológicos do *Objectively Analyzed Air-Sea Fluxes* (OAFLUX), da *Woods Hole Oceanographic Institution* (WHOI), para os cálculos da estabilidade atmosférica e extrapolação vertical.

Após isso, complementou os resultados com dados batimétricos da base de dados ETOPO1 do *National Center for Environmental Prediction* (NCEI/NOAA) e do 1984 *World Geodetic System* (WGS 84) para as definições de áreas que atendessem aos fatores restritivos técnicos, partindo inicialmente da área total da ZEE brasileira, providenciada em 2015 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Não foram considerados como fatores de exclusão áreas de conservação marinha, rotas marítimas, áreas de pesca comercial e regiões de exploração de petróleo.

O estudo concluiu que, considerando as condições de densidade do ar e instabilidades atmosféricas, assim como restrições batimétricas e técnicas, os recursos eólicos *offshore* giram em torno de 725 GW para profundidades de 0 – 35m, abrangendo uma área de 318.61 km²; cerca de 980 GW para profundidades entre 0 e 50m, com uma área de 429.529 km²; e

aproximadamente 1,3 TW em áreas com profundidades de 0 e 100m. As restrições espaciais e, consequentemente, as exclusões de áreas com os fatores restritivos mencionados acima foram aplicadas à área total da ZEE (Zona Exclusiva Econômica) brasileira. O estudo menciona também que, caso fosse considerada a ZEE total, o potencial poderia chegar a 7,2 TW.

O estudo também destaca que estas estimativas que consideram a densidade do ar e a estabilidade atmosférica provocaram reduções na ordem de 20% quando comparadas às estimativas que utilizaram condições atmosféricas neutras. Além disso, o estudo menciona que, de acordo com a turbina escolhida para os cálculos, cujas áreas podem variar de 8.495 m² a 21.124 m², os recursos eólicos resultantes podem variar entre cerca de 2 e 23%.

Além disso, o estudo identifica as seguintes áreas de alto potencial e alta atratividade econômico-financeira (*hotspots*) da costa brasileira: litorais do MA, PI, CE e RN (Nordeste); do PA e AP (Norte); de SC e RS (Sul); e do RJ e ES (Sudeste). Os *hotspots* coincidem com as áreas de maior potencial identificadas no estudo anterior (artigo 3), exceto o litoral do Espírito Santo (provavelmente pelo fato de o artigo 4 não ter considerado fatores restritivos ambientais e sociais).

Destes hotspots, o estudo menciona que os estados AP, PA e MA se destacam por suas amplas áreas costeiras rasas entre 0 e 35m, com alto potencial de recursos (369 GW, quase a metade dos recursos estimados nesta faixa batimétrica do país), com uma área que totaliza 155.924 km², o que representa quase a metade (48,9%) da área brasileira nesta mesma faixa de profundidade (318.618 km²).

Caso a profundidade seja estendida para águas com até 100m de profundidade, o potencial desta mesma área citada acima (AP até MA) aumentaria para 592 GW, quase a metade (43,9%) do potencial do país nesta faixa de batimetria (1.346 GW), compreendendo uma área de 258.954 km² (44% da área brasileira nesta mesma faixa, cerca de 589.465 km²).

Ainda nesta faixa de 0 – 100m, o potencial estimado para as costas de SC e RS foi de 245 GW (18,2% do estimado para o país nesta faixa batimétrica), um pouco maior do que o estimado por Pimenta et al. (2008) no artigo 1 (216 GW) para uma área costeira similar; e 115 GW em profundidades entre 0 e 50m, também um pouco maior mas próximo da estimativa do artigo 1 (102 GW) nesta mesma área similar.

O artigo 5 aplicou uma abordagem diferente, considerando um PEO hipotético com uma capacidade instalada de 300 MW em uma área de 36 km², em vez de estimar o potencial de áreas completas, e focou majoritariamente em análises econômico-financeiras relacionadas

à implementação deste PEO hipotético em diferentes áreas costeiras do Brasil. Porém, o artigo foi incluído no presente estudo por também identificar áreas de maior potencial e estimar as produções de energia anuais por este PEO hipotético nestas áreas.

Condizendo com os artigos 3 e 4, o artigo 5 destaca o alto potencial da maior parte da costa do Nordeste, especialmente entre os estados MA e CE, na qual a Produção de Energia Anual (PEA) máxima para este PEO hipotético pode chegar a 1.579 GWh/ano. Outras áreas de alto potencial identificadas foram: (i) entre SC e RS, com uma PEA máxima estimada em 1.202 GWh/ano; e (ii) entre o litoral sul do ES e o litoral norte do RJ, com uma PEA máxima estimada em 1.210 GWh/ano.

O artigo 6 empregou um processo analítico hierárquico para realizar as estimativas, que é um método de análise multi-critério para auxiliar tomadas de decisão e que considera que problemas complexos com diferentes variáveis ou critérios podem ser decompostos em menores, de forma que diferentes pesos podem ser definidos e atribuídos aos critérios considerados no processo de acordo com suas respectivas relevâncias e impactos no problema estudado. Dessa forma, este processo foi utilizado em conjunto com o GIS (*Geographic Information System*) para mapear e dividir áreas da ZEE brasileira de acordo com o nível de viabilidade para a exploração eólica *offshore*. Os critérios considerados neste processo foram (i) dados dos ventos; (ii) batimetria; (iii) distância da costa; e (iv) áreas de proteção ambiental. Os dados de ventos (i) foram obtidos através do banco de dados ERA-Interim, que fornece um conjunto de dados de uma reanálise atmosférica global iniciada em 1979 e desenvolvida pela *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), sendo estes dados (i) correspondentes a altitudes de 10m, os quais foram extrapolados verticalmente para uma altitude de 100m considerando condições neutras de estabilidade atmosférica e considerando desprezíveis possíveis turbulências na superfície do mar. Para os cálculos, foi considerada a turbina GE Haliade 150-6 MW, ocupando uma área de 1,125 km².

Após definidos os critérios e parâmetros e seus respectivos pesos, foram mapeadas áreas conforme seus níveis de viabilidade de exploração, utilizando como ponto de partida a área total da ZEE brasileira, que se estende até cerca de 370 km da costa e compreende cerca de 3,5 milhões de km². As áreas mapeadas foram classificadas em (i) muito viáveis; (ii) viáveis; (iii) pouco viáveis; e (iv) inviáveis. Para as estimativas, o estudo considerou apenas as áreas (i) e (ii), assim como uma média da velocidade dos ventos de 8 m/s para estas áreas, para fins de simplificação, mas valor este considerado uma aproximação suficientemente representativa, isto é, com impacto muito pequeno nos cálculos. O potencial estimado foi de

cerca de 3 TW, e a produção anual média estimada cerca de 14.800 TWh. Para comparação, esse valor é equivalente a aproximadamente 20 vezes a capacidade instalada total de produção elétrica no país inteiro (2020), ou equivalente à produção de cerca de 200 hidrelétricas de Itaipu (a segunda maior do mundo).

O estudo ressalta que, mesmo desconsiderando as áreas (iii) e (iv) e áreas com restrições ambientais, que excluem mais de 800.000 km², cerca de 40% da costa brasileira apresenta um potencial considerável de produção de energia eólica *offshore*. O estudo destaca 3 áreas de maior potencial: (a) o litoral norte da região Nordeste, sendo a de maior viabilidade, e o litoral da região Norte; (b) a costa sul do país, especialmente entre Florianópolis e a fronteira do RS com o Uruguai; e (c) a área entre o extremo sul da Bahia e a costa de Cabo Frio, no RJ. Tais áreas, especialmente a (a) e (b), condizem com os *hotspots* identificados nos outros estudos.

O sétimo e último artigo possui como autores a Amanda Vinhoza e Roberto Schaeffer, os mesmos do artigo 3, em conjunto com André F. P. Lucena e Pedro R. R. Rochedo. Este sétimo artigo aplicou uma metodologia similar à aplicada no artigo 3; porém, desta vez, foi utilizada a versão 3.0 do *Global Wind Atlas* para a obtenção dos dados de ventos a serem utilizados nos cálculos, o qual possui melhorias significativas em relação a versões anteriores, conforme os autores argumentam. Os dados de ventos se estendem até 200 km da costa (em vez de até 80 km, no artigo 3) e estão inseridos na ZEE brasileira. Os autores também argumentam que, ao aplicarem uma metodologia similar à do artigo 3, mas utilizando um novo conjunto de dados, pode ser avaliada a diferença que a utilização de diferentes bases de dados para a obtenção dos dados de ventos pode ter nos resultados obtidos, impactando não apenas o potencial energético calculado como também as delimitações das áreas mais viáveis para a instalação de PEOs. O estudo foi além e também realizou análises dos custos envolvidos para a implementação dos PEOs nas diferentes áreas analisadas; porém, tais resultados não foram aqui apresentados por não estarem relacionados à pergunta de pesquisa do presente estudo.

Assim como no artigo 3, as estimativas também foram realizadas em 3 níveis, denominados: (i) Potencial Bruto; (ii) Potencial Técnico; e (iii) Potencial Locacional. O Potencial Bruto realizou estimativas para a área total da ZEE brasileira, sem nenhuma restrição, exceto o limite de 200 km a partir da costa. Por outro lado, os níveis (ii) e (iii) aplicam restrições espaciais relacionadas a fatores restritivos (ii) técnicos; e (iii) ambientais e sociais, respectivamente. Foi utilizado o *software* GIS (*Geographic Information System*) para

aplicar tais restrições espaciais, e foi considerada uma densidade de capacidade de 3 MW/km² para todos os níveis.

As restrições espaciais do nível (ii) estão relacionadas às limitações tecnológicas para implementação de turbinas eólicas e consideram os seguintes fatores restritivos: (a) velocidade média anual dos ventos menor do que 7 m/s; e (b) profundidades maiores do que 1000m. O estudo concluiu que, com tais restrições aplicadas, o país possui uma área viável em termos técnicos de mais de 315.000 km², com um potencial tecnicamente viável de 947 GW, com 3 *hotspots* identificados: áreas do litoral do MA até o da PB, na região Nordeste; áreas entre o ES e SP, na região Sudeste; e entre SC e RS, na região Sul. A maior parte das áreas excluídas foi devido a baixos recursos eólicos, isto é, baixas velocidades médias dos ventos.

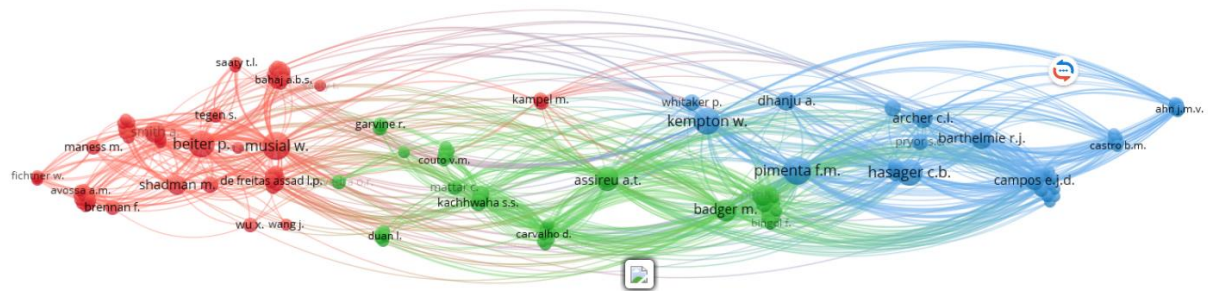
O nível (iii) buscou calcular as áreas efetivamente disponíveis para os PEOs, pois considera, além das restrições técnicas do nível (ii), fatores restritivos ambientais e sociais. Neste estudo, áreas de conservação ambiental foram as restrições ambientais consideradas, enquanto uma distância mínima de 8 km da costa foi o fator restritivo social. O estudo concluiu que estas restrições foram responsáveis por uma redução de 7,5% do potencial, com uma capacidade instalável resultante de aproximadamente 875 GW, e com uma produção anual média de cerca de 489,3 TWh.

O estudo finaliza mencionando que buscou mostrar que, mesmo considerando tais restrições técnicas, ambientais e sociais, o Brasil ainda assim possui um enorme potencial de energia eólica *offshore*, ainda inexplorado, e que tais restrições não impedem o desenvolvimento de PEOs no país.

As análises bibliométricas de citação, co-citação e co-palavras (também conhecida como co-ocorrência) foram realizadas utilizando o software VOSviewer.

O Gráfico 1 abaixo é uma análise de co-citação, com a unidade de medida sendo os autores citados, com um número mínimo de 2 citações, resultando em 132 autores.

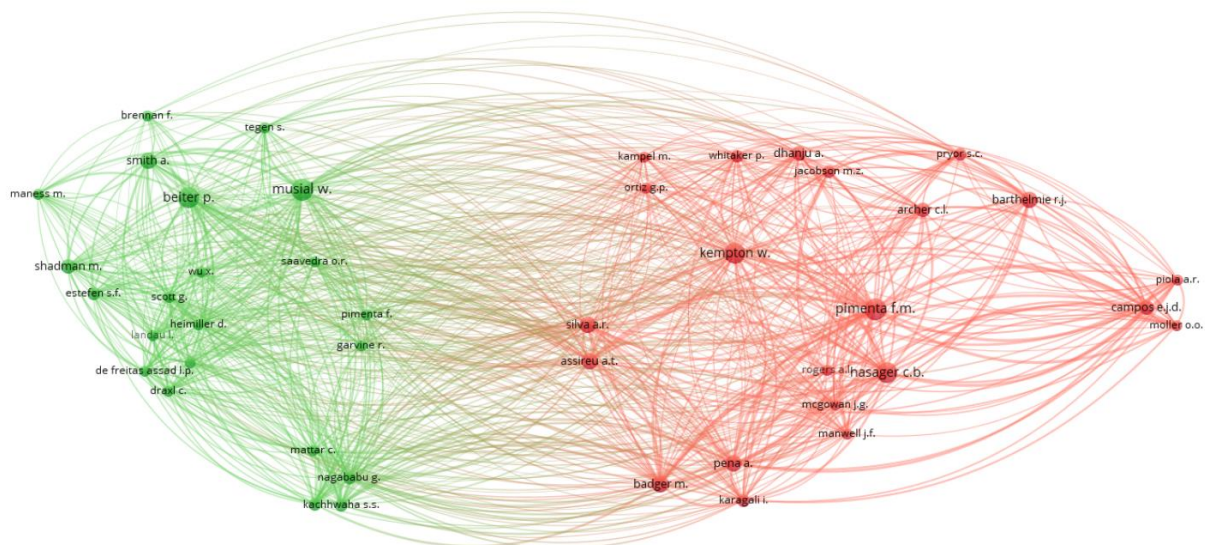
Gráfico 1 – Autores com no mínimo 2 citações (132 autores).



Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

O Gráfico 2 abaixo é uma análise de co-citação, com a unidade de medida sendo os autores citados, com um número mínimo de 3 citações, resultando em 44 autores.

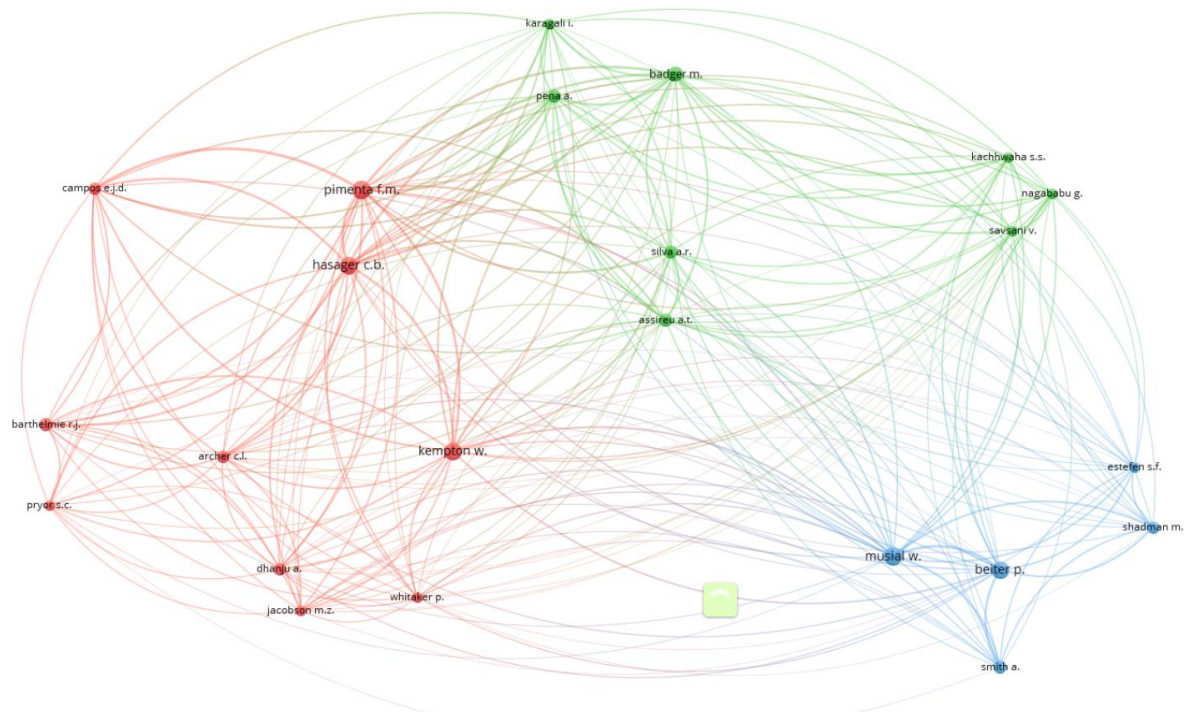
Gráfico 2 – Autores com no mínimo 3 citações (44 autores).



Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

O Gráfico 3 abaixo é uma análise de co-citação, com a unidade de medida sendo os autores citados, com um número mínimo de 4 citações, resultando em 23 autores.

Gráfico 3 – Autores com no mínimo 4 citações (23 autores).



Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

O Gráfico 4 abaixo é uma análise de citação, com a unidade de medida sendo o número de documentos citados, com um número mínimo de 1 citação, resultando em 7 documentos.

Gráfico 4 – Documentos com no mínimo 4 citações (7 documentos).



Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

O Gráfico 5 abaixo é uma análise de citação, com a unidade de medida sendo o número de autores citados, com um número mínimo de 1 citação por autor, resultando em 8 autores.

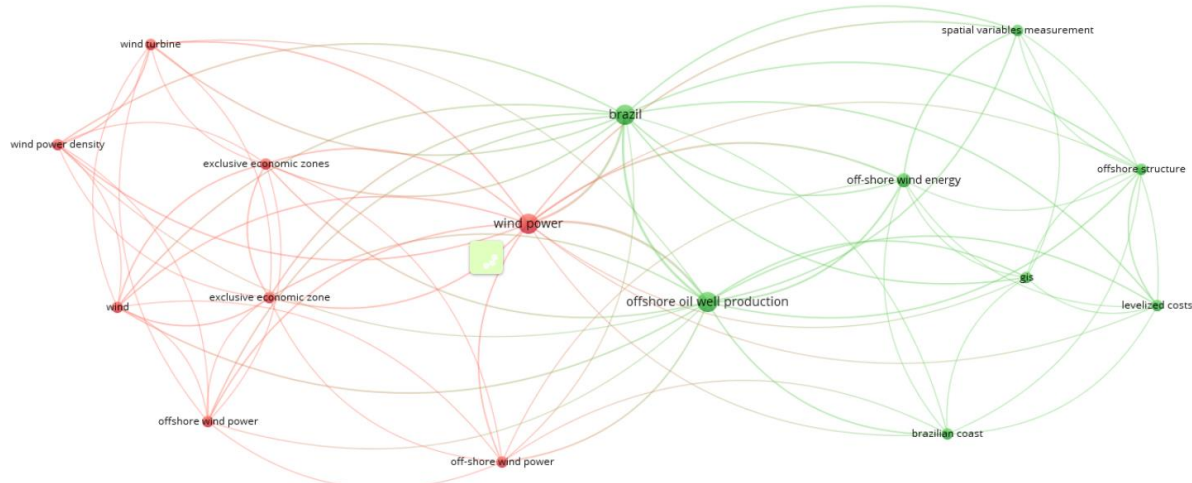
Gráfico 5 – Autores com no mínimo 1 citação (8 autores).



Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

O Gráfico 6 abaixo é uma análise de co-ocorrência (co-palavras), com a unidade de medida sendo todas as palavras-chave, com um número mínimo de 2 ocorrências de uma palavra-chave, resultando em 16 palavras-chave.

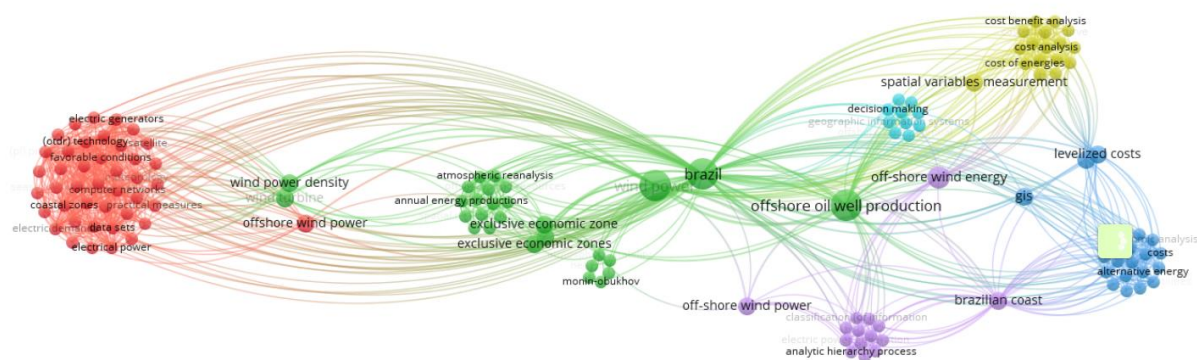
Gráfico 6 – Palavras-chave com no mínimo 2 ocorrências (16 palavras-chave).



Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

O Gráfico 7 abaixo é uma análise de co-ocorrência (co-palavras), com a unidade de medida sendo todas as palavras-chave, com um número mínimo de 1 ocorrência de uma palavra-chave, resultando em 133 palavras-chave.

Gráfico 7 – Palavras-chave com no mínimo 1 ocorrências (133 palavras-chave).



Fonte: Elaborado pelo autor (Stockler, 2023).

5. CONCLUSÃO

A necessidade para a diminuição dos gases de efeito estufa é amplamente conhecida e comprovada para conter o aquecimento global. Para isso, as fontes de energia renováveis são fundamentais para atingir este objetivo. A energia eólica é uma das mais importantes e proeminentes dentre as fontes renováveis, com a sua utilização cada vez maior ao redor do mundo. O Brasil é um dos países com a maior capacidade de energia eólica instalada no mundo. Porém, apesar de sua relevância no cenário mundial em relação a essa fonte de energia, a mesma ainda é explorada somente *onshore*, isto é, apenas em áreas terrestres do território brasileiro, apesar de seu enorme potencial para que a mesma seja explorada *offshore*, isto é, em áreas marítimas. O Brasil é considerado um dos países mais promissores para a exploração eólica *offshore* do mundo.

A energia eólica *offshore* apresenta vantagens em relação à *onshore*, como: maiores velocidades médias de ventos marítimos quando comparados aos terrestres; menores turbulências e flutuações devido à ausência de barreiras físicas como montanhas, vegetações e construções humanas; disponibilidade de vastas áreas para instalações, o que permite a implementação de parques eólicos maiores e/ou turbinas eólicas maiores, ou seja, possuem fatores de capacidade maiores do que seus equivalentes *onshore*, o que leva a gerações maiores de energia; e, no caso brasileiro, a grande extensão da costa brasileira e alta disponibilidade de recursos eólicos *offshore* de alto potencial no país.

Porém, apesar destas vantagens e do alto potencial brasileiro, ainda não há, até o presente momento deste estudo (Setembro de 2023), nenhum Parque Eólico Offshore em operação no país. Tendo isto em mente e considerando que estudos sobre o tema podem fomentar e acelerar a exploração deste potencial brasileiro, o presente estudo buscou responder à seguinte pergunta de pesquisa: “Qual o potencial de energia eólica *offshore* do ou no Brasil?”. Para isto foi realizada uma revisão sistemática da literatura para identificar o estado da arte da literatura sobre o tema e sintetizá-lo, assim como identificar os artigos e autores de maior relevância.

Ao realizar a revisão sistemática da literatura, evidenciou-se que há uma lacuna de conhecimento sobre este tópico, com uma pequena quantidade de estudos que realizam estimativas do potencial eólico *offshore* do ou no país, especialmente quando comparado aos outros grandes players dessa modalidade. Além disso, os poucos estudos que o fizeram

utilizaram diferentes metodologias, fontes de dados, fatores e parâmetros em seus cálculos, o que gerou resultados diferentes de potencial.

A base de dados científica escolhida para a revisão sistemática foi a base Scopus, por ser considerada uma das maiores e mais importantes, com um vasto número de artigos sobre diversos temas ou tópicos. Apesar da relevância dessa base, a utilização apenas dessa base e o fato de não terem sido considerados artigos pagos, apesar de serem poucos, podem ser considerados uma limitação do estudo. Uma sugestão para pesquisas futuras seria a utilização de mais bases e fontes de dados, além de, possivelmente, artigos pagos.

Após definidas as palavras-chave e a query, a busca na base Scopus resultou em 87 artigos, dos quais 51 foram aprovados para a leitura dos abstracts. Destes 51, apenas 7 foram aprovados na seleção para as análises, isto é, apenas estes estão relacionados à pergunta de pesquisa e efetivamente realizaram estimativas do potencial de energia eólica *offshore* do ou no país, evidenciando a lacuna na literatura sobre este tópico. Foi constatado que quase todos os artigos, 6 dos 7, foram publicados nos últimos 4 anos, mostrando como é recente e crescente a relevância do tema no país.

Finalmente, foi realizada a síntese dos artigos selecionados para a análise dos resultados. É importante mencionar que o foco do estudo não foi comparar as diferentes metodologias, fatores restritivos e parâmetros utilizados, mas sim os resultados calculados em cada cenário específico. Porém, como há uma grande amplitude dos resultados, foi explicitado também como cada cenário nos artigos avaliados chegou nos respectivos resultados. Caso contrário, o leitor poderia não compreender a grande diferença dos resultados.

Conforme mencionado, as diferenças de metodologia, áreas analisadas, fontes de dados, fatores restritivos e parâmetros utilizados nos cálculos dos artigos provocaram resultados diferentes, sendo esta diferença por vezes não muito significativa, mas por outras vezes consideravelmente significativa.

Porém, os estudos obtiveram resultados bem parecidos na identificação das áreas de maior potencial energético eólico *offshore*, áreas denominadas *hotspots*. Os *hotspots* identificados foram: áreas dos litorais norte do MA, PI, CE e RN, na região Nordeste, sendo este o de maior potencial; áreas dos litorais de SC e RS, especialmente entre Florianópolis e a fronteira sul do RS, na região Sul; dos litorais do AP e PA, na região Norte; e áreas menores do litoral do ES, RJ e SP, na região Sudeste.

Os estudos realizaram tanto estimativas do potencial bruto da costa brasileira ou de áreas da costa, isto é, sem considerar restrições técnicas, ambientais ou sociais, como estimativas com fatores restritivos técnicos e/ou fatores restritivos ambientais e sociais.

Os fatores restritivos técnicos são relacionados às limitações tecnológicas de turbinas eólicas, como velocidades mínima e máxima dos ventos e profundidade das águas (batimetria). Como fatores restritivos ambientais, podem ser consideradas áreas de proteção ambiental ou conservação marinha; habitats de espécies em extinção; e áreas importantes para recifes de corais, pássaros, morcegos, mamíferos marinhos e organismos bênticos (animais e vegetais que vivem no fundo do oceano). Fatores sociais que podem ser considerados são: distância mínima da costa, para diminuir o impacto visual; locais de pesca comercial; locais de exploração de petróleo ou gás; rotas marítimas; e locais com outras estruturas físicas ou atividades humanas como estruturas de patrimônio cultural, tubulações, cabos, áreas de atividades de dragagem ou outros obstáculos.

Como mencionado, devido a diferentes combinações de fatores restritivos, ou mesmo a ausência deles, os resultados possuem uma considerável diferença de magnitude do potencial calculado, além de diferenças entre as áreas delimitadas para estes potenciais calculados, que estão diretamente relacionadas aos fatores restritivos.

Para exemplificar esta diferença, o maior potencial bruto calculado, isto é, no qual não foi aplicada nenhuma restrição, foi de 10.800 GW (ou 10,8 TW) e considerou a Zona Exclusiva Econômica (ZEE) brasileira em sua totalidade. Por outro lado, considerando análises que tiveram como ponto de partida a costa brasileira inteira e com diferentes fatores restritivos aplicados, o menor potencial calculado foi de 330 GW, no qual foram considerados fatores restritivos tanto técnicos como ambientais e sociais, sendo considerado, portanto, um potencial mais realista e viável. Ainda assim, este potencial é considerado extremamente elevado pois, como forma de comparação, equivaleria a quase o dobro da capacidade total instalada no Brasil de todas as fontes de energia em 2020, que chegava a aproximadamente 174 GW.

Portanto, a resposta para a pergunta de pesquisa seria: depende. Como esperado, as estimativas de potencial calculadas são diretamente condicionadas a quais fatores e parâmetros foram considerados em cada cenário. Porém, a síntese dos artigos, considerando as informações relevantes que impactam os cálculos, permitiu uma melhor compreensão do potencial eólico *offshore* em cada cenário, assim como os *hotspots*. Dessa forma, fica mais fácil compreender os variados resultados e compará-los entre si, ajudando a ter uma noção

mais clara dos potenciais bruto, técnico, social e/ou ambiental assim como as áreas delimitadas em cada cenário.

Dito isso, o estudo também mostrou que, mesmo considerando as restrições técnicas, ambientais e sociais, o potencial brasileiro de energia eólica *offshore* é muito elevado, com potencial inclusive para abastecer a demanda energética do país inteiro. Por isto, nota-se a relevância da necessidade de mais estudos sobre o tema, com o objetivo de fomentar e acelerar este tipo de produção de energia no país.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. ABEEólica dialoga para avaliar impactos da Covid-19. Canal Energia, 24 abr. 2020. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53133107/abeeolica-dialoga-paraavaliar-impactos-da-covid-19>. Acesso em: 22 out. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. Boletim anual. Dados 2020. São Paulo: Agência 424, 2021a. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/04/PT_Boletim-Anual-de-Geracao_2020.pdf. Acesso em: 22 out. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. Dia Mundial do Vento: Brasil completa 19 GW de capacidade instalada de energia eólica. 15 jun. 2021b. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/dia-mundial-do-vento-brasil-completa-19-gw-de-capacidade-instalada-de-energia-eolica/>. Acesso em: 22 out. 2023.

AZEVEDO, Sylvester Stallone Pereira de et al. Assessment of Offshore Wind Power Potential along the Brazilian Coast. *Energies*, v. 13, n. 10, p. 2557, 2020. DOI: doi:10.3390/en13102557.

BARRA, Matheus Martins; TEIXEIRA, Wesley Carminati. Energia eólica: panorama atual e perspectivas futuras. *Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica*, v. 4, n. 1, p. 1-33, 2022. Disponível em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/view/3248/2236/>. Acesso em: 21 out. 2023.

BARRA, Matheus Martins; TEIXEIRA, Wesley Carminati. Energia eólica: panorama atual e perspectivas futuras. *Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica*, v. 4, n. 1, 2022. Disponível em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/view/3248/2236>. Acesso em: 22 out. 2023.

BP ENERGY OUTLOOK. The Energy Outlook explores the forces shaping the global energy transition out to 2040 and the key uncertainties surrounding that transition. London: United Kingdom, 2019. 73 p.

BRINK, Tove; MADSEN, Svend Ole. The triple helix frame for small-and medium-sized enterprises for innovation and development of offshore wind energy. *Triple Helix*, v. 3, n. 1, p. 1-23, 2016. DOI 10.1186/s40604-016-0035-8.

BURTON, Tony L. et al. Wind energy handbook. 2nd. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 617 p.

CAPELLÁN-PÉREZ, Iñigo; CASTRO, Carlos de; ARTO, Iñaki. Assessing vulnerabilities and limits in the transition to renewable energies: Land requirements under 100% solar energy scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 77, p. 760-782, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.137>.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DAS AVES SILVESTRES. Relatório de áreas de concentração de aves migratórias no Brasil. 4. ed. Cabedelo, PB: CEMAVE/ICMBio, 2022. 222 p.

COOPER, Harris M. Research synthesis and meta-analysis: a step-by-step approach. 5th. ed. Washington, DC: Sage publications, 2015, v. 2. 384 p.

CORREIA, Bruno César da Silva. Geração eólica offshore no Brasil: um panorama das principais experiências regulatórias nacionais e internacionais aplicáveis. 2021. Monografia (Graduação em Direito) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

DÍAZ, Hugo; SOARES, C. Guedes. Review of the current status, technology and future trends of offshore wind farms. *Ocean Engineering*, v. 209, p. 107381, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107381>.

DUTRA, Ricardo. Energia eólica: princípios e tecnologia. Rio de Janeiro: CRESESB, 2008. 51 p.

EPBR. Governo publica decreto que promete destravar as eólicas offshore. Agência EPBR, 6 jan. 2022. Disponível em: <https://epbr.com.br/governo-publica-decreto-que-pode-destravar-as-eolicas-offshore/>. Acesso em: 2 out. 2023.

EXENBERGER, Markus. Guia de referência para a cobertura jornalística de energias renováveis. Brasília: Giz no Brasil, 2016. Disponível em: <http://energif.mec.gov.br/images/materiais/materiais9.pdf>. Acesso em: 2 out. 2023.

FERREIRA, Thiago Vasconcellos Barral (coord.). Roadmap Eólica Offshore Brasil: perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima. Rio de Janeiro: EPE/MME, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roadmap-eolica-offshore-brasil>. Acesso em: 7 out. 2023.

GRANT, Maria J.; BOOTH, Andrew. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information & libraries journal*, v. 26, n. 2, p. 91-108, 2009. DOI: 10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy technology perspectives 2020. Paris: IEA, 2020. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf. Acesso em: 2 out. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Perspectives for the Energy Transition: investment needs for a low-carbon energy system. Paris: IEA, 2017. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Mar/Perspectives_for_the_Energy_Transition_2017.pdf?rev=46ff9f7aebec4cd7a983fd8b13697648. Acesso em: 2 out. 2023.

KITZING, Lena; GONZÁLEZ, Mario Garzón. Market arrangements for offshore wind energy networks. 2020. Disponível em: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/market-arrangements-for-offshore-wind-energy-networks>. Acesso em: 2 out. 2023.

LEE, Joyce; BATH, Alex. Global Wind Report 2022. Global Wind Energy Council, 2022. Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>. Acesso em: 2 out. 2023.

LEE, Joyce; ZHAO, Feng. Global Offshore Wind Report 2021. Brussels: GWEC, 2021. Disponível em: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/09/GWEC-Global-Offshore-Wind-Report-2021.pdf>. Acesso em: 2 out. 2023.

LISBOA, Luiz Sérgio Campos. Energias renováveis: considerações sobre energia eólica, vantagens e desvantagens, e participação na matriz energética brasileira até 2022. Artigo (Especialização em Engenharia Consultiva) – Faculdade Ari de Sá, Fortaleza, 2022.

LIVI, Bruna Castello Branco et al. Economic Analysis of Offshore Wind Farms: a Brazilian Case Study. IEEE Latin America Transactions, v. 20, n. 1, p. 32-40, 2021. DOI: 10.1109/TLA.2022.9662171.

MAÇAIRA, Paula Medina et al. Time series analysis with explanatory variables: A systematic literature review. Environmental Modelling & Software, v. 107, p. 199-209, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.06.004>.

MANFRIN, Jéssica; ESCHER, Mayara Andria da Silva; RAUBER, Jaime José. Fraternidade e aquecimento global: o cuidado com a Mãe Terra. Revista Relicário, v. 6, n. 11, p. 152-165, 2019. DOI: <https://doi.org/10.46731/RELICARIO-v6n11-2019-124>.

MILLER, Lee M.; KEITH, David W. Observation-based solar and wind power capacity factors and power densities. Environmental Research Letters, v. 13, n. 10, p. 104008, 2019. DOI: 10.1088/1748-9326/aae102.

MOREIRA, Aline et al. O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. Revista Educação em Foco, n. 14, p. 22-27, 2022. Disponível em: <https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2022/06/O-IMPACTO-DA-A%C3%87%C3%83O-ANTR%C3%93PICA-NO-MEIO-AMBIENTE-AQUECIMENTO-GLOBAL-p%C3%A1g-22-a-27.pdf>. Acesso em: 2 out. 2023.

MÜLLER, Matheus do Nascimento. Análise de tecnologias e custos para inserção da energia eólica offshore na costa brasileira. 2019. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

NEOENERGIA. A história da energia eólica. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/historia-daenergia-eolica.aspx>. Acesso em: 2 out. 2023.

NORONHA, Matheus et al. O papel do ecossistema de inovação e a estruturação de um arcabouço regulatório para o mercado de energia eólica offshore no Brasil. International

Journal of Business Marketing, v. 6, n. 2, p. 32-51, 2021. Disponível em: <https://ijbmkt.org/ijbmkt/article/view/219>. Acesso em: 1 out. 2023.

OLIVEIRA, Valéria Rezende de; SILVA, Enid Rocha Andrade da. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos: O que mostra o retrato do Brasil? Cadernos ODS 13. Brasília: IPEA, 2019. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9407/1/Cadernos_ODS_Objeto_13_Tomar%20medidas%20urgentes%20para%20combater%20a%20mudan%c3%a7a%20do%20clima%20e%20seus%20impactos.pdf. Acesso em: 2 out. 2023.

PACHECO, Fabiano. Energias Renováveis: breves conceitos. Conjuntura & Planejamento, Bahia, v. 1, n. 149, p. 4-11, out. 2006. Disponível em: https://sei.ba.gov.br/images/publicacoes/download/cep/cep_149.pdf. Acesso em: 1 nov. 2023.

PÉREZ-COLLAZO, Carlos; GREAVES, Deborah; IGLESIAS, Gregorio. A review of combined wave and offshore wind energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 42, p. 141-153, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.032>.

PETTICREW, Mark; ROBERTS, Helen. Systematic reviews in the social sciences: a practical guide. Nova Jersey: Blackwell, 2006. Disponível em: <https://fcsalud.ua.es/en/portal-de-investigacion/documentos/tools-for-the-bibliographic-research/guide-of-systematic-reviews-in-social-sciences.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.

PIMENTA, Felipe M. et al. Brazil offshore wind resources and atmospheric surface layer stability. Energies, v. 12, n. 21, p. 4195, 2019. Doi: 10.3390/en12214195.

PIMENTA, Felipe; KEMPTON, Willett; GARVINE, Richard. Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil. Renewable Energy, v. 33, n. 11, p. 2375-2387, 2008. doi:10.1016/j.renene.2008.01.012.

PINTO, Milton de Oliveira. Estudo estimativo básico para implantação de turbinas eólicas offshore no litoral do estado do Rio Grande do Norte. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

RASOOL, Ghulam; EHSAN, Farrukh; SHAHBAZ, Muhammad. A systematic literature review on electricity management systems. Renewable And Sustainable Energy Reviews, v. 49, p. 975-989, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.054>.

REGO, Erik Eduardo; RIBEIRO, Celma de Oliveira. Successful Brazilian experience for promoting wind energy generation. The Electricity Journal, v. 31, n. 2, p. 13-17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2018.02.003>.

REIM, Wiebke; PARIDA, Vinit; ORTQVIST, Daniel. Producte Service Systems (PSS) business models and tactics e a systematic literature review. Journal of Cleaner Production, v. 97, p. 61-75, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.003>.

REIS, Max Mauro Lozer dos; MAZETTO, Bruno Mitsuo; SILVA, Ezequiel Costa Malateaux da. Economic analysis for implantation of an offshore wind farm in the Brazilian coast. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 43, p. 100955, 2021. DOI: <https://10.1016/j.seta.2020.100955>.

REN21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables 2022 Global status report. Paris: REN21 Secretariat, 2022. Disponível em: https://digitallibrary.in.one.un.org/TempPdfFiles/7029_1.pdf. Acesso em: 2 out. 2023.

REZENDE, Bárbara Raquel Mendonça. Complementaridade entre fontes renováveis através da Análise de Componentes Principais. 2020. Dissertação (Mestrado em Mestre em Modelagem Computacional) – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2020.

ROY, Anindita; BANDYOPADHYAY, Santanu. Wind power based isolated energy systems. Mumbai: Springer, 2019. 221 p.

SAMPAIO, Keila Regina Alves; BATISTA, Valmir. O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 1, p. e57710112107, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i1.12107.

SANTOS, José Alexandre Ferraz de Andrade et al. Combining wind and solar energy sources: Potential for hybrid power generation in Brazil. *Utilities Policy*, v. 67, p. 101084, 2020. DOI: 10.1016/j.jup.2020.101084.

SILVA, Allan Rodrigues. Energia eólica em alto mar: distribuição dos recursos e complementaridade hídrica. 2015. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SILVA, Amanda Jorge Vinhoza de Carvalho. Potencial eólico offshore no Brasil: Localização de áreas nobres através de análise multicritério. 2019. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2019.

SOARES, Ítalo Nogueira; GAVA, Rodrigo; OLIVEIRA, José Antônio Puppim de. Political strategies in energy transitions: Exploring power dynamics, repertoires of interest groups and wind energy pathways in Brazil. *Energy Research & Social Science*, v. 76, n. 1, p. 102076, 2021. DOI: 10.1016/j.erss.2021.102076

SOVACOOOL, Benjamin K. et al. The whole systems energy injustice of four European low-carbon transitions. *Global Environmental Change*, v. 58, p. 101958, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101958>.

TAVARES, Luiz Filipe de Assis et al. Assessment of the offshore wind technical potential for the Brazilian Southeast and South regions. *Energy*, v. 196, p. 117097, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117097>.

TORRACO, Richard J. Writing integrative literature reviews: guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, v. 4, n. 3, p. 356-367, 2005. DOI: 10.1177/1534484305278283.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>.

USHER, Bruce. *Renewable energy: a primer for the Twenty-first century*. New York: Columbia University Press, 2019. 224 p.

VARGAS, Soraida Aguilar et al. Wind power generation: A review and a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, v. 218, p. 850-870, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.015>.

VINHOZA, Amanda et al. Brazil's offshore wind cost potential and supply curve. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 57, p. 103151, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103151>.

VINHOZA, Amanda; SCHAEFFER, Roberto. Brazil's offshore wind energy potential assessment based on a Spatial Multi-Criteria Decision Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 146, p. 111185, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111185>.