



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Dominique Beatryz dos Santos Nascimento

Impactos ambientais relacionados a energia eólica *offshore*: uma revisão sistemática

MOSSORÓ-RN

2024

Dominique Beatryz dos Santos Nascimento

Impactos ambientais relacionados a energia eólica *offshore*: uma revisão sistemática

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Solange Aparecida Goularte Dombroski, Profa. Dra.

Co-orientador: André Duarte Lucena, Prof. Dr.

MOSSORÓ-RN

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

NN244 Nascimento, Dominique Beatryz dos Santos.
i Impactos ambientais relacionados a energia
eólica offshore: uma revisão sistemática /
Dominique Beatryz dos Santos Nascimento. - 2024.
66 f. : il.

Orientadora: Solange Aparecida Goularte
Dombroski.
Coorientador: André Duarte Lucena.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2024.

1. transição energética. 2. energia renovável.
3. meio socioeconômico. 4. meio biótico. 5. meio
físico. I. Dombroski, Solange Aparecida Goularte ,
orient. II. Lucena, André Duarte, co-orient. III.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Dominique Beatryz dos Santos Nascimento

Impactos ambientais relacionados a energia eólica *offshore*: uma revisão sistemática

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 22 / 10 / 2024 .

BANCA EXAMINADORA

Solange Aparecida Goularte Dombroski, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

André Duarte Lucena, Prof. Dr. (UFERSA)
Co-orientador

Cristina Baldauf, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Alan Martins de Oliveira, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, pelo amor incondicional, apoio constante e por ser meu porto seguro em todos os momentos.

Agradeço à minha família, que sempre acreditou no meu potencial.

Agradeço à minha orientadora, Solange Aparecida Goularte Dombroski, e ao meu co-orientador, André Duarte Lucena, por me guiarem com paciência e dedicação ao longo deste árduo caminho. O apoio e as orientações precisas de vocês foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Obrigada por acreditarem no meu potencial e por fazerem parte dessa jornada desafiadora.

Agradeço a Banca Examinadora por dedicarem tempo e atenção para avaliar meu trabalho, e por compartilharem seu conhecimento e experiência, tornando essa etapa final ainda mais significativa. Suas sugestões serão fundamentais para futuras reflexões e trabalhos nesta área.

Agradeço as minhas amigas, que estiveram presentes nos momentos difíceis e compartilharam comigo os bons momentos, meu sincero agradecimento por todo o companheirismo e suporte. Vocês tornaram essa jornada muito mais leve e significativa.

Por fim, sou grata a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para que eu chegasse até aqui. Este sucesso é fruto de um esforço em equipe, e a vocês dedico o meu mais profundo agradecimento.

ÉPIGRAFE

Para a ganância, toda a natureza é insuficiente.
Sêneca

RESUMO

Nas últimas décadas, a crescente preocupação com o meio ambiente e mudanças climáticas tem intensificado o debate e ações em torno da transição energética para fontes de energia mais limpas. Apesar da maior parte da produção de energia mundial ser advinda de combustíveis fósseis — como petróleo, carvão e gás natural—, o desenvolvimento de alternativas renováveis tem crescido rapidamente. Dentre as alternativas, a energia eólica se destaca por apresentar-se como fonte renovável e não emitir gases de efeito estufa durante a operação dos aerogeradores. A energia eólica é subdividida em duas formas de captação: em terra (*onshore*) e no mar (*offshore*). Este estudo teve por objetivo realizar uma revisão sistemática para identificar impactos ambientais (no meio físico, biótico e socioeconômico) relacionados à energia eólica *offshore*, coletando e analisando informações abordadas em publicações científicas. A revisão sistemática foi realizada a partir de adaptação da declaração “*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*” (PRISMA) atualizada para PRISMA 2020. A partir da aplicação de critérios de seleção previamente definidos, foram selecionados 24 artigos relevantes para a questão proposta. As referências analisadas, publicadas entre 2014 e 2024, indicaram uma crescente tendência de pesquisas sobre o tema nos últimos anos, com destaque para o período entre 2022 e 2024. Considerando as 24 referências selecionadas, foram observadas indicações de possíveis impactos ambientais relacionados ao meio físico, biótico e socioeconômico, em 19, 15 e 14 referências, respectivamente. Entende-se que os parques eólicos *offshore* possuem potencial para contribuir na transição energética, mas os impactos ambientais, especialmente os relacionados à biodiversidade marinha e aos ecossistemas, demandam um planejamento e monitoramento cuidadosos.

Palavras-chave: transição energética; energia renovável; alteração ambiental; meio biótico; meio físico; meio socioeconômico.

ABSTRACT

In recent decades, growing concerns about the environment and climate change have intensified debate and actions around the energy transition to cleaner energy sources. Although most of the world's energy production comes from fossil fuels — such as oil, coal, and natural gas — the development of renewable alternatives has grown rapidly. Among the alternatives, wind energy stands out because it is a renewable source and does not emit greenhouse gases during the operation of wind turbines. Wind energy is subdivided into two forms of capture: onshore and offshore. This study aimed to conduct a systematic review to identify environmental impacts (in the physical, biotic, and socioeconomic environment) related to offshore wind energy, collecting and analyzing information covered in scientific publications. The systematic review was carried out by adapting the “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses” (PRISMA) statement updated for PRISMA 2020. Based on the application of previously defined selection criteria, 24 articles relevant to the proposed question were selected. The references analyzed, published between 2014 and 2024, indicated a growing trend of research on the topic in recent years, with emphasis on the period between 2022 and 2024. Considering the 24 references selected, indications of possible environmental impacts related to the physical, biotic and socioeconomic environment were observed in 19, 15 and 14 references, respectively. It is understood that offshore wind farms have the potential to contribute to the energy transition, but environmental impacts, especially those related to marine biodiversity and ecosystems, require careful planning and monitoring.

Keywords: energy transition; renewable energy; environmental change; biotic environment; physical environment; socioeconomic environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Fluxograma com resultados do processo de busca e seleção com identificação de registros recuperados até a inclusão das referências na revisão sistemática	30
----------	---	---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Distribuição de países de origem dos autores das referências selecionadas.....	31
Gráfico 2	Distribuição por ano de publicação das referências selecionadas.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Combinação da terminologia utilizando operadores booleanos e bases de dados selecionadas para a revisão sistemática, após a aplicação de distintas estratégias	27
Quadro 2	–	Visão geral da identificação de impactos ambientais por componente do meio ambiente, por referência incluída na revisão sistemática.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Capacidade instalada de energia eólica <i>onshore</i> e <i>offshore</i> em 2023 (MW).....	18
Tabela 2	– Projetos com licenciamento abertos no IBAMA de energia eólica <i>offshore</i>	19

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1	Noções sobre energia eólica	17
3.1.1	Capacidade instalada de energia eólica.....	17
3.1.2	Projetos com processos de licenciamento ambiental de complexos eólicos offshore no Brasil	19
3.2	Impactos ambientais: conceito, classificação e breve abordagem para complexo eólico <i>offshore</i>	21
3.3	Energia eólica e transição energética	23
4	METODOLOGIA.....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	Resumo dos resultados do processo de busca e processo de seleção	30
5.2	Resultados da análise das referências incluídas	33
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS	50
	APÊNDICE A – INFORMAÇÕES GERAIS DAS REFERÊNCIAS INCLUÍDAS NA REVISÃO SISTEMÁTICA E IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS POR REFERÊNCIA PARA DIFERENTES FASES DO PROJETO.....	55

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a importância de autonomia energética e a preocupação com o meio ambiente está em crescente urgência, em especial devido as mudanças climáticas e a necessidade de transição para fontes de geração de energia elétrica mais sustentáveis, e isso está cada vez mais impulsionando estudos e desenvolvimento de alternativas renováveis em escala global (Hattam; Hooper; Papathanasopoulou, 2017, p. 122). Atualmente, a maior parte da energia utilizada no mundo vem de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão mineral e gás natural. Dentre as opções que menos agredem o planeta, destacam-se as fontes primárias advindas da exploração dos raios solares e dos ventos.

A energia eólica é a energia, independentemente da sua aplicação, contida nos ventos. Sua utilização não é recente, sendo uma fonte de energia usada há séculos, especialmente em atividades do campo para moer grãos e bombear água do subsolo para superfície. De acordo com Pipe (2016, p. 6-7), a origem dos moinhos remonta ao século VII na Pérsia (hoje Irã), sendo composto por velas em posição horizontal. Somente pouco depois do primeiro milênio, ao chegar à Europa, que a estrutura que ainda podem ser encontradas em alguns lugares da Holanda e Reino Unido assumiu a configuração de velas na posição ereta. O engenheiro Edmund Lee, em 1745, inventou o sistema com cauda em leque, que permitia que o moinho girasse de modo a ficar de frente para o vento. Tal tecnologia, ao chegar à América do Norte foi aperfeiçoada para ser utilizada em sistemas de bombeamento de água (sendo até os dias atuais utilizada em fazendas estadunidenses para obter água de poços profundos), pois observou-se que pás pequenas captavam o vento melhor do que as velas dos moinhos holandeses.

Ainda segundo Pipe (2016), a turbina eólica com o intuito de gerar eletricidade foi construída e testada pela primeira vez pelo estadunidense Charles F. Brush em 1887, a qual possuía uma torre de ferro e uma roda de 17 metros de largura e alimentava as luzes da sua mansão e várias outras. Em 1899, o dinamarquês Poul la Cour aperfeiçoou o projeto ao curvar as pás. Em menos de 20 anos, a energia eólica já representava 3% da eletricidade gerada na Dinamarca e a industrialização moderna da energia eólica também se deu início no país no final do século XX.

Em 1981, através de uma parceria entre a NASA e o Departamento de Energia dos EUA, foi inaugurado em Vermont, EUA, o primeiro parque eólico *onshore* (em terra) do mundo:

Towards 2000 (Iberdrola, 2024). Apesar de ser de tamanho modesto, sendo composto por 4 turbinas eólicas de 15 quilowatts (KW) cada e capacidade total de 60 KW, o *Towards 2000* foi de grande importância histórica (*Ibid.*). Vian *et al.* (2021, p. 12) mencionaram que, em termos globais, a capacidade instalada nas duas primeiras décadas do segundo milênio apresentou um crescimento significativo partindo de 24 GW em 2001 para 539 GW em 2017. Dados do *Global Wind Energy Council* (GWEC, 2024, p. 138-139) indicaram que em 2023 a capacidade eólica total instalada superou 1 TW, sendo 945 GW de capacidade *onshore*, e a expectativa é que até 2030 superará 2 TW.

A energia eólica se destaca por ser uma fonte de energia elétrica com poucas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), apenas no processo de fabricação. A energia também é advinda de um recurso natural renovável e após a construção do parque eólico não necessita de combustível externo para seu pleno funcionamento. No entanto, as turbinas podem gerar danos ambientais irreversíveis ao meio biótico, além de gerar ruído constante e alterar a paisagem natural. Ademais, o vento é uma força natural imprevisível e, portanto, os parques eólicos precisam ficar em áreas estratégicas para o melhor aproveitamento. Dado isso, os parques eólicos geralmente encontram-se próximos à costa ou em alto mar, caso dos parques eólicos *offshore* (Pipe, 2016).

A energia eólica *offshore* é caracterizada pela instalação de aerogeradores em áreas marítimas, sendo uma alternativa para captação de ventos mais constantes e fortes e menos obstáculos no ambiente, assim como afetam de forma reduzida a população devido à distância. No entanto, o sistema pode exercer impactos profundos sobre as comunidades de pescadores tradicionais, devido aos efeitos significativos sobre a ictiofauna e demais formas de vida marinha.

Piasecka *et al.* (2019) comentaram que a energia eólica *offshore* tem se desenvolvido de forma mais rápida do que outras fontes de energia renovável. De acordo com GWEC (2024, p.141, 146 e 152), a energia eólica *offshore* foi responsável por 75,2 GW de capacidade energética em 2023, sendo 10,8 GW de novas instalações. Entre as lideranças nesse setor, destaca-se a China por ser detentora de 50% da produção mundial de energia eólica *offshore*, seguida do Reino Unido detendo 20%. É esperado que até 2028 a capacidade energética da eólica *offshore* atinja 138 GW, com média anual de novas instalações de 27,6 GW.

Devido a esse crescimento exponencial, é de extrema importância a realização de estudos sobre implicações ambientais da energia eólica *offshore*. Apesar de ser uma energia

limpa, há questões a serem averiguadas com maior cautela, visando que a implementação de sistemas eólicos *offshore* seja mais benéfico do que maléfico a longo prazo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar possíveis impactos ambientais relacionados ao aproveitamento de energia eólica *offshore* em escala global.

2.2 Objetivos específicos

- Coletar e organizar dados sobre os impactos ambientais no meio físico, biótico e socioeconômico a partir de estudos publicados;
- Analisar a distribuição geográfica das publicações, identificando quais países têm se destacado na produção científica sobre os impactos ambientais abordados;
- Avaliar a evolução temporal das publicações, observando os períodos de maior produção e possíveis tendências.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Noções sobre energia eólica

Também chamada de energia dos ventos, a energia eólica é o termo dado à energia elétrica advinda da energia cinética das massas de ar - vento - (IEA, 2024, p. 31).

De acordo com o Grupo de Trabalho de Energias Renováveis da Agência Internacional de Energia (*Renewable Energy Working Party of the International Energy Agency*), a energia eólica é um tipo de energia renovável, sendo esta definida como energia derivada de processos naturais e com sistema de autoabastecimento (IEA, 2024, p. 48).

O processo de aproveitamento da energia consiste na captação de energia cinética dos ventos, através da turbina eólica, onde os ventos giram as pás do rotor havendo transformação de parte da energia cinética em energia mecânica de rotação. Na turbina eólica há um gerador elétrico acoplado ao eixo do rotor eólico que transforma a energia mecânica em energia elétrica (Reis; Fadigas; Carvalho, 2019, p. 259).

A energia eólica é classificada de acordo com a localização, sendo *onshore* para se referir à produção de energia elétrica pelo vento a partir de instalações em terra e *offshore* para produção de eletricidade pelo vento a partir de instalações em locais fora da terra como, por exemplo, mar, oceano e ilhas artificiais (IEA, 2024, p. 31). Para Pinto (2013, p. 317), o “termo eólico offshore se refere à produção de energia elétrica a partir de turbinas instaladas sob uma superfície aquática (mar, oceano ou lagos)”. Mencione-se ainda que, nos termos do Decreto nº 10.946/2022, considera-se *offshore* como “o ambiente marinho localizado em águas interiores de domínio da União, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e na plataforma continental” (Brasil, 2022, Art. 2º, inciso I).

3.1.1 Capacidade instalada de energia eólica

A diversificação da matriz energética mundial tem sido substancial para o avanço tecnológico e social, começando pela força muscular humana e passando posteriormente para o uso de recursos naturais, tais como a lenha e carvão mineral e chegando a Era do Petróleo, em meados do século XIX (EPE, 2024). Com a invenção dos motores de combustão interna, o petróleo e seus derivados passaram a ter um consumo crescente. As crises do petróleo nos anos de 1970 favoreceram a busca por outras fontes de energia (ANEEL, 2008).

Na Conferência de Estocolmo (*United Nations Conference on the Human Environment*), realizada em 1972 na capital da Suécia, foram iniciadas discussões sobre a necessidade de um modelo de desenvolvimento sustentável, ficando claro naquela época, a discrepância entre as preocupações dos países do Norte e os do Sul (Reis; Fadigas; Carvalho, 2019, p. 1). No passado recente, a alta demanda por energia fomentou a pesquisa e desenvolvimento de fontes de energia renováveis (Vaicberg; Valiatt; Queiroz, 2021, p. 117), entre elas a eólica. No final do ano de 2023, durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2023 (COP28) em Dubai, um acordo internacional histórico foi alcançado, sendo que quase 200 governos entraram em um consenso e concordaram em aumentar a capacidade global de energia renovável em três vezes e, até 2030, duplicar a eficiência energética visando limitar o aquecimento global a 1,5°C. Entre as fontes de energia renováveis em debate, a energia proveniente dos ventos foi reconhecida como uma tecnologia chave de mitigação da mudança climática, devido a sua disponibilidade e rentabilidade (Lee, 2024, p. 10).

Em 2023, a capacidade eólica total instalada mundialmente, era de 1.021 GW de capacidade cerca de 945,5 GW de instalações *onshore* e 75,2 GW de instalações *offshore*, crescimento de 13% em relação ao ano anterior (GWEC, 2024, p. 138, 139 e 146).

Em termos de nova capacidade, segundo GWEC (2024, p. 138), em 2023 foram adicionados 116,6 GW à capacidade mundial de geração de energia proveniente dos ventos, cerca de 50% a mais do que em 2022, destacando-se o marco de 11 GW em novas instalações *offshore*. Ainda de acordo com este autor, os cinco principais mercados de novas instalações em 2023 foram China, Estados Unidos da América, Brasil, Alemanha e Índia. Juntos, são responsáveis por cerca de 80% das novas instalações globais, coletivamente 9% a mais do que o ano anterior, com ênfase na China, que cresceu em torno de 16% comparada a 2022.

No âmbito de energia eólica *onshore* no Brasil, em 2023 o país alcançou 4,8 GW de nova capacidade instalada, mais de 1.000 parques eólicos em operação e mais do que 30 GW de capacidade total instalada (GWEC, 2024, p. 109). No referido ano, o Brasil se posicionou mundialmente em terceiro lugar quanto à nova capacidade instalada (total mundial de 105,8 GW) e, em sexto lugar quanto à capacidade total instalada (total mundial de 945,5 GW) (*Ibid.*, p. 146). Logo, fica simples a compreensão do porquê o Brasil está inserido no grupo seleto de principais mercados para energia eólica e é referência quando se trata de transição energética.

Em termos da matriz elétrica, em março do presente ano, o Brasil atingiu a marca de 200 GW de potência centralizada, sendo 84,25% proveniente de fontes renováveis (ANEEL,

2024). A matriz de energia elétrica brasileira é composta por três principais fontes renováveis □ hídrica (55%), eólica (14,8%) e biomassa (8,4%) e três principais fontes não renováveis □ gás natural (9%), petróleo (4%) e carvão mineral (1,75%) (ANEEL, 2024).

No âmbito do Rio Grande do Norte, o estado se apresenta como o maior produtor de energia eólica *onshore* no Brasil e, conta com projetos de energia eólica offshore. De acordo com ISI-ER e RN (2023, p. 12), em 2023 o Rio Grande do Norte foi responsável por gerar cerca de 9,5 GW em instalações *onshore* em 262 parques eólicos em atividade. Quanto à energia eólica offshore, o estado possui 14 projetos com processos de licenciamento ambiental abertos no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (Brasil, 2024, p. 3).

A Tabela 1 apresenta um resumo da capacidade instalada de energia eólica em 2023 no mundo, Brasil e Rio Grande do Norte.

Tabela 1 - Capacidade instalada de energia eólica *onshore* e *offshore* em 2023 (MW)

Local	Energia eólica <i>onshore</i>	Energia eólica <i>offshore</i>	Fonte
Mundo	945.477	75.162	Adaptado de GWEC (2024, p. 149)
Brasil	30.449	—	Adaptado de GWEC (2024, p. 149)
Rio Grande do Norte	9.500	—	Adaptado de ISI-ER e RN (2023, p. 12)

Fonte: Autoria própria (2024).

Ainda, no contexto do Rio Grande do Norte, 45 usinas (1.597,6 MW) estão em construção e 83 usinas (3.584,6 MW) com construção não iniciada (ISI-ER; RN, 2023, p. 12).

3.1.2 Projetos com processos de licenciamento ambiental de complexos eólicos offshore no Brasil

Atualmente no Brasil, a geração de energia eólica caminha para produção em instalações no mar, *offshore*. Em uma atualização de abril do corrente ano, Brasil (2024, p. 2) listou 97 projetos com processos de licenciamento ambiental abertos no IBAMA de energia eólica *offshore*.

A extensão do litoral do Brasil com cerca de 8.500 km e combinado à Zona Econômica Exclusiva Brasileira (ZEE), resulta em aproximadamente 3,6 milhões de km² de área oceânica,

com projeção para gerar um potencial técnico de aproximadamente 700 GW de energia eólica offshore, em profundidades inferiores à 50 m (ISI-ER; RN, 2023, p. 8).

De acordo com o Brasil (2024, p. 2-3), a região líder em projetos com processo de licenciamento abertos no IBAMA é a Nordeste, com 48 projetos ao total e, potência projetada de cerca de 109 GW de energia eólica *offshore*, nos estados do Ceará, Maranhão, Piauí e Rio Grande do Norte.

A Tabela 2 apresenta um resumo, por estado, quantidade de projetos com licenciamento aberto no IBAMA e a geração de potência projetada, de energia eólica *offshore*.

Tabela 2 - Projetos com licenciamento abertos no IBAMA de energia eólica *offshore*

Estado	Quantidade de projeto com licenciamento aberto	Potência projetada (MW)
Rio Grande do Sul	27	69.629
Ceará	25	64.351
Rio de Janeiro	15	38.676
Rio Grande do Norte	14	25.468
Piauí	6	13.014
Espírito Santo	6	11.230
Maranhão	3	6.168
Santa Catarina	1	5.700
Total	97	234.235

Fonte: Autoria própria (2024), adaptado Brasil (2024, p. 3).

Quanto ao Rio Grande do Norte, aponta-se uma perspectiva de mais de 54 GW de capacidade instalável em áreas consideradas aptas, sendo mais de 32 GW concentrado apenas no litoral setentrional (ISI-ER; RN, 2023, p. 8).

Vale mencionar que os resultados do estudo realizado por ISI-ER e RN (2023) foram relativos a um mapa de adequabilidade em ambiente *offshore* e *onshore* e são uma sugestão de zonas de conexão *offshore/onshore* para a entrada da infraestrutura de transmissão elétrica. Quanto ao mapa de adequabilidade em ambiente *offshore*, foram indicados locais mais propícios para as passagens das infraestruturas de transmissão (cabeamento) em mar (ISI-ER e RN, 2023, p. 24). Com relação à sugestão de zonas de conexão *offshore/onshore*, a partir de mapas, o estudo identificou as denominadas “Zonas de Conexão *Offshore/Onshore* (Landfall)” para a entrada da infraestrutura de transmissão elétrica (ISI-ER e RN, 2023, p. 29).

3.2 Impactos ambientais: conceito, classificação e breve abordagem para complexo eólico offshore

Para Sánchez (2020, cap. 1), o conceito de **ambiente** é amplo, multifacetado e maleável, sendo um conceito chave na área de planejamento e gestão ambiental. “Amplo porque pode incluir tanto a natureza como a sociedade. Multifacetado porque pode ser apreendido sob diferentes perspectivas. Maleável porque pode ser reduzido ou ampliado de acordo com as necessidades do analista ou dos interesses dos envolvidos”. Para este autor, conceituar “ambiente” vai além da relevância acadêmica ou teórica, sendo que tal entendimento influencia no alcance de políticas públicas, ações empresariais e iniciativas da sociedade civil. “No campo da avaliação de impacto ambiental (AIA), define a abrangência dos estudos ambientais, das medidas mitigadoras, dos planos de gestão ambiental.”

Em uma figura esquemática, Sánchez (2020, cap. 1) apresenta a abrangência do conceito de ambiente, indicando termos correlatos usados em distintas disciplinas. Em tal figura, o autor indica “ambiente” abrangendo o meio físico, meio biótico e meio antrópico, assim como, componentes ou elementos relacionados ao meio físico (litologia, solo, relevo, ar, água), meio biótico (fauna, flora, ecossistemas) e meio antrópico (economia, sociedade, cultura e saúde). Ainda, de acordo com este autor, o estudo do impacto ambiental (EIA), em muitas jurisdições, não se restringe apenas às consequências físicas e ecológicas de projetos de desenvolvimento, mas abarcando também seus efeitos econômicos, sociais e culturais. Essa compreensão é pertinente ao considerarmos que os efeitos de um projeto podem ir além de suas consequências ecológicas.

Considerando distintos termos utilizados na área de gestão ambiental, dentre estes, “ambiente” e “impacto ambiental”, Sánchez (2020, cap. 1), após apresentar uma revisão conceitual, mostrando a diversidade de acepções, o autor estabelece a base terminológica empregada em sua obra. Quanto a **impacto ambiental**, o autor destacou o conceito adotado sendo, “alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana”. Para Sánchez (2020, cap. 1), “os impactos ambientais de um projeto podem ir além de suas consequências ecológicas.”.

Em aspecto legal, a Resolução CONAMA nº 1, de 1986 (Brasil, 1986), estabelece impacto ambiental:

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a

segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.

Cabe mencionar ainda que, ao explicar sobre a identificação de impactos ambientais, Sánchez (2020, Glossário) especificou diferentes **tipos de impactos ambientais**, tais como, cumulativo, de médio (ou de longo) prazo, direto, imediato, indireto, irreversível, permanente, residual, reversível, sinérgico, temporário. Além disso, destacou que os impactos ambientais podem ser positivos, tanto para componentes socioeconômicos, quanto para físicos e bióticos (*Ibid.*, cap. 1).

No contexto de energia eólica *offshore*, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, apresentou um estudo cujo objetivo principal foi “identificar possíveis barreiras e desafios a serem enfrentados para o desenvolvimento da fonte eólica *offshore* no Brasil e apontar algumas recomendações, do ponto de vista do planejador, além de compreender melhor os aspectos relativos a essa fonte” (EPE, 2020, p. 5). O referido estudo foi motivado pelo crescimento dessa fonte no cenário internacional, assim como, pela existência de empreendimentos eólicos *offshore* com processo de licenciamento ambiental aberto no Brasil (EPE, 2020, p. 5).

Com relação às questões ambientais associadas a parques eólicos *offshore*, EPE (2020, p. 112-116) abordou: questões associadas aos aerogeradores (presença física dos aerogeradores no ambiente marinho), questões associadas aos cabos submarinos (efeitos causados pela instalação e operação de cabos submarinos) e principais estratégias de mitigação adotadas. Diversas questões ambientais associadas a parques eólicos *offshore* foram resumidas em uma tabela, sendo separadas para o meio físico, meio biótico e meio socioeconômico (EPE, 2020, p. 111-112).

Cox e Nogueira (2023, 319) realizaram uma avaliação de impactos ambientais (AIA) para energia eólica *offshore* na costa brasileira, a partir da listagem das atividades de um complexo eólico *offshore* para as fases de planejamento, instalação e operação do empreendimento. Com tal levantamento, os autores correlacionaram com impactos ambientais identificados na realização de atividades semelhantes já promovidas pela indústria *offshore* do Brasil (portos, exploração e produção de petróleo e gás). Na sequência, os referidos autores, compararam os resultados encontrados com impactos ambientais já relatados em empreendimentos dessa natureza existentes no mar do Norte, no Reino Unido.

Nos mais de 50 impactos ambientais especificados por Cox e Nogueira (2023, p. 330-333) considerando as fases de eólicas *offshore* no Brasil definidas no estudo (planejamento,

instalação e operação), fica evidente a relação destes com o conceito abrangente de ambiente (meio físico, biótico e antrópico e seus diferentes componentes) conforme abordado por Sánchez (2020). Abordagem similar foi observada em EPE (2020, p. 111-112) ao mencionar questões ambientais associadas a parques eólicos *offshore* para o meio físico, meio biótico e meio socioeconômico.

3.3 Energia eólica e transição energética

Para Pinto (2013, p. 336), o uso da energia por parte do homem pode ser vista em três eras, era pré-fóssil, era fóssil e era de transição. Para este autor, a era pré-fóssil estendeu-se desde o início do desenvolvimento humano, passando pela Revolução Industrial e chegando ao século XX. A era fóssil iniciou a partir da segunda metade do século XX, com uma crise do petróleo em 1973, mas ainda bem presente até o início do século XXI. A tendência global parece ser de uma transição energética da era fóssil para a era dos combustíveis alternativos, visando uma transformação na matriz energética.

A questão energética tem adquirido uma relevante posição na agenda ambiental global, com destaque das negociações da Convenção do Clima (Reis; Fadigas; Carvalho, 2019, p. 170). Isso porque a atual matriz energética mundial depende ainda em mais de 80% de combustíveis fósseis, cuja queima contribui para aumentar a concentração de gases estufa na atmosfera. A busca por maior eficiência energética e pela **transição para o uso de recursos primários renováveis** tem sido consideradas no debate para o desenvolvimento sustentável (*Ibid.*).

Impulsionadas por crescentes preocupações com o aquecimento global e com o desenvolvimento de medidas em busca do uso mais eficiente dos recursos naturais, as energias renováveis vêm formando um mercado crescente no âmbito mundial (EPE, 2020, p. 78). Globalmente, a transição energética representa um desafio no sentido de proporcionar desenvolvimento econômico e social, com menores emissões de carbono e com maior participação das fontes limpas e renováveis (ANEEL, 2024).

Entre as alternativas, a energia eólica é uma das fontes renováveis que vem crescendo rapidamente no mundo. A utilização desta fonte de energia pode contribuir para diminuir emissões de gases de efeito estufa associadas aos combustíveis fósseis (Barbosa, 2019, p. 7).

Nesse contexto de energia eólica e objetivo global de triplicar as energias renováveis até 2030, Lee (2024, p. 10), mencionou que existe uma ambição política crescente na transição energética global, bem como o reconhecimento por instituições e os mais altos níveis

diplomáticos da urgência de fechar a lacuna "dizer/fazer" quando se trata de implementação de metas de energia renovável. De acordo com esta autora, o ano de 2023 indicou que a energia eólica possa contribuir significativamente para esse objetivo histórico.

4 METODOLOGIA

Revisão sistemática se refere a “um método de síntese de evidências que avalia criticamente e interpreta todas as pesquisas relevantes disponíveis para uma questão particular, área do conhecimento ou fenômeno de interesse” (Brasil, 2012, p. 11). As revisões sistemáticas procuram reunir todas as evidências que se encaixam em critérios de elegibilidade previamente especificados para abordar uma questão de pesquisa específica (Green *et al.*, 2008, p. 3).

O presente trabalho se refere a uma revisão sistemática realizada a partir de adaptação da declaração “*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*” (PRISMA) atualizada para PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021a), assim como, sua tradução para o português de acordo com Page *et al.* (2022), “declaração dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA)”, e as explicações quanto à recomendação de relatar cada item no contexto da declaração PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021b). Este trabalho foi constituído de cinco etapas gerais: declaração da questão; estratégia de busca para seleção das bases de dados; estratégia de busca nas bases de dados selecionadas; método usado para decidir se uma referência atendeu aos critérios de inclusão da revisão sistemática, considerando a conexão dos títulos e resumos com a questão formulada e; método usado para decidir se uma referência atendeu ao critério de inclusão na revisão sistemática após a leitura completa.

a) Declaração da questão:

Mencione-se que, dentre os itens da declaração PRISMA 2020, consta o Item 4 que consiste em “fornecer uma declaração explícita do(s) objetivo(s) ou questão(ões) que a revisão aborda”.

Em geral, de acordo com Galvão e Ricarte (2019, p. 63),

[...] a questão de uma revisão sistemática deve contemplar a especificação da população, ou do problema ou da condição que será estudada, o tipo de intervenção que será analisado, se haverá comparação entre intervenções e o desfecho que se pretende estudar. Esta abordagem para a elaboração da questão é conhecida pela sigla PICO, onde p é população ou problema, i é intervenção, c é comparação e o é outcome/resultado.

Neste trabalho, a questão definida foi “**Quais impactos ambientais podem ser causados por energia eólica offshore?**”. Neste caso, energia eólica *offshore* se refere à população, impactos ambientais à intervenção e o desfecho se refere à especificação de impactos.

b) Estratégia de busca para seleção das bases de dados:

Inicialmente, fez-se consulta da terminologia para identificar sinônimos visando traduzir conceitos que integrassem a questão de revisão previamente definida, para a língua inglesa. Galvão e Ricarte (2019, p. 66) destacaram que a língua inglesa é priorizada como idioma de busca nas bases de dados bibliográficos internacionais.

Neste trabalho, a terminologia identificada incluiu 10 palavras-chave, sendo: *wind power*, *energy transition*, *wind energy technology*, *offshore wind power*, *offshore wind energy*, *transition away from fossil fuels in energy systems*, *renewable energy*, *social impacts*, *environmental impacts* e *social acceptance*.

A seleção das bases de dados foi realizada usando o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O Portal de Periódicos da CAPES

[...] é um dos maiores acervos científicos virtuais do País, que reúne e disponibiliza conteúdos produzidos nacionalmente e outros assinados com editoras internacionais a instituições de ensino e pesquisa no Brasil. São milhares de periódicos científicos de texto completo e centenas de bases de dados de conteúdos diversos, como artigos, referências, patentes, estatísticas, material audiovisual, normas técnicas, teses, dissertações, livros e obras de referência (Brasil, 2020).

Segundo Galvão e Ricarte (2019, p. 67), para construção das estratégias avançadas de busca, após o mapeamento terminológico, utilizam-se operadores booleanos AND (e), OR (ou) e AND NOT (e não), “[...] onde AND equivale à intersecção, OR equivale à união e AND NOT equivale à exclusão”.

No presente trabalho, para a seleção das bases de dados no Portal de Periódicos da CAPES, procedeu-se como segue:

- Para cada palavra-chave, fez-se a busca sem uso de qualquer filtro. O resultado foi organizado em uma tabela contendo para cada palavra-chave, data da pesquisa, os nomes das bases de dados e seus respectivos quantitativos, tendo sido identificadas as primeiras 18 bases em ordem decrescente do quantitativo retornado. Esta pesquisa foi realizada em 06/04/2024;
- Os resultados referentes aos quantitativos retornados para as bases de dados, considerando as 10 palavras-chave, foram organizados em planilha eletrônica do Microsoft Excel, tendo sido observadas 25 bases de dados no total;

- Para as 25 bases de dados identificadas, fez-se uma análise de Pareto para hierarquizar quais bases representariam 80% ou mais, do total de resultados. A partir da análise de Pareto foram selecionadas 6 bases de dados, representando em torno de 82% do referido total de resultados. Entretanto, dentre as 6 bases de dados selecionadas observou-se ausência da base de dados *Scopus*. Assim, fez-se uma pesquisa diretamente na *Scopus* com a palavra-chave “*wind power*”, o que resultou em 667.447 trabalhos (entre 5 e 8%). Avaliou-se que a base de dados *Scopus* deveria ser incluída, resultando assim em 7 bases de dados, sendo: *Web of Science*, *Scopus*, *PubMed*, *Wiley Online*, *DOAJ*, *Elsevier/ScienceDirect* e *Springer*;
- Para proceder com busca avançada, definiu-se a combinação utilizando operadores booleanos ((*wind AND power AND social AND offshore*) OR (*wind AND power AND environmental AND offshore*)) selecionando a opção de pesquisa “*title*”, “*abstract*”, “*keywords*” e, simultaneamente, usando o termo (*impacts*) e selecionando a opção “*title*”;
- O passo seguinte foi o acesso a cada uma das 7 bases de dados, a partir do Portal de Periódicos da CAPES, no caminho acervo, lista de bases e coleções e, então, selecionando a base de dados;
- Assim, em cada base de dados, foi aplicada a combinação mencionada anteriormente, ou seja, ((*wind AND power AND social AND offshore*) OR (*wind AND power AND environmental AND offshore*)) selecionando a opção de pesquisa “*title*”, “*abstract*”, “*keywords*” e, simultaneamente, usando o termo (*impacts*) e selecionando a opção “*title*”. Essa busca foi realizada no dia 20/09/2024 e os resultados indicaram ausência de produções para a base *DOAJ* e *PubMed*. Quanto às bases de dados *Springer* e *Wiley online*, após pesquisa pelos três membros da equipe relacionada ao presente trabalho, decidiu-se excluí-las da lista de bases em função da impossibilidade de utilização da combinação ((*wind AND power AND social AND offshore*) OR (*wind AND power AND environmental AND offshore*)) para a opção de pesquisa “*title*”, “*abstract*”, “*keywords*” e, simultaneamente, a utilização do termo (*impacts*) para opção “*title*”, mencionados anteriormente;
- Assim, tais estratégias permitiram uma redefinição das 7 bases de dados, selecionadas preliminarmente, para 3 bases, quais sejam: *Web of Science*, *Scopus* e *ScienceDirect*;

- Deste modo, esta etapa do trabalho possibilitou a seleção da combinação utilizando operadores booleanos e as bases de dados para a revisão sistemática conforme resumido no Quadro 1.

Quadro 1 - Combinação da terminologia utilizando operadores booleanos e bases de dados selecionadas para a revisão sistemática, após a aplicação de distintas estratégias

Combinação da terminologia utilizando operadores booleanos		Bases de dados
Descrição	Opção escolhida	
(<i>wind AND power AND social AND offshore</i>) OR (<i>wind AND power AND environmental AND offshore</i>) <i>AND impacts</i>	<i>Title, abstract, keywords</i> <i>Title</i>	Web of Science Scopus ScienceDirect

Fonte: Autoria própria (2024).

c) Estratégia de busca nas bases de dados selecionadas:

Esta etapa foi realizada para cada uma das 3 bases selecionadas (*Web of Science*, *Scopus* e *ScienceDirect*), na opção de busca avançada, aplicando a combinação descrita no Quadro 1. Os 5 passos sequenciais realizados foram:

- Definir filtro referente a campo, sendo “*title*”, “*abstract*”, “*keywords*” e anotar o quantitativo de resultados retornados;
- Definir o filtro de ano para 2000 a 2024 e anotar o quantitativo de resultados retornados;
- Definir o tipo de documento para artigo e revisões e anotar o quantitativo de resultados retornados;
- Definir o idioma para inglês, espanhol e português e anotar o quantitativo de resultados retornados;
- Definir o tipo de fonte para periódicos (“*journal*”) e anotar o quantitativo de resultados retornados.

d) Método usado para decidir se uma referência atendeu aos critérios de inclusão da revisão sistemática, considerando títulos e resumos:

A organização das informações para verificação de inclusão das referências na revisão foi realizada a partir de planilhas eletrônicas do Microsoft Excel.

Para cada referência identificada na etapa descrita no **item c** (Estratégias de busca para as 3 bases de dados selecionadas), procedeu-se com a seguinte organização em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel:

- Determinados dados de cada referência foram dispostos por linha da planilha eletrônica;
- Em cada linha da planilha eletrônica, os seguintes dados foram separados por células: título, nome da base de dados, ano de publicação, nomes dos autores, resumo completo, objetivo(s) presente(s) no resumo, metodologia presente no resumo, resultado(s) presente (s) no resumo, motivos de exclusão relacionados ao título e ao resumo;
- A listagem foi organizada para apresentação dos títulos por ordem alfabética;
- A partir da disposição das informações por células em uma planilha eletrônica, procedeu-se com a exclusão de referências duplicadas pela leitura dos títulos;
- A seguir, fez-se a análise dos títulos, sendo excluídas as referências não relacionadas ao tema da pesquisa;
- Para a análise dos resumos, os motivos de exclusão das referências foram: resumo incompleto (ausência de objetivo, metodologia, resultados e/ou conclusão) resumo indicando as produções não relacionadas ao tema da pesquisa.

e) Método usado para decidir se uma referência atendeu ao critério de inclusão na revisão sistemática, considerando o trabalho completo:

Após as exclusões relacionadas aos títulos e aos resumos, procedeu-se com a leitura completa das referências restantes, denominadas aqui como **referências selecionadas para leitura completa** após exclusões com base nos títulos e nos resumos.

O critério de inclusão na revisão sistemática das **referências selecionadas para leitura completa** foi apresentar impactos ambientais reais, considerando impactos no meio físico, biótico e socioeconômico.

Para as **referências selecionadas para leitura completa incluídas na revisão sistemática**, foram registradas as seguintes informações: país dos autores, ano de publicação, impactos ambientais que podem ser causados por energia eólica *offshore*, outras características de interesse.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

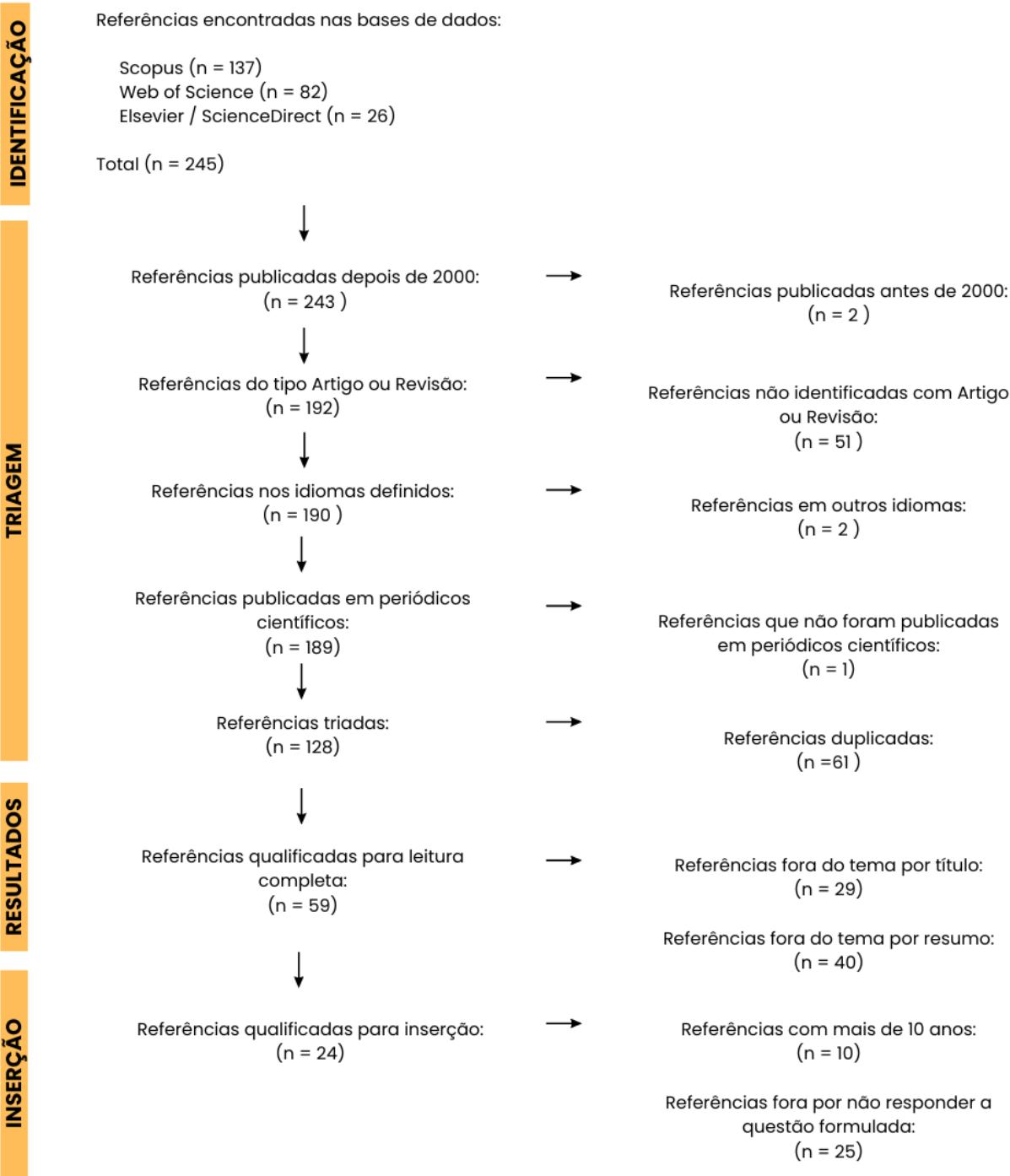
Os resultados obtidos neste trabalho são apresentados em dois tópicos: (a) resumo relativo ao processo de busca e de seleção e (b) resultados da análise das referências incluídas na revisão sistemática.

Durante o processo de busca e seleção, foram registradas a quantidade de referências encontradas e o total de documentos excluídos por não atenderem aos critérios previamente definidos e descritos no tópico Metodologia. Os resultados da análise se referem aos dados coletados a partir da leitura das referências selecionadas.

5.1 Resumo dos resultados do processo de busca e processo de seleção

A Figura 1 apresenta o número de registros identificados na busca até o número de referências incluídas na revisão sistemática, a partir do fluxograma da declaração PRISMA 2020 indicado para identificação de novos estudos via base de dados e repositórios, conforme Page *et al.* (2021a, 2022).

Figura 1 – Fluxograma com resultados do processo de busca e seleção com identificação de registros recuperados até a inclusão das referências na revisão sistemática



Fonte: Autoria própria (2024) adaptado de modelo sugerido por Page *et al.* (2021a, 2022).

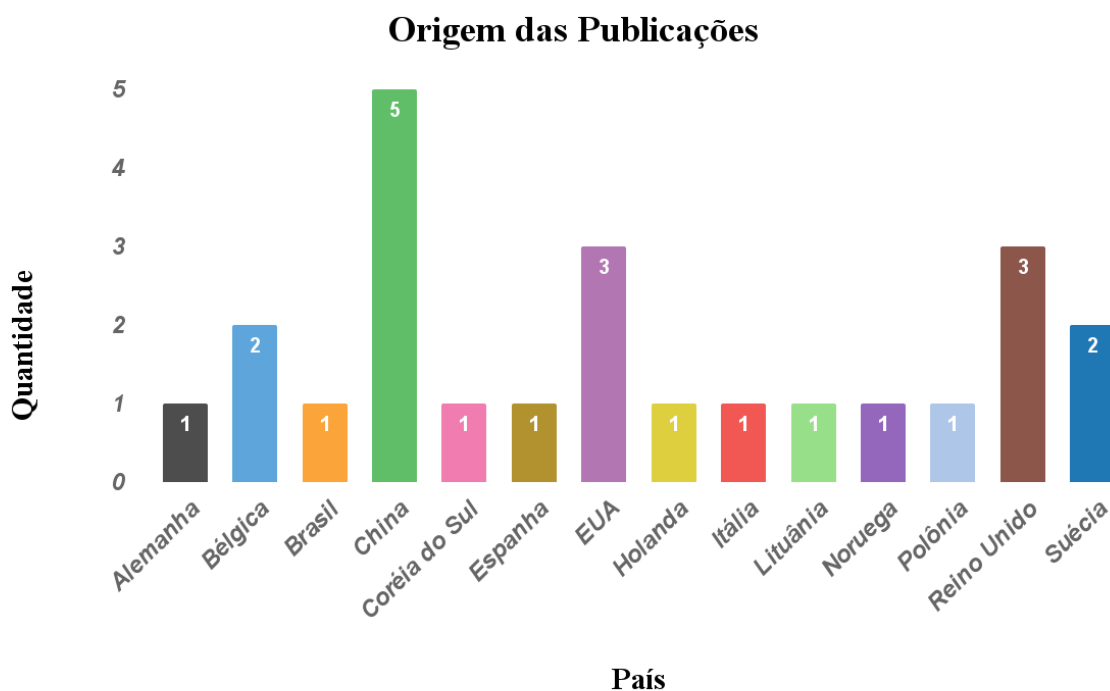
A aplicação da estratégia de busca para seleção de bases de dados e o uso dos operadores booleanos, conforme descrito anteriormente, possibilitou a identificação inicial de 245 referências em três bases de dados. Em seguida, pela aplicação dos filtros conforme critérios definidos previamente para o período da publicação (2000 a 2024), o tipo de documento (artigo

e revisões), idioma (inglês, espanhol e português) e o tipo de fonte (“*journal*”), obteve-se um total de 189 referências. Destas, foram identificadas 61 duplicações, resultando assim, 128 referências.

Em seguida, para as 128 referências, fez-se análise de título e, posteriormente, análise de resumo, buscando-se detectar referências fora da questão proposta. Nesta fase, foram descartados 69, restando 59 referências. Para as 59 referências, 10 referências foram excluídas por não terem sido publicadas nos últimos 10 anos e, 25 referências foram excluídas por não responderem à questão formulada. Por fim, o total de referências selecionadas para a revisão resultou em 24.

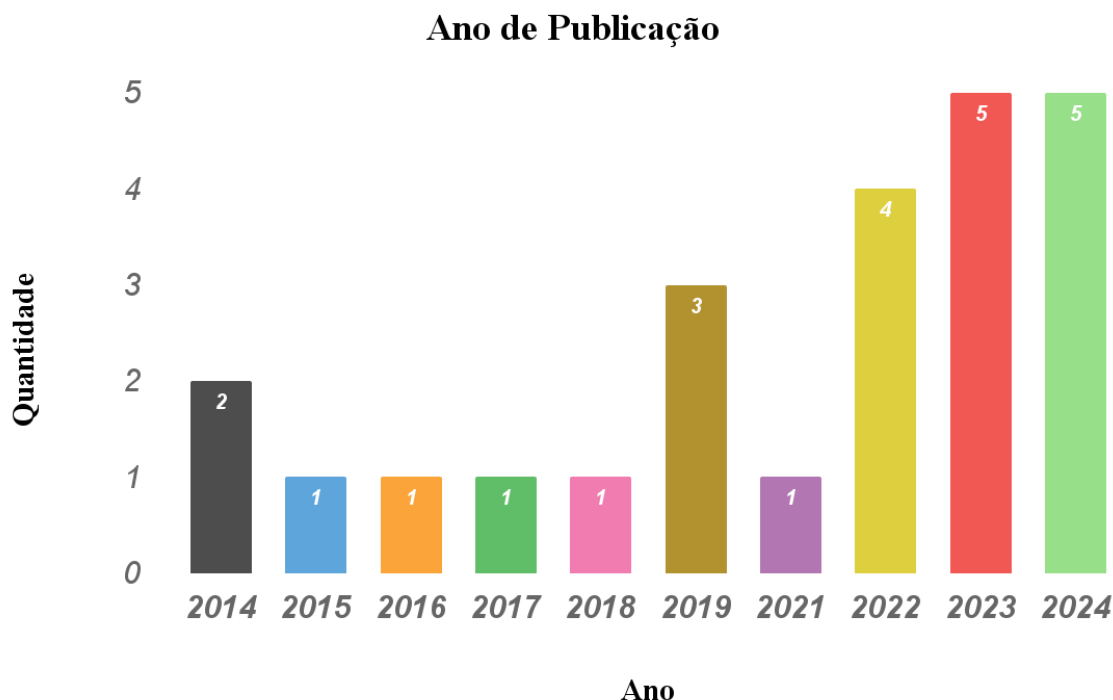
As referências selecionadas foram publicadas entre 2014 e 2024, sendo mais da metade publicadas entre 2022 e 2024. Quanto ao país de vínculo dos autores, 5 referências são de autores da China, 3 de autores do Reino Unido, 3 dos Estados Unidos da América e, o restante se divide em diversos países da Europa, Ásia e América do Sul, onde o Brasil, mesmo com uma única publicação selecionada se destaca como único país na América Latina. O Gráfico 1 e Gráfico 2 apresentam a distribuição de países de origem dos autores e ano de publicação, respectivamente.

Gráfico 1 - Distribuição de países de origem dos autores das referências selecionadas



Fonte: Autoria própria (2024).

Gráfico 2 - Distribuição por ano de publicação das referências selecionadas



Fonte: Autoria própria (2024).

A análise dos países de publicação permite explicar alguns aspectos dos resultados, como a existência de territórios costeiros favoráveis à operação ou ao desenvolvimento de parques eólicos *offshore*, frequentemente impulsionados por incentivos e pela valorização da pesquisa científica.

5.2 Resultados da análise das referências incluídas

Todas as referências selecionadas foram obtidas em bases de dados de língua inglesa. As publicações elegíveis incluíram estudos que abordavam impactos locais ou regionais, focados em situações reais e direcionados a um tipo específico de impacto ambiental (seja no meio físico, biótico ou socioeconômico) e, referências que analisavam causas e consequências relacionadas à implementação ou expansão de parques eólicos *offshore*.

O Apêndice A apresenta os impactos ambientais identificados nas referências incluídas na revisão, assim como, informações gerais destas publicações, a saber, nome dos autores, título do trabalho, ano de publicação e país de origem dos autores. No Quadro 2, apresenta-se uma síntese dessas informações, considerando os impactos nos meios físico, biótico e

socioeconômico. Ambos organizados por ordem alfabética de acordo com o título de publicação.

Quadro 2 – Visão geral da identificação de impactos ambientais por componente do meio ambiente, por referência incluída na revisão sistemática

Referência	Impactos ambientais		
	Meio físico	Meio biótico	Meio socioeconômico
Hattam, Hooper e Papathanasopoulou (2017)		X	X
Depellegrin, Blažauskas e Egarter-Vigl (2014)	X		
Hammar, Wikström e Molander (2014)		X	
Ahmed <i>et al.</i> (2023)	X	X	X
Ferraz de Paula e Carmo (2022)		X	
Abramic, Cordero-Penin e Haroun (2022)	X	X	
Ouro <i>et al.</i> (2024)	X	X	
Buchmayr <i>et al.</i> (2022)	X		X
Yuan <i>et al.</i> (2023)	X		
Chen <i>et al.</i> (2023)	X	X	X
Liu <i>et al.</i> (2023)		X	
Akhtar, Geyer e Schrum (2024)	X		
Piasecka <i>et al.</i> (2019)	X	X	X
Cao <i>et al.</i> (2024)	X		
Chipindula <i>et al.</i> (2018)	X		X
Mendecka e Lombardi (2019)	X	X	X
Tanskanen <i>et al.</i> (2022)		X	
De Luca Peña <i>et al.</i> (2024)	X		X
Li <i>et al.</i> (2023)	X	X	X
Smythe, Bidwell e Tyler (2021)	X	X	X
Bush e Hoagland (2016)	X	X	X
Nytte, Navrud e Alfnes (2024)			X
Kim, Kim e Yoo (2019)	X		X

Referência	Impactos ambientais		
	Meio físico	Meio biótico	Meio socioeconômico
Börger, Hooper e Austen (2015)	X	X	X

Fonte: Autoria Própria (2024).

Tratando-se de impactos no meio físico relacionados à instalação de parques eólicos *offshore*, Depellegrin, Blažauskas e Egarter-Vigl (2014) realizaram uma pesquisa relativa ao aspecto visual na região da costa da Lituânia. Estes autores concluíram que as áreas costeiras próximas ao local de instalação, entre 6–8 km, apresentam um impacto visual muito elevado, especialmente em regiões sem assentamentos humanos. No entanto, a partir de 16 km, esse impacto diminui significativamente. As características geomorfológicas da zona costeira, como dunas, falésias e praias, atuam como barreiras naturais, mitigando o impacto visual, especialmente em áreas mais internas, onde estão localizados ativos socioeconômicos importantes.

Ahmed *et al.* (2023) compararam impactos ambientais de dois combustíveis utilizados em embarcações de apoio *offshore*, gás natural liquefeito (GNL) e amônia verde (NH₃). O estudo investigou impactos ambientais de categorias mais amplas, como aquecimento global (kg CO₂ eq), toxicidade humana (CTUh: *Comparative toxic unit for human*), ecotoxicidade (CTUe: *Comparative toxic unit ecotoxicity*), eutrofização (kg N eq) e grupos de impactos relacionados à atmosfera (como acidificação, material particulado, formação fotoquímica de ozônio). De acordo com os autores, a amônia verde apresentou menor impacto no aquecimento global e na temperatura do que o GNL. Quanto à ecotoxicidade e eutrofização, observaram-se maiores valores percentuais médios para GNL do que NH₃. Com relação à toxicidade humana verificou-se maior participação percentual para NH₃ para a categoria câncer relacionado a metais, principalmente impulsionada pela NH₃, mas, em outras categorias, GNL e NH₃ mostraram percentuais semelhantes. Quanto à acidificação na atmosfera, os valores mais altos foram para o GNL em comparação aos valores de NH₃.

Hattam, Hooper e Papathanasopoulou (2017) desenvolveram e aplicaram ao caso da indústria eólica *offshore* do Reino Unido, uma estrutura de avaliação de impacto que pode ser usada para capturar os impactos sociais de mudanças no bem-estar, para o qual se reconhece que múltiplos fatores podem impactar o indivíduo e a sociedade. Para avaliar impactos da indústria de energia eólica *offshore*, estes autores apresentaram evidências relacionadas a distintos domínios do bem-estar.

Dentre tais evidências citam-se aqueles relacionadas à (a) economia (contribuição ao produto interno bruto- PIB, investimentos na cadeia de suprimento e de suporte à inovação, investimento via subsídios, estabilidade de mercado, investimento na fabricação, desenvolvimento da infraestrutura, geração de emprego, investimento na geração de conhecimento); (b) educação e habilidades (nível de habilidade de empregados, treinamentos dedicados, investimento em pesquisa e desenvolvimento); (c) saúde (segurança de trabalhadores, saúde mental da comunidade); (d) bem-estar pessoal (evidência de atitudes favoráveis e contrárias à energia eólica *offshore*); (e) relacionamentos (relações com as comunidades e com os desenvolvedores); (f) ambiente natural (serviços ecossistêmicos de provisão: impactos sobre estoques de peixes comerciais; serviços ecossistêmicos de regulação e suporte: impactos sobre comunidades bentônicas; serviços ecossistêmicos culturais: impactos sobre espécies carismáticas); (g) governança (relações governo-indústria, relações governo/autarquias locais-comunidades, relações indústria-comunidades).

Em geral, segundo Hattam, Hooper e Papathanasopoulou (2017), no contexto de capital financeiro, de fabricação e capital humano, os impactos da indústria da energia eólica *offshore* parecem ser positivos.

Para Abramic, Cordero-Penin e Haroun (2022) e Ouro *et al.* (2024), a instalação e operação de parques eólicos *offshore* influenciam a integridade do fundo do mar, especialmente no transporte de sedimentos e as condições hidrográficas. Durante a construção, há aumento de sedimentos em suspensão e modificação nas taxas de sedimentação, com impacto maior em áreas costeiras. Esses efeitos também influenciam a ressurgência e a estratificação da coluna de água. A fase de operação promove a mistura vertical de águas e ressurgência, afetando a composição de nutrientes e, em alguns casos, aumentando a produção primária. Esses processos podem causar eutrofização em áreas sensíveis e, em casos extremos, anoxia.

Piasecka *et al.* (2019) realizaram um estudo com objetivo de analisar e comparar o impacto ambiental das usinas de energia eólica *offshore* e *onshore*. Os autores consideraram distintas categorias de impactos (p. ex., radiação, carcinogênicos, uso da terra, camada de ozônio) para 4 tipos de impactos, sendo sobre o operador (*nonergonomic*), sobre o produto (*nonfunctional*), sobre organismo vivos (*nonecological*) e sobre objetos construídos (*nonsozological*).

Na etapa de caracterização, Piasecka *et al.* (2019) apresentaram os resultados em quatro unidades: DALY (*the number of years spent in the disease or lost at all*) - o número de anos vividos com a doença ou perdidos; PDFm²/a (*potentially lost part of plant species*) - parte

potencialmente perda de espécies de plantas; PAFm²/a (*potentially damaged part of these species*) - parte potencialmente danificada dessas espécies e; e MJ de energia excedente (*additional energy needed for future use of substitutes, inferior quality, sources of material or energy supply*) - energia adicional necessária para o uso futuro de substitutos, de qualidade inferior, fontes de material ou suprimento de energia. Além disso, os autores apresentaram os chamados pontos ambientais (Pt), unidades obtidas pela normalização, e depois, agrupamento e ponderação dos resultados obtidos na etapa de caracterização, sendo que mil pontos ambientais são iguais a um impacto negativo no meio ambiente de um europeu durante um ano.

Dentre os impactos negativos mais elevados, os autores identificaram a deterioração da qualidade ambiental relativa às emissões de compostos ecotóxicos superior para parque eólico *offshore* (1.320.083,6 PAFm²/a) do que para parque eólico *onshore* (879.423,9 PAFm²/a). Para deterioração ambiental relacionada à exaustão de recursos naturais de processos conectados com a extração de combustíveis fósseis, observou-se maior impacto negativo para parque eólico *onshore* (2.437.145,9 MJ) do que para parque eólico *offshore* (1.752.643,1 MJ). A partir do método de normalização, agrupamento e ponderação, os autores concluíram que o impacto adverso no meio ambiente foi maior para um parque eólico *onshore* em todas as áreas impactadas em comparação com um parque eólico *offshore*.

Mendecka e Lombardi (2019) também expuseram os impactos ambientais de turbinas eólicas *offshore* em comparação com as *onshore*. As turbinas *offshore* apresentam maiores impactos no potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de eutrofização e demanda cumulativa de energia. Isso se deve à complexidade estrutural e operacional das instalações no mar, que exigem mais materiais e energia, além de infraestruturas robustas, como fundações e cabos submarinos para conexão com o sistema *onshore*.

A análise dos dados fornecidos por De Luca Peña *et al.* (2024) indicou uma distinção clara entre impactos positivos (chamados de "impressões digitais") e negativos (chamados de "pegadas") no contexto de parques eólicos *offshore*. A "pegada ambiental" do parque eólico *offshore* na Área de Proteção (AoP) é significativa, com impacto notável na unidade funcional e nos serviços ecossistêmicos ligados à energia renovável. A avaliação do ciclo de vida (LCA) com o método ReCiPe 2016 destacou impactos negativos focados na saúde e bem-estar humano (HH&WB), principalmente na fase de fabricação, especialmente devido à cadeia de suprimentos necessária para a produção dos componentes do parque eólico *offshore*. Os autores

destacaram que os impactos advindos da fabricação de monoestacas equivalem a 70% e os 30% restantes das contribuições são referentes à fabricação de peças de transição.

Li *et al.* (2023) mencionaram que a variação na extensão do *buffer* (amortecedor) tem impacto direto nos fatores de caracterização (CFs), com um *buffer* de 500 m tendo impacto mínimo e um de 250 m podendo afetar significativamente os resultados. Isso sugere que a proximidade entre as turbinas e outras áreas sensíveis influencia a distribuição dos impactos físicos, como vibrações e perturbações no fundo do mar. O aumento do tamanho das turbinas reduz a área afetada por megawatt, mitigando impactos físicos no fundo do mar e no espaço ocupado pelas fundações das turbinas.

Yuan *et al.* (2023) realizaram um estudo em um parque eólico *offshore* com 100 turbinas de 6,7 MW, onde concluíram que a fabricação e o transporte de componentes, juntamente com a operação e manutenção, são responsáveis por mais de 80% dos impactos ambientais, especialmente em categorias como acidificação e emissão de poluentes eutrofizantes. A produção de aço para turbinas e flutuadores desempenha um papel significativo devido à alta demanda energética e às emissões associadas. A fabricação de cabos submarinos contribui consideravelmente para o potencial de acidificação e eutrofização, sendo essas etapas críticas para a análise dos impactos. A fase de O&M, particularmente a manutenção preventiva, se destaca com impacto elevado no potencial de destruição da camada de ozônio (ODP), representando 98,6% desse impacto. As fases de construção e descomissionamento contribuem pouco, com menos de 5% dos impactos totais. Em termos de emissões de gases de efeito estufa (GEE), o ciclo de vida completo do parque eólico *offshore* contribui com 25,76 g de CO₂ eq/kWh, mostrando uma pegada de carbono relativamente baixa em comparação com outras fontes de energia renováveis.

Em um estudo feito por Chen *et al.*, (2023), a construção é a fase que mais contribui para os impactos ambientais, com todas as etapas superando 43% do impacto total. A produção de concreto, especialmente no descarte, resulta em significativos aumentos na eutrofização, devido à liberação de compostos como NH₃, NH₄⁺, NO₃⁻ e PO₄³⁻. Além disso, a colocação de cabos subaquáticos afeta negativamente indicadores de ecotoxicidade, sendo responsável por, individualmente, mais de 96% do potencial de ecotoxicidade em água doce, potencial de toxicidade humana e potencial de ecotoxicidade terrestre. O esgotamento de recursos abióticos também é impactado, com a colocação de cabos contribuindo com 68,22%, e a fundação das turbinas afetando o Potencial de ODP (64,07%).

Cao *et al.* (2024) destacaram potencial de aquecimento global de 25,73 g CO₂-eq/kWh e consumo de combustível fóssil é de 0,31 MJ/kWh. O tempo de retorno de gases de efeito estufa (GEE), energia de produção total (EPT) e retorno sobre investimento energético (EROI: *Energy Return On Investment*) são, respectivamente, 12,05 meses, 25,56 meses e 11,78. A fase de fabricação é responsável pela maior contribuição para os impactos ao longo do ciclo de vida, enquanto a fase de descarte e reciclagem gera benefícios ambientais de 12% a 20%, apesar de contribuir com 7% das emissões de material particulado. Em termos de potencial de aquecimento global (GWP: *Global Warming Potential*), as lâminas das turbinas e as fundações são os componentes mais impactantes. As análises também mostraram que a utilização de recursos materiais, especialmente metais e minerais, e a ecotoxicidade da água doce estão entre as categorias com maior necessidade de atenção, com valores de normalização de 1,68 CTU_e/kWh e $3,32 \times 10^{-6}$ kg Sb-eq/kWh, respectivamente.

Chipindula *et al.*, (2018) especificaram que o estágio crítico, responsável por cerca de 58% do impacto potencial em águas rasas e 82% em águas profundas, é a extração/processamento de material. A inclusão de reciclagem do aço como opção para a desmontagem de turbinas eólicas pode reduzir em média 20% do impacto. O consumo elevado de eletricidade na fabricação de componentes como torres, fundações e pás aumenta as emissões, com as fases de instalação e operação contribuindo com menos de 2% das emissões em locais terrestres e de águas profundas, mas com 30% nas águas rasas. As emissões variam de 5,63 a 7,29 g CO₂ eq/kWh, sendo menores para turbinas maiores. Além disso, os parques eólicos terrestres têm tempos de retorno mais curtos para CO₂ e energia, mas os parques *offshore* apresentam menores emissões de GEE por kWh.

Os parques eólicos *offshore* exercem um impacto significativo na atmosfera, atingindo alturas de até 600 metros acima da superfície do mar (Akhtar; Geyer; Schrum, 2024). Durante a operação, as turbinas geram turbulência, que pode provocar o movimento ascendente do ar úmido, resultando na redução da temperatura média anual e no aumento da umidade específica acima da altura das turbinas. De acordo com os autores, o efeito das turbinas na velocidade do vento próximo à superfície e na energia cinética turbulenta (TKE: *Turbulent Kinetic Energy*) altera o fluxo de calor líquido, afetando os fluxos turbulentos de calor latente e calor sensível, além dos fluxos radiativos. A diminuição da TKE resulta em menos mistura na camada atmosférica inferior, reduzindo os fluxos turbulentos. Além disso, os parques eólicos influenciam em nuvens de baixo nível, aumentando a umidade em altitudes mais elevadas e promovendo maior umidade relativa e cobertura de nuvens devido ao resfriamento adiabático.

Parques com turbinas maiores (15 MW) têm um impacto menor na velocidade do vento e nos fluxos de calor em comparação a parques com turbinas menores (5 MW), indicando que turbinas maiores exercem um efeito menos intenso na dinâmica do oceano e nos ecossistemas influenciados pelos ventos da superfície do mar.

Quanto a impactos identificados no meio biótico, alterações nos componentes abióticos do ambiente, construção e operação de parques eólicos *offshore* podem afetar ecossistemas marinhos, perturbando habitats e influenciando a vida marinha local. A complexidade da infraestrutura pode aumentar o impacto sobre o ambiente aquático, incluindo a alteração de correntes e a poluição sonora (Mendecka; Lombardi, 2019). Os impactos das turbinas eólicas nas populações de pássaros indicam uma adaptação mista. Embora algumas espécies tenham apresentado declínio, outras cresceram em número, mantendo a diversidade de espécies estável em relação aos níveis anteriores. A presença de turbinas eólicas não parece causar efeitos negativos sistemáticos nas populações reprodutoras de pássaros nas proximidades das usinas (Tanskanen *et al.*, 2022).

De acordo com Hattam, Hooper e Papathanasopoulou (2017), há literatura crescente que sugerem que os parques eólicos *offshore* podem ter efeitos positivos e negativos na ecologia pesqueira de espécies comerciais. Os autores comentaram, por exemplo, que as fundações das turbinas podem se tornar habitats para mexilhões, que podem contribuir para a captura de carbono a curto prazo e a remediação de resíduos e toxinas na coluna d'água. No entanto, há preocupações quanto à propagação de espécies não nativas, que podem impactar negativamente os ecossistemas locais. Li *et al.* (2023) observaram que as turbinas eólicas geram perdas líquidas de biodiversidade para espécies bentônicas (espécies que habitam o fundo do mar), com valores de $-1,34 \text{ PDF} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{ano}$ a $-65,64 \text{ PDF} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{ano}$. Isso demonstra que a presença das turbinas pode prejudicar essas espécies, resultando em impactos negativos nos ecossistemas marinhos, como a destruição de habitats e a alteração das dinâmicas ecológicas. Os autores também relacionam que o impacto sobre a ocupação de recifes artificiais e o fundo do mar diminui à medida que o tamanho das turbinas aumenta. Isso sugere que turbinas maiores causam menos perturbação por MW em áreas habitadas por organismos marinhos.

Os autores Hammar, Wikström e Molander (2014) fizeram uma pesquisa sobre os riscos para a população de bacalhau e concluíram que os impactos são significativos durante a fase de construção, quando a cravação de estacas apresenta um alto risco ao perturbar suas áreas de desova. No entanto, durante a fase de operação, o risco para a população de bacalhau é insignificante ou inexistente. Por fim, os autores a fim de propor uma solução para mitigar esse

risco, sugerem a programação das atividades de construção em períodos biologicamente sensíveis, reduzindo-o de alto para baixo. De acordo com Ahmed *et al.* (2023), os combustíveis GNL e NH₃ afetam ecossistemas aquáticos por meio da eutrofização, que é o enriquecimento excessivo de nutrientes em corpos d'água, levando à proliferação de algas e à morte de organismos aquáticos. O GNL tem maior impacto em ecotoxicidade em água doce representando 50,87% em ecotoxicidade em água doce e 50,53% e 50,28% em ecotoxicidade em água doce relacionada a metais e compostos orgânicos, afetando diretamente organismos como microrganismos, plantas e animais que vivem em rios, lagos e pântanos. A construção de parques eólicos *offshore* e as atividades dos navios são as fases que mais aumentam esses riscos.

Ferraz de Paula e Carmo (2022) realizaram um estudo referente à estrutura de turbinas de eólicas *offshore* e concluíram que durante as fases de construção, operação e descomissionamento, os impactos ambientais no meio biótico são especialmente consideráveis. Durante a construção e descomissionamento, a movimentação do solo e a suspensão de partículas no fundo do mar causam sedimentação, o que pode reduzir a diversidade biológica. Esse fenômeno afeta gravemente corais, reduzindo sua capacidade de fertilização e provocando a morte de larvas. O impacto varia de acordo com o tamanho das partículas envolvidas, mas em geral, a sedimentação pode prejudicar habitats sensíveis. Ainda na construção, o ruído subaquático produzido é um grande influenciador nos habitats de mamíferos marinhos, podendo causar mudanças comportamentais em focas, botos e golfinhos. Isso faz com que esses animais evitem a área de construção, alterando seus habitats. No entanto, essas mesmas estruturas submersas podem funcionar como recifes artificiais, criando "hotspots" biológicos que aumentam a biodiversidade. Espécies bentônicas, como mexilhões, se fixam nas plataformas, formando um ecossistema que atrai crustáceos, moluscos e peixes. Por outro lado, esses recifes artificiais também trazem riscos operacionais, como o aumento da massa nas estruturas devido ao acúmulo de organismos marinhos, o que intensifica a corrosão e pode comprometer a integridade das turbinas. Além disso, os campos eletromagnéticos gerados pelos cabos das turbinas podem prejudicar a navegação de espécies vertebradas e interferir na sensibilidade de crustáceos, afetando sua capacidade de localizar alimentos, o que pode resultar em respostas de evasão ou atração indesejadas. De acordo com os autores, tubarões e arraias podem apresentar atração por cabos. Algumas espécies de peixes correm o risco de se agregar nas linhas de amarração e plataformas, alterando seu habitat.

Abramic, Cordero-Penin e Haroun (2022) mencionaram que os parques eólicos *offshore* bem localizados, distantes de áreas sensíveis, minimizam os impactos negativos sobre a

biodiversidade. No entanto, grandes parques eólicos podem afetar a migração de aves, mamíferos e tartarugas marinhas, levando à alteração de suas rotas. O risco de colisão de aves marinhas com as turbinas aumenta, especialmente para espécies que voam na altura das lâminas. Ainda de acordo com os autores, as estruturas submersas podem atuar como recifes artificiais, atraindo espécies bentônicas e pelágicas e promovendo aumento de biomassa e complexidade no habitat. Esse "efeito recife" beneficia as teias alimentares, mas também pode causar deslocamento de espécies e alterar os padrões de distribuição. Peixes pelágicos são atraídos para essas áreas, mas há o risco de aumento de mortalidade se não houver gestão adequada. Em contrapartida, a remoção dessas estruturas durante o descomissionamento pode levar à perda de habitat e redução da biodiversidade local. Além disso, o ruído subaquático gerado pelas turbinas pode alterar o comportamento de mamíferos marinhos e causar mortalidade em peixes larvais.

Em relação à pesca e maricultura, Liu *et al.* (2023) comentaram que os parques eólicos *offshore* favorecem a pesca em mar aberto, mas prejudicam a maricultura, refletindo uma complexa interação entre o desenvolvimento tecnológico e os ecossistemas marinhos. Para cada aumento de 1 MW na capacidade de parque eólico *offshore*, a pesca marinha aumenta em 64 toneladas, sugerindo que os parques podem criar condições favoráveis para algumas espécies marinhas. No entanto, a maricultura, que envolve a criação de organismos marinhos, sofre uma redução significativa de 89,17 toneladas, indicando um efeito negativo potencial para espécies cultivadas.

Em relação ao meio socioeconômico, Mendecka e Lombardi (2019) salientaram que a conexão das turbinas *offshore* ao sistema *onshore* demanda projetos mais complexos e caros, aumentando os custos de implementação e operação. No entanto, a energia gerada em alto-mar, embora tenha desafios técnicos e maior impacto inicial, pode ser mais eficiente em longo prazo, gerando benefícios econômicos e sociais, como a criação de empregos na construção e manutenção e a diversificação das fontes de energia renovável.

Hattam, Hooper e Papathanasopoulou (2017) abordaram sobre a operação de parques eólicos *offshore* e sua relação com a economia em termos de, por exemplo, PIB e a geração de empregos no Reino Unido. Com base em outros autores, mencionaram que a indústria eólica *offshore* empregou diretamente 6.830 pessoas em 2013, e cerca de 7.000 empregos indiretos foram criados na cadeia de suprimentos. Também houve investimentos em infraestrutura, como portos e extensão da rede elétrica.

Para Buchmayr *et al.* (2022), os impactos na saúde humana são mais elevados em nível global para eólicas *offshore* (35,9 DALY/TWh) em comparação ao *onshore* (33,3 DALY/TWh). Esse impacto global é amplamente atribuído ao processo de fabricação das turbinas. No entanto, o impacto local *offshore* é menor (0,635 DALY/TWh) do que o *onshore* (0,704 DALY/TWh), já que a maior eficiência de geração *offshore* compensa o uso de mais combustível durante a instalação. Além disso, o ruído e o aumento do tráfego gerados por ambas as tecnologias não são percebidos pela maioria da população como impactos significativos. Os autores também destacam que a energia eólica *offshore* se destaca na geração de empregos durante a fase de instalação, enquanto a energia *onshore* é mais intensiva nas fases de operação e manutenção, criando mais empregos contínuos (0,23 empregos por MW em O&M para *onshore* versus 0,15 para *offshore*). Além disso, a percepção estética e recreativa das turbinas eólicas, especialmente no ambiente *onshore*, tende a ser neutra ou negativa, o que pode influenciar a qualidade da paisagem e o turismo local.

À medida que aumenta o tamanho das turbinas e a distância entre suas fundações, a área afetada pela prevenção da pesca de arrasto também pode aumentar. Isso pode ter impactos socioeconômicos significativos, pois restringe as atividades de pesca, afetando comunidades pesqueiras locais e a economia associada a essa prática. Contudo, isso também pode ser visto como um efeito positivo para a preservação ambiental e regeneração de espécies marinhas em longo prazo (Li *et al.*, 2023).

De acordo com Chipindula *et al.*, (2018), o impacto econômico é reduzido pela reciclagem, que gera benefícios ao longo do ciclo de vida das turbinas, contribuindo para a sustentabilidade e redução de custos a longo prazo. No estudo realizado por Chen *et al.*, (2023), a operação e manutenção dos parques eólicos geram um impacto relativamente baixo, contribuindo com apenas 0,06% a 9,24% do impacto ambiental total. No entanto, a fase de descarte traz um impacto positivo por meio da reciclagem de materiais. Por outro lado, os resíduos de concreto e a colocação de cabos afetam negativamente a qualidade do meio ambiente, com possíveis repercussões para as comunidades que dependem desses ecossistemas. O consumo de energia durante a construção, particularmente o uso de diesel, também influencia o esgotamento de recursos abióticos fósseis, o que pode ter implicações econômicas e sociais devido à dependência de combustíveis não renováveis.

Smythe, Bidwell e Tyler (2021) realizaram uma análise da percepção dos entrevistados em relação aos impactos do Parque Eólico Block Island (BIWF), nos Estados Unidos das Américas (EUA). A percepção dos entrevistados sugere que o parque eólico teve um impacto

ligeiramente negativo na segurança da navegação e no tráfego de barcos. Isso pode estar relacionado à presença física das turbinas, que podem interferir nas rotas de navegação e representar obstáculos visuais e logísticos para as embarcações. Em relação ao impacto na vida marinha, os entrevistados relataram que a estrutura do parque eólico afetou a abundância e a distribuição de espécies de peixes. A percepção predominante foi de um leve benefício para a qualidade e quantidade de peixes, com uma maior presença de espécies desejáveis. Isso sugere que as turbinas podem atuar como recifes artificiais, criando novos habitats e alterando a dinâmica das populações marinhas na área. A instalação do parque eólico também influenciou as atividades pesqueiras na região, causando aglomeração ao redor da área, o que pode ter, tanto impactos econômicos (ao atrair mais pescadores), quanto sociais (ao potencialmente aumentar a concorrência por recursos marinhos).

Quanto à percepção estética das turbinas, houve variação entre os entrevistados. A maioria demonstrou uma reação positiva à aparência das turbinas, exceto uma parte dos pescadores que não pescavam no local e relataram uma avaliação menos favorável. No entanto, o parque eólico foi visto como tendo um efeito levemente negativo na beleza natural da área, indicando um possível conflito entre o desenvolvimento tecnológico e a preservação da paisagem natural.

Também nos EUA, especificamente em Cape Cod, Massachusetts, Bush e Hoagland (2016) analisaram o projeto Cape Wind e concluíram que, em relação ao impacto nas paisagens e preços de imóveis, os oponentes do projeto Cape Wind destacaram os potenciais impactos negativos sobre a paisagem natural e os preços de imóveis como uma das principais preocupações. Eles acreditavam que a presença das turbinas afetaria negativamente a estética da região, o que também poderia resultar na desvalorização das propriedades locais. Proponentes, por outro lado, minimizaram esses impactos e defenderam a importância do projeto para o desenvolvimento de energia renovável.

Quanto aos mamíferos e aves marinhas, os oponentes acreditavam que a construção e operação do parque eólico teriam impactos negativos severos sobre mamíferos e aves marinhas, como aumento da mortalidade de espécies e perturbação de habitats. Essa percepção diverge da visão dos cientistas, que consideram esses impactos menos severos. Proponentes também reduziram a importância desses impactos, priorizando os benefícios ambientais e a transição para fontes de energia limpa. Uma parte significativa da população e dos cientistas entrevistados acreditavam que o projeto mudaria a percepção de Cape Cod, especialmente em relação à sua identidade como uma região de beleza natural. Muitos mencionaram que o projeto poderia ser

um símbolo de transição para a energia renovável, enquanto outros temiam que essa mudança prejudicasse a imagem da região como um destino turístico natural e preservado.

Por fim, o projeto Cape Wind mostrou como a opinião pública pode ser moldada por argumentos de oponentes e proponentes, especialmente quando o público está desinformado. Ambos os grupos utilizaram aspectos socioeconômicos, como custos e benefícios, para atrair apoio ou oposição ao projeto. O debate envolveu tanto preocupações ambientais quanto econômicas, especialmente em relação à preservação do patrimônio natural e ao futuro da energia renovável.

Nytte, Navrud e Alfnes (2024) foram mais abrangentes e realizaram uma análise das percepções da população norueguesa sobre o desenvolvimento de diferentes fontes de energia, como a energia eólica *offshore* flutuante, energia das ondas e o transporte marítimo. Em geral, os entrevistados demonstraram maior positividade em relação à energia das ondas, seguida pelo transporte marítimo e pela energia eólica *offshore* flutuante. Cerca de 47% são favoráveis ao desenvolvimento da energia eólica flutuante e do transporte, enquanto apenas 28% apoiam a combinação dessa tecnologia com a extração de petróleo e gás. Houve uma preferência clara por desenvolver a energia eólica *offshore* flutuante de forma exclusiva, sem a integração com a indústria de petróleo e gás.

Além disso, os entrevistados se mostraram em grande parte negativos ou neutros quanto à combinação da energia eólica *offshore* com a expansão da aquicultura no espaço marítimo norueguês, refletindo certo ceticismo sobre essa interação. O nível de educação desempenha um papel significativo na percepção da nova tecnologia, com pessoas mais instruídas sendo mais informadas e confiantes quanto à eficácia da energia eólica *offshore* flutuante para a produção de energia e a redução de emissões de carbono. No entanto, mulheres com educação superior apresentam uma tendência maior à aversão ao risco, o que se reflete em um apoio mais moderado à nova tecnologia.

Curiosamente, os entrevistados que apoiam a expansão da aquicultura tendem a ser mais favoráveis ao desenvolvimento da energia eólica *offshore*, enquanto aqueles que defendem a extração de petróleo e gás mostram menor entusiasmo. Fatores demográficos também influenciam as percepções. Mulheres tenderam a dar menos prioridade a novos projetos de energia eólica *offshore*, e o apoio diminuiu com o aumento da idade. Pessoas com educação superior desejaram ver o desenvolvimento dessa tecnologia antes de 2030. No entanto, a disposição a pagar por esses novos projetos não variou significativamente com o nível de educação dos entrevistados.

Na Coreia do Sul, Kim, Kim e Yoo (2019) elaboraram uma análise sobre a relação entre a distância da terra, o tamanho e a altura das turbinas eólicas *offshore*, constatando que o aumento da distância das turbinas eólicas *offshore* em relação à costa, a redução no tamanho dos parques e a diminuição da altura das turbinas influenciaram diretamente a percepção das pessoas em termos de utilidade ambiental e visual. Ajustes nas variáveis (distância da costa, tamanho e altura das turbinas) geram um aumento na utilidade econômica, que é medido pela disposição dos domicílios em aceitar essas mudanças.

Ainda de acordo com Kim, Kim e Yoo (2019), para um aumento de 1 km na distância da terra, acarretaria uma diminuição de 1 m na altura da turbina e uma diminuição de 1%p na vida marinha são refletidos como aumentos de KRW 147 (USD 0,13), 181 (0,16), 60 (0,05), 224 (0,20), respectivamente, por domicílio por ano. De modo geral, a utilidade econômica percebida é positiva com o aumento da distância das turbinas da costa e com a redução no tamanho e na altura das turbinas, o que reflete uma preferência por menor impacto visual e, possivelmente, menor interferência nas atividades humanas costeiras. O impacto econômico indireto da vida marinha, mesmo que negativo, não pareceu alterar de maneira expressiva o valor percebido pelos domicílios. A vida marinha também foi um fator significativo: uma diminuição na biodiversidade marinha esteve curiosamente associada a um aumento na utilidade percebida, sugerindo que, para alguns, a preservação da vida marinha pode ser menos prioritária diante dos benefícios percebidos de outras características das turbinas eólicas *offshore*, como a redução do impacto visual.

No noroeste da Inglaterra e do País de Gales, Börger, Hooper e Austen (2015) concluíram que a percepção dos entrevistados em relação às turbinas eólicas *offshore* foi amplamente positiva, destacando um aumento na diversidade de espécies e uma mitigação do impacto dos campos eletromagnéticos (EMF) na vida marinha. A visibilidade das turbinas ao longo da costa teve influência limitada nas preferências dos participantes, conforme indicado por um modelo logit condicional, revelando uma indiferença em relação a essa característica.

No entanto, o modelo logit misto identificou uma disposição significativa a pagar para evitar turbinas de 240 m de altura, sugerindo que a altura é uma preocupação para alguns entrevistados. Os impactos ecológicos dos parques eólicos *offshore* tendem a afetar o bem-estar das famílias de forma mais intensa e constante do que os efeitos visuais diretos, que diminuem com a distância da costa. De uma perspectiva de ciências naturais e planejamento, foi demonstrado que os parques eólicos *offshore* têm potencial para servir como áreas marinhas protegidas (2015, apud Ashley *et al.*, 2014) e apoiar pescarias específicas, como a de caranguejo

e lagosta (2015, apud Hooper e Austen, 2014). O estudo também aponta que a instalação de turbinas *offshore* pode trazer ganhos adicionais de bem-estar, indo além dos benefícios diretos em conservação e pesca.

Assim, os parques eólicos *offshore* se apresentam como uma alternativa estratégica e promissora para os desafios energéticos e climáticos atuais. No entanto, os impactos decorrentes de seus desenvolvimentos, em particular nos meios físicos, bióticos e socioeconômicos, exigem uma estratégia cautelosa que considere as características de cada região. Como exposto neste trabalho, a maioria dos estudos revisados revela que as pesquisas sobre esses impactos são predominantemente realizadas em países do Hemisfério Norte, cuja realidade quanto a, por exemplo, ecossistemas marinhos, aspectos socioambientais, infraestrutura e regulamentações difere das demais regiões do globo. Esse desequilíbrio restringe o uso dos resultados para outras áreas, onde as condições ambientais e socioeconômicas podem exigir estratégias de mitigação e tecnologias adaptadas à realidade local.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As referências analisadas, publicadas entre 2014 e 2024, indicaram uma crescente tendência de pesquisas sobre o tema nos últimos anos, com destaque para o período entre 2022 e 2024, que concentrou 14 das 24 publicações. Em relação à origem geográfica dos estudos, observou-se que a China ocupou a posição de liderança nas pesquisas sobre os impactos ambientais dos parques eólicos *offshore*, seguida pelos Estados Unidos e Reino Unido. Em seu conteúdo, as publicações indicaram que, apesar de os parques eólicos *offshore* representarem uma alternativa importante para a geração de energia renovável e para a combater as mudanças climáticas, os impactos podem variar em função de, por exemplo, fatores como localização, fase de desenvolvimento e percepção pública.

O estudo apresentou uma visão geral de possíveis impactos ambientais relacionados à implementação de parques eólicos *offshore*. Considerando as 24 referências selecionadas, foram observadas indicações de impactos ambientais relacionados ao meio físico, biótico e socioeconômico, em 19, 15 e 14 referências, respectivamente.

Os impactos ambientais observados incluem, por um lado, os parques eólicos *offshore* podem funcionar como áreas marinhas protegidas, promovendo a conservação de espécies e a sustentabilidade da pesca local, promovendo eventuais benefícios como o aumento da biodiversidade em determinadas áreas, e por outro, desafios, como os efeitos adversos sobre aves e mamíferos marinhos durante as fases de construção e operação. No entanto, a produção das turbinas eólicas destaca-se como um aspecto crítico, contribuindo para emissões consideráveis de gases de efeito estufa. A implementação de práticas de reciclagem e uma gestão otimizada da cadeia de suprimentos podem ajudar a mitigar esses impactos.

Quanto aos aspectos sociais, a aceitação dos parques eólicos difere entre os diversos grupos demográficos, influenciada por elementos como nível educacional e proximidade das instalações. É importante ressaltar que os estudos são majoritariamente realizados no hemisfério norte e, portanto, a realidade não condiz com a maioria dos países no hemisfério sul e isso afeta a percepção social. A conclusão social somente com os dados obtidos leva a induzir que a educação e a informação influenciam a percepção pública, com indivíduos mais bem informados apresentando uma maior propensão a apoiar iniciativas de energia eólica *offshore*. Contudo, a segurança da navegação e a estética das paisagens são preocupações que ressaltam a importância de uma comunicação eficaz e transparente com as comunidades afetadas. Em termos econômicos, os parques eólicos *offshore* podem trazer benefícios como a geração de empregos e o fortalecimento das oportunidades de pesca. A gestão cuidadosa dos custos

ambientais, que variam de acordo com a distância da costa e o tamanho das turbinas, é essencial para maximizar os benefícios econômicos dessa forma de energia.

Os parques eólicos *offshore* representam uma alternativa relevante para enfrentar os desafios energéticos e climáticos contemporâneos, mas exigem uma abordagem equilibrada que leve em conta os impactos nos meios físico, biótico e socioeconômico. Assim, observa-se que os parques eólicos *offshore* possuem potencial para contribuir na transição energética, mas os impactos ambientais, especialmente os relacionados à biodiversidade marinha e aos ecossistemas, demandam um planejamento e monitoramento cuidadosos. A escolha estratégica de locais para os parques e a adoção de tecnologias menos invasivas podem ajudar a minimizar alguns desses efeitos, assegurando uma maior sustentabilidade a longo prazo.

Além disso, é fundamental destacar que pesquisas futuras mais aprofundadas por especialistas são necessárias para realizar monitoramento de longo prazo dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos parques eólicos *offshore*, investigações aprofundadas em relação à interação com atividades sociais locais, promovendo a coexistência sustentável, assim como realizar comparações em diferentes locais do globo e analisar os impactos no meio antrópico. Adicionalmente, é crucial avaliar o desenvolvimento e a eficácia de novas tecnologias e boas práticas, como o uso de materiais sustentáveis, técnicas de construção menos invasivas e sistemas avançados de monitoramento, visando minimizar os impactos ambientais negativos associados às turbinas eólicas *offshore*.

REFERÊNCIAS

- ABRAMIC, A.; CORDERO-PENIN, V.; HAROUM, R. Environmental impact assessment framework for offshore wind energy developments based on the marine Good Environmental Status. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 97, Nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106862>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Ministério de Minas e Energia. Geração. **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW**. Publicado em 07/03/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>. Acesso em: 09 set. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Atlas de energia elétrica do Brasil. 3.ed. Brasília: ANEEL, 2008.
- AHMED, S. et al. Comparative life cycle impact assessment of offshore support vessels powered by alternative fuels for sustainable offshore wind operations using machine learning. **Journal of ocean engineering and science**, Oct. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joes.2023.10.005>.
- AKHTAR, N.; GEYER, B.; SCHRUM, C. Larger wind turbines as a solution to reduce environmental impacts. **Scientific reports**, v. 14, n. 1, p. 6608, Mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56731-w>.
- BARBOSA, R. **Inserção da energia eólica offshore no Brasil**: análise de princípios e experiências regulatórias. 2019. 281 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.106.2019.tde-10042019-150844>. Acesso em: 15 set. 2024.
- BÖRGER, T.; HOOPER, T. L.; AUSTEN, M. C. Valuation of ecological and amenity impacts of an offshore windfarm as a factor in marine planning. **Environmental science & policy**, v. 54, p. 126–133, Dec. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.05.018>.
- BRASIL. **Decreto nº 10.946, de 25 de janeiro de 2022**. Dispõe sobre a cessão de uso de espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais em águas interiores de domínio da União, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e na plataforma continental para a geração de energia elétrica a partir de empreendimento offshore. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/Decreto/D10946.htm#:~:text=D10946&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20cess%C3%A3o%20de,a%20partir%20de%20empreendimento%20offshore. Acesso em: 20 abr. 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). CAPES periódicos. **Quem somos**. 2020. Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php/sobre/quem-somos.html>. Acesso em: 25 set. 2024.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Diretoria de Licenciamento. **Complexos eólicos offshore**: projetos com processos de licenciamento ambiental abertos no IBAMA.

Atualização: 04 de abril de 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/arquivos/20240507_Usinas_Eolicas_Offshore.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 01, de 23/01/1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.

BUCHMAYR, A. et al. Exploring the global and local social sustainability of wind energy technologies: An application of a social impact assessment framework. **Applied Energy**, v. 312, n. 118808, Feb. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118808>.

BUSH, D.; HOAGLAND, P. Public opinion and the environmental, economic and aesthetic impacts of offshore wind. **Ocean & coastal management**, v. 120, p. 70–79, Feb. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.11.018>.

CAO, Y. et al. Life cycle environmental analysis of offshore wind power: A case study of the large-scale offshore wind farm in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 196, n. 114351, Mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114351>.

CHEN, J. et al. Green development strategy of offshore wind farm in China guided by life cycle assessment. **Resources, conservation, and recycling**, v. 188, n. 106652, Jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106652>.

CHIPINDULA, J. et al. Life cycle environmental impact of onshore and offshore wind farms in Texas. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 2022, Jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10062022>.

COX, R. M. C. A.; NOGUEIRA, J. M. Avaliação de impacto ambiental *offshore* no Brasil. **Revista Tempo do Mundo**, n. 32, p. 319 – 341, Ago., 2023.

DE LUCA PEÑA, L. V. et al. Monetized (socio-)environmental handprint and footprint of an offshore windfarm in the Belgian Continental Shelf: An assessment of local, regional and global impacts. **Applied energy**, v. 353, n. 122123, Jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122123>.

DEPELLEGRIN, D.; BLAŽAUSKAS, N.; EGARTER-VIGL, L. An integrated visual impact assessment model for offshore windfarm development. **Ocean & Coastal Management**, v. 98, p. 95 -110, Sep. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.05.019>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **O que é energia?** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/o-que-e-energia>. Acesso em: 2 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Roadmap eólica offshore Brasil**. Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima. Rio de Janeiro: EPE, 2020.

FERRAZ DE PAULA, L.; CARMO, B. S. Environmental Impact Assessment and Life Cycle Assessment for a Deep Water floating offshore wind turbine on the Brazilian continental shelf. **Wind**, v. 2, n. 3, p. 495–512, Jul. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/wind2030027>.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). **Global wind report 2024**. Brussels: GWEC, 2024. Disponível em: https://gwec.net/wp-content/uploads/2024/04/GWR-2024_digital-version_final-1.pdf. Acesso em: 12 set. 2024.

GREEN, S.; HIGGINS, J. P. T.; ALDERSON, P.; CLARKE, M.; MULROW, C. D.; OXMAN, A. D. Introduction. In: HIGGINS, J. P. T.; GREEN, S. (Eds.). **Cochrane handbook for systematic reviews of interventions**. Wiley-Blackwell, 2008. cap. 1, p. 3 - 9.

HAMMAR, L.; WIKSTRÖM, A.; MOLANDER, S. Assessing ecological risks of offshore wind power on Kattegat cod. **Renewable Energy**, v. 66, p. 414–424, Jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.024>.

HATTAM, C.; HOOPER, T.; PAPATHANASOPOULOU, E. A well-being framework for impact evaluation: The case of the UK offshore wind industry. **Marine Policy**, v. 78, p. 122 - 131, Apr. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2016.10.024>.

História da energia eólica: desde suas origens até a sustentabilidade moderna. Disponível em: <<https://www.iberdrola.com/quem-somos/nossa-atividade/energia-eolica-onshore/historia#:~:text=A%20primeira%20turbina%20e%C3%B3lica%20foi,gerar%20eletricidade%20em%20grande%20escala.>>. Acesso em: 12 out. 2024.

INSTITUTO SENAI DE INOVAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS (ISI-ER); RIO GRANDE DO NORTE (RN). **Avaliação de estratégias locais para suporte de infraestrutura de transmissão para eólica offshore**. Relatório-resumo. Natal: Instituto SENAI de Inovação em Energias Renováveis (ISI ER), Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Rio Grande do Norte (SEDEC), 2023. Disponível em: <http://www.adcon.rn.gov.br/ACERVO/sedec/DOC/DOC000000000317800.PDF>. Acesso em: 15 set. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Renewables information**. Database documentation. April 2024 edition. Paris: IEA, 2024. Licence: Terms of Use for Non-CC Material. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/7a98fb05-b0e5-42e2-a7a4-3d3856655653/Renewables_Information_Documentation_April24.pdf. Acesso em: 12 mai. 2024.

KIM, H.-J.; KIM, J.-H.; YOO, S.-H. Social acceptance of offshore wind energy development in South Korea: Results from a choice experiment survey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 113, n. 109253, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109253>.

LEE, J. The Story: wind energy and the global goal to triple renewables by 2030. In: GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). **Global wind report 2024**. Brussels: GWEC, 2024. Executive Summary, p. 10 – 13. Disponível em: https://gwec.net/wp-content/uploads/2024/04/GWR-2024_digital-version_final-1.pdf. Acesso em: 14 set. 2024.

LI, C. *et al.* Offshore wind energy and marine biodiversity in the North Sea: Life cycle impact assessment for benthic communities. **Environmental Science & Technology**, v. 57, n. 16, p. 6455–6464, Apr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07797?urlappend=%3Fref%3DPDF&jav=VoR&rel=cite-as>.

LIU, G. *et al.* Impacts of offshore wind power development on China's marine economy and environment: A study from 2006 to 2019. **Journal of Cleaner Production**, v. 423, n. 138618, Oct. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138618>.

MENDECKA, B.; LOMBARDI, L. Life cycle environmental impacts of wind energy technologies: A review of simplified models and harmonization of the results. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 111, p. 462 – 480, Sep. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.019>.

NYTTE, S.; NAVRUD, S.; ALFNES, F. Social acceptance of new floating offshore wind power: Do attitudes towards existing offshore industries matter? **Renewable Energy**, v. 230, n. 120855, Sep. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120855>.

OURO, P. *et al.* Environmental impacts from large-scale offshore renewable-energy deployment. **Environmental Research Letters**, v. 19, n. 6, p. 063001, May, 2024. DOI: 10.1088/1748-9326/ad4c7d.

PAGE, M. J. *et al.* A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. Traduzido por: GALVÃO, T. F.; TIGUMAN, G. M. B. Retrotraduzido por: SARKIS-ONOFRE, R. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 31, n. 2, e2022107, 2022. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742022000201700&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 20 set. 2024.

PAGE, M. J. *et al.* PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews **BMJ**, v. 372, n. 160, 2021a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.n160>.

PAGE, M. J. *et al.* PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews **BMJ**, v. 372, n. 160, 2021b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.n160>.

PIASECKA, I. *et al.* Life cycle analysis of ecological impacts of an offshore and a land-based wind power plant. **Applied Sciences**, v. 9, n. 231, p. 1 -15, Jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9020231>.

PINTO, M. O. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013. *E-book*. ISBN: 978-85-216-2160-7.

PIPE, Jim. **Energia eólica** - planeta saudável. São Paulo: Callis, 2016. *E-book*. ISBN-13: 978-8574168906.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 3. ed. Barueri: Editora Manole, 2019. *E-book*. ISBN 9788520456811.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. *E-book*. ISBN 978-65-86235-03-6. eISBN 978-65-86235-09-8.

SMYTHE, T.; BIDWELL, D.; TYLER, G. Optimistic with reservations: The impacts of the United States' first offshore wind farm on the recreational fishing experience. **Marine Policy**, v. 127, n. 104440, May, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104440>.

TANSKANEN, A. *et al.* Long-term impact on the breeding birds of a semi-offshore island-based wind farm in Åland, Northern Baltic Sea. **Ornis Svecica**, v. 32, p. 47–65, Nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.34080/os.v32.22331>.

VAICBERB, H.; VALIATT, G. L. de C.; QUEIROZ, M. F. de. Energia eólica offshore: um overview do cenário global e o contexto brasileiro. **Revista de Direito e Negócios Internacionais da Maritime Law Academy** - International Law and Business Review, v. 1, n. 1, p. 114 -143, Jan./Jun., 2021.

VIAN, Â. *et al.* **Energia eólica: fundamentos, tecnologia e aplicações**. 1. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2021. *E-book*. ISBN: 9786555500585.

YUAN, W. *et al.* Floating wind power in deep-sea area: Life cycle assessment of environmental impacts. **Advances in Applied Energy**, v. 9, n. 100122, Feb. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100122>.

APÊNDICE A – INFORMAÇÕES GERAIS DAS REFERÊNCIAS INCLUÍDAS NA REVISÃO SISTEMÁTICA E IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS POR REFERÊNCIA PARA DIFERENTES FASES DO PROJETO

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
C. Hattam; T. Hooper; E. Papathanasopoulou	A well-being framework for impact evaluation: The case of the UK offshore wind industry	2017	Marine Policy	Reino Unido	Meio físico		
					Meio biótico	Sobre estoques de peixes comerciais, sobre comunidades bentônicas, sobre espécies carismáticas	Instalação Operação Descomissionamento
					Meio socioeconômico	Influência na economia (contribuição ao produto interno bruto, geração de empregos diretos, indiretos e induzidos, investimentos na cadeia de suprimento e de suporte à inovação, investimentos em infraestrutura e tecnologia dentre outros)	Instalação Operação Descomissionamento
						Educação e habilidades (treinamentos dedicados, investimento em pesquisa e desenvolvimento)	
						Bem-estar pessoal (atitudes favoráveis e contrárias à energia eólica <i>offshore</i>)	
D. Depellegrin;	An integrated visual impact	2014		Lituânia	Meio físico	Alteração da paisagem	Instalação Operação

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
N. Blažauskas; L. Egarter-Vigl	assessment model for offshore windfarm development		Ocean & Coastal Management		Meio biótico		
					Meio socioeconômico		
L. Hammar; A. Wikström; S. Molander	Assessing ecological risks of offshore wind power on Kattegat cod	2014	Renewable energy	Suécia	Meio físico		
					Meio biótico	Interferência no habitat local de bacalhau	Instalação
					Meio socioeconômico		
S. Ahmed; T. Li; S. Li; R. Chen	Comparative life cycle impact assessment of offshore support vessels powered by alternative fuels for sustainable offshore wind operations using machine learning	2023	Journal of ocean engineering and science	China	Meio físico	Aquecimento global	Instalação Descomissionamento
						Eutrofização	
					Meio biótico	Ecotoxicidade	Instalação Descomissionamento
					Meio socioeconômico	Toxicidade humana	Instalação Descomissionamento
L. Ferraz de Paula; B. S. Carmo	Environmental Impact Assessment and	2022	Wind	Brasil	Meio físico		
					Meio biótico	Redução da diversidade biológica	Instalação Descomissionamento

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
	Life Cycle Assessment for a Deep Water Floating Offshore Wind Turbine on the Brazilian Continental Shelf					Hotspots biológicos (recifes artificiais)	
						Diminuição da fertilização e morte de larvas nos corais naturais	
						Interferência dos campos eletromagnéticos na cadeia alimentar	Operação
					Meio socioeconômico		
A. Abramic; V. Cordero-Penin; R. Haroun	Environmental impact assessment framework for offshore wind energy developments based on the marine Good Environmental Status	2022	Environmental Impact Assessment Review	Espanha	Meio físico	Eutrofização	Operação
					Meio biótico	Aumento da diversidade marinha (recifes artificiais)	Operação
						Interferência na distribuição e padrões de migração de aves, mamíferos e tartarugas marinhas	Instalação Operação Descomissionamento
						Risco de colisões de aves com turbinas	Operação
						Interferência em mamíferos marinhos e larvas de peixes devido à ruído subaquático	
						Aumento de biomassa de espécies bentônicas e pelágicas	

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
						Alterações nas teias alimentares e na dinâmica de ecossistemas	Instalação Operação Descomissionamento
					Meio socioeconômico		
P. Ouro; R. Fernandez; A. Armstrong; B. Brooks; R. R. Burton; A. Folkard; S. Ilic; B. Parkes; D. M. Schultz; T. Stallard; F. M. Watson	Environmental impacts from large-scale offshore renewable-energy deployment	2024	Environmental Research Letters	Reino Unido	Meio físico	Ressurgência e estratificação da coluna de água	Instalação Operação
						Eutrofização	Instalação
					Meio biótico	Interferência devido à vibração e ruído subaquático	Instalação Operação
						Perda de habitat (recifes artificiais)	Descomissionamento
					Meio socioeconômico		
A. Buchmayr; E. Verhofstadt; L. Van Ootegem; G. Thomassen; S.E. Taelman; J. Dewulf	Exploring the global and local sustainability of wind energy technologies: An application of a social impact assessment framework	2022	Applied Energy	Bélgica	Meio físico	Emissão de material particulado e óxidos de nitrogênio	Instalação
					Meio biótico		
					Meio socioeconômico	Interferência na saúde humana	Operação
						Riscos ocupacionais para trabalhadores	Instalação Operação
						Geração de empregos	

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
W. Yuan; J-C Feng; S. Zhang; L. Sun; Y. Cai; Z. Yang; S. Sheng	Floating wind power in deep-sea area: Life cycle assessment of environmental impacts	2023	Advances in Applied Energy	China	Meio físico	Destruição da Camada de Ozônio (ODP)	Instalação Operação
						Eutrofização marinha	Instalação
					Meio biótico		
					Meio socioeconômico	Fabricação de turbinas, flutuadores e cabos subaquáticos	Instalação
J. Chen; B. Mao; Y. Wu; D. Zhang; Y. Wei; A. Yu; L. Peng	Green development strategy of offshore wind farm in China guided by life cycle assessment	2023	Resources, Conservation & Recycling	China	Meio físico	Altas taxas de impacto ambiental	Instalação
						Esgotamento de recursos	
						Destruição da Camada de Ozônio	
						Eutrofização	Descomissionamento
					Meio biótico	Ecotoxicidade aquática de água doce	Instalação
					Meio socioeconômico	Toxicidade humana	Instalação
G. Liu; Z. Kong; W. Sun; J. Li; Z. Qi; C. Wu; C. Li	Impacts of offshore wind power development on China's marine economy and environment: A	2023	Journal of Cleaner Production	China	Meio físico		
					Meio biótico		
					Meio socioeconômico	Aumento do PIB	Operação
						Aumento da produção de pesca marinha	
						Diminuição na produção de petróleo bruto marinho e gás natural marinho	

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
	study from 2006 to 2019					Aumento na produção de mineração <i>offshore</i> , sal marinho e produtos químicos marinhos	
						Redução do turismo marítimo e transporte marítimo	
						Promoção do desenvolvimento da educação em ciências marinhas	Instalação Operação Descomissionamento
						Diminuição da produção de maricultura	Operação
N. Akhtar; B. Geyer; C. Schrum	Larger wind turbines as a solution to reduce environmental impacts	2024	Scientific Reports	Alemanha	Meio físico	Interferência atmosférica/temperatura local	Operação
					Meio biótico		
					Meio socioeconômico		
I. Piasecka; A. Tomporowski; J. Flizikowski; W. Kruszelnicka; R. Kasner; A. Mroziński	Life cycle analysis of ecological impacts of na offshore and a land-based wind power plant	2019	Applied Sciences	Polônia	Meio físico	Sobre produto e sobre objetos construídos (uso da terra, de combustíveis fósseis, de minerais)	
					Meio biótico	Sobre espécies vivas (acidificação, eutrofização, ecotoxicidade e outros)	

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
					Meio socioeconômico	Saúde humana (ecotoxicidade, uso da terra e outros)	
Y. Cao; Y. Meng; Z. Zhang; Q. Yang; Y. Li; C. Liu; S. Ba	Life cycle environmental analysis of offshore wind power: A case study of the large-scale offshore wind farm in China	2024	Renewable and Sustainable Energy Reviews	China	Meio físico	Ecotoxicidade da água	Instalação Operação
						Descarte e reciclagem	Descomissionamento
						Emissão de particulados	
						Exploração de recursos naturais	Instalação
					Meio biótico		
					Meio socioeconômico		
J. Chipindula; V. S. V. Botlaguduru; H. Du; R. R. Kommalapati; Z. Huque	Life Cycle Environmental Impact of Onshore and Offshore Wind Farms in Texas	2018	Sustainability	EUA	Meio físico	Emissão de GEE	Instalação Operação
						Alto tempo de retorno para CO ₂ e energia	
					Meio biótico		
					Meio socioeconômico	Consumo elevado de eletricidade para processos fabris	Instalação
B. Mendecka; L. Lombardi	Life cycle environmental impacts of wind energy	2019	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Itália	Meio físico	Potencial de aquecimento global	Instalação
						Potencial de acidificação	
						Eutrofização	Instalação
					Meio biótico		

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
	technologies: A review of simplified models and harmonization of the results						Operação
					Meio socioeconômico	Alta demanda cumulativa de energia	Instalação
A. Tanskanen; R. Yrjölä; J. Oja; R. Aalto; S. Tanskanen	Long-term impact on the breeding birds of a semi-offshore island-based wind farm in Åland, Northern Baltic Sea	2022	Ornis Svecica	Suécia	Meio físico		
					Meio biótico	Diversidade de espécies aviárias	Operação
					Meio socioeconômico		
L. V. De Luca Penã; S. E. Taelman; B. Bas; J. Staes; J. Mertens; J. Clavreul; N. Prémat; J. Dewulf	Monetized (socio-)environmental handprint and footprint of an offshore windfarm in the Belgian Continental Shelf: An assessment of local, regional	2024	Applied Energy	Bélgica	Meio físico	Interferência em área de proteção	Instalação
					Meio biótico		
					Meio socioeconômico	Interferência na saúde e bem-estar humano	Instalação Operação

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
	and global impacts						
C. Li; J. W. P. Coolen; L. Scherer; J. M. Mogollón; U. Braeckman; J. Vanaverbeke; A. Tukker; B. Steubing	Offshore Wind Energy and Marine Biodiversity in the North Sea: Life Cycle Impact Assessment for Benthic Communities	2023	Environmental Science & Technology	Holanda	Meio físico	Mudanças nos fatores de caracterização (CFs)	Operação
					Meio biótico	Redução da biodiversidade bentônica	Operação
						Recifes artificiais	Instalação Operação
					Meio socioeconômico	Aumento das áreas afetadas pela prevenção da pesca de arrasto	Operação
T. Smythe; D. Bidwell; G. Tyler	Optimistic with reservations: The impacts of the United States' first offshore wind farm on the recreational fishing experience	2021	Marine Policy	EUA	Meio físico	Aceitação em relação à aparência das turbinas	Operação
						Efeito negativo na beleza natural	
					Meio biótico	Abundância e distribuição de espécies	Operação
					Meio socioeconômico	Interferência na segurança da navegação e tráfego de barcos	Operação
						Aglomeração relacionada à pesca	
D. Bush; P. Hoagland	Public opinion and the environmental,	2016	Ocean & Coastal Management	EUA	Meio físico	Efeitos na beleza natural	Instalação Operação
					Meio biótico	Interferência na fauna marinha	Instalação Operação

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
	economic and aesthetic impacts of offshore wind					Interferência nas espécies aviárias	Operação
					Meio socioeconômico	Aumento do preço de imóveis	Operação
						Mudança na percepção da região	Instalação Operação
S. Nytte; S. Navrud; F. Alfnes	Social acceptance of new floating offshore wind power: Do attitudes towards existing offshore industries matter?	2024	Renewable energy	Noruega	Meio físico		
					Meio biótico		
					Meio socioeconômico	Apoio populacional em função de novos projetos	Instalação
						Relação diretamente inversa idade-aceitação de novas tecnologias de energia	
						Relação direta educação-aceitação de novas tecnologias de energia	
H-J Kim; J-H Kim; S-H Yoo	Social acceptance of offshore wind energy development in South Korea: Results from a choice experiment survey	2019	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Coréia do Sul	Meio físico	Relação com a distância da terra	Operação
						Relação com o tamanho do parque eólico <i>offshore</i>	
						Relação com a altura da turbina eólica <i>offshore</i>	
					Meio biótico		
					Meio socioeconômico	Relação com a vida marinha e percepção de custos	Operação

Autores	Título	Ano de publicação	Periódico	País	Impacto ambientais		Fase do projeto
T. Börger; T. L. Hooper; M. C. Austen	Valuation of ecological and amenity impacts of an offshore windfarm as a factor in marine planning	2015	Environmental Science & Policy	Reino Unido	Meio físico	Prevenção de campo eletromagnético	Operação
					Meio biótico	Aumento da diversidade de espécies	Operação
						Potencial como Áreas Marinhas Protegidas	
					Meio socioeconômico	Efeitos das mudanças ecológicas no bem-estar humano	Operação