

# AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE EÓLICAS *OFFSHORE* NO BRASIL

Roberta Mota Cavalcanti de Albuquerque Cox<sup>1</sup>

Jorge Madeira Nogueira<sup>2</sup>

A transição energética é uma realidade mundial. No Brasil, o mercado já sinaliza interesse em investir em eólicas *offshore*, conforme pode ser observado por meio dos processos de licenciamento ambiental em andamento no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Este artigo realiza uma avaliação de impactos ambientais (AIA) para esta tipologia na costa brasileira. Para tanto listaram-se as atividades de um complexo eólico *offshore* para as fases de planejamento, instalação e operação do empreendimento. A partir desse levantamento, faz-se a correlação com os impactos ambientais identificados na realização de atividades semelhantes já promovidas pela indústria *offshore* do Brasil (portos, exploração e produção de petróleo e gás). Por fim, comparam-se os resultados encontrados com impactos ambientais já relatados em empreendimentos deste tipo implementados no mar do Norte, no Reino Unido. Os resultados da análise indicam que, apesar do desenvolvimento de conhecimento significativo sobre a AIA de projetos de eólicas *offshore*, ainda há lacunas a serem preenchidas na consolidação de um eficaz procedimento para a mensuração do impacto desses empreendimentos.

**Palavras-chave:** eólicas *offshore* no Brasil; impactos ambientais de eólicas *offshore*; energia eólica; energias renováveis; licenciamento ambiental *offshore*; transição energética.

## IMPACT ASSESSMENT OF OFFSHORE WIND POWER IN BRAZIL

The energy transition is a global reality. In Brazil, the market is already signaling interest in investing in offshore wind, as can be seen from the environmental licensing processes underway at the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (Ibama). This article carries out an environmental impact assessment (EIA) for this typology on the Brazilian coast. To this end, the activities of an offshore wind farm were listed for the planning, installation and operation phases of the project. Based on this information, a correlation is made with the environmental impacts identified when carrying out similar activities already carried out by the Brazilian offshore industry (ports, oil and gas exploration and production). Finally, these results are compared with environmental impacts already reported in projects of this type already implemented in the North Sea, United Kingdom. The results of the analysis indicate that, despite the development of significant knowledge about EIA of offshore wind projects, there are still gaps to fill in the consolidation of an effective procedure for assessing the environmental impacts of these projects.

**Keywords:** offshore wind in Brazil; environment impacts of offshore wind; wind energy; renewable energy; offshore environmental licensing; energy transition.

---

1. Mestranda no Departamento de Economia da Universidade de Brasília (UnB). Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-6748-4008>.  
E-mail: [robertamotacox@gmail.com](mailto:robertamotacox@gmail.com).

2. Professor titular no Departamento de Economia da UnB. Orcid: <https://orcid.org/0000.0002-3772-7145>.  
E-mail: [jmn0702@gmail.com](mailto:jmn0702@gmail.com).

## EVALUACIÓN DE IMPACTO DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA EN BRASIL

La transición energética es una realidad global. En Brasil, el mercado ya está mostrando interés en invertir en parques eólicos marinos, véanse los procesos de licencia ambiental en curso en el Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables (Ibama). Este artículo realiza una evaluación de impacto ambiental (EIA) para esta tipología en la costa brasileña. Para ello, se enumeraron las actividades de un complejo eólico marino para las fases de planificación, instalación y operación del proyecto. A partir de este levantamiento, se hace una correlación con los impactos ambientales identificados en la realización de actividades similares ya promovidas por la industria offshore brasileña (puertos, exploración y producción de petróleo y gas). Por último, se comparan los resultados obtenidos con los impactos ambientales ya registrados en proyectos de este tipo en el Mar del Norte, Reino Unido. Los resultados del análisis indican que, a pesar del desarrollo de un importante conocimiento sobre la EIA de proyectos eólicos marinos, aún quedan brechas por cubrir en la consolidación de un procedimiento eficaz para evaluar los impactos ambientales de estos proyectos.

**Palabras clave:** parques eólicos marinos en Brasil; impactos ambientales de la energía eólica marina; energía eólica; energías renovables; licencias ambientales costa afuera; transición energética.

JEL: Q58.

DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/rtm32art10>

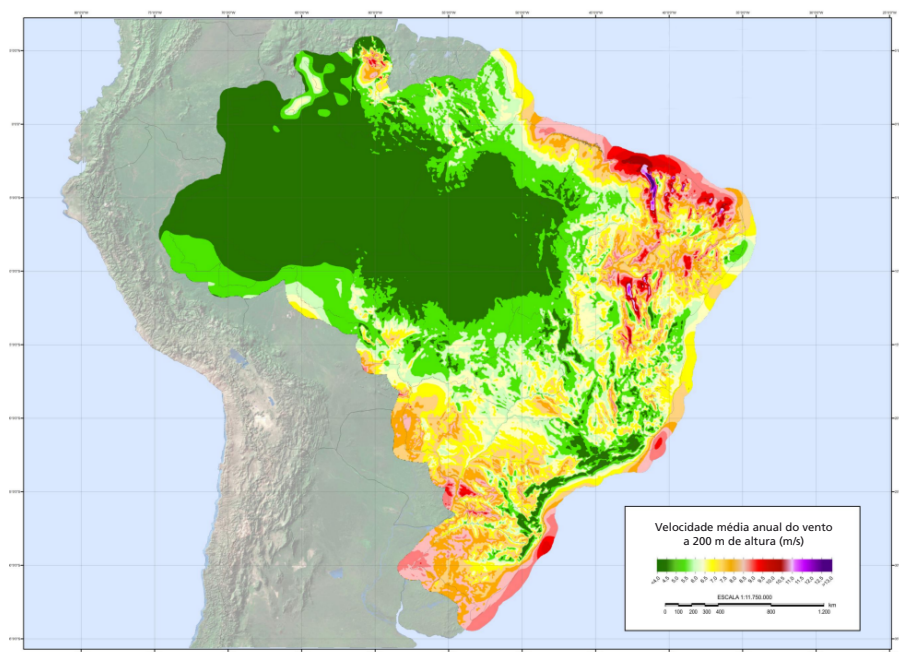
Data de envío do artigo: 24/8/2023. Data de aceite: 22/12/2023.

### 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm levado países de todo o mundo a adotarem políticas e estratégias para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e diminuir o consumo de combustíveis fósseis, investindo em energias renováveis, como eólicas *onshore* e *offshore* (Barbosa, 2019). Para Kirchgeorg *et al.* (2018), as metas ambiciosas de transição energética de vários países aumentarão o número de complexos eólicos *offshore* (CEOs) pelo mundo.

No Brasil, a matriz elétrica é composta por 85% de fontes renováveis, sendo a hidrelétrica a fonte principal, seguida de eólica e solar. De acordo com o Boletim Mensal de Energia Eólica da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), o país possuía uma capacidade instalada de energia eólica de aproximadamente 24,13 gigawatts (GWs) em janeiro de 2023. A vocação brasileira para a tipologia eólica *offshore* diante da demanda mundial constitui um grande motivador para o Brasil investir. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) apresentou no *Roadmap de Energia Eólica Offshore no Brasil* um potencial de 697 GWs para eólicas *offshore* no Brasil, a uma altura de cem e profundidade de até cinquenta metros (EPE, 2020). A título de comparação, a potência instalada no Brasil em 2022 é da monta de 189 GWs (EPE, 2023). O mapa 1 exhibe as regiões mais favoráveis para esse tipo de empreendimento, conforme o *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro* para a altura de duzentos metros (Cepel, 2017).

MAPA 1  
Potencial eólico brasileiro



Fonte: Cepel, 2017.

Apesar de se tratar de uma energia renovável, é preciso licenciamento para evitar, mitigar e compensar os impactos ambientais das eólicas *offshore*. Impactos ambientais sempre existirão em grandes obras de infraestrutura. Bim (2021) pontua que não existe impacto zero, poluição zero ou mesmo danos ambientais completamente mitigáveis. O autor reforça que não há atividade humana sem impacto ambiental. As boas práticas de gerenciamento de impactos buscam primeiramente evitá-los, depois minimizá-los, repará-los e, por fim, compensá-los.

Macleán *et al.* (2014) ponderam que, uma vez que se está buscando menor dano ambiental ao gerar energia de baixo carbono com as eólicas *offshore*, é coerente e necessário diagnosticar os seus potenciais impactos no meio marinho. As eólicas *offshore*, ainda que sejam uma fonte relativamente nova, vêm recebendo um intenso esforço analítico para a identificação de seus impactos ambientais, acumulando uma base de dados de monitoramento para validá-los e quantificá-los, inclusive sob a perspectiva dos impactos cumulativos (Schuster, Bulling e Köppel, 2015).

A avaliação de impacto ambiental (AIA) fornece subsídios para a tomada de decisão do licenciamento. Neste artigo realizamos uma análise detalhada de quais são os potenciais impactos ambientais causados pelo planejamento, instalação e

operação de CEOs na costa brasileira, considerando as particularidades de seu ecossistema.

## 2 AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

A AIA é um instrumento de extrema importância na fase de planejamento de um empreendimento, sendo considerado um elemento-chave para a análise de viabilidade ambiental e econômica (Ganem, 2019).

Técnicas de AIA têm sido desenvolvidas para aferir os impactos de decisões socioeconômicas sobre o meio ambiente há mais de cinquenta anos (Munasinghe, 1996). Diversas são as metodologias para desenvolver uma AIA, incluindo: *ad hoc*, método *checklist*, matrizes de interação, redes de interações, superposição de cartas, modelos de simulação, metodologias quantitativas, entre outras (Braga *et al.*, 2021).

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) desenvolveu uma metodologia de AIA visando garantir que as medidas mitigadoras tenham relação direta e proporcional aos impactos causados pelos respectivos empreendimentos. Denominada relação causal, a metodologia está sendo divulgada em guias de licenciamento ambiental. A ferramenta identifica as atividades referentes à tipologia do empreendimento, extrai os aspectos ambientais associados e, então, os impactos ambientais potencialmente gerados para todas as fases do empreendimento – isto é, planejamento, instalação, operação e desmobilização (Ibama, 2020, p. 49).

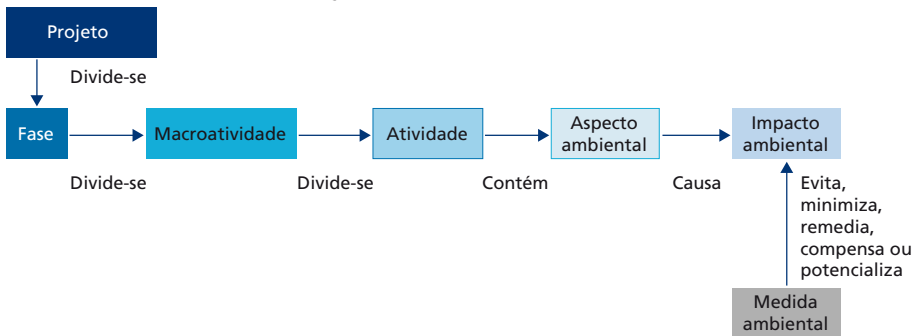
A organização de cadeias de causalidade visa qualificar a gestão de informações em AIA. É pressuposto básico da metodologia que “o estabelecimento da relação entre atividades, aspectos e impactos permite a clara definição acerca de quais serão os efeitos causados por cada atividade, ao longo de toda a vida do empreendimento” (Ibama, 2016, p. 50). Como resultado, “a capacidade analítica ampliada e facilitada do sistema de relação causal possibilita maior celeridade, acuidade e diminui o nível de discricionariedade nos processos de análise e tomada de decisão” (*op. cit.*).

É relevante sublinhar mais uma vez que o objetivo é explicitar as cadeias causais, para que essas “sirvam como listas de verificação, para orientar a estrutura de apresentação da análise de impactos, devendo ser realizada adequação conforme as especificidades de cada empreendimento, não substituindo, portanto, a necessidade de elaboração dos estudos ambientais e, sim, auxiliando na sua elaboração” (Ibama, 2016, p. 50). Isso ficará claro adiante, ao abordarmos uma relação causal para a tipologia de eólicas *offshore*, de forma preliminar e não exaustiva, uma vez que ainda não existe tal tipologia estabelecida no Brasil. Ademais, a elaboração aqui apresentada não foi realizada por uma equipe multidisciplinar e nesta a relação causal formulada limitou-se até a identificação de *impactos ambientais*.

### 3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Elaborou-se uma AIA utilizando-se a metodologia do Ibama, que, como já mencionado, é baseada em uma relação causal entre as características do empreendimento e os impactos ambientais associados. A figura 1 apresenta o modelo conceitual no qual a relação causal e as respectivas medidas ambientais foram construídas. No modelo é possível verificar todos os elementos que compõem uma relação causal completa. Reiteramos que, neste trabalho, desenvolvemos as etapas ilustradas na figura 1 apenas até o item *impacto ambiental*, para as três fases do empreendimento, conforme pode ser observado a seguir.

FIGURA 1  
Modelo conceitual da relação causal



Fonte: Ibama, 2020.

A relação causal foi elaborada listando-se as atividades necessárias para cada fase do empreendimento, ou seja, planejamento, instalação e operação de um parque eólico *offshore*. Preencheu-se um formulário semelhante ao disposto no quadro 1, começando por *macroatividade* e *atividade* da relação causal. Para tanto, recorreu-se a estudos e guias de eólicas *offshore*, tendo-se utilizado principalmente as obras de BVG Associates Limited (2019) e Asgarpour (2016), além do estudo ambiental de 2019 referente à planta-piloto de eólicas *offshore* da Petrobras (Petrobras, 2019) e o manual de Steven Degraer (Degraer *et al.*, 2018).

Em seguida, correlacionou-se cada uma das atividades com seus aspectos correspondentes e com os impactos ambientais. As informações sobre a quais danos ambientais cada atividade estaria relacionada foram obtidas por meio das relações causais das tipologias de portos e de exploração e produção de petróleo e gás, do Ibama (2021; 2023).

## QUADRO 1

## Modelo de relação causal utilizada neste estudo

Fase de planejamento			
Macroatividade	Atividades	Aspectos	Impactos
...	...	...	...

Elaboração dos autores.

## 4 AIA DE UM COMPLEXO EÓLICO *OFFSHORE* NA COSTA BRASILEIRA

### 4.1 Caracterização das atividades de um complexo eólico *offshore*

Atividade consiste em toda ação necessária ao planejamento, instalação, operação e desativação de um empreendimento, e implica a necessidade de se dispor de recursos físicos, humanos e financeiros para a sua execução (Ibama, 2016).

#### 4.1.1 Planejamento

Na fase de planejamento as atividades consistem na execução de estudos preliminares e na divulgação do empreendimento. Os impactos relacionados a tais atividades podem ser listados como: especulação imobiliária; aumento do custo de vida local; dinamização do setor de serviços e comércio; aumento do conhecimento técnico e científico; além de perda de indivíduos da flora e da fauna; e otimização do projeto (Ibama, 2021).

Devido às difíceis condições ambientais marítimas, a instalação de CEOs está associada a altos riscos e custos (Asgarpour, 2016). As previsões meteorológicas são necessárias para o planejamento de curto prazo de atividades *offshore* e quanto mais próxima a previsão é da atividade, mais confiável ela se torna. Os principais parâmetros metaoceânicos que afetam as atividades de instalação e comissionamento são a velocidade do vento, a altura da onda e a corrente. As previsões são usadas para planejar atividades com base nas janelas meteorológicas disponíveis (BVG Associates Limited, 2019).

Previamente à instalação, deve-se realizar a inspeção do leito marinho para a elaboração de um plano de ancoragem das embarcações, mostrando os locais isentos de vida marinha possíveis de se ancorar. Os fundeios das embarcações também devem se embasar em um plano de ancoragem contendo uma sequência operacional de posicionamento e um conjunto completo de desenhos indicadores das posições das âncoras, dos cabos de ancoragem e das pernas, no caso de barcas de elevação, durante todas as etapas da instalação. Para cada posicionamento deverá ser demonstrada a segurança da operação, respeitando-se as formações naturais sensíveis e as estruturas artificiais indicadas pela inspeção preliminar, onde não será permitido o fundeio (Petrobras, 2019).

Não há um planejamento ótimo de instalação que se aplique a todos os CEOs, pois a estratégia depende do tamanho do parque, da distância até a costa, da profundidade da água e das condições climáticas. Entretanto, o planejamento e a estratégia de instalação são importantes para minimizar os custos, riscos e impactos. Não tem sido dada uma atenção adequada ao planejamento e à otimização da instalação de CEOs, e apenas um número limitado de ferramentas de planejamento e otimização está disponível para uso público. Uma solução que poderia ser considerada é a utilização de um porto flutuante *offshore*, que reduziria as horas de operação de barcas, o tempo de instalação e os custos (Asgarpour, 2016).

#### 4.1.2 Instalação

##### *Logística para a instalação offshore*

A logística *offshore* envolve a coordenação e o suporte de atividades de instalação e comissionamento *offshore*, abrangendo todo o trabalho necessário para garantir que a construção decorra sem problemas, com segurança e dentro do prazo. Embarcações especializadas são usadas para a transferência da tripulação para o complexo eólico, para tarefas de instalação e comissionamento. A coordenação marítima é necessária para gerenciar o tráfego e a atividade de vários navios em um canteiro de obras *offshore* (BVG Associates Limited, 2019).

Asgarpour (2016) resume que a etapa de instalação dos CEOs começa quando a embarcação de instalação com fundações chega ao local do complexo e termina quando as embarcações de instalação de cabos conectam a subestação *offshore* à subestação *onshore* por meio de cabos de exportação. A instalação de parques eólicos *offshore* pode ser categorizada em quatro etapas, conforme a seguir descrito.

- 1) Instalação das fundações.
- 2) Instalação das turbinas (torre, nacelle e rotor).
- 3) Instalação das subestações (subestação *offshore* e *onshore*).
- 4) Instalação de cabos (cabos de matriz e cabos de exportação).

Para todas as etapas de instalação, necessita-se de transporte marítimo. Como salientado anteriormente, é importante que seja realizado um plano de ancoragem com levantamento do leito marinho (Petrobras, 2019). As fundações e subestações *offshore* podem ser transportadas diretamente do fabricante para o local do parque eólico. No entanto, os componentes das turbinas eólicas são geralmente transportados para o local de montagem *onshore* no porto e, em seguida, carregados em embarcações de instalação. Diferentes embarcações podem ser utilizadas na instalação de fundações, subestação *offshore* e turbinas, como:

embarcação flutuante estabilizada com linhas de ancoragem; embarcação flutuante equipada com guindaste; e barça de *jack-up* (Asgarpour, 2016).

Após a mobilização do navio de instalação e carregamento dos componentes para o convés, o navio segue para o local do parque eólico. Deve-se notar que a navegação até a região do parque eólico só pode ocorrer quando as condições climáticas no local do CEO forem apropriadas para a próxima etapa de instalação. Caso contrário, a embarcação aguardará no porto por condições climáticas adequadas, mas a taxa diária da embarcação ainda deve ser paga. Esse atraso é normalmente conhecido como atraso do tempo e, para os complexos, pode representar um risco significativo para o projeto. Portanto, é aconselhável que seja realizado um bom planejamento da data de início de instalação, com base nos dados meteorológicos históricos (Asgarpour, 2016).

#### *Instalação das fundações*

Diferentes estratégias e navios podem ser adotados a depender do tipo de fundação. Para fundações do tipo *monopile*, os métodos comuns de instalação são o estaqueamento utilizando um martelo hidráulico ou perfuração com estacas. É preciso uma primeira camada de proteção contra erosão por *rock dumping* (Asgarpour, 2016). *Jaquetas* e *tripés* podem ter instalação semelhante à do *monopile*. Outro método comumente utilizado na fundação da jaqueta é a perfuração. Devido a condições estruturais específicas do leito marinho pode ser necessário realizar a perfuração. Neste caso, o ruído é menos impactante e uma lama de perfuração é gerada. As *fundações baseadas em gravidade*, após o preparo do fundo do mar, são posicionadas no local certo e afundadas pelo influxo de água. Em seguida, a base da fundação é preenchida com lastro para ancoragem (*op. cit.*).

#### *Instalação das turbinas*

A instalação da turbina envolve o transporte e instalação de seus componentes – a torre, a nacelle, o cubo e as pás – na fundação. Normalmente, a torre da turbina é pré-montada em terra e transportada com a nacelle e as pás para a montagem final em alto-mar (BVG Associates Limited, 2019). A embarcação de instalação transporta os componentes da turbina para o local e suporta a montagem da turbina na fundação (*op. cit.*). Os métodos de instalação variam.

A instalação de uma turbina desde o posicionamento do navio no local até a partida leva cerca de 24 horas, de acordo com a localização e as condições climáticas. O tempo de ciclo é entre 1,5 e 4 dias, dependendo do projeto, abrangendo as etapas de mobilização, desmobilização, carregamento e espera. Uma restrição durante o transporte e a instalação é o limite de aceleração definido pelo fornecedor da turbina para evitar danos a essas estruturas e invalidação das garantias (BVG Associates Limited, 2019).



### *Instalação das subestações*

Para conectar os geradores de turbinas eólicas a uma rede, é preciso contar com uma infraestrutura elétrica adequada. Se um parque eólico *offshore* estiver localizado perto da costa, uma subestação *onshore* é suficiente. No entanto, se o parque eólico estiver distante da costa são necessárias subestações *onshore* e *offshore* (Asgarpour, 2016). Na subestação *offshore* a fundação é implantada primeiro. Em seguida, a embarcação de instalação realiza o transporte e a elevação da subestação *offshore*, a fim de posicioná-la e instalá-la no topo da fundação pré-instalada (BVG Associates Limited, 2019).

Quatro tipos principais de embarcação podem ser usados: navio-guindaste; barça Sheerleg; embarcação de levantamento pesado; e navio semissubmersível (BVG Associates Limited, 2019).

### *Instalação de cabos*

O último passo da instalação de parques eólicos *offshore* é a instalação de cabos. Dependendo do tamanho e da localização do parque eólico, os cabos que conectam a potência de saída das turbinas são conectados a um ou dois barramentos de subestação *offshore*. Em seguida, usando cabos de exportação, a eletricidade de alta voltagem produzida pelo parque eólico *offshore* é transferida para a subestação terrestre e, a partir de então, para a rede elétrica local. As rotas de cabo de matriz e exportação são planejadas de forma a encurtar o comprimento total do cabo e seguir todas as leis ambientais e restrições marítimas (Asgarpour, 2016).

Existem diferentes estratégias para a instalação de cabos, envolvendo um ou dois navios. A abordagem escolhida depende das condições do leito marinho e dos equipamentos disponíveis. Entretanto, os mesmos navios podem ser usados para a instalação de cabos de exportação e de cabos de matriz, embora os navios de colocação de cabos de exportação normalmente tenham carrosséis maiores para acomodar cabos mais longos. As embarcações podem precisar de um calado raso para instalar os cabos em águas rasas (BVG Associates Limited, 2019).

Uma campanha de inspeção do leito marinho (*pre-lay survey*) deve ser realizada em etapa anterior ao lançamento do cabo submarino, visando garantir a não interferência da rota do cabo em formações naturais sensíveis ou em estruturas artificiais preexistentes, como bancos carbonáticos, desníveis de terreno, dutos etc. (Petrobras, 2019).

Nas próximas subseções, as instalações de cabos matrizes, que conectam as turbinas eólicas à subestação *offshore*, e os cabos de exportação, que fazem a conexão entre as subestações *offshore* e *onshore*, serão caracterizadas separadamente.

### *Instalação de cabos de matriz*

Os cabos de matriz são linhas de cabos que conectam várias turbinas a uma subestação *offshore*. A instalação do cabo de matriz começa com o acionamento da primeira extremidade na subestação – os *pull-ins* subsequentes da primeira extremidade são feitos em cada turbina. Cabos de matriz são geralmente instalados em um arranjo de aranha com uma série de cadeias de turbinas conectadas à subestação ou em uma série de *loops* – cordas conectadas longe da subestação (BVG Associates Limited, 2019).

Se uma base *monopile* for usada, os cabos da matriz são puxados por meio de tubos J e, em seguida, são conectados aos cabos da turbina eólica no fundo da torre. Depois de puxar o cabo, uma segunda camada de proteção contra a erosão por despejo de rocha deve ser aplicada ao redor da fundação (Asgarpour, 2016).

Os cabos do conjunto devem ser colocados a um ou a dois metros sob o fundo do mar, no espaço entre as turbinas eólicas. A última turbina em linha é conectada à subestação *offshore*. Esta operação deve ser feita para cada linha de turbinas conectadas (Asgarpour, 2016). Para a BVG Associates Limited (2019), a profundidade de enterramento do cabo deve ser de um a quatro metros abaixo do leito do mar para garantir sua integridade em longo prazo e para evitar danos, por exemplo, por embarcações de pesca, âncoras de navios ou movimento do fundo do mar.

A colocação do cabo e seu enterro simultâneos podem ser feitos com uma variedade de ferramentas ou ainda pode-se realizar o enterramento em um momento posterior (pós-leito). Se o primeiro método é escolhido, um arado de cabos é usado durante o assentamento, para criar uma vala na qual o cabo cai e é imediatamente enterrado. No caso de um enterro pós-leito, a embarcação se moverá ao longo do cabo disposto, usando um veículo subaquático operado remotamente (*remotely operated vehicle* – ROV) para a abertura de valas e um injetor vertical ou um *jetting sled* para fluidificar o sedimento e permitir que o cabo seja enterrado (BVG Associates Limited, 2019).

### *Instalação de cabos de exportação*

Depois de conectar os cabos do arranjo às subestações *offshore* usando transformadores, eleva-se a tensão para a transmissão. Os cabos de corrente alternada ou de corrente contínua de alta tensão de exportação conectam as subestações *offshore* a uma subestação em terra (Asgarpour, 2016).

A instalação do cabo de exportação começa com o *pull-in* da praia. Durante esse período, o navio de cabos é ancorado no mar e o cabo, guinchado em flutuadores ou por meio de um duto pré-montado até a cava de transição terrestre, onde eventualmente será acoplado ao cabo em terra. Dependendo do local de

aterriçagem, alguns projetos exigem perfuração direcional horizontal. Em outros casos, o cabo pode ser transferido para uma barcaça ou para um veículo anfíbio que o levará até a costa (BVG Associates Limited, 2019).

Já a instalação da parte terrestre pode ser realizada usando trincheiras abertas, normalmente com cerca de um metro de largura e até 1 mil metros de comprimento (dependendo do cabo) ou colocando dutos nas valas e cobrindo-as mais rapidamente. Com dutos o cabo é puxado em um período posterior. Esta opção permite que a escavação, a instalação do duto e o preenchimento sejam concluídos em seções de até 120 metros em um dia. Isso minimiza a quantidade de escavação deixada aberta fora do horário de trabalho, o que pode ajudar a reduzir as preocupações ambientais e de segurança. Da mesma forma, é tomado cuidado para diminuir o impacto sobre espécies ameaçadas de extinção, o que pode exigir monitoramento ambiental especializado e/ou mitigação (BVG Associates Limited, 2019).

Normalmente, os cabos próximos à costa devem ser enterrados mais profundamente do que os longe da costa. Após a instalação dos cabos de exportação, os testes de pré-comissionamento podem ser realizados e, em seguida, o parque eólico *offshore* pode ser comissionado (Asgarpour, 2016).

#### *Ensaio, terminação elétrica e comissionamento*

O teste elétrico é projetado para testar e comprovar a integridade do cabo, enquanto a terminação permite a conexão elétrica entre o cabo *offshore* e a turbina eólica, a subestação ou os cabos em terra (BVG Associates Limited, 2019). Após a instalação, o comissionamento é o processo de concluir com segurança a montagem mecânica e elétrica, colocando todos os sistemas para funcionar antes da entrega (*op. cit.*).

## **4.2 Relação causal**

A cadeia causal de impactos representada no quadro 2 é um exercício de prognóstico de como esta nova tipologia de empreendimento de geração de energia poderá impactar nossos ecossistemas costeiros. Causon e Gill (2018) destacam que evidências empíricas são necessárias para avaliar a escala dos efeitos dos CEOs sobre a biodiversidade. O Ibama publicou relações causais em guias de AIA para atividades portuárias e atividades de exploração e produção de petróleo e gás, listando diversos aspectos ambientais e impactos empíricos. Com essas informações, acrescidas de impactos obtidos na pesquisa bibliográfica, elaborou-se o quadro 2 com as macroatividades e as atividades executadas nas fases de planejamento, instalação e operação de um complexo eólico *offshore*, em suas colunas da esquerda. A partir das atividades listadas, faz-se a correlação com os aspectos e impactos ambientais identificados na realização de atividades semelhantes já promovidas

pela indústria *offshore* no mar brasileiro (portos, exploração e produção de petróleo e gás) e com os demais impactos levantados na pesquisa bibliográfica.

## QUADRO 2

### Relação causal de impactos ambientais de eólicas *offshore* no Brasil

#### 2A – Fase de planejamento

Macroatividade	Atividades	Aspectos	Impactos
Elaboração do termo de referência e estudos ambientais	Elaboração do termo de referência	Mobilização da sociedade civil e de instituições intervenientes	Aumento da participação social.
	Elaboração dos estudos	Geração de informação	Aumento do conhecimento técnico-científico.
	Disponibilização e circulação de informações	Geração de expectativa	Especulação imobiliária; aumento do custo de vida local; dinamização do setor de serviços comerciais; e aumento ou surgimento de cursos profissionalizantes. Mobilização da sociedade civil e de instituições intervenientes – aumento da participação social.

#### 2B – Fase de instalação

Macroatividade	Atividades	Aspectos	Impactos
Apoio à instalação	Mobilização de mão de obra	Geração de empregos	Dinamização da economia local e absorção da mão de obra.
		Deslocamento rotineiro dos trabalhadores	Pressão sobre a estrutura rodoviária e portuária e sobrecarga na infraestrutura e nos serviços públicos.
	Demanda por bens, insumos e serviços	Dinamização da economia	Aumento da arrecadação tributária e sobrecarga na infraestrutura e nos serviços públicos.
		Transporte marítimo de bens e insumos	Aumento da pressão sobre o tráfego marítimo; aumento da ocorrência de acidentes; conflitos nos acessos à atracação, carga e descarga; e aumento da demanda por território costeiro.
		Transporte terrestre de bens e insumos	Atropelamento de fauna; afugentamento de fauna; destruição de ninhos na faixa de areia; aumento de acidentes rodoviários; incômodo à população local; deterioração das vias; e deterioração da qualidade do ar.
		Geração de emprego indireto	Dinamização da economia local; descaracterização dos meios de vida tradicionais; perda da identidade cultural das comunidades locais; e absorção da mão de obra local.
		Circulação ou tráfego de veículos pesados para transporte de megaestruturas	Pressão sobre a estrutura rodoviária e portuária; demanda por escolta e plano de trafegabilidade por rodovias; e alteração do tráfego.
		Operação e movimentação de embarcações de apoio	Geração de efluentes oleosos
	Geração de efluentes oleosos, águas servidas e resíduos sólidos		Atração da comunidade pelágica e deterioração da qualidade da água.

(Continua)

(Continuação)

Macroatividade	Atividades	Aspectos	Impactos
Apoio à instalação	Operação e movimentação de embarcações de apoio	Geração de resíduos sólidos e oleosos	Pressão sobre a infraestrutura de disposição final de resíduos e pressão sobre a infraestrutura portuária e rodoviária.
		Ocupação do espaço marítimo pela presença e tráfego de embarcações	Interferência nas atividades pesqueiras; abalroamento accidental de embarcações ou petrechos de pesca; abalroamento accidental de mamíferos e quelônios; e alteração do comportamento da biota.
		Emissões atmosféricas	Poluição do ar e contribuição para o efeito estufa.
		Introdução e dispersão de espécies exóticas	Redução das populações de espécies nativas.
		Derramamento accidental ou vazamento de substâncias contaminantes	Deterioração da qualidade da água.
		Atração da avifauna	Estresse ou morte de indivíduos, aumento do risco operacional e de zoonoses.
	Instalação e operação das bases de apoio – construção e operação das estruturas administrativas (alojamento, refeitório sanitário, cozinha etc.)	Geração de resíduos sólidos	Atração da fauna sinantrópica; deterioração da qualidade das águas e do solo; perda de beleza cênica; incômodo à população local; aumento de incidência de doenças; e perda de valor venal de imóveis.
		Geração de efluentes	Deterioração da qualidade do corpo hídrico receptor; bioacumulação de contaminantes; deterioração da qualidade do solo; desequilíbrio da estrutura de comunidades aquáticas e funções ecossistêmicas; alteração do comportamento da biota; perda de indivíduos da biota aquática; perda de balneabilidade; perda de áreas de pesca; aumento da incidência de doenças; incômodo à população local; aumento da disponibilidade de nutrientes; aumento da turbidez; disponibilização de contaminantes; e desaquecimento do turismo.
		Geração de ruídos	Incômodo à população local e afugentamento de fauna.
		Estocagem de materiais e insumos	Risco associado à estocagem de produtos perigosos.
		Alteração do consumo de água	Redução da oferta de água e aumento da pressão sobre os usos múltiplos.
	Operação da área de montagem <i>onshore</i>	Utilização de área para armazenamento de material e montagem de estruturas	Pressão sobre a infraestrutura portuária e rodoviária e sobrecarga na infraestrutura e nos serviços públicos (matriz da produção).
	Instalação das estruturas <i>offshore</i> e sistemas submarinos	Deslocamento das estruturas	Deslocamento das estruturas
Estaqueamento das fundações		Geração de ruído	Alteração de comportamento de fauna, estresse na comunidade pelágica e estresse sobre mamíferos aquáticos.
Fixação das estruturas das turbinas e lançamento dos equipamentos submarinos		Choque mecânico, arrasto da âncora e atrito da corrente	Perda de hábitat e morte de indivíduos bentônicos; e danos a comunidades de recifes de algas calcáreas e/ou corais, ao banco de moluscos, algas e plantas aquáticas.
		Ressuspensão do sedimento	Diminuição da capacidade de sobrevivência dos organismos filtradores.
		Geração de área de restrição de uso	Interferência nas atividades pesqueiras e conflito com atividades turísticas, navegação e outros usos.

(Continua)

(Continuação)

Macroatividade	Atividades	Aspectos	Impactos
Instalação das estruturas <i>offshore</i> e sistemas submarinos	Instalação da subestação <i>offshore</i>	Choque mecânico, arrasto da âncora e atrito da corrente	Perda de hábitat e morte de indivíduos bentônicos; danos a comunidades de recifes de algas calcáreas e/ou corais, ao banco de moluscos, algas e plantas aquáticas.
		Reaproveitamento de estrutura de outra localidade	Introdução e dispersão de espécies exóticas.
		Geração de área de restrição ao uso	Interferência nas atividades pesqueiras e conflito com atividades turísticas, navegação e outros usos.
		Colocação da estrutura sobre a fundação	Atração de avifauna.
Instalação do trecho raso e transposição da zona costeira	Lançamento do duto de exportação e ancoragem do lançador de linha	Choque mecânico, arrasto da âncora e atrito da corrente	Perda de hábitat e morte de indivíduos bentônicos; e danos a comunidades de recifes de algas calcáreas e/ou corais, ou banco de moluscos, algas e plantas aquáticas.
		Ressuspensão de sedimento	Diminuição da capacidade de sobrevivência dos organismos filtradores e deterioração da qualidade da água.
		Derramamento acidental ou vazamento de substâncias contaminantes	Deterioração da qualidade da água.
	Ocupação do espaço marítimo pela presença e tráfego de embarcações	Interferência nas atividades pesqueiras; abalroamento acidental de embarcações ou petrechos de pesca; abalroamento acidental de mamíferos e quelônios; e alteração do comportamento da biota.	
Enterramento de cabo	Abertura de valas e enterramento	Perda de hábitat e morte de indivíduos bentônicos; e danos a comunidades de recifes de algas calcáreas e/ou corais, ou banco de moluscos, algas e plantas aquáticas.	
Instalação de cabos em terra até a subestação <i>onshore</i>	Enterramento do cabo	Abertura de valas	Sobrecarga do local para descarte e incômodo à população local.
	Furo direcional	Descarte de lama de perfuração	Sobrecarga do local para descarte e incômodo à população local.
	Canteiro de obras, áreas de empréstimo e bota-fora	Aspectos referentes a canteiros de obras, áreas de empréstimo e bota-fora	Impactos referentes a canteiros de obras, áreas de empréstimo e bota-fora.
Construção da subestação terrestre	Obras civis e elétricas	Aspectos referentes às obras civis e elétricas	Aspectos referentes às obras civis e elétricas.

## 2C – Fase de operação

Macroatividade	Atividades	Aspectos	Impactos
Operação e manutenção do sistema de geração de energia	Funcionamento dos aerogeradores e subestação <i>offshore</i>	Geração de ruído e vibração	Alteração comportamental da fauna marinha.
		Alteração da luminosidade	Desvio das rotas de desova de tartarugas (iluminação artificial); atração de aves marinhas; agregação da comunidade pelágica; e efeito estroboscópico (luz e sombra).
		Alteração da paisagem	Interferência na atividade turística.
		Criação de substrato artificial	Estabelecimento de comunidade bentônica e atração de comunidade nectônica (peixes).
		Atração de morcegos	Perda de indivíduos e alteração de comportamento.
		Obstáculo para aves marinhas e migratórias	Perda de indivíduos e alteração de comportamento.
		Geração de área de restrição para pesca	Santuário para peixes e mamíferos e geração de conflitos com pescadores.
		Alteração da hidrodinâmica local	Não foram identificados impactos significativos.
		Conflito com usos para velejamento e contemplação	Influência sobre o turismo local (tanto positiva quanto negativa, dependendo de como for conduzido).
		Ocupação do espaço marítimo pela presença e tráfego de embarcações	Conflito com outros usos e desvio de rotas de navegação.
	Aporte de energia	Aumento da disponibilidade de energia no Sistema Interligado Nacional.	
Operação dos cabos subaquáticos	Criação de um campo eletromagnético	Necessidade de monitoramento e estudos para identificar impactos associados.	

Fonte: Ibama (2020, 2021 e 2023).

Elaboração dos autores.

Obs.: Os impactos referentes a canteiros de obras e obras civis e elétricas não serão tratados neste trabalho, pois as repercussões e a respectiva gestão ambiental já são de amplo conhecimento.

Analisando o quadro 2, percebe-se que para a fase de planejamento há bastante similaridade com outras tipologias de empreendimento, o que já era esperado. Como particularidade apresenta-se uma maior oferta de cursos profissionalizantes voltados à energia eólica *offshore*, assim como um aumento nas pesquisas e no conhecimento científico acerca do tema.

A indústria *offshore* no Brasil é bastante robusta, repleta de portos e empreendimentos de perfuração e produção de petróleo e gás *offshore*. Todas essas atividades acabam por disponibilizar muita informação e dados ambientais sobre nosso bioma marinho. As atividades necessárias para a instalação de um CEO são bastante conhecidas e executadas para a implantação de outras tipologias de empreendimentos. Deste modo, medidas mitigadoras e compensatórias podem facilmente ser propostas para melhorar o processo de licenciamento ambiental dos CEOs.

Uma diferença a ser considerada é o tamanho das estruturas que compõem os aerogeradores, aspecto que não guarda similaridade com as tipologias de portos, petróleo ou dutos. Essa grandiosidade dos equipamentos requer uma adaptação da infraestrutura portuária. Necessita-se de grandes áreas de montagem, planos de logística e análise de riscos associados. É importante considerar os alertas da EPE (2020) de que é fundamental a análise da situação da infraestrutura portuária para viabilizar a implantação de parques eólicos *offshore*. Em particular, deve-se explicitar os esforços necessários para a adaptação dessas estruturas, a fim de adequá-las para as atividades de suporte às operações de instalação e de manutenção dos parques.

Dando prosseguimento, iremos desconsiderar a escala das estruturas e analisar os impactos identificados no quadro 2. Percebe-se diversos impactos decorrentes da operação e movimentação de embarcações de apoio. Destaca-se o risco potencial de derramamento acidental ou vazamento de substâncias contaminantes oriundas das embarcações. O aspecto de ocupação do espaço marítimo pela presença e tráfego de embarcações gera impactos tanto nas atividades de apoio à instalação quanto na implementação das infraestruturas *offshore* e de sistemas submarinos. Entre eles estão: a interferência com atividades pesqueiras; abalroamento acidental com embarcações e petrechos de pesca; abalroamento acidental de mamíferos e quelônios; e alteração do comportamento da biota. Impactos para tartarugas (quelônios) e atividades pesqueiras também estão previstos na fase de operação – os comentários sobre estes componentes serão realizados na análise dessa etapa de operação.

Ainda na instalação, salienta-se o impacto da introdução e dispersão de espécies exóticas presentes nos cascos das embarcações de instalação. Esse impacto é bem conhecido na cadeia do petróleo *offshore*, tendo ganhado destaque o caso do coral-sol (*Tubastraea spp.*). Esse coral, originário do oceano Pacífico, foi inicialmente observado na década de 1980 em plataformas de petróleo na Bacia de Campos, no Rio de Janeiro, se tornando um invasor que compete com espécies endêmicas e de valor econômico, além de afetar a produtividade primária costeira. Existe um grande esforço de monitoramento e combate ao coral-sol.<sup>3</sup>

Um impacto relevante que pode ser evitado ou minimizado com planejamento e mitigantes adequadas são os danos a comunidades de recifes, algas calcárias e/ou corais, e a bancos de moluscos, algas e plantas aquáticas. Essa repercussão pode ocorrer: i) na instalação das estruturas *offshore* – devido ao choque mecânico das pernas da barcaça de instalação e das próprias estruturas no solo marinho, arrasto de âncora e atrito da corrente; e ii) no lançamento de cabos que serão enterrados ou apoiados no leito marinho.

---

3. Disponível em: <https://www.brbio.org.br/nossos-projetos/projeto-coral-sol/>.



Ainda na instalação, o estaqueamento das fundações irá produzir ruído subaquático. Com isso, os impactos poderão ser ainda maiores do que na instalação de uma plataforma de petróleo, pois o diâmetro de um *monopile* e a quantidade de aerogeradores aumentam a magnitude e a duração do impacto, que foram considerados como alteração de comportamento de fauna, estresse na comunidade pelágica e estresse de mamíferos aquáticos. Essa atividade precisará ser bastante monitorada para registro adequado dos impactos associados.

Na macroatividade de instalação dos cabos em terra até a subestação é necessário um furo direcional ou abertura de valas, podendo ocorrer a destruição de ninhos na faixa de areia. Portanto, áreas de desova de tartarugas, por exemplo, devem receber medidas especiais para realocação dos ovos e minimização dos impactos.

Para a fase de operação, exceto para a atividade de manutenção, que basicamente se resume a tráfego periódico de embarcações, não há experiência no Brasil de funcionamento de aerogeradores *offshore*. Devemos, então, nos ater às repercussões identificadas na literatura. As principais consequências detectadas são em aves marinhas e/ou migratórias; morcegos; comunidade nectônica (efeito recife e área de exclusão de pesca); conflitos de uso (pesca, turismo, navegação); e alteração da paisagem, distinguindo-se ainda o possível impacto para tartarugas marinhas.

As principais atividades geradoras de impactos para tartarugas marinhas nas tipologias das áreas de petróleo e gás e portuária são iluminação artificial, trânsito de embarcações e obras costeiras. Para os portos, acrescenta-se, ainda, a ocupação da orla e dragagens e, para petróleo e gás, a prospecção sísmica e as operações com óleo. A iluminação artificial tem potencial de causar a desorientação de filhotes e adultos, morte de filhotes e comprometimento do sucesso reprodutivo de tartarugas. O trânsito de embarcações, por sua vez, pode gerar impactos de abalroamento, com efeitos de injúria e/ou morte de indivíduos e ruídos com efeito de afugentamento ou alteração comportamental (Sforza, Marcondes e Pizetta, 2017).

Percebe-se que impactos para tartarugas marinhas raramente são citados em trabalhos que analisam CEOs no mar do Norte. Segundo Bailey, Brookes e Thompson (2014), essa raridade é explicada pelo fato de que as tartarugas não possuem áreas de desova nas praias daquela região, portanto a análise do impacto é dificultada. No Brasil, cinco espécies de tartarugas desovam ao longo da costa brasileira, inclusive espécies em extinção (ICMBio, 2017). Nesse contexto, de acordo com o quadro 2, há previsão de impactos para tartarugas na costa brasileira nas fases de instalação e operação: na geração de luminosidade, sendo capaz de causar desvio de rotas de desova; no tráfego de embarcações, ao longo da instalação das estruturas; e, também, durante o lançamento dos cabos, podendo ocasionar abalroamento acidental de mamíferos e quelônios.

Outros impactos que têm destaque na indústria do petróleo e que não recebem ênfase em estudos referentes ao mar do Norte é a introdução de espécies invasoras e os danos às comunidades de recifes, algas calcárias e/ou corais, ou banco de moluscos, algas e plantas aquáticas. Acredita-se que, como os países da União Europeia possuem planejamento espacial marinho, com áreas destinadas à implantação de parques eólicos, na definição de tais zonas já sejam descartadas aquelas com fundo marinho impróprio para a atividade. Portanto, para os processos de licenciamento ambiental de eólicas *offshore* na costa brasileira no modelo atual, carente de zoneamento, deve-se atentar para tais particularidades no processo de AIA do licenciamento ambiental. Exigir um plano de ancoragem para a alternativa locacional das torres e dos cabos, de modo a desviar de formações calcárias e/ou demais estruturas relevantes do leito marinho, torna-se imprescindível para a minimização dos impactos ambientais do empreendimento.

A cadeia causal de atividades e impactos, após construída, auxilia a correlação de mitigantes e medidas compensatórias que tenham razoabilidade e nexos causais com o empreendimento. Para eólicas *offshore*, as medidas mitigadoras muitas vezes têm relação com janelas climáticas ou temporais que guardam ligação com comportamento de determinadas espécies.

Deve-se planejar a fase de instalação *offshore* para ocorrer em períodos de baixa presença ou sensibilidade de espécies vulneráveis, pois algumas espécies apresentam diferença de comportamento e/ou abundância em determinados períodos. Isso oferece a possibilidade de implementar interrupções temporárias das turbinas, a fim de minimizar possíveis efeitos negativos, por exemplo, durante a partida de aves migratórias ou alta atividade de morcegos em determinada estação do ano, entre o pôr e o nascer do sol (Vaissière *et al.*, 2014).

Efeitos potenciais em certos grupos de espécies podem estar relacionados a padrões climáticos, de forma que é possível prever os momentos em que o esforço de mitigação é mais necessário. Por exemplo, pode-se tentar conjecturar a alta atividade de morcegos com a implementação de algoritmos que incluem parâmetros como velocidade do vento, temperatura e precipitação (Schuster, Bulling e Köppel, 2015).

Os padrões de migração espacial e temporal são, na maioria dos casos, incompreendidos. Entretanto, os parâmetros nas áreas de partida, particularmente os padrões climáticos que afetam ou acionam a atividade de migração, são mais bem compreendidos. Essas informações, juntamente com o desenvolvimento contínuo das tecnologias de vigilância, são capazes de ajudar a superar as incertezas e minimizar possíveis efeitos negativos (Schuster, Bulling e Köppel, 2015).

O estudo de Brandt *et al.* (2018) identificou um nível alto de ruído, ao qual os botos reagiram, evitando o estaqueamento durante a fase de instalação do CEO. A pesquisa mostrou que a aplicação de medidas mitigadoras levou a uma clara diminuição na amplitude e a uma ligeira redução na extensão espacial da perturbação.

Conhecer o comportamento das espécies e o uso do hábitat pode orientar uma estratégia de melhoria efetiva do ambiente em áreas longe das turbinas e, ao mesmo tempo, a redução no impacto da qualidade do hábitat dentro da área de risco. Dessa forma, a população em questão pode ser fortalecida para compensar os efeitos inevitáveis. Cumes de montanhas usados por aves de rapina, rotas de migração, áreas próximas a colônias de morcegos, maternidade ou locais de reprodução de aves, bem como áreas de alta disponibilidade de alimentos, são apenas alguns exemplos demonstrados na literatura de áreas sensíveis propensas a sofrer impactos relevantes no caso da implantação de um CEO em suas proximidades (Schuster, Bulling e Köppel, 2015).

A expansão prevista do setor eólico *offshore* global provavelmente aumentará os conflitos, particularmente com o setor da pesca. É importante explorar, com os pescadores e desenvolvedores de CEOs, as oportunidades e restrições da coexistência das atividades (Hooper, Ashley e Austen, 2015). Na Alemanha e na Bélgica há restrição de pesca dentro da área de CEO e em um polígono de quinhentos metros ao redor, enquanto na Dinamarca é permitida a pesca (exceto de arrasto) dentro do parque eólico (Vasconcelos, 2019).

Outro ponto importante refere-se à segurança do trabalho. À medida que as instalações de energia renovável aumentam em tamanho e complexidade e se posicionam ainda mais longe da costa, os riscos inerentes à atividade aumentam substancialmente. É necessário identificar esses riscos e implementar medidas de mitigação, principalmente por se tratar de uma nova indústria, com pouca orientação estatutária (Lloyd, 2016).

Por fim, ressalta-se que pesquisas e monitoramentos são necessários para se conhecer apropriadamente quais serão os impactos ambientais significativos associados a CEOs no Brasil. Além disso, não há consenso em relação a alguns impactos, como formação de campos eletromagnéticos, nem a respeito dos efeitos cumulativos de vários empreendimentos marinhos sobre a mesma área. Este exercício de prognóstico aqui elaborado deve ser encarado apenas como balizador, sem pretensão de compor uma listagem exaustiva. Como bem colocado em Ibama (2020), o contexto socioambiental em que o projeto estiver inserido poderá implicar impactos ambientais não previstos em uma cadeia causal, assim como impactos mapeados podem não ocorrer.

## 5 COMENTÁRIOS CONCLUSIVOS

Na definição de uma estratégia para aumentar a oferta de energia de fontes renováveis, a energia eólica é uma alternativa pensada por inúmeros países. Isso também é verdade para o Brasil. Ao longo dos últimos dez anos, a participação da energia eólica na matriz energética brasileira cresceu aceleradamente e essa tendência deve permanecer nos médio e longo prazos. Em especial, a energia eólica *offshore* terá papel de destaque nessa ampliação da oferta. Como toda e qualquer intervenção humana, a ampliação da oferta de energia eólica *offshore* causará impactos sobre a natureza, uma vez que ela não é ambientalmente neutra.

Nesse contexto, é surpreendente a escassez de estudos rigorosos sobre as especificidades dos impactos ambientais das usinas eólicas *offshore*. Este artigo objetivou reduzir essa lacuna, analisando potenciais impactos ambientais para esta tipologia na costa brasileira. Para tanto listaram-se as atividades de um complexo eólico *offshore* para as fases de planejamento, instalação e operação do empreendimento. Isto posto, essas atividades foram correlacionadas com os impactos ambientais identificados em iniciativas semelhantes já realizadas pela indústria *offshore* do Brasil (portos, exploração e produção de petróleo e gás). Ao final, comparam-se os resultados encontrados com impactos ambientais já relatados em empreendimentos deste tipo implementados no mar do Norte, no Reino Unido.

Nossa análise explicitou um procedimento que busca estabelecer uma relação causal para a tipologia de eólicas *offshore*. Ficou evidenciado que o resultado aqui obtido ainda se encontra em estágio preliminar e não exaustivo, exigindo o estabelecimento de um debate aprofundado no Brasil, elaborado por uma equipe multidisciplinar. Só assim a relação causal aqui exposta de forma parcial, limitada até a coluna de *impactos ambientais*, poderá ser estendida a todos os elementos e etapas de empreendimentos semelhantes. À medida que pesquisas e monitoramentos trouxerem novas informações, a cadeia causal deverá ser revista e aprimorada, principalmente após instalados os CEOs no Brasil, com seus respectivos programas de monitoramento.

## REFERÊNCIAS

ASGARPOUR, M. Assembly, transportation, installation and commissioning of offshore wind farms. **Offshore Wind Farms: Technologies, Design and Operation**, p. 527-541, 2016. (Woodhead Publishing Series in Energy, n. 92). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100779-2.00017-9>.

BAILEY, H.; BROOKES, K.; THOMPSON, P. Assessing environmental impacts of offshore wind farms: lessons learned and recommendations for the future. **Aquatic Biosystems**, v. 10, n. 1, Sept. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/2046-9063-10-8>.

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: 17 set. 2019.

BIM, E. F. **Licenciamento ambiental**. 5. ed. Belo Horizonte: Fórum, 2021.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**: o desafio do desenvolvimento sustentável. São Paulo: Pearson, 2021. 382 p.

BRANDT, M. J. *et al.* Disturbance of harbour porpoises during construction of the first seven offshore wind farms in Germany. **Marine Ecology Progress**, v. 596, p. 213-232, May 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/meps12560>.

BVG ASSOCIATES LIMITED. **Guide to an offshore wind farm**: updated and extended. [s.l.]: The Crown Estate; Offshore Renewable Energy Catapult, 2019. 128 p.

CAUSON, P. D.; GILL, A. B. Linking ecosystem services with epibenthic biodiversity change following installation of offshore wind farms. **Environmental Science & Policy**, v. 89, p. 340-347, Nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.08.013>.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas do potencial eólico brasileiro**: simulações 2013. Rio de Janeiro: Cepel, 2017. 50 p.

DEGRAER, S. *et al.* (Ed.). **Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea**: assessing and managing effect spheres of influence. Brussels: Royal Belgian Institute of Natural Sciences; Operational Directorate Natural Environment; Aquatic and Terrestrial Ecology; Marine Ecology and Management, 2018. 136 p.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Roadmap de energia eólica *offshore* no Brasil**. Brasília: EPE, 2020. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap\\_Eolica\\_Offshore\\_EPE\\_versao\\_R2.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf).

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional 2023**: ano-base 2022. Brasília: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>.

GANEM, R. S. (Org.). **Legislação sobre meio ambiente**: fundamentos constitucionais e normas básicas. 6. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2019. 165 p. (Série Legislação, n. 140).

HOOPER, T.; ASHLEY, M.; AUSTEN, M. Perceptions of fishers and developers on the co-location of offshore wind farms and decapod fisheries in the UK. **Marine Policy**, v. 61, p. 16-22, Nov. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.06.031>.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Diretoria de Licenciamento Ambiental. **Avaliação de impacto ambiental:** caminhos para o fortalecimento do licenciamento ambiental federal – resumo executivo. Brasília: Ibama, 2016. Disponível em: [https://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias/noticias2016/resumo\\_executivo.pdf](https://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias/noticias2016/resumo_executivo.pdf). Acesso em: 17 set. 2019.

\_\_\_\_\_. **Guia de avaliação de impacto ambiental:** relação causal de referência de sistema de transmissão de energia. Brasília: Ibama, 2020. 37 p. Disponível em: [https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2020/ibama-lanca-guia-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-para-licenciamento-de-linhas-de-transmissao/20201229Guia\\_de\\_Avaliacao\\_de\\_Impacto\\_Ambiental.pdf](https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2020/ibama-lanca-guia-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-para-licenciamento-de-linhas-de-transmissao/20201229Guia_de_Avaliacao_de_Impacto_Ambiental.pdf). Acesso em: 12 out. 2021.

\_\_\_\_\_. **Guia de avaliação de impacto ambiental:** relação causal de referência de porto organizado e terminal de uso privado (TUP). Brasília: Ibama, 2021. 73 p. Versão preliminar. Disponível em: [https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2021/ibama-abre-consulta-publica-sobre-o-guia-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-relacao-causal-de-referencia-de-porto-organizado-e-terminal-de-uso-privado-tup/20211130\\_Guia\\_de\\_AIA\\_Relacao\\_Causal\\_Portos\\_e\\_TUP.pdf/view](https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2021/ibama-abre-consulta-publica-sobre-o-guia-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-relacao-causal-de-referencia-de-porto-organizado-e-terminal-de-uso-privado-tup/20211130_Guia_de_AIA_Relacao_Causal_Portos_e_TUP.pdf/view). Acesso em: 18 dez. 2021.

\_\_\_\_\_. **Guia de avaliação de impacto ambiental:** relação causal de referência de petróleo e gás – produção. Brasília: Ibama, 2023. 30 p. Versão preliminar. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2023/ibama-abre-consulta-publica-sobre-o-guia-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-relacao-causal-de-referencia-de-petroleo-e-gas-producao>. Acesso em: 4 maio 2023.

ICMBIO – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade. **Guia de licenciamento tartarugas marinhas:** diretrizes para avaliação e mitigação de impactos de empreendimentos costeiros e marinhos. Brasília: ICMBio, 2017.

KIRCHGEORG, T. *et al.* Emissions from corrosion protection systems of offshore wind farms: evaluation of the potential impact on the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 136, p. 257-268, Nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.058>.

LLOYD, P. O. Health and safety of offshore wind farms. **Offshore Wind Farms:** technologies, design and operation, cap. 19, p. 573-587, 2016.

MACLEAN, I. *et al.* Resolving issues with environmental impact assessment of marine renewable energy installations. **Frontiers in Marine Science**, v. 1, p. 75, Dec. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2014.00075>.

MUNASINGHE, M. *et al.* (Ed.). **Environmental impacts of macroeconomic and sectoral policies**. Washington, D. C.: World Bank Publications, 1996.

PETROBRAS. **Planta piloto de geração eólica *offshore* na Bacia Potiguar**: estudo ambiental – 2019. [s.l.]: Petrobras, 2019. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br/UsinaEolica/Projeto%20Piloto%20OFFSHORE/02001.0046752018-81.pdf>.

SCHUSTER, E.; BULLING, L.; KÖPPEL, J. Consolidating the State of Knowledge: a synoptical review of wind energy's wildlife effects. **Environmental Management**, v. 56, n. 2, p. 300-331, Aug. 2015.

SFORZA, R.; MARCONDES, A. C. J.; PIZETTA, G. T. **Guia de licenciamento tartarugas marinhas**: diretrizes para avaliação e mitigação de impactos de empreendimentos costeiros e marinhos. Brasília: ICMBio, 2017. 130 p.

VAISSIÈRE, A-C. *et al.* Biodiversity offsets for offshore wind farm projects: the current situation in Europe. **Marine Policy**, v. 48, p. 172-183, Sept. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2014.03.023>.

VASCONCELOS, R. M. de. **Complexos eólicos *offshore***: estudo sobre avaliação de impactos – mapeamento de modelos decisórios ambientais aplicados na Europa para empreendimentos eólicos *offshore*. Brasília: UE/Ibama, 2019.

