

CATEGORIA 5

Regulação e Comercialização



CONFLITOS E PERSPECTIVAS NA INTEGRAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE: UMA ANÁLISE ABRANGENTE POR MEIO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Jorcelino Rinalde de Paulo

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Estudos Marítimos – PPGEM –
Escola de Guerra Naval – EGN - rinaldidepaula@gmail.com

RESUMO

Este estudo trata dos conflitos na integração de parques eólicos no ambiente marítimo, utilizando uma metodologia de revisão sistemática de literatura. O objetivo é identificar e sintetizar abordagens e perspectivas relacionadas a esses conflitos, ressaltando sua relevância em um contexto global de transição energética. A revisão sistemática desempenha papel crucial ao analisar criticamente estudos existentes, possibilitando a identificação de padrões, tendências e soluções inovadoras. O diagnóstico resultante não apenas consolida-se como ferramenta estratégica, mas também contribui para a formulação de políticas e práticas de gestão em futuros empreendimentos de parques eólicos offshore, visando uma implementação suave e sustentável. Ao antecipar desafios como impactos ambientais, aceitação social e competição por espaço marítimo, a pesquisa revela abordagens metodológicas internacionais que oferecem insights relevantes, especialmente para o Brasil. A descrição desses insights fomenta mudanças e melhorias no arcabouço regulatório, promovendo a homogeneização de práticas globais de sustentabilidade. O estudo destaca-se por sua objetividade, fundamentada em uma análise rigorosa da literatura no período de 2018 a 2023, abrangendo fases metodológicas que englobam planejamento, identificação e filtragem de artigos, bem como análise e extração de dados de 20 estudos. Os resultados evidenciam a diversidade de métodos e abordagens, sublinhando a necessidade de estratégias integradas para lidar com conflitos, desde riscos ambientais até divergências entre objetivos globais e locais. Nas considerações finais, destaca-se a importância dos indicadores recorrentes e a necessidade de abordagens adaptativas, consolidando a pesquisa como uma base sólida para orientar investigações futuras e promover o avanço sustentável da energia eólica offshore.

Palavras-chaves: Energia Eólica Offshore; Revisão Sistemática da Literatura; Conflitos.

ABSTRACT

This study addresses the conflicts associated with integrating wind farms into the maritime environment, using a systematic literature review methodology. The aim is to identify and synthesise approaches and perspectives related to these conflicts, highlighting their relevance in a global context of energy transition. The systematic review plays a fundamental role in critically analysing existing studies, allowing for the identification of patterns, trends and innovative solutions. The resulting diagnosis not only consolidates itself as a strategic tool, but also contributes to the formulation of policies and management practices in future offshore wind farm developments, with a view to smooth and sustainable implementation. By anticipating challenges such as environmental impacts, social acceptance and competition for maritime space, the research reveals international methodological approaches that offer relevant insights, especially for Brazil. The description of these insights reinforces the regulatory framework and propagates the homogenisation of global sustainability practices. The study is distinguished by its objectivity, based on a rigorous analysis of the literature from 2018 to 2023, encompassing methodological phases that include planning, identifying and filtering articles, as well as analysing and extracting data from 20 studies. The results highlight the diversity of methods and approaches, emphasising the need for integrated strategies to deal with conflicts ranging from environmental risks to divergences between global and local objectives. The concluding remarks emphasise the importance of recurring indicators and the need for adaptive approaches, consolidating the research as a solid basis for guiding future research and promoting the sustainable advancement of offshore wind energy.

Key words: Offshore Wind Energy; Systematic Literature Review; Conflicts.

1. INTRODUÇÃO

Os parques eólicos offshore são uma perspectiva promissora para a geração de energia sustentável, embora também apresentem desafios complexos relacionados a conflitos. Esta pesquisa tem como objetivo identificar e sintetizar abordagens e perspectivas associadas a esses conflitos na integração de parques eólicos no ambiente marítimo. Para atingir esse propósito, conduziu-se uma revisão sistemática de literatura (RSL) a partir dos repositórios digitais: Science Direct, Periódicos Capes e Google Scholar.

A pesquisa seguiu três fases: na fase de planejamento, estabeleceu-se a necessidade de uma análise sistemática dos conflitos na integração de parques eólicos offshore, delineando um protocolo de análise. Na etapa subsequente, implementou-se o protocolo para identificar e filtrar artigos pertinentes a este estudo. A terceira fase envolveu a apresentação de um relatório detalhado respondendo a perguntas específicas da pesquisa.

No contexto global, onde a integração de parques eólicos offshore desempenha papel crucial na transição para fontes de energia mais limpas, a compreensão dos conflitos associados a essa expansão é imperativa. A revisão sistemática de literatura revela-se essencial, permitindo a análise criteriosa de estudos existentes para identificar padrões, tendências e lições valiosas.

O diagnóstico emergente desta revisão sistemática é uma ferramenta estratégica para a formulação de políticas e práticas de gestão em futuros projetos de parques eólicos offshore. Ao compreender preocupações recorrentes, como impactos ambientais, aceitação social e competição por espaço marítimo, formuladores de políticas e partes interessadas podem antecipar desafios específicos e criar estratégias adaptativas.

A aplicação desses insights¹, incluindo o contexto brasileiro, possibilita a adaptação de abordagens metodológicas similares às utilizadas em estudos internacionais. Ao antecipar conflitos específicos que podem otimizar o planejamento espacial marinho (PEM), a revisão sistemática contribui para uma implementação mais suave e sustentável de parques eólicos offshore no cenário nacional. Além disso, ajustes em políticas e regulamentações, alinhados às contribuições dos estudos internacionais, fortalecem o arcabouço regulatório do país e permitem um maior alinhamento às práticas e padrões globais de sustentabilidade.

Dessa maneira, este estudo de revisão sistemática, além de revelar o contexto global da discussão sobre conflitos associados à inserção de parques eólicos offshore, busca ser um instrumento contributivo para embasar decisões informadas e impulsionar o avanço sustentável da energia eólica offshore no Brasil.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

A escassez de artigos que abordem de maneira abrangente os conflitos relacionados à integração de parques eólicos offshore destaca uma lacuna significativa na literatura atual. Os estudos identificados, que empregam metodologias precisas, como revisões sistemáticas, visam examinar as interações entre estressores ambientais, efeitos, receptores e respostas subsequentes.(MARTÍNEZ *et al.*, 2021). Bem como, metodologias e teorias frequentemente empregadas para tomar decisões de investimento em energia eólica offshore. Também incluem análises de atributos e da eficácia de diferentes métodos discutidos, juntamente com uma revisão de literatura representativa (LIU; SUN; WU, 2021).

Outros estudos relacionados, como o conduzido por Pires *et al.* (2022), dedicam-se a aspectos específicos como uma revisão sistemática da literatura focada na viabilidade econômica, destacando a crescente atratividade dessa fonte energética. A análise aborda temas como parques eólicos, riscos, usinas flutuantes, descomissionamento e potenciação, evidenciando uma ênfase na dimensão econômica dessa tecnologia.

Hofmann (2011), por sua vez, aborda a necessidade de suporte à decisão no planejamento de fazendas eólicas offshore, contribuindo para a compreensão das diferentes fases do ciclo de vida desses empreendimentos.

¹ Definido como “a capacidade de entender verdades escondidas etc., especialmente de caráter ou situação” portando um sentido igual a “discernimento” (Allen, 1990, p. 612).

Já Martin *et al.* (2016) direcionam seu foco para os custos de operação e manutenção, destacando a relevância desses aspectos no custo total do ciclo de vida do projeto. E, por fim, no contexto brasileiro, Vinhoza e Schaeffer (2021) exploram o potencial de energia eólica offshore, ressaltando a escassez de estudos detalhados sobre o tema no país. Sua abordagem inovadora, que avalia e mapeia o potencial em diferentes níveis, destaca áreas mais economicamente atrativas para a implantação dessa forma de energia, contribuindo para o planejamento sustentável no Brasil.

Entretanto, a lacuna relacionada à análise abrangente dos conflitos persiste, evidenciando a necessidade de futuras investigações que integrem de maneira mais completa os aspectos conflituosos da inserção de parques eólicos offshore.

Nesse sentido, este estudo se diferencia dos demais por identificar e resumir informações pré-existentes, especificamente, sobre conflitos associados a inserção de parques eólicos no ambiente marítimo. Ele baseia suas conclusões em uma análise holística acerca das várias abordagens a esse tópico e evita avaliações subjetivas. Também realiza uma análise rigorosa da literatura atual na área, publicada entre 2018 e 2023.

Assim, com o propósito de atender aos objetivos deste trabalho as seguintes questões de pesquisa foram formuladas: "QP1. De que maneira os conflitos relacionados à implementação de parques eólicos no ambiente marítimo são abordados na literatura científica?" "QP2. Quais conflitos têm sido identificados?" "QP3. Quais limitações e oportunidades de pesquisa podem ser apontadas?" "QP4. Quais são as principais contribuições e conclusões derivadas da análise dos artigos selecionados neste estudo?" "QP5. Como os insights resultantes desta pesquisa podem contribuir com o Brasil?"

Logo, essas questões orientam a investigação de maneira sistemática e abrangente em relação aos conflitos associados à implementação de parques eólicos offshore e suas contribuições para o contexto brasileiro.

3 METODOLOGIA

Neste estudo, realizou-se uma revisão sistemática da literatura (RSL) como uma ferramenta crucial para avaliar de forma rigorosa as evidências empíricas atuais em novos campos do conhecimento (WOHLIN *et al.*, 2020).

A RLS foi realizada em três etapas, sendo a primeira etapa dedicada ao planejamento. Ela determinou a necessidade de analisar sistematicamente os conflitos no domínio da integração de parques eólicos offshore em ambientes marítimos e estabeleceu o protocolo de análise. Durante a segunda etapa, foi implementado o protocolo definido para identificar e filtrar apenas os artigos pertinentes aos objetivos deste estudo. Os dados foram extraídos dos estudos selecionados durante essa etapa. O passo final envolveu a confecção de um relatório após a análise dos dados extraídos para responder às perguntas de pesquisa da RLS e registrar os resultados.

A revisão da literatura ocorreu por meio da consulta a três repositórios digitais online: Science Direct, Periódicos Capes e Google Scholar, os quais abrangem publicações relevantes nas ciências sociais, incluindo discussões sobre energia eólica offshore. As buscas foram orientadas pelos termos de pesquisa: ("Offshore Wind Farms" OR "Wind energy" OR "Offshore wind energy") AND ("conflicts" OR "conflict"). No entanto, para otimizar as consultas devido às particularidades de cada mecanismo de pesquisa, adaptamos os termos de pesquisa. A Tabela 1 apresenta as modificações realizadas.

Tabela 1 - Descrição das adaptações nos termos de pesquisa conforme o repositório consultado

Repositório	Termo de Busca
Science Direct	Title : ("Offshore Wind Farms" OR "Wind energy" OR "Offshore wind energy") AND ("conflicts" OR "conflict") Abstract: ("Offshore Wind Farms" OR "Wind energy" OR "Offshore wind energy") AND ("conflicts")
Periódicos Capes	Any field contains : ("Offshore Wind Farms" OR "Wind energy" OR "Offshore wind energy") AND ("conflicts" OR "conflict") Title: ("Offshore Wind Farms" OR "Wind energy" OR "Offshore wind energy") AND ("conflicts" OR "conflict")

[Google acadêmico](#)

with at least one of the words: ("Offshore Wind Farms" OR "Wind energy" OR "Offshore wind energy") AND ("conflicts" OR "conflict")
Title: ("Offshore Wind Farms" OR "Wind energy" OR "Offshore wind energy") AND ("conflicts" OR "conflict")

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.1 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DOS ARTIGOS

Este estudo adotou uma metodologia criteriosa, conforme preconizado por Wohlin et al. (2020), utilizando critérios de inclusão e exclusão durante a seleção dos artigos. Cinco critérios de inclusão foram aplicados: (i) período de publicação entre 2018 e 2023, (ii) veiculação em revistas científicas, (iii) idioma inglês, (iv) integridade do artigo e (v) presença do termo de pesquisa em pelo menos um dos seguintes metadados: título, resumo ou palavras-chave. Quanto aos critérios de exclusão, eles abrangiam artigos não primários (por exemplo, revisões e mapeamentos sistemáticos), duplicatas (optando-se pela versão mais recente) e qualquer violação dos critérios de inclusão.

Os artigos aprovados foram submetidos a uma avaliação de qualidade, composta por cinco questões (AQ), cada uma ponderada de acordo com sua relevância. As questões predefinidas foram: (i) apresentação clara de conflitos relacionados à inserção de parque eólico no ambiente marítimo, (ii) descrição precisa das técnicas e métodos utilizados na pesquisa, (iii) explicitação das contribuições da pesquisa, (iv) diferenciação clara em relação a outros trabalhos correlatos e (v) identificação precisa das limitações do estudo. A pontuação individual de cada estudo foi calculada pela seguinte equação: $(AQ1 + AQ2 + AQ3 + AQ4 + AQ5) / 2$. Por fim, consideraram-se apenas os artigos que atingiram pontuação mínima de 5 pontos.

3.2 CONDUÇÃO E EXTRAÇÃO DE DADOS

A revisão sistemática da literatura (RSL) teve início em setembro de 2023, empregando uma abordagem cuidadosa. Inicialmente, realizou-se uma pesquisa em três repositórios predeterminados, resultando em 173 artigos. Essa fase inicial utilizou mecanismos de filtragem embutidos nos repositórios para aplicar os critérios de inclusão (i), (ii) e (iii). Posteriormente, os critérios restantes foram aplicados ao conjunto completo de artigos identificados na próxima etapa da revisão.

Um total de 42 estudos foi selecionado para avaliação, e cada artigo passou por um processo de avaliação de qualidade. Somente os artigos com pontuação igual ou superior a 5 foram considerados para extração de dados, resultando em 20 artigos listados na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição do código dos artigos aprovados e sua respectiva referência bibliográfica.

Código do Artigo	Referência Bibliográfica
EA1	SCHWEMMER, P. et al. Assessing potential conflicts between offshore wind farms and migration patterns of a threatened shorebird species. Anim. Conserv., 2023.
EA2	MOON, T. et al. Coastal landscape preference of residents and tourists according to the physical attributes and viewpoints of offshore wind farms as seen through virtual reality. Reg. Stud. Mar. Sci., dez. 2023.
EA3	MARTINS, M. C. I. et al. Offshore energy structures in the North Sea: Past, present and future. Mar. Policy, jun. 2023.
EA4	KNOL-KAUFFMAN, M.; NIELSEN, K. N.; SANDER, G.; ARBO, P. Sustainability conflicts in the blue economy: planning for offshore aquaculture and offshore wind energy development in Norway. Marit. Stud., 2023.
EA5	IWATA, K.; KYOI, S.; USHIFUSA, Y. Public attitudes of offshore wind energy in Japan: An empirical study using choice experiments. Clean. Energy Syst., abr. 2023.
EA6	VIRTANEN, E. A. et al. Balancing profitability of energy production, societal impacts and biodiversity in offshore wind farm design. Renew. Sustain. Energy Rev., abr. 2022.
EA7	RECKHAUS, N. The Ongoing Conflict between Offshore Wind Farms and the Fishing Industry in the North Sea. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências

	Espaciais) - Faculdade de Ciências Espaciais, Universidade de Groningen, Groningen, 2022.
EA8	RAWSON, A.; BRITO, M. Assessing the validity of navigation risk assessments: A study of offshore wind farms in the UK. <i>Ocean Coast. Manage.</i> , mar. 2022.
EA9	PARK, S.; YUN, S.-J.; CHO, K. Public dialogue as a collaborative planning process for offshore wind energy projects: Implications from a text analysis of a South Korean case. <i>Renew. Sustain. Energy Rev.</i> , nov. 2022.
EA10	GUŞATU, L. F.; ZUIDEMA, C.; FAAIJ, A. A multi-criteria analysis framework for conflict resolution in the case of offshore wind farm siting: A study of England and the Netherlands offshore space. <i>Front. Mar. Sci.</i> , 2022.
EA11	HALOUANI, G. et al. A spatial food web model to investigate potential spillover effects of a fishery closure in an offshore wind farm. <i>J. Mar. Syst.</i> , 1 dez. 2020.
EA12	GONZALEZ-RODRIGUEZ, A. G.; AUTOR 2, SOBRENOME; AUTOR 3, SOBRENOME. Multi-objective optimization of a uniformly distributed offshore wind farm considering both economic factors and visual impact. <i>Sust. Energy Technol. Assess.</i> , p. 102148, ago. 2022.
EA13	STEINS, N. A. et al. Combining offshore wind farms, nature conservation and seafood: Lessons from a Dutch community of practice. <i>Mar. Policy</i> , abr. 2021.
EA14	SPIJKERBOER, R. C. et al. Unravelling institutional work patterns: Planning offshore wind farms in contested space. <i>Environ. Innov. Soc. Transitions</i> , set. 2021.
EA15	SCHUPP, M. F. et al. Fishing within offshore wind farms in the North Sea: Stakeholder perspectives for multi-use from Scotland and Germany. <i>J. Environ. Manage.</i> , fev. 2021.
EA16	GOLESTANI, N. et al. The Game of Guwarra: A game theory-based decision-making framework for site selection of offshore wind farms in Australia. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 326, p. 129358, dez. 2021.
EA17	ABRAMIC, A.; GARCÍA MENDOZA, A.; HAROUN, R. Introducing offshore wind energy in the sea space: Canary Islands case study developed under Maritime Spatial Planning principles. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , v. 145, p. 111119, jul. 2021.
EA18	PESCHKO, V. et al. Effects of offshore windfarms on seabird abundance: Strong effects in spring and in the breeding season. <i>Mar. Environ. Res.</i> , dez. 2020.
EA19	BAHAJ, A. S. et al. New approach to determine the Importance Index for developing offshore wind energy potential sites: Supported by UK and Arabian Peninsula case studies. <i>Renewable Energy</i> , v. 152, p. 441-457, jun. 2020.
EA20	FIRESTONE, J.; BATES, A. W.; PREFER, A. Power transmission: Where the offshore wind energy comes home. <i>Environmental Innovation and Societal Transitions</i> , v. 29, p. 90-99, dez. 2018.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Esses artigos foram submetidos à extração de informações relevante através de um formulário específico e da mineração de dados textuais. No primeiro método, os artigos foram lidos integralmente, e dados como descrição de conflitos relacionados à inserção de parques eólicos no ambiente marítimo, tipo de conflito mais relatado, métodos para identificação ou mensuração dos conflitos, limitações e oportunidades de pesquisa e contribuições e conclusões gerais foram extraídos.

No segundo método, utilizou-se a ferramenta de mineração de texto Voyant Tools devido à sua capacidade de sintetizar palavras-chave e relações entre termos. Isso incluiu escolher o formato de apresentação dos dados resumidos, pré-processamento dos artigos, envio do corpus de análise para processamento no Voyant Tools, eliminação de palavras vazias (stopwords) e identificação de padrões.

Essas etapas metodológicas forneceram uma base sólida para a análise e extração de dados, facilitando a compreensão dos resultados obtidos na revisão sistemática da literatura e possibilitando a realização de uma reflexão crítica acerca das possíveis contribuições ao cenário brasileiro.

4. RESULTADOS

Nesta seção, será apresentado os resultados da revisão sistemática e de suas possíveis contribuições ao Brasil, com respostas a cada pergunta de pesquisa nas subseções seguintes. Conforme explicado na Seção 3.2, o método de extração de dados foi a mineração de texto dos 20 artigos selecionados. A análise revelou 272.777 itens léxicos distintos, incluindo repetições. O corpus inclui as 25 palavras-chave mais frequentes: wind (1999), offshore (1540), energy (1220), marine (887), areas (839), sea (829), data (639), owf (623), owfs (574), spatial (541), use (510), analysis (480), study (472), north (458), area (435), planning (428), power (423), potential (421), conflict (403), farms (400), fishing (377), farm (372), based (363), high (351) e development (349). A Figura 1 mostra a nuvem de palavras gerada a partir desses termos.

Figura 1. Nuvem de palavras-chave dos artigos aprovados



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.1 ABORDAGEM DE CONFLITOS NA INSERÇÃO DE PARQUES EÓLICOS NO AMBIENTE MARÍTIMO

A análise dos artigos selecionados (EA-01 a EA-20) revela que a implementação de parques eólicos no ambiente marítimo tem sido uma fonte significativa de conflitos. Cada estudo aborda distintas dimensões desses conflitos, proporcionando uma compreensão abrangente e aprofundada das complexidades associadas a essa temática.

O artigo EA-01 concentra-se nos riscos de colisão entre aves migratórias, particularmente o Zarapito Real, e turbinas eólicas. Investigando rotas, altitudes e padrões diurnos, busca identificar áreas de alto risco. Já o EA-02 aborda desacordos sobre a estética de parques eólicos entre residentes e turistas, ressaltando a tensão entre a percepção visual e a atração turística nas regiões costeiras.

O EA-03 explora conflitos na presença de estruturas offshore no Mar do Norte, destacando a falta de dados abrangentes sobre os impactos no ecossistema marinho. Enquanto isso, o EA-04 enfoca as controvérsias geradas pela expansão de parques eólicos offshore e a aquicultura, evidenciando oposições de interesses entre pesca, petróleo e organizações ambientais.

No contexto japonês, o EA-05 analisa conflitos de energia eólica offshore, considerando a aceitação social e as preferências das comunidades costeiras em relação a impactos ambientais, paisagísticos e de saúde. Por outro lado, o EA-06 adota uma perspectiva multidimensional, destacando a necessidade de abordagem integrada para decisões equilibradas em parques eólicos offshore.

Conflitos institucionais são abordados no EA-07, que propõe soluções para minimizar atritos entre os setores de energia eólica e pesca. O EA-08 utiliza análise de riscos e incidentes históricos para destacar desafios na precisão de previsões e atribuição de incidentes associados a parques eólicos.

O contexto sul-coreano é explorado no EA-09, onde a resistência dos pescadores é abordada através do diálogo público como um processo colaborativo. O EA-10 apresenta um framework multicritério, enquanto o EA-11 utiliza modelagem para analisar os efeitos de transbordamento em atividades de pesca e ecossistemas marinhos ao redor de parques eólicos offshore.

O EA-12 destaca conflitos visuais percebidos por observadores na implementação de parques eólicos, considerando resistências de residentes à alteração da paisagem natural. O EA-13 aborda competição por espaço marítimo e impactos em atividades tradicionais na expansão de parques eólicos na região do Mar do Norte.

Governança é o foco do EA-14, explorando conflitos na gestão do espaço offshore. O EA-15 destaca competição por acesso ao espaço marítimo entre parques eólicos e pesca comercial. Conflitos de interesses entre partes envolvidas na seleção de locais são identificados no EA-16.

O EA-17 utiliza uma abordagem metodológica inovadora para analisar conflitos abrangentes, considerando vários clusters. Já o EA-18 aborda impactos nas populações de aves marinhas devido à implementação de parques eólicos offshore. O EA-19 explora conflitos na identificação de áreas adequadas para parques eólicos, equilibrando critérios e restrições.

Finalmente, o EA-20 analisa conflitos na percepção pública sobre a transmissão de eletricidade por cabos submarinos, destacando divergências nas preferências das comunidades costeiras.

Em conjunto, esses estudos proporcionam uma compreensão abrangente dos desafios e conflitos associados à implementação de parques eólicos offshore, ressaltando a necessidade de estratégias integradas e consideração cuidadosa de múltiplos fatores para garantir um desenvolvimento sustentável desses projetos.

4.2 DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS CONFLITOS IDENTIFICADOS NA IMPLEMENTAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS NO MAR

Cada estudo contribui para uma compreensão aprofundada dos desafios enfrentados nesse cenário complexo, fornecendo insights valiosos sobre as questões específicas abordadas por cada pesquisa. Nesse sentido, para sistematizar os principais conflitos abordados nos estudos, o Quadro 1 apresenta os principais resultados apontados nos trabalhos realizados.

Quadro 1. Principais conflitos apontados

ARTIGO	CONFLITO-CHAVE	PAÍS OU REGIÃO
EA-01	Risco de colisão entre aves migratórias e turbinas eólicas	Mar do Norte (Alemanha / Dinamarca)
EA-02	Conflito de opiniões entre residentes e turistas sobre o impacto visual dos parques eólicos	Coreia do Sul
EA-03	Falta de informações precisas sobre estruturas offshore comprometendo estudos e políticas sustentáveis	Mar do Norte
EA-04	Incompatibilidade de interesses entre pescadores, indústria do petróleo e organizações ambientais	Noruega
EA-05	Dicotomia entre descarbonização e preocupações ambientais locais no Japão	Japão
EA-06	Equilíbrio entre benefícios econômicos da energia eólica e impactos na biodiversidade e comunidades locais	Mar Báltico / Finlândia
EA-07	Priorização da energia eólica offshore sobre atividades de pesca na Zona Econômica Exclusiva	Mar do Norte / Alemanha
EA-08	Avaliação de riscos e incidentes relacionados à navegação e embarcações	Reino Unido
EA-09	Participação dos residentes, danos à pesca e falta de informações em Tongyeong-si, Coreia do Sul	Coreia do Sul
EA-10	Competição por espaço no mar entre atividades relacionadas a parques eólicos offshore e outros usuários	Inglaterra e Holanda
EA-11	Interferência nas atividades de pesca devido à implementação de parques eólicos offshore	Baía de Seine / França

EA-12	Trade-off entre eficiência econômica na geração de eletricidade e impacto visual percebido	Não especificado
EA-13	Conflitos diversos relacionados à implementação de práticas de uso múltiplo no Mar do Norte	Holanda
EA-14	Governança do espaço offshore e estruturas institucionais conflitantes	Holanda
EA-15	Competição por espaço marítimo entre geração de energia eólica offshore e pesca comercial	Escócia e Alemanha / Mar do Norte
EA-16	Diferentes objetivos e prioridades das partes interessadas na seleção de locais na Austrália	Austrália
EA-17	Introdução de instalações de Energia Eólica Offshore nas Ilhas Canárias e ponderação complexa de interesses	Ilhas Canárias
EA-18	Impacto dos parques eólicos em áreas essenciais para a reprodução e alimentação de aves marinhas	Alemanha / Sul do Mar do Norte
EA-19	Desafio de encontrar áreas favoráveis para a produção de energia eólica considerando diversos fatores	Península Arábica
EA-20	Escolha do local de desembarque dos cabos submarinos de transmissão de energia e divergências nas percepções das comunidades costeiras	Nova Jersey / Estados Unidos da América

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Ao analisar meticulosamente os dados apresentados no Quadro 1, identificam-se aspectos cruciais que delineiam os desafios enfrentados na implementação de parques eólicos offshore. A região do Mar do Norte, com ênfase especial em Alemanha e Dinamarca, emerge como um epicentro crítico, confrontando uma variedade abrangente de conflitos, desde riscos ambientais até opiniões divergentes da comunidade e competição intensificada por espaço marítimo. Esta concentração destaca imperativamente a necessidade de estratégias específicas para abordar os complexos desafios intrínsecos a essa região.

Adicionalmente, a preocupação com o impacto na biodiversidade se evidencia nos riscos de colisão com aves migratórias e nas repercussões sobre áreas essenciais para a reprodução de aves marinhas, sublinhando a premente necessidade de implementação de medidas de mitigação eficazes. Conflitos sociais, exemplificados pelo embate entre residentes e turistas e pela falta de participação local em Tongyeong-si, apontam para desafios sociais fundamentais.

A transparência no que tange às estruturas offshore se torna um fator decisivo, considerando seu impacto nos estudos e políticas sustentáveis. A complexidade subjacente à harmonização de interesses se manifesta nos conflitos entre pescadores, indústria do petróleo e organizações ambientais, assim como na intensa competição por espaço no mar. A dicotomia entre objetivos globais de descarbonização e preocupações ambientais locais destaca a natureza intrinsecamente conflitante entre prioridades globais e locais. O equilíbrio entre benefícios econômicos e impactos ambientais surge como um elemento central, enquanto decisões estratégicas e uma governança eficaz são fundamentais na priorização e resolução de conflitos.

Da mesma forma, a competição por espaço marítimo, alinhada a objetivos divergentes das partes interessadas e a desafios geográficos específicos, demanda abordagens integradas e adaptadas. O planejamento sustentável, exemplificado pelos desafios na seleção de áreas propícias e na escolha de locais de desembarque de cabos submarinos, revela-se crucial para o êxito da implementação de parques eólicos. Em síntese, a compreensão profunda desses desafios proporciona um substrato indispensável para a delimitação de estratégias eficazes e sustentáveis, imprescindíveis para o avanço nesse complexo cenário.

4.3 LIMITAÇÕES, OPORTUNIDADES DE PESQUISA E LACUNAS IDENTIFICADAS

A análise abrangente dos artigos relacionados revela uma variedade significativa de limitações e oportunidades que caracterizam a pesquisa nesse campo em constante evolução. Entre as semelhanças identificadas, destaca-se a consciência coletiva das limitações reconhecidas nos estudos. Amostras limitadas, falta de representatividade geográfica e temporal, e dependência de dados existentes emergem como desafios comuns, evidenciando a necessidade de melhorias metodológicas. Além disso, a ênfase recorrente na necessidade de pesquisas futuras indica uma disposição compartilhada de avançar no

entendimento e implementação da energia eólica offshore, com oportunidades frequentemente voltadas para aprimoramento de modelos e estudos mais específicos.

Entretanto, divergências substanciais também são evidenciadas na análise dos artigos. Uma das principais diferenças reside no enfoque geográfico e cultural, com cada estudo abordando questões específicas relacionadas a contextos únicos, sejam eles na Alemanha, Mar do Norte, Japão, Coreia do Sul ou comunidades costeiras dos Estados Unidos. Além disso, a diversidade de áreas de impacto consideradas, como biodiversidade marinha, conflitos de uso do solo e efeitos sobre aves, sublinha a complexidade dos desafios associados à energia eólica offshore. Outra divergência notável diz respeito ao foco em setores específicos, com alguns estudos concentrando-se em pesca e navegação, enquanto outros adotam uma abordagem mais abrangente, considerando múltiplos setores simultaneamente.

É importante notar que alguns artigos, como EA-03, EA-04, EA-14, EA-16, não mencionam explicitamente limitações e oportunidades. A ausência dessas considerações pode sugerir uma falta de reflexão crítica sobre as abordagens utilizadas, comprometendo a robustez das conclusões apresentadas. A transparência sobre as limitações é essencial para a validade e aplicabilidade dos resultados, e a ausência desse reconhecimento pode prejudicar a confiança nas conclusões dos estudos.

Em uma perspectiva geral, a análise crítica destes estudos destaca a necessidade contínua de abordagens metodológicas mais sólidas, considerando as complexidades multidimensionais associadas à implementação da energia eólica offshore. A convergência de esforços para superar essas limitações e aproveitar as oportunidades identificadas é crucial para avançar em direção a práticas sustentáveis e socialmente aceitáveis nesse campo em evolução.

4.4 PERSPECTIVAS DOS MÉTODOS UTILIZADOS PARA IDENTIFICAÇÃO OU MENSURAÇÃO DOS CONFLITOS IDENTIFICADOS NOS ARTIGOS ANALISADO

A análise crítica dos vinte artigos proporciona uma visão abrangente dos métodos empregados para identificar e mensurar conflitos associados a esses empreendimentos. Diversas abordagens metodológicas foram exploradas, abarcando desde técnicas avançadas de rastreamento e modelagem de risco até métodos qualitativos inovadores. A diversidade metodológica reflete a complexidade intrínseca dos conflitos envolvendo parques eólicos offshore e contribui para uma compreensão robusta dessas questões.

No primeiro caso, como exemplificado no EA-01, a utilização de tecnologias como rastreamento por GPS, análises de dados de altitude e modelagem de risco de colisão possibilitou a obtenção de informações detalhadas sobre rotas e comportamentos de aves migratórias, identificando áreas críticas de conflito. As perspectivas futuras apontam para o refinamento da precisão dos dados, a integração de tecnologias avançadas de rastreamento e aprofundamento na compreensão do comportamento adaptativo das aves.

Já no EA-02, uma abordagem que se destaca é a pesquisa de preferências por meio de realidade virtual, associada à avaliação de atributos físicos. Ao considerar tanto residentes quanto turistas, o estudo enfatiza a importância de contemplar as preferências visuais ao planejar a instalação de parques eólicos offshore. A continuidade desses métodos é crucial para uma abordagem mais holística.

O EA-03 concentra-se na criação de um banco de dados espacial abrangente para estruturas no Mar do Norte, incluindo plataformas de petróleo, gasodutos e turbinas eólicas. Essa iniciativa visa preencher lacunas de dados e analisar tendências temporais na mudança dessas estruturas ao longo do tempo, fornecendo uma base sólida para avaliações futuras.

Por sua vez, o EA-04 adota uma abordagem qualitativa, com destaque para consultas públicas. Essa metodologia, centrada na compreensão das diferentes perspectivas e interesses das partes envolvidas, ressalta a importância contínua da análise dos processos de consulta pública para identificar e compreender os conflitos emergentes.

O EA-05, por meio de métodos de pesquisa como experimentos de escolha e modelos de logit misto, oferece uma abordagem abrangente para identificar e mensurar conflitos relacionados a parques eólicos offshore. A aplicação contínua desses métodos permite avaliar as preferências individuais e coletivas em relação a diversos atributos, contribuindo para uma compreensão mais completa do panorama.

Analisando o EA-06, observa-se a importância da análise de dados espaciais e priorização espacial na identificação de áreas apropriadas para parques eólicos. A evolução contínua desses métodos, integrando

fatores ecológicos, sociais e econômicos, é crucial para minimizar o impacto nos aspectos socioambientais.

Entrevistas semiestruturadas e análise documental, conforme apresentado no EA-07, destacam a necessidade de compreender as perspectivas nos setores de energia e pesca. A revisão constante de políticas, regulamentos e acordos internacionais reflete a importância da análise contínua para acompanhar mudanças nas dinâmicas setoriais.

O EA-08 aborda a análise de risco estruturada, incorporando a comparação entre previsões e incidentes reais. A contínua aplicação desses métodos, incluindo análises espaciais para identificar padrões geográficos de incidentes, é essencial para prever e gerenciar riscos associados aos parques eólicos offshore.

O diálogo público, entrevistas, workshops e análise de texto destacados no EA-09 enfatizam a necessidade de uma abordagem participativa. A obtenção de perspectivas aprofundadas, incluindo líderes de opinião e representantes de grupos envolvidos, contribui para uma compreensão mais ampla dos conflitos em questão.

O EA-10 propõe uma abordagem multicritério que destaca a transparência, rigor e adaptabilidade. A incorporação de dados de diversas fontes e a ênfase no engajamento contínuo das partes interessadas ressaltam a importância desse método para aprimorar a precisão das análises.

No EA-11, a utilização do modelo Ecospace para simular cenários evidencia a relevância da análise espacial e temporal. A continuidade dessa abordagem fornece insights valiosos sobre padrões e impactos específicos nas áreas circundantes a fazendas eólicas.

O método proposto no EA-12 para mensurar o impacto visual destaca a importância de considerar o campo de visão do observador. A aplicação contínua desse método, considerando avanços tecnológicos e mudanças nas percepções visuais, é crucial para avaliar e mitigar o impacto visual dos parques eólicos.

Embora o EA-13 não forneça informações específicas sobre métodos, destaca discussões sobre a necessidade de apoio para lidar com restrições relacionadas a políticas, regulamentações, financiamento e gerenciamento de riscos. A sugestão de uma "zona de inovação sem regulamentação" reflete a busca por abordagens mais flexíveis.

A abordagem metodológica do EA-14, que utiliza a teoria do trabalho institucional, destaca a importância de observações participativas. A análise contínua dos Diálogos do Mar do Norte e a adaptação das práticas institucionais ao longo do tempo são cruciais para compreender a dinâmica dos interesses no contexto do uso múltiplo dos parques eólicos offshore.

Entrevistas semiestruturadas e análise qualitativa de dados, conforme apresentado no EA-15, ressaltam a relevância de ouvir as partes interessadas locais. A continuidade desses métodos permite monitorar mudanças nas percepções e identificar fatores influenciadores ao longo do tempo.

O EA-16 adota a Teoria dos Jogos e a análise de MCDM para lidar com conflitos e interdependências entre as partes interessadas. A análise de diferentes métodos de tomada de decisão multicritério destaca a necessidade de considerar objetivos financeiros, desempenho e disponibilidade, reconhecendo interesses conflitantes. A análise contínua desses métodos é essencial para aprimorar as estratégias de seleção de locais.

A abordagem inovadora do EA-17, que incorpora cinco clusters e um Sistema de Apoio à Decisão (DSS) chamado INDIMAR, enfatiza a abrangência da perspectiva. A continuidade dessa metodologia, envolvendo especialistas, pesquisadores e partes interessadas, é crucial para definir pesos e prioridades, considerando diferentes pontos de vista.

O EA-18, ao utilizar modelos estatísticos complexos, destaca a necessidade de avaliações a longo prazo. A aplicação contínua desses métodos, integrando covariáveis ambientais, fornece uma perspectiva valiosa, apesar de destacar algumas limitações.

O EA-19, com uma abordagem matemática envolvendo AHP e o parâmetro "Representative Cost Ratio" (RCR), busca otimizar a análise do potencial de energia eólica offshore. A continuidade desses métodos, considerando avanços tecnológicos, é fundamental para aprimorar a eficiência das análises.

O EA-20, com entrevistas qualitativas e pesquisa quantitativa por correio, destaca a importância de abordagens mistas. A combinação de dados qualitativos e quantitativos permite uma compreensão mais abrangente das percepções das comunidades, ressaltando a necessidade de continuidade desses métodos.

Em síntese, a diversidade de métodos utilizados para identificação e mensuração de conflitos em parques eólicos offshore reflete uma abordagem abrangente e multifacetada. A continuidade e adaptação desses métodos ao longo do tempo são cruciais para acompanhar a evolução das dinâmicas sociais, ambientais e tecnológicas, proporcionando insights robustos para a tomada de decisões e a gestão sustentável desses empreendimentos.

4.5 CONTRIBUIÇÕES E CONCLUSÕES DOS ARTIGOS ANALISADOS.

A análise destaca uma compreensão multifacetada dos desafios associados a esses empreendimentos. Cada estudo oferece perspectivas únicas, formando um mosaico que transcende as barreiras entre as esferas ambientais, sociais e institucionais.

Destacando-se os pontos-chave, o EA-01 enfatiza a necessidade de estratégias de mitigação para o conflito entre parques eólicos e aves migratórias, propondo avanços em métodos de identificação comportamental. O EA-02 aborda a consideração de residentes e turistas, propondo tecnologias para avaliação e mitigação eficazes. O EA-03 contribui com um banco de dados abrangente sobre impactos ambientais de estruturas offshore, fundamental para futuros estudos e revisão de regulamentações.

O EA-04 explora conflitos além da incompatibilidade espacial, chamando atenção para abordagens holísticas na gestão. O EA-05 fornece insights sobre a aceitação social de parques eólicos no Japão, destacando a complexidade desse aspecto. Inovando, o EA-06 propõe uma visualização de conflitos entre biodiversidade, sociedade e parques eólicos.

O EA-07 sugere uma mudança institucional para a co-utilização de áreas, ressaltando a necessidade de soluções colaborativas. O EA-08 avalia os riscos de navegação em torno de parques eólicos, destacando a urgência de mais pesquisas e dados precisos. O EA-09 enfatiza a participação comunitária na transição para energia renovável, fornecendo insights valiosos.

O EA-10 oferece uma estrutura metodológica transparente para avaliar conflitos na implantação de parques eólicos offshore. O EA-11 adota uma abordagem holística para entender os impactos da implementação desses parques, sublinhando a importância de avaliações cuidadosas e modelos integrados. Inovador, o EA-12 considera eficiência econômica e impacto visual no layout de parques eólicos.

O EA-13 destaca a evolução do COPNS como suporte à implementação de projetos no Mar do Norte. O EA-14 aplica a teoria do trabalho institucional para compreender interações complexas entre diferentes atores. O EA-15 identifica fatores influentes na viabilidade do uso múltiplo do espaço marinho. Aplicando a Teoria dos Jogos, o EA-16 lida com a não cooperação entre partes interessadas. O EA-17 utiliza ferramentas específicas para introduzir instalações de EOW no espaço marinho.

O EA-18 identifica os impactos dos parques eólicos nas populações de aves marinhas, enfatizando a sazonalidade nas reações. O EA-19 válida uma metodologia inovadora para determinar áreas potenciais para parques eólicos. Por fim, o EA-20 analisa as percepções públicas em relação ao desenvolvimento de projetos de energia eólica offshore, destacando a necessidade de engajamento público eficaz.

Essa análise ressalta a diversidade de contribuições desses artigos para a compreensão e gestão dos desafios associados aos parques eólicos offshore, abrangendo desde questões ambientais até sociais e institucionais. Cada artigo, ao abordar um aspecto específico, contribui para a construção de um conhecimento mais abrangente e integrado nesse campo em constante evolução.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Considerações Finais

A análise exaustiva dos 20 artigos selecionados (EA-01 a EA-20) sobre a implementação de parques eólicos offshore como fonte de energia renovável revelou uma variedade significativa de conflitos

intrinsecamente associados a esses empreendimentos. As preocupações recorrentes incluem impactos ambientais, competição por espaço marítimo e aceitação social. As divergências metodológicas encontradas nos estudos refletem a complexidade multifacetada desses conflitos, enfatizando a necessidade de uma abordagem adaptativa e integrada para garantir o desenvolvimento sustentável desses projetos.

A avaliação da relevância desses conflitos para novos projetos de energia eólica offshore em nível global destaca a necessidade de abordagens que equilibrem considerações globais de sustentabilidade com as preocupações específicas das comunidades afetadas. A análise dos benefícios decorrentes dos parques eólicos offshore, fundamentada em estudos internacionais, oferece oportunidades valiosas para aprimorar as práticas no Brasil, minimizando conflitos potenciais e promovendo um desenvolvimento sustentável e eficiente nesse setor em crescimento.

5.2 Conclusões

QP1: Os estudos evidenciam uma variedade de abordagens metodológicas e perspectivas para abordar os conflitos relacionados à implementação de parques eólicos offshore, destacando a complexidade inerente a esses desafios.

QP2: Os conflitos identificados abrangem desde impactos ambientais, como riscos para a fauna e flora marinha, até a competição pelo uso do espaço marinho com outras atividades econômicas e questões de aceitação social, como o impacto visual e a participação das comunidades locais.

QP3: As análises delineiam a necessidade de uma abordagem adaptativa e integrada, enfatizando a natureza multifacetada dos conflitos. As oportunidades incluem a adoção de perspectivas metodológicas inovadoras, a antecipação proativa de conflitos potenciais e a otimização do planejamento espacial marinho, considerando fatores ambientais, sociais e econômicos específicos.

QP4: Os estudos oferecem insights valiosos sobre os desafios e oportunidades da energia eólica offshore, abordando desde questões ambientais e sociais até aspectos técnicos e econômicos. As contribuições originais da pesquisa incluem a identificação de indicadores recorrentes de conflito, a análise da diversidade de abordagens metodológicas e a discussão sobre a relevância desses conflitos para o contexto brasileiro.

QP5: A pesquisa proporciona valiosas contribuições para o Brasil, recomendando a incorporação de abordagens metodológicas internacionais na análise de conflitos associados a parques eólicos offshore. Aspectos cruciais incluem a antecipação de conflitos, a otimização do planejamento espacial marinho, o ajuste de políticas com base em experiências internacionais, o estímulo à pesquisa nacional, a consideração dos benefícios socioeconômicos locais e a priorização do desenvolvimento sustentável.

5.3 Recomendações

Com base nas conclusões do estudo, recomenda-se que o Brasil:

1. **Incorpore abordagens metodológicas internacionais:** Utilize as lições aprendidas com estudos internacionais para analisar os conflitos associados aos parques eólicos offshore no contexto brasileiro.
2. **Antecipe conflitos potenciais:** Identifique e avalie os desafios e as preocupações já enfrentados em outros países para tomar medidas preventivas e mitigar conflitos.
3. **Otimize o planejamento espacial marinho:** Considere os impactos ambientais, a aceitação pública e as restrições locais na localização de parques eólicos offshore.
4. **Ajuste políticas e regulamentações:** Adapte as políticas e regulamentações com base nas contribuições dos estudos internacionais, buscando o alinhamento com as melhores práticas globais.
5. **Estimule a pesquisa nacional:** Promova pesquisas sobre os desafios e as oportunidades específicas do Brasil no desenvolvimento da energia eólica offshore.
6. **Considere os benefícios socioeconômicos locais:** Avalie e maximize os benefícios locais, como a criação de empregos e o desenvolvimento econômico, na implementação de parques eólicos offshore.

7. **Priorize o desenvolvimento sustentável:** Incorpore considerações ambientais e sociais em todas as etapas do planejamento e da implementação de parques eólicos offshore.
8. **Estabeleça benchmarks internacionais:** Compare as práticas e abordagens brasileiras com as identificadas nos estudos internacionais para identificar oportunidades de melhoria.
9. **Participe ativamente em comunidades científicas internacionais:** Contribua para a pesquisa global sobre energia eólica offshore, compartilhando experiências e aprendizados.

Ao implementar estas recomendações, o Brasil poderá avançar no desenvolvimento da energia eólica offshore de forma sustentável, eficiente e socialmente responsável, consolidando sua posição como um líder na transição para fontes de energia mais limpas.

REFERÊNCIAS

- ABRAMIC, A.; GARCÍA MENDOZA, A.; HAROUN, R. **Introducing offshore wind energy in the sea space: Canary Islands case study developed under Maritime Spatial Planning principles.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 145, p. 111119, jul. 2021.
- ALLEN, R. E. *The Concise Oxford.* Oxford: **Clarendon Press**, 1990.
- BAHAJ, A. S. et al. **New approach to determine the Importance Index for developing offshore wind energy potential sites: Supported by UK and Arabian Peninsula case studies.** *Renewable Energy*, v. 152, p. 441-457, jun. 2020.
- FIRESTONE, J.; BATES, A. W.; PREFER, A. **Power transmission: Where the offshore wind energy comes home.** *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 29, p. 90-99, dez. 2018.
- GOLESTANI, N. et al. **The Game of Guwarra: A game theory-based decision-making framework for site selection of offshore wind farms in Australia.** *Journal of Cleaner Production*, v. 326, p. 129358, dez. 2021.
- GONZALEZ-RODRIGUEZ, A. G.; AUTOR 2, SOBRENOME; AUTOR 3, SOBRENOME. **Multi-objective optimization of a uniformly distributed offshore wind farm considering both economic factors and visual impact.** *Sust. Energy Technol. Assess.*, p. 102148, ago. 2022.
- GUŞATU, L. F.; ZUIDEMA, C.; FAAIJ, A. **A multi-criteria analysis framework for conflict resolution in the case of offshore wind farm siting: A study of England and the Netherlands offshore space.** *Front. Mar. Sci.*, 2022.
- HALOUANI, G. et al. **A spatial food web model to investigate potential spillover effects of a fishery closure in an offshore wind farm.** *J. Mar. Syst.*, 1 dez. 2020.
- HOFMANN, M. **A Review of Decision Support Models for Offshore Wind Farms with an Emphasis on Operation and Maintenance Strategies.** *Wind Eng.*, v. 35, n. 1, p. 1–15, fev. 2011.
- IWATA, K.; KYOI, S.; USHIFUSA, Y. **Public attitudes of offshore wind energy in Japan: An empirical study using choice experiments.** *Clean. Energy Syst.*, abr. 2023.
- KNOL-KAUFFMAN, M.; NIELSEN, K. N.; SANDER, G.; ARBO, P. **Sustainability conflicts in the blue economy: planning for offshore aquaculture and offshore wind energy development in Norway.** *Marit. Stud.*, 2023.
- LIU, Q.; SUN, Y.; WU, M. **Decision-making methodologies in offshore wind power investments: A review.** *J. Clean. Prod.*, maio 2021.
- MARTIN, R. et al. **Sensitivity analysis of offshore wind farm operation and maintenance cost and availability.** *Renew. Energy*, jan. 2016.
- MARTÍNEZ, M. L. et al. **A systemic view of potential environmental impacts of ocean energy production.** *Renew. Sustain. Energy Rev.*, out. 2021.
- MARTINS, M. C. I. et al. **Offshore energy structures in the North Sea: Past, present and future.** *Mar. Policy*, jun. 2023.

- MOON, T. et al. **Coastal landscape preference of residents and tourists according to the physical attributes and viewpoints of offshore wind farms as seen through virtual reality.** Reg. Stud. Mar. Sci., dez. 2023.
- PARK, S.; YUN, S.-J.; CHO, K. **Public dialogue as a collaborative planning process for offshore wind energy projects: Implications from a text analysis of a South Korean case.** Renew. Sustain. Energy Rev., nov. 2022.
- PESCHKO, V. et al. **Effects of offshore windfarms on seabird abundance: Strong effects in spring and in the breeding season.** Mar. Environ. Res., dez. 2020.
- PIRES, A. L. G. et al. **Main Trends and Criteria Adopted in Economic Feasibility Studies of Offshore Wind Energy: A Systematic Literature Review.** Energies, jan. 2022.
- RAWSON, A.; BRITO, M. **Assessing the validity of navigation risk assessments: A study of offshore wind farms in the UK.** Ocean Coast. Manage., mar. 2022.
- RECKHAUS, N. **The Ongoing Conflict between Offshore Wind Farms and the Fishing Industry in the North Sea.** 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Espaciais) - Faculdade de Ciências Espaciais, Universidade de Groningen, Groningen, 2022.
- SCHUPP, M. F. et al. **Fishing within offshore wind farms in the North Sea: Stakeholder perspectives for multi-use from Scotland and Germany.** J. Environ. Manage., fev. 2021.
- SCHWEMMER, P. et al. **Assessing potential conflicts between offshore wind farms and migration patterns of a threatened shorebird species.** Anim. Conserv., 2023.
- SPIJKERBOER, R. C. et al. **Unravelling institutional work patterns: Planning offshore wind farms in contested space.** Environ. Innov. Soc. Transitions, set. 2021.
- STEINS, N. A. et al. **Combining offshore wind farms, nature conservation and seafood: Lessons from a Dutch community of practice.** Mar. Policy, abr. 2021.
- VINHOZA, A.; SCHAEFFER, R. **Brazil's offshore wind energy potential assessment based on a Spatial Multi-Criteria Decision Analysis.** Renew. Sustain. Energy Rev., ago. 2021.
- VIRTANEN, E. A. et al. **Balancing profitability of energy production, societal impacts and biodiversity in offshore wind farm design.** Renew. Sustain. Energy Rev., abr. 2022.
- WOHLIN, C. et al. **Guidelines for the search strategy to update systematic literature reviews in software engineering.** Inf. Softw. Technol., nov. 2020.

Transição Energética: Explorando possibilidades no uso de energia elétrica eólica offshore na descarbonização da produção de óleo & gás no Brasil

Autores: Milton Simas Gonçalves Torres¹, Luiz Philipe Martinez Marins²

1 CEFET “CSF”-RJ, 2 Petrobras S.A.

milton.torres@cefet-rj.br, philipe@petrobras.com.br

RESUMO

O artigo em questão aborda a integração da energia elétrica eólica offshore na exploração de campos de petróleo e gás (O&G), visando a redução das emissões de gases de efeito estufa na extração de óleo e gás. A proposta do artigo destaca a utilização de turbinas eólicas flutuantes como uma alternativa viável para a geração de energia em plataformas offshore. No entanto, existem desafios técnicos a serem superados para implementar essa proposta como os sistemas de cabos de transmissão de energia, fundações flutuantes para as unidades geradoras e armazenamento de energia. Queremos destacar que, para superar esses desafios técnicos, se faz de suma importância o uso das ferramentas de pesquisa, desenvolvimento (P&D) e inovação para implementar com sucesso essa proposta.

Palavras-chaves:

Energia elétrica eólica offshore; Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), redução de emissões; turbinas eólicas; pesquisa e desenvolvimento; petróleo & gás

ABSTRACT

The article discusses the integration of offshore wind energy into oil field exploration with the goal of reducing greenhouse gas emissions in oil and gas (O&G) extraction. The article proposes the use of floating wind turbines as a viable solution for energy generation on offshore platforms. However, there are technical challenges that need to be addressed in order to implement this proposal, including power transmission cable systems, floating foundations for the turbines, and energy storage. It is important to highlight that overcoming these technical challenges requires the use of research, development (R&D) and innovation tools to ensure the successful implementation of this proposal.

Keywords:

Offshore wind energy; Research & Development (R&D); Emissions reduction; Wind Turbine, Greenhouse gases; Oil & Gas

1. INTRODUÇÃO

A indústria de petróleo e gás (O&G) está enfrentando desafios sem precedentes em relação às emissões de gases de efeito estufa (GEE), o que exige ações rápidas de descarbonização em conformidade com as metas globais. A implementação dessas iniciativas pode trazer benefícios tangíveis, como redução de emissões de CO₂, eficiência energética aprimorada e economia de custos.

No entanto, existem desafios a serem enfrentados, como a heterogeneidade do setor e a disparidade na adoção de práticas sustentáveis entre as empresas. Várias iniciativas vêm sendo desenvolvidas neste aspecto, como a padronização e critérios de benchmark de sustentabilidade, por entidades como a ISO (através da ISO 50001, e da ISO/TC 67) e a IOGP (International Association of Oil & Gas Producers), esta última com foco em conciliar a sustentabilidade ambiental aos objetivos econômicos da indústria de O&G.

Uma possibilidade adicional para superar esses desafios seria a integração da energia elétrica eólica offshore na Exploração e Produção (E&P) de campos de O&G, visando a redução das emissões de gases de efeito estufa nesta extração de O&G por meio de plataformas offshore. Tal fato se dá, pois a geração de energia elétrica é um dos grandes ofensores na E&P offshore, já que o mais usual meio de geração de energia para unidades de produção offshore, o turbogerador movido a gás natural, apresenta eficiência relativamente baixa, na casa de 50%, e alta emissão de CO₂ na atmosfera (cerca de 465 kg a cada MWh gerado), sendo com isso responsável por cerca de 75% das emissões em uma plataforma offshore. Em uma comparação simples, a geração eólica offshore tem uma emissão de CO₂ de cerca de 2,4 % do valor das emissões de um turbogerador, com cerca de 11 kg por MWh gerado. [EERE, 2023]

Entretanto desafios tecnológicos consideráveis existem para a obtenção da energia elétrica eólica offshore, como o desenvolvimento de cabos dinâmicos de transmissão de energia submarinos, a otimização da configuração destes cabos e a seleção do tipo de fundação flutuante mais adequado para as turbinas geradoras em águas profundas. Além disso, é necessário avaliar a eficiência e a confiabilidade do sistema de armazenamento de energia elétrica, de modo a obtermos uma continuidade com qualidade nesta geração de energia elétrica. Verificamos que há oportunidades para projetos de pesquisa, desenvolvimento (P&D) e inovação em novas metodologias, tecnologias ou processos relacionados a esses desafios.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Entendemos que, para iniciar o tratamento dos desafios tecnológicos existentes na obtenção da energia elétrica eólica offshore, se faz necessária um processo sistematizado para identificar, avaliar e se possível quantificar estes desafios. Por isso vamos apresentar uma proposta de metodologia que tem como objetivo avaliar os cenários possíveis de implementação dos projetos de P&D, cenários esses que, para cada proposta de projeto de P&D, auxiliem na definição de seu escopo, quantificar seus riscos e oportunidades.

O estudo realizado teve como objetivo a identificação de oportunidades de desenvolvimento de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para a UTILIZAÇÃO da energia elétrica eólica offshore como fator de contribuição para a redução de geração de energia elétrica por turbogerador à gás natural a bordo das plataformas.

O Primeiro passo seria identificar os cenários possíveis e, foram então mapeados os seguintes CENÁRIOS para esta UTILIZAÇÃO:

1. Conexão direta da energia elétrica eólica offshore ao sistema de geração de energia elétrica da plataforma;
2. Utilização da energia elétrica eólica offshore para alimentar sistemas submarinos, QUE JÁ EXISTEM, e são alimentados pela energia elétrica das plataformas;
3. Utilização da energia elétrica eólica offshore para alimentar sistemas submarinos alimentados pela energia elétrica das plataformas que ESTÃO EM DESENVOLVIMENTO ou ESTUDOS.

Para efeito de nosso estudo entendemos que, para cada um dos CENÁRIOS de UTILIZAÇÃO:

1. *A conexão direta da energia elétrica eólica offshore ao sistema de geração de energia elétrica da plataforma já está sendo estudada em diversas iniciativas, sendo elas de P&D ou não, **com isso este cenário não será o foco de nosso estudo***
2. *A utilização da energia elétrica eólica offshore para alimentar sistemas submarinos que EXISTEM e são alimentados pela energia elétrica das plataformas é uma alternativa de simples implementação, tendo como ponto de atenção eventuais interfaces como a dos sistemas de automação e controle existentes. Com isso este cenário foi incluído em nosso estudo;*
3. *A utilização da energia elétrica eólica offshore para alimentar sistemas que atualmente estão EM DESENVOLVIMENTO OU ESTUDOS é o cenário mais disruptivo e inovador, com uma ampla gama de possíveis aplicações, inclusive com a possibilidade de redução de escopo (peso e footprint) nas plataformas. Com isso este cenário também foi incluído em nosso estudo.*

De modo a complementar estes CENÁRIOS de UTILIZAÇÃO, com o intuito de aproximar as propostas de P&D para uma possível implementação de solução com uso de energia elétrica eólica offshore em uma plataforma de E&P real do cenário no Brasil, foram definidas duas dimensões adicionais, com as seguintes características:

- **LOCALIZAÇÃO** do campo de produção offshore, em relação a sua distância para a costa e a profundidade do mar;
- **MATURIDADE** do campo de produção offshore, em relação ao seu tempo de produção.

Estas dimensões irão possuir escalas discretas para sua identificação.

Foram definidas as seguintes escalas para a dimensão **LOCALIZAÇÃO**:

- **ÁGUAS RASAS** – para campos de produção offshore que estejam em águas rasas e, conseqüentemente, próximos à costa. Como fator de definição dessa dimensão foi definido o valor máximo de 600 metros de profundidade para instalação da unidade estacionária de produção (UEP), ou plataforma, que atende ao campo de produção offshore;
- **ÁGUAS PROFUNDAS** – para campos de produção offshore que estejam em águas profundas e, conseqüentemente, afastados da costa. Como fator de definição dessa dimensão foi definido o valor superior à 600 metros de profundidade para instalação da unidade estacionária de produção (UEP), ou plataforma, que atende ao campo de produção offshore.

Foram definidas as seguintes escalas para a dimensão **MATURIDADE**:

- **PROJETO** – para campos de produção offshore que ainda não entraram em produção e estejam em fase de definição do seu escopo OU para campos de produção offshore que estão na fase final do seu tempo de produção previsto originalmente e estão tendo o seu arranjo de produção revisado por meio de um novo Projeto (REVITALIZAÇÃO). Nos dois casos seria até o final da elaboração do seu Projeto Básico de Engenharia. Como fator de definição dessa dimensão foi definido que os campos em PROJETO seriam os projetos que estariam nas Fases 1, 2 e 3 da Metodologia Front-End Loading (FEL), estabelecida pelo Independent Project Analysis (IPA);
- **PRODUÇÃO** – para campos de produção offshore que já estão em produção OU ainda não entraram em produção, mas já tem definido o seu escopo de engenharia, ou seja, a partir do final da elaboração do seu Projeto Básico. Como fator de definição dessa dimensão foi definido que os campos em PRODUÇÃO seriam os projetos que estariam nas Fases 4 e 5 da Metodologia FEL, estabelecida pelo IPA.

Com isso foram definidos seis cenários para o estudo da implementação de projetos de P&D de energia elétrica eólica offshore. Os mesmos são exibidos de forma matricial na tabela abaixo:

PARÂMETROS	ÁGUAS RASAS	ÁGUAS PROFUNDAS
PROJETO	Cenário 1 (*) ¹	Cenário 2
PRODUÇÃO	Cenário 3 – 24 unidades (*2)	Cenário 4 – 45 unidades (*2)

Tabela 1 – Cenários para definição dos projetos de P&D

Observações:

(*1) Cenário 1 no caso do Brasil, pela previsão e pelos últimos leilões de oferta de produção de campos offshore pela Agência nacional de Petróleo - ANP, não temos um número significativo de campos em fase de oferta inicial (que ainda vão entrar em operação) em ÁGUAS RASAS, **com isso, para este cenário, os casos existentes seriam de REVITALIZAÇÃO.**

(*2) Número de unidades operando no Brasil em setembro de 2023, conforme a “Lista de Plataformas em Operação” da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis [ANP, 2024], com os seguintes operadores:

Operadoras de plataformas por LOCALIZAÇÃO	Profunda	Rasa	Total
3R PETROLEUM OFFSHORE S.A.	2	1	3
BW ENERGY MAROMBA DO BRASIL LTDA	1		1
ENAUTA ENERGIA S.A.	1		1
EQUINOR BRASIL ENERGIA LTDA.		4	4
KAROON PETRÓLEO E GÁS LTDA.		1	1
PERENCO PETRÓLEO E GÁS DO BRASIL LTDA.		5	5
PETRO RIO JAGUAR PETRÓLEO SA.	1	1	2
PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS	38	6	44
PRIO BRAVO LTDA.		2	2
SHELL BRASIL PETRÓLEO LTDA.	1		1
TOTALENERGIES EP BRASIL LTDA.	1		1
TRIDENT ENERGY DO BRASIL LTDA.		4	4
Total Geral	45	24	69

Tabela 2 – Operadoras de Plataformas por Localização [ANP, 2024]

3. MÉTODO DO ESTUDO

Com a definição dos Cenários, conforme descrito na Seção 2, foram realizadas pesquisas no mercado e bibliográficas para identificação das principais tecnologias com graus elevado de desenvolvimento e maturidade E/Ou implementações existentes para os CENÁRIOS de UTILIZAÇÃO, sendo identificados, dentre outros, os seguintes casos:

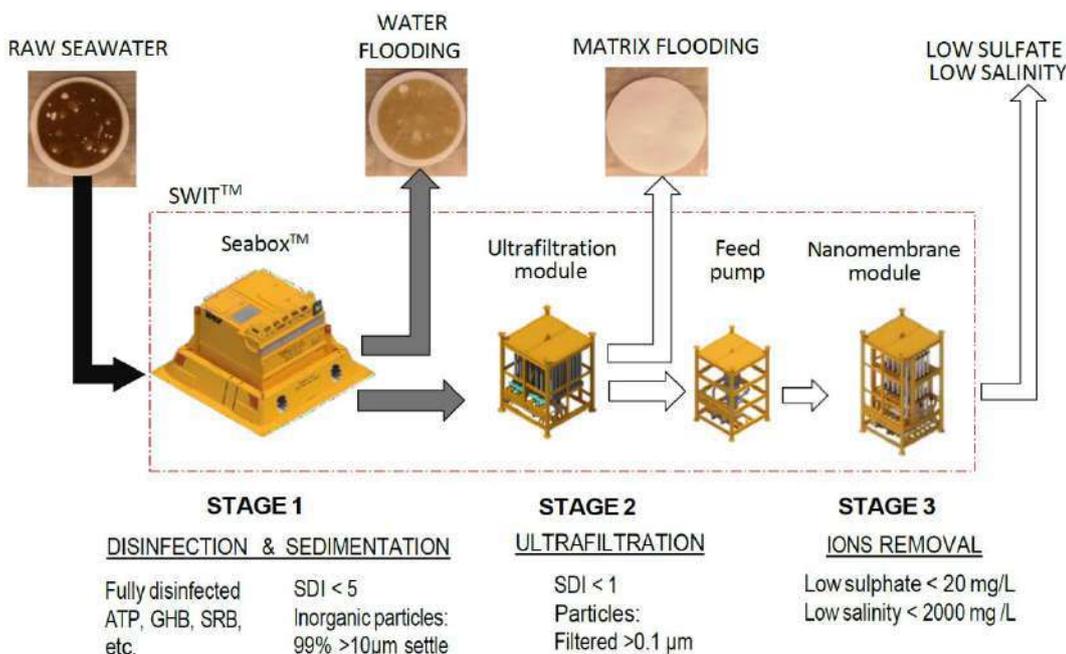
Utilização da energia elétrica eólica offshore para alimentar sistemas submarinos que EXISTEM e são alimentados pela energia elétrica das plataformas:

- **Bomba Submersível Elétrica (ESP), com implementação em sistema de bombeamento submarino com ESP no Fundo do Mar (MOBO)** – este sistema é capaz de reduzir custos e intervenções no sistema produtor de hidrocarbonetos. Instalado no campo de Jubarte, com uma profundidade de instalação de 1.000 metros, com uma potência 1.200 HP (aproximadamente 895 kW) [Roberto et al., 2018]
- **Sistema de Bombeamento Submarino Multifásico (SBMS-500)** – este sistema contribui para o aumento da eficiência de produção ao reduzir a contrapressão no poço, permitindo maior recuperação de hidrocarbonetos. Instalado no campo de Marlim, com uma profundidade de instalação de 640 metros, com uma potência de 1,3 MW (aproximadamente 1.300 kW) [Roberto et al., 2018];
- **Sistemas de injeção de água bruta subsea (SRWI)** para aumentar a recuperação de petróleo em campos maduros offshore. Esse sistema oferece uma alternativa viável para a injeção de água em reservatórios, evitando a necessidade de instalação de sistemas convencionais de injeção de água em plataformas de produção. Instalado no campo Albacora, localizado na Bacia de Campos, a cerca de 100 km da costa brasileira. A profundidade da instalação do sistema

varia entre 250 metros e 1.100 metros de profundidade. O mesmo possui um motor elétrico submerso de 6,6 kV por 1,4 MW. [Buk Jr. et al., 2013]

Utilização da energia elétrica eólica offshore para alimentar sistemas que atualmente estão EM DESENVOLVIMENTO OU ESTUDOS:

- Sistema SUBSEA de tratamento de água do mar:** A injeção de água do mar bruta, sem tratamento já é uma realidade, mas a mesma não é possível em qualquer reservatório. Por isso está em desenvolvimento um sistema com a intenção de ser associado as bombas de injeção existentes. O mesmo foi instalado, em caráter de testes, em dois campos diferentes. Um foi instalado nos fiordes da Noruega em 2017/2018 para testes de desempenho estendidos. O outro foi instalado no campo de Ekofisk no Mar do Norte em 2018 e foi removido em setembro de 2019. O sistema teve 100% de disponibilidade e é considerado TRL6 (Technology Readiness Level 6). Uma de suas vantagens é a previsão de MODULARIDADE, se adequando às necessidades do campo onde for instalado. Este sistema, especialmente em aplicações em águas profundas, oferece a vantagem de minimizar os risers em plataformas (FPSO), reduzir o tamanho e o peso da infraestrutura (*topsides*), otimizar a arquitetura do campo de produção e possibilitar a postergação de investimentos iniciais (CAPEX) e a redução dos custos operacionais.



Visão geral dos estágios e dos módulos de um sistema submarino de tratamento de água do mar para injeção [Hegdal et al., 2023]

Sistema SUBSEA de compressão de gás: O sistema de compressão submarina foi desenvolvido para aumentar o fator de recuperação em campos de gás offshore. O primeiro sistema de compressão submarina foi instalado no campo de *Aasgard*, no Mar da Noruega. Esta experiência permitiu o desenvolvimento de soluções futuras de compressão submarina, com foco em aumentar a recuperação de campo e otimizar o tamanho e peso das plataformas. O sistema foi instalado em 2015, sendo o início da operação em 17 de setembro de 2015. Sua vida útil esperada é de aproximadamente 15 anos. A profundidade da instalação é de 260 metros. Este sistema de compressão tem uma vazão de 21 MSm³/d (743 MMSCFD) e uma pressão Diferencial de 60 bar (870 psi). O sistema pode consumir até 23 MW em carga máxima. [Vesterkjaer et al., 2019]

4. PESQUISA DOS DESAFIOS DA TECNOLOGIA

Para implementar a proposta deste artigo foram observados vários desafios tecnológicos, específicos da utilização das turbinas eólicas na configuração offshore, onde são necessários projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Os desafios tecnológicos, específicos do ambiente offshore, podem ser resumidos, da seguinte forma [Mc Laurin et al., 2021], [Konstantinidis, et al., 2016]:

- 1. Transporte de Energia - Tecnologias dos Cabos:** Os sistemas de energia eólica offshore requerem cabos “dinâmicos” para transmitir a energia gerada pelas turbinas eólicas. Esses cabos precisam ser projetados para suportar as condições dinâmicas do ambiente marinho, como movimentos das ondas e correntes. Além disso, eles devem ser capazes de lidar com altas tensões e serem seguros para manipulação.
- 2. Transporte de Energia - Configuração e encaminhamento dos cabos:** Determinar a melhor configuração e encaminhamento (layout) dos cabos é outro desafio. Isso envolve decidir como os cabos serão posicionados no fundo do mar e a forma como serão conectados às instalações offshore. A configuração e o encaminhamento adequados dos cabos são essenciais para garantir uma transmissão eficiente e confiável de energia.
- 3. Estrutura de suporte:** As turbinas eólicas offshore requerem uma estrutura de suporte para mantê-las seguras e estáveis na água. Essas estruturas devem ser projetadas para suportar as condições ambientais adversas, como ventos fortes e ondas altas. Além disso, elas devem ser capazes de acomodar os cabos de energia eólica e fornecer uma base segura para as turbinas.
- 4. Dimensionamento do gerador:** O tamanho e capacidade do gerador utilizado nas turbinas eólicas podem afetar significativamente o desempenho da torre. O ambiente offshore possui algumas características diferenciadas do ambiente onshore, portanto, é necessário realizar estudos específicos para determinar o dimensionamento adequado do gerador.
- 5. Otimização do armazenamento de energia:** Como o ambiente offshore possui cargas elétricas diferenciadas, e necessário explorar a melhor forma de armazenar a energia gerada pelas turbinas eólicas, considerando a volatilidade da carga, anomalias aleatórias e irregularidades de frequência.

Um item relevante na questão do TRANSPORTE DE ENERGIA, mencionado nos itens 1 e 2 acima, consiste no fato que temos duas tecnologias diferentes para este TRANSPORTE, as tecnologias HVAC (*High Voltage Alternating Current*) e HVDC (*High Voltage Direct Current*). Muito resumidamente temos o seguinte para essas tecnologias:

	HVAC	HVDC
Aplicação	Comum em aplicações onde a distância de transmissão é relativamente curta e a infraestrutura existente é baseada em corrente alternada.	Preferido para transmissões de longa distância e onde a eficiência energética é uma prioridade, apesar do maior custo inicial e complexidade.
Vantagens	Tecnologia com maturidade e com menores necessidades de equipamentos para sua implementação offshore.	Oferece maior estabilidade e controle sobre a transmissão de energia, sendo menos suscetível a problemas de sincronização e flutuações de frequência.
Desvantagens	Cabos e interfaces de conexão possuem desafios tecnológicos consideráveis para aplicação offshore.	Requer equipamentos adicionais que podem aumentar os custos e a complexidade do sistema.
Cabos - Projeto e Construção	Precisam de maior armadura e proteção devido às tensões mecânicas. Eles também requerem materiais especiais para evitar a quebra de isolamento sob condições dinâmicas.	São geralmente mais simples em termos de projeto, mas precisam ser robustos para suportar altas tensões e correntes. Eles são menos suscetíveis a falhas de isolamento, mas ainda precisam de proteção contra tensões mecânicas.

Tabela 3 – Comparação Tecnologias HVAC e HVDC [Mc Laurin et al., 2021]

Resumidamente podemos dizer que as condições marítimas afetam significativamente a performance e a vida útil dos cabos de energia, tanto HVAC quanto HVDC. Embora ambos os tipos de cabos enfrentem desafios semelhantes, como tensões mecânicas e desgaste, os cabos HVDC tendem a ser mais robustos em termos de resistência a falhas de isolamento e capacidade de operar em distâncias maiores. No entanto, ambos os tipos de cabos requerem soluções específicas para minimizar os impactos das condições dinâmicas, especialmente nas áreas onde os cabos sobem para a superfície.

As estruturas de suporte e fundação das turbinas eólicas offshore, mencionada no item 3 acima, apresentam diferentes graus de maturidade tecnológica, dependendo do tipo de fundação e das condições específicas do local de instalação. A seguir, são descritos os principais tipos de fundações e seus respectivos graus de maturidade tecnológica:

1. Fundações Fixas:

Monopile: Este é o tipo de fundação mais comum e maduro tecnologicamente, utilizado em águas rasas de até 50-60 metros de profundidade, **no ambiente offshore fora do Brasil**. Monopiles podem ter diâmetros de até 11 metros e pesos de até 2.000 toneladas.

Tripod e Jaqueta: Estas fundações são usadas em profundidades maiores, até cerca de 80 metros. **Elas são tecnicamente maduras e amplamente utilizadas em projetos comerciais . As do tipo jaqueta foram amplamente utilizadas no ambiente offshore brasileiro, para implementação de unidades de exploração de óleo & gás em ÁGUAS RASAS.**

Gravidade: Utilizadas em profundidades similares às monopiles, estas fundações são menos comuns, mas também tecnologicamente maduras **no ambiente offshore fora do Brasil**.

2. Fundações Flutuantes:

SPAR: Este tipo de fundação é utilizado em águas profundas, geralmente acima de 80 metros. A tecnologia SPAR é considerada madura **no ambiente offshore fora do Brasil**.

Semi-submersível: Utilizada em profundidades de até 300 metros, esta tecnologia é também bastante madura **no ambiente offshore fora do Brasil**.

Barge: Menos comum, mas tecnologicamente viável, utilizada em águas profundas com grandes áreas de superfície para estabilidade.

TLP (*Tension Leg Platform*): Ainda em estágio de desenvolvimento e menos madura que as outras fundações flutuantes.

Resumidamente podemos dizer que as fundações fixas para turbinas eólicas offshore são tecnologicamente maduras e amplamente utilizadas em projetos comerciais. No entanto, para águas mais profundas, as fundações flutuantes, embora viáveis, ainda requerem avanços tecnológicos e otimizações para se tornarem economicamente competitivas. A pesquisa e desenvolvimento contínuos são essenciais para superar os desafios técnicos e permitir a expansão da energia eólica offshore em diversas condições marítimas.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o conteúdo desenvolvido nas seções anteriores, dentro da proposta deste artigo de explorar possibilidades no uso de energia elétrica eólica offshore na descarbonização da produção de Óleo & Gás no Brasil, colaborando para uma transição energética justa e exequível, estão sendo propostas duas possibilidades, tendo como premissa o prazo de implementação de cada uma delas e os desafios que serão enfrentados. Propostas:

- **“Fast-track”** – Proposta com foco em um desenvolvimento e implementação rápidas, **utilizando tecnologias mais maduras na geração eólica offshore**, com foco em iniciar o quanto antes a descarbonização em unidades existentes. Para isso temos como base a existência um banco de dados históricos das condições marítimas, do projeto de engenharia das instalações implantadas e histórico de confiabilidade e desempenho dos equipamentos;
- **“Estruturante”** – Proposta com foco em um desenvolvimento e implementação com uma maior estruturação, detalhamento técnico e desenvolvimento de P&D em suas etapas, **procurando utilizar tecnologias em desenvolvimento na geração eólica offshore**, desenvolvendo tecnologias para unidades futuras e/ou existentes. Para isso temos como base a possibilidade de participação no desenvolvimento de um projeto de engenharia dessa unidades.

Com isso temos as propostas alinhadas da seguinte forma:

	“Fast-track”	“Estruturante”
LOCALIZAÇÃO	ÁGUAS RASAS	ÁGUAS PROFUNDAS
MATURIDADE	PRODUÇÃO	PROJETO
CENÁRIO UTILIZAÇÃO	SISTEMAS EXISTENTES	SISTEMAS EM DESENVOLVIMENTO
TRANSPORTE DE ENERGIA	HVAC	HVDC
FUNDAÇÃO	FIXA	FLUTUANTE
EXPLORAR P&D	ARMAZENAMENTO ENERGIA	DIMENSIONAMENTO GERADOR

Tabela 4 – Propostas para o uso de energia elétrica eólica offshore na descarbonização da produção de Óleo & Gás no Brasil

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As propostas definidas na Tabela 4 constituem uma proposta inicial para o uso de energia elétrica eólica offshore na descarbonização da produção de Óleo & Gás no Brasil, levando em consideração as características dos projetos existentes no Brasil, o estágio atual do desenvolvimento da energia eólica no Brasil e no mundo. Entendemos que eventuais peculiaridades e características específicas dos campos de produção offshore que serão objeto da implementação dessas propostas, devem ser avaliadas e levadas em consideração.

Identificamos ainda que há oportunidades para projetos de pesquisa, desenvolvimento (P&D) e inovação e que essas oportunidades devem ser alinhadas as características dos campos de produção.

Esperamos com esse artigo colaborar para o desenvolvimento e maturidade tecnológica do uso de energia elétrica eólica offshore na descarbonização da produção de Óleo & Gás no Brasil.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). "Lista de Plataformas em Operação", information published in Oct 2020 and updated in Jun 2024 <[Lista de Plataformas em Operação — Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis \(www.gov.br\)](#)> access at July, 05, 2024.

Buk Jr I, Costa O. C., Siqueira A. G., Azevedo J. B., Coelho E. J. J., Andrade C. A., Kuchpil C., Souza A. L. S. "Albacora Subsea Raw Water Injection Systems" Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, May 2013. Paper Number: OTC-24167-MS. doi: <https://doi.org/10.4043/24167-MS>

Campos, R. C. Lancelotti, Roberto, M., Campello, G. C., Capella da Fonseca, M. M., Orłowski, R., Moreira, R. H., Anna, F. R. Sant', and A. B. Santana. "Subsea Innovations and Technologies in Revitalization of Deepwater Brownfields in Brazil." Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, May 2024. doi: <https://doi.org/10.4043/35213-MS>

Hegdal, T. "Subsea Water Treatment and Injection to Optimize Production and to Reduce Cost." Paper presented at the SPE Caspian Technical Conference and Exhibition, Baku, Azerbaijan, November 2023. doi: <https://doi.org/10.2118/217586-MS>

McLaurin, David , Paulin, Mike , Peng, Cheng , and Rama Yadlapati. "The Use of Offshore Wind to Reduce Greenhouse Gas Emissions in Offshore Hydrocarbon Production - A Case Study." Paper presented at the Offshore Technology Conference, Virtual and Houston, Texas, August 2021. doi: <https://doi.org/10.4043/30993-MS>

Roberto, M., Coutinho, A. B., and A. R. Dos Santos. "Campos Basin Technologies Yard: 40 Years of Lessons Learned." Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, April 2018. doi: <https://doi.org/10.4043/28716-MS>

The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE). "How Wind Can Help Us Breathe Easier." Article published at Wind Energy Technologies Office site, August2023 <[How Wind Can Help Us Breathe Easier | Department of Energy](#)> access at July, 05, 2024.

Vesterkjaer, Rune , and Stein Jorgensen. "Learning and Development from the World's First Operating Subsea Compression System." Paper presented at the SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition, Mumbai, India, April 2019. doi: <https://doi.org/10.2118/194637-MS>

Yeaw, S., and O. S. Haruna. "Efficiency Below the Surface: Enhance Production with Subsea Seawater Injection and Treatment." Paper presented at the Offshore Technology Conference Asia, Kuala Lumpur, Malaysia, February 2024. doi: <https://doi.org/10.4043/35017-MS>

Konstantinidis, E. & Botsaris, Pantelis. (2016). "Wind turbines: current status, obstacles, trends and technologies". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 161. 012079. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012079>

Estudo Técnico para a Identificação de Áreas de Interesse para o Desenvolvimento Eólico Offshore

Autores Marlon Nunes¹, Vitor Lima², Raiane Tardin³, Clarissa de Araujo⁴, Helen Waldemarin⁵

WSP Brasil

marlon.nunes@wsp.com¹, vitor.alves@wsp.com², raiane.poco@wsp.com³, clarissa.araujo@wsp.com⁴,
helen.waldemarin@wsp.com⁵

RESUMO

A metodologia empregada no presente estudo fundamenta-se na aplicação de análise multicritério, envolvendo a seleção e ponderação de diversas variáveis (camadas), que são ajustadas conforme a sensibilidade relativa dos diferentes temas abordados. A abordagem se dá, inicialmente, com o desenvolvimento de um Banco de Dados Geográficos, destinado a sistematizar todos os temas relevantes, com foco em uma determinada Área de Estudo. Posteriormente, são atribuídos pesos específicos às variáveis selecionadas, cujos valores são determinados com base no grau de sensibilidade e nos cenários específicos que serão simulados. Com base nos resultados é possível simular diferentes cenários para identificação de áreas favoráveis para o desenvolvimento de Complexos Eólicos *Offshore*, favorecendo a geração de energia limpa e renovável e menor potencial de conflito com os usos do espaço marítimo já existentes.

Palavras-chaves:

Complexos Eólicos Marítimos (*offshore*); metodologias multi-criteriais; Viabilidade Sociambiental

ABSTRACT

The methodology used in the present study is based on the application of multicriteria analysis, involving the selection and weighting of several variables (layers), which are adjusted according to the relative sensitivity of the different topics covered. The approach is initially based on the development of a Geographic Database, aimed at systematizing all relevant topics, focusing on a given Area of Study. Subsequently, specific weights are assigned to the selected variables, whose values are determined based on the degree of sensitivity and the specific scenarios that will be simulated. Based on the results, it is possible to simulate different scenarios to identify favorable areas for the development of Offshore Wind Complexes, favoring the generation of clean and renewable energy and less potential for conflict with the existing uses of the maritime space.

Keywords:

Maritime Wind Complexes (offshore); multi-criteria methodologies; Socio-environmental Viability

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo visa subsidiar o desenvolvimento eólico offshore, através da implementação de um banco de dados e da simulação de cenários possíveis para auxiliar a identificação de áreas de interesse viáveis para a geração de energia limpa e renovável.

Nesse contexto, com base em variáveis socioambientais e no Mapa de Identificação de Usos Múltiplos Preexistentes, serão aceitas como alternativas locais aquelas que não possuam hipóteses de inviabilidade preexistentes. Para tal, as chamadas metodologias multi-criteriais de auxílio à tomada de decisão (MCDA) são instrumentos potenciais no auxílio para processos em que os critérios são subjetivos e seus graus de importância relativos. Segundo XAVIER-DA-SILVA (2007) estes sistemas, aliados a construção de modelos, viabilizam uma análise sistêmica de diversas situações ambientais por meio da caracterização do ambiente de forma direcionada para a utilização racional dos recursos (físicos, bióticos e socioeconômicos) nele disponíveis.

O geoprocessamento tem por finalidade transformar registros de ocorrência (dados) em ganhos de conhecimento (informação) e por isso o seu uso tem se intensificado cada vez mais no mundo globalizado em busca da sustentabilidade e, principalmente, em estudos que envolvam a integração de diversas camadas de informações, como é o caso da seleção de áreas para localização de projetos.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite a integração de dados espaciais e de dados não-espaciais. Segundo FITZ (2008), os dados espaciais são aqueles que podem ser representados espacialmente e graficamente podem se estruturar no formato matricial (raster) ou vetorial (pontos, linhas e polígonos). Ao passo que, os dados não-espaciais (atributos) podem ser entendidos como qualquer informação descritiva (nomes, tabelas, textos) relacionada com um único objeto, elemento, entidade gráfica ou um conjunto deles, que caracteriza um dado fenômeno geográfico (CÂMARA et al., 2001). Desta forma, através da espacialização das condicionantes e critérios de um dado projeto cria-se condições para um diálogo dinâmico entre as partes envolvidas nos processos de tomada de decisão (XAVIER-DA-SILVA, 2007).

2. ESTADO DA ARTE/ FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Análise Multicritério está inserida no contexto da Pesquisa Operacional e tem por objetivo tratar de problemas de decisão, cuja característica principal é a existência de múltiplos critérios, sendo eles, algumas vezes, conflitantes entre si. Essa análise é aplicada em situações em que não existe uma alternativa que seja a melhor em todos os critérios simultaneamente e o objetivo é encontrar aquela de melhor compromisso em relação a todos os parâmetros avaliados (INMETRO, 2022).

Para a realização da análise foram modelados três cenários distintos: Cenário de livre, moderado e conservador, onde:

- Cenário livre: considera apenas as restrições legais e aplica pesos menores para todos os fatores.
- Cenário intermediário: simula um cenário intermediário entre o livre e o conservador.
- Cenário conservador: considera como restrições todas as áreas legalmente protegidas/áreas prioritárias para conservação e aplica pesos maiores a todos os temas.

A metodologia adotada permite uma análise robusta e detalhada, proporcionando uma avaliação criteriosa das implicações de diferentes abordagens.

3. MÉTODO DO ESTUDO

Os métodos utilizados neste estudo baseiam-se na aplicação de análise multicritério, que envolve a seleção e ponderação de diversas variáveis (camadas) ajustadas de acordo com a sensibilidade relativa dos diferentes temas abordados. O processo começa com o desenvolvimento de um Banco

de Dados Geográficos, destinado a sistematizar todos os temas relevantes, focando na área de estudo. Em seguida, são atribuídos pesos específicos às variáveis selecionadas, determinados com base no grau de sensibilidade e nos cenários simulados específicos para a análise. Finalmente, utilizando o método de análise hierárquica (AHP), os pesos de influência são atribuídos, permitindo a comparação e hierarquização dos diferentes temas.

Para iniciar a análise multicritério foi realizada uma macro divisão em temas a serem avaliados, sendo estes: meio físico, meio biótico, meio socioeconômico e infraestrutura. Estes temas também foram subdivididos em “camadas” e/ou “classes”, que serão explicitadas posteriormente nesta metodologia.

Essa divisão se deu para facilitar a organização e a coleta de dados para análise durante o processo de avaliação. O meio físico é caracterizado no Art. 6º da Resolução CONAMA nº. 001/86 como “o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d’água, o regime hidrológico, as correntes marinhas e as correntes atmosféricas”. Para o meio físico foi estabelecida como camada a variável de facilogia, com classificação estabelecida baseada tanto na granulometria (Figueiredo Jr. e Tessler, 2004), quanto na composição dos sedimentos. Os sedimentos com percentagem de carbonatos menor que 30%, foram classificados como “litoclásticos”, aqueles com percentagem de carbonatos maior que 30% e menor que 50%, receberam classificação de “litobioclásticos”. Os sedimentos com percentagem de carbonatos maior que 50% e menor que 70%, foram classificados como “biolitoclásticos”. Já os sedimentos com percentagem de carbonatos maior que 70%, foram classificados como “bioclásticos” (Larsonneur, 1977; Dias, 1996; Figueiredo Jr. e Tessler, 2004). A classificação com relação a composição dos sedimentos foi definida, dentro da análise multicritério como uma classe da camada facilogia, dentro do tema “meio físico”.

O meio biótico, definido como a fauna e a flora, destaca as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente (CONAMA nº001/86). Dentro do tema “meio biótico” foram definidas para classificação e atribuição de peso as camadas: “Unidade de Conservação em Estudo”; “Zona de Amortecimento”; “Áreas Prioritárias para a Conservação (APCB)”; “Áreas de Preservação Permanente (APPs)”; “Áreas de concentração de aves migratórias”; “Áreas Importantes para a Conservação das Aves (Important Bird Areas - IBAs)”; “Rotas Migratórias de Aves”; “Recifes de corais”; Toninha (Área de restrição); Baleia Franca (Área de Reprodução), “Unidades de Conservação de Proteção Integral” e “Unidades de Conservação de Uso Sustentável”. Estas camadas do tema “meio biótico” não foram subdivididas em classes.

Já o meio socioeconômico está relacionado ao uso e ocupação do solo, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos (CONAMA nº001/86). Para o tema “socioeconomia”, foram definidas para classificação e atribuição de peso as camadas: “Canal de Navegação”; “Alteração da paisagem”; “Área de pesca industrial”; “Área de pesca artesanal”; “Áreas de fundeio”; “Blocos exploratórios”; “Cabos submarinos”; “Dutos/gasodutos de transporte”; “Densidade de navegação”; “Turismo e Lazer”; “Espaço aéreo (Aeroporto/Aeródromo)”; “Processos minerários” e “Arqueologia subaquática”. Além disso, junto ao Meio Socioeconômico foi estabelecido o tema referente às infraestruturas, relacionado diretamente às atividades de geração e transmissão de energia das eólicas offshore. As camadas definidas para classificação e atribuição de peso relacionadas a infraestrutura são: “Vento”; “Batimetria”; “Subestação”; e “Portos”. Algumas camadas dos temas “socioeconomia” e “infraestrutura” também foram subdivididas em classes que serão apresentadas posteriormente nesta metodologia.

Para realização da análise multicritério, cada variável definida (“camadas”) passou por uma classificação e atribuição de pesos que variaram de 1 a 100, sendo pontuação 1 (um) o mínimo de restrição e pontuação 100 (cem) para o máximo de restrição. Essa pontuação foi atribuída para cada cenário modelado: livre desenvolvimento, conservador e abordagem de gestão (**Quadro 1**).

Quadro 1 – Atribuição de pesos. Fonte: WSP Brasil.

Temas	Camadas	Classes	Pesos		
			Conservador	Intermediário	Livre
Biótico	Unidade de Conservação do Albardão	-	100	100	100
	Zona de Amortecimento (ZA)	-	50	50	50
	Áreas e Ações Prioritárias para a Conservação (APCB)	-	50	40	30
	Áreas de Preservação Permanente (APP)	-	100	70	50
	Áreas de Concentração de Aves Migratórias	-	60	40	20
	IBAs	-	60	40	20
	Rotas Migratórias de Aves	-	50	30	1
	Recifes de Corais	-	100	100	100
	Toninha (Área de Restrição)	-	100	60	30
	Baleia Franca (Área de Reprodução)	-	100	70	50
	Unidades de Conservação de Proteção Integral	-	100	100	100
	Unidades de Conservação de Uso Sustentável	-	50	50	50
Físico	Faciologia (Sedimento + Granulometria)	Bioclástico + Areia	95	95	95
		Bioclástico + Cascalho	95	95	95
		Bioclástico + Lama	70	60	50
		Biolitoclástico + Areia	70	60	50
		Biolitoclástico + Cascalho	90	90	90
		Biolitoclástico + Lama	60	50	40
		Litobioclástico + Areia	80	80	80
		Litobioclástico + Lama	50	40	30
		Litoclástico + Areia	90	90	90
		Litoclástico + Cascalho	90	90	90
		Litoclástico + Lama	40	30	30
Socioeconomia	Canal de Navegação	-	100	100	100
	Alteração de Paisagem (mn)	8 km	100	80	60
		13 km	80	60	40
		24 km	40	20	1
	Área de Pesca Industrial	Arrasto Duplo	50	40	30
		Arrasto Simples	50	40	30
		Emalhe	70	60	50
		Arrasto de Parelhas	60	50	40
		Espinhel	70	60	50
	Área de Pesca Artesanal	Área de Pesca Artesanal	80	70	60
		Semi-industrial Frequente	70	60	50
		Semi-industrial Eventual	70	60	50
	Áreas de Fundeio	-	100	100	100
	Blocos Exploratórios	-	100	100	100
Cabos Submarinos	-	100	100	100	
Dutos / Gasodutos de Transporte	-	100	100	100	

Temas	Camadas	Classes	Pesos		
			Conservador	Intermediário	Livre
	Densidade de navegação	Baixo	20	20	20
		Muito Baixo	1	1	1
	Turismo e Lazer	-	60	40	30
	Espaço aéreo (Aeroportos / Aeródromos)	-	100	100	100
	Processos Minerários ZEE	Pesquisa	50	40	30
		Lavra	100	100	100
Arqueologia subaquática	-	100	100	100	
Infraestrutura	Vento (m/s)	7,5 < (Inviável)	100	100	100
		7,5 a 8,5 (Favorável)	30	30	30
		>8,5 (Favorável)	1	1	1
	Batimetria (m)	0 a 20	1	1	1
		20 a 50	30	30	1
		50 a 100	50	40	30
		> 100	70	60	50
	Substação (km)	50	1	1	1
		50 a 100	30	30	1
		100 a 200	50	40	3
		> 200	70	60	50
	Portos (km)	100	1	1	1
		200	30	30	30
		300	50	50	50

O mapeamento das áreas de interesse utilizou a análise de decisão multicritério (Multiple-Criteria Decision Analysis - MCDA). No presente estudo, foram considerados critérios socioeconômicos, bióticos, físicos e de infraestrutura, utilizando especificamente o método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process – AHP) descrito por Saaty (1994).

A AHP é a técnica capaz de organizar e analisar decisões complexas por meio de comparações pareadas. As comparações pareadas geram os pesos relativos para cada critério utilizado na AHP, definindo quais critérios são mais importantes e, posteriormente, sendo ranqueados na escala de 1 a 9, conforme sua importância. Os valores de 1 a 9 correspondem à escala fundamental de Saaty, que reflete a força relativa de experiências e intuições (SAATY, 2004). O **Quadro 2** apresenta a escala fundamental de Saaty, hierarquizando os critérios de acordo com a intensidade de importância.

Quadro 2 - Escala fundamental de Saaty. Fonte: Saaty, 2004.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Ambas as atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de um sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem de maneira leve determinada atividade em relação a outra.
5	Importância essencial ou forte	A experiência e o julgamento favorecem de maneira forte uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito forte	Uma atividade é bem mais favorecida em relação à outra, e sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância extrema	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes	Quando é necessária uma condição de compromisso entre duas definições.

Após a definição das variáveis da modelagem, foi realizada a comparação pareada dos valores utilizando a matriz fundamental de Saaty. Os pesos foram determinados por meio de análises e discussões conduzidas pela equipe técnica multidisciplinar deste estudo. Dessa forma, é possível identificar dentro de todos os critérios utilizados quais representam maior influência. No **Quadro 3**, podem ser verificados os valores normalizados para a extração dos pesos de influência de cada tema. Por exemplo, o critério

socioambiental Arqueologia Subaquática apresentou a maior influência frente aos demais, com 7,418%, enquanto o tema Alteração de Paisagem foi o menos influente, com 0,467%.

Quadro 3 - Temas organizados por influência. Fonte: WSP Brasil.

Temas	Influência	% Influência
Arqueologia subaquática	Alta Influência	7,418
Recifes de Corais	Alta Influência	6,754
Blocos Exploratórios	Alta Influência	6,482
Áreas de Fundeio	Alta Influência	6,290
Cabos Submarinos	Alta Influência	6,184
Dutos e Gasodutos	Alta Influência	6,184
Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCs PI)	Alta Influência	6,155
Unidades de Conservação (UCs) em Estudo	Alta Influência	5,955
Canal de Navegação	Alta Influência	5,687
APP	Alta Influência	5,676
Vento	Média Influência	4,269
Unidades de Conservação de Uso Sustentável (UCs US)	Média Influência	3,678
Batimetria	Média Influência	3,439
Portos	Média Influência	2,713
Média Influência	Média Influência	2,454
Baleia Franca	Média Influência	2,408
Espaço aéreo	Média Influência	2,399
Zona de Amortecimento	Média Influência	2,396
Processos Minerários ZEE	Média Influência	2,359
Subestação	Média Influência	2,218
Faciologia	Baixa Influência	1,913
Área de Pesca Artesanal	Baixa Influência	1,293
Área de Pesca Industrial	Baixa Influência	1,141
Concentração de Aves Migratórias	Baixa Influência	0,847
Rotas Migratórias de Aves	Baixa Influência	0,731
Turismo e Lazer	Baixa Influência	0,714
Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade (APCB)	Baixa Influência	0,637
Important Birds Areas (IBAs)	Baixa Influência	0,637
Densidade de navegação	Baixa Influência	0,502
Alteração de Paisagem	Baixa Influência	0,467

Após a atribuição dos pesos individuais de cada tema e classe, e dos pesos de influência obtidos através da comparação pareada, posteriormente foi realizada a multiplicação das camadas com os pesos de cada cenário e os pesos de influência obtidos através do método AHP.

Os valores foram classificados da seguinte forma: entre 0 e 5 como classe de favorabilidade muito alta, entre 5 e 10 como alta, entre 10 e 15 como moderada, entre 15 e 20 como baixa, e todos os valores acima de 20 como muito baixa (Quadro 4).

Quadro 4 - Classes de favorabilidade. Fonte: WSP Brasil.

Classe	Intervalo
Muito Alta	0 - 5
Alta	5 - 10
Moderada	10 - 15
Baixa	15 - 20
Muito baixa	> 20

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise aqui conduzida classificou os temas relacionados à implantação de eólicas *offshore* em três grupos distintos com base na metodologia AHP. Essa classificação oferece importantes considerações para a definição dos pesos de influência aplicados na análise de sobreposição em projetos que envolvem a instalação e operação de parques eólicos marítimos. Essa classificação proporciona a base para orientar a alocação dos pesos de influência na busca pelas melhores áreas para planejamento e implementação de parques eólicos offshore, permitindo uma abordagem mais eficaz e direcionada para a gestão dos aspectos ambientais, técnicos e sociais envolvidos.

Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram que algumas áreas podem sim representar uma baixa favorabilidade ambiental a estes empreendimentos, no entanto, poucas áreas trazem exclusão ou restringem a possibilidade de instalação de parques eólicos.

O que se observa são conflitos de uso do espaço marítimo que podem ser minimizados durante o licenciamento com ações de comunicação social e o estudo detalhado para escolha dos polígonos para instalação, considerando, por exemplo, evitar áreas com estruturas submarinas pré-existentes como dutos e cabos já instalados. A **Figura 1** abaixo apresenta um exemplo de aplicação da metodologia proposta em determinada região da costa brasileira, evidenciando a obtenção de diferentes cenários e classes de favorabilidade possíveis.

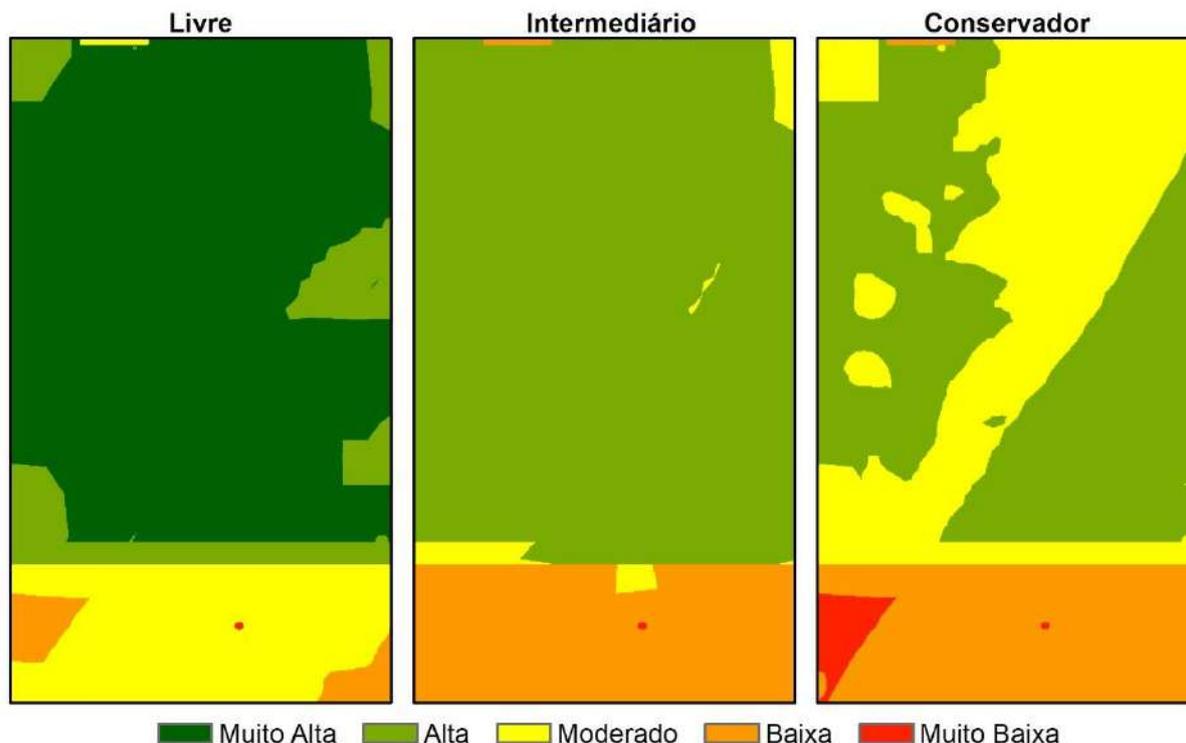


Figura 1 – Cenários obtidos com a aplicação da metodologia aqui desenvolvida. Fonte: WSP Brasil.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De modo geral, a instalação, operação e desativação de empreendimentos *offshore* podem ocasionar distúrbios e eventualmente impactos ambientais ao meio em que se inserem. Isto se dá, pois qualquer nova interação com o meio ambiente natural causará, mesmo que a curto prazo ou de forma pontual, desequilíbrio nos ecossistemas, populações e atividades socioeconômicas já instaladas. Por esta razão, os processos de licenciamento demandam estudos e instauram exigências para minimização dos impactos futuros e manutenção da qualidade ambiental.

A escolha locacional, além de ser relevante para enquadramento quanto a complexidade do processo de licenciamento a ser requerido, é também parte importante para a tomada de decisão do órgão ambiental licenciador, uma vez que há necessidade de apresentação de justificativas técnicas e operacionais para sua definição e algumas vezes a comprovação do estudo de alternativas à área requerida.

O presente estudo defende a adoção de técnicas de geoprocessamento na avaliação integrada das diferentes temáticas ambientais, de forma a produzir um Mapa de Fragilidade Ambiental para a Área de Estudo, acrescido dos dados pertinentes obtidos no diagnóstico e tendo como base o Mapa de Identificação de Usos Múltiplos Preexistentes, proposto no Termo de Referência do IBAMA (IBAMA, 2020). Tal Mapa poderá servir como subsídio na avaliação de viabilidade do projeto, na definição do layout do Projeto e na proposição de medidas preventivas e mitigadoras.

REFERÊNCIAS

- CÂMARA, G., et al. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, v. 345, 2001.
- CÂMARA, G.; DAVIS C.; MONTEIRO A.M.V. 2001. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, v. 345.
- DIAS, G.T.M. 1996. Classificação de sedimentos marinhos: proposta de representação em cartas sedimentológicas. Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, vol. 3: 423-426.
- FIGUEIREDO JR AG & TESSLER MG. 2004. Topografia e composição do substrato marinho da região Sudeste-Sul do Brasil. Série Documentos Técnicos do Programa REVIZEE Score-Sul. São Paulo: Instituto Oceanográfico-USP, Brazil.
- FITZ, P. R. 2008. Cartografia básica. Oficina de Textos.
- IBAMA. 2020. Termo de Referência Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA. Tipologia: Complexos Eólicos Marítimos (Offshore). Brasília.
- INMETRO. 2022. Guia para Aplicação da Análise Multicritério em Análise de Impacto Regulatório (AIR) no Inmetro. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Brasília.
- LARSONNEUR, C. 1977. La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche. Journal de Recherche Océanographique. 2(2): 33-39.
- SAATY, T. L. 2004. Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). Journal of systems science and systems engineering, v. 13, p. 1-35.
- XAVIER-DA-SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. 2007. Geoprocessamento para Análise Ambiental: Aplicações. 363 pages. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro.

EQUIPE TÉCNICA

O **Quadro 5** abaixo apresenta a equipe técnica da WSP Brasil envolvida neste Estudo.

Quadro 5 – Equipe Técnica WSP Brasil

Nome	Formação	CTF IBAMA	Registro de Classe
Ivan Telles de Sousa	Engenheiro Agrônomo	288856	CREA-MA 3593-D
Clarissa Araújo	DSc Geociências (ênfase em Geoquímica Ambiental)	5378872	NA
Helen Waldemarin	Oceanóloga	1833753	2134-05
Ana Carolina Araújo	Bióloga	5508345	CRBio 91197/02
Ayesha Ribeiro Pedrozo	MSC. Biologia Animal	5025516	106048/02

Nome	Formação	CTF IBAMA	Registro de Classe
Douglas Chaves Patrocínio	Comunicação Social	NA	NA
Hayla Paixão Vieira Viveiros	Bióloga, Espc. Biologia Marinha e Oceanografia, Msc. Biologia Animal	5422052	111305-02
Ingrid Minner	Comunicação Social	2077130	NA
Leonardo Lopes	Geógrafo	6424364	NA
Leonardo da Silva	Comunicador Social, MBA em Economia do Petróleo e Gás	NA	NA
Marlon Thiago de Oliveira Nunes	Ciência Matemáticas e da Terra	NA	NA
Priscilla Grimberg	DSc Economia, Msc. Desenvolvimento Sustentável,	NA	NA
Raiane Tardin	MSc. Geologia e Geofísica Marinha / Oceanógrafa	5394148	NA
Renata Nascimento	Geógrafo	6893498	03253512
Vitor Lima	Geógrafo	NA	NA

Análise da revisão da garantia física de empreendimentos eólicos considerando a característica regional da variabilidade do recurso eólico e sua associação com eventos ENOS

Jhoseny Souza Santos¹, Eduardo Dias¹, Lucas Germano Willrich¹, Rodrigo Antônio Pereira², Sérgio Augusto Costa¹

1 EMD Brasil, 2 VILCO Energias Renováveis

js@emdbrasil.com, ed@emdbrasil.com, lw@emdbrasil.com, rodrigo.pereira@vilco.com.br, sac@emdbrasil.com

RESUMO

O Nordeste Brasileiro (NEB) aloca a maior quantidade de usinas eólicas brasileiras, em razão dos fortes e frequentes ventos alísios de sudeste. No entanto, a variabilidade do recurso eólico pode ser um desafio inerente ao crescimento da participação da energia eólica na matriz energética brasileira, principalmente sob o cenário de mudanças climáticas. Para adequar o setor à natureza intermitente da fonte eólica, este trabalho analisou a relação entre a variação do recurso energético e os eventos El Niño Oscilação Sul (ENOS) dos últimos 35 anos. A partir de dados de velocidade do vento a 100 m de altura da reanálise ERA-5, de 17 pontos distribuídos em 6 (seis) estados do NEB, e a média dos seis primeiros meses do índice MEI v.2, foi possível observar uma queda expressiva da energia durante os anos de La Niña, sobretudo nos últimos cinco anos (2019 a 2023). Uma consequência desta queda de recurso em anos subsequentes foi observada na redução da Garantia Física (GF) de cerca de 20% dos parques eólicos do NEB, conforme documento publicado em 2022 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). A existência de outros períodos com variação negativa e positiva subsequentes sugere que a variação é intrínseca à fonte e evidencia a sensibilidade da metodologia de cálculo de revisão GF.

Palavras-chaves: Variabilidade, vento, energia, revisão, garantia física, Nordeste Brasileiro

ABSTRACT

The Brazilian Northeast (NEB) hosts the largest number of Brazilian wind farms due to the strong and frequent southeast trade winds. However, the variability of the wind resource can pose an inherent challenge to the growth of wind energy's share in the Brazilian energy matrix, especially in the context of climate change. To adapt the sector to the intermittent nature of wind power, this study analyzed the relationship between the variation of the wind resource and the El Niño Southern Oscillation (ENSO) events over the last 35 years. Using wind speed data at 100 meters altitude from the ERA-5 reanalysis, collected from 17 points distributed across six states in the NEB, and the average of the first six months of the MEI v.2 index, it was possible to observe a significant decrease in energy during La Niña years, especially in the last five years (2019 to

2023). One consequence of this resource decline in subsequent years was a reduction in the Firm Energy (GF) of about 20% of the NEB wind farms, according to a document published in 2022 by the Energy Research Company (EPE). The existence of other periods with subsequent negative and positive variations suggests that the variation is intrinsic to the source and highlights the sensitivity of the GF review calculation methodology.

Keywords: variability, wind, energy, review, Northeast Brazil

1. INTRODUÇÃO

A demanda da energia eólica brasileira na matriz energética cresce à medida que a transição energética ganha força no cenário nacional e internacional. No entanto, a intermitência desta fonte pode ser um certo desafio ao seu crescimento, dado que o clima de muitas regiões já está sentindo o efeito do aquecimento global, sobretudo no que tange aos extremos climáticos [1]. Neste ponto, torna-se importante avaliar o passado recente em busca de entendimento a respeito do comportamento variável da fonte em questão, de modo a preparar o setor energético para o enfrentamento de possíveis adversidades.

A variabilidade do recurso no Brasil, sobretudo no NEB, está diretamente ligada com o sistema de alta pressão semipermanente Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). O centro deste sistema localiza-se próximo da região central do Atlântico Sul e pode, se expandir ou contrair, bem como se fortalecer ou enfraquecer, a depender da estação do ano [2]. Em razão dos fortes e frequentes ventos alísios de sudeste da ASAS, a região do NEB é àquela com maior concentração (89%) de parques eólicos em operação até o final do ano de 2023 [3].

Mais de 50% das usinas no NEB em operação até o final de 2023 começaram a operar até 2018, dessa forma, possuem mais de 5 (cinco) anos de operação [3]. Os estados do Rio Grande do Norte (RN) e da Bahia (BA) são os que mais concentram usinas em operação, 143 e 133, respectivamente. Em seguida, estão os estados do Ceará (CE), Piauí (PI), Pernambuco (PE) e Paraíba (PB) com 78, 55, 34 e 15 usinas.

De acordo com a plataforma de Acompanhamento da Expansão da Oferta de Geração de Energia Elétrica (RALIE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [4], nos próximos anos serão incorporadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN) novas 104 usinas eólicas no NEB. A maior quantidade de novos empreendimentos será na BA, com 76 parques, seguida pelo Rio Grande do Norte, com 13 usinas. As demais estão distribuídas entre CE, PE, PI e PB. Tal crescimento deve ser acompanhado pela evolução das análises de desempenho das usinas eólicas. Adaptando os modelos junto a variabilidade do vento observada ao longo do tempo.

2. ESTADO DA ARTE/ FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) [5], a GF determina a quantidade máxima de energia possível de ser comercializada, sendo ela calculada com base nos dados de produção de energia certificados por empresas independentes. Para os empreendimentos que

comercializaram energia em Leilões de Energia de Reserva (LER) ou Leilão de Energia Nova (LEN), a GF pode sofrer revisão antes da entrada de operação das usinas eólicas, no caso de alteração de características técnicas, ou após o início de funcionamento, baseando-se na geração de energia elétrica verificada.

No segundo caso, conforme a Portaria MME nº416/2015 [6], a revisão da GF, com base na geração de energia elétrica verificada, é efetuada quando a Geração Média (G_m) é inferior a 90% ou superior a 105% da GF vigente, de modo que a GF revisada passa a ser igual a G_m . O cálculo da G_m é feito considerando o período a partir do décimo terceiro mês da entrada de operação comercial e utilizando, pelo menos, 48 (quarenta e oito) registros mensais de medição de energia elétrica disponíveis na CCEE. Em suma, a revisão da GF é feita a partir do quinto ano, após o início da operação.

No cenário internacional, as Garantias de Origem (GO) - na Europa - e os Certificados de Energia Renovável (RECs), nos Estados Unidos, desempenham um papel similar ao da GF. Em ambos, as tolerâncias de produção possuem seus ajustes a discrepâncias contratuais previstas nestes documentos. Na Califórnia, os empreendimentos eólicos devem fornecer uma quantidade de energia mínima de energia a cada 2 (dois) anos e no caso em que esta quantidade não é atingida, um valor é descontado da quantia estabelecida similar a garantia de fiel cumprimento [7]. O Brasil aparece como pioneiro em ter pré-estabelecida tolerâncias por alto e baixo desempenho, conforme [6].

O último documento sobre a revisão de GF com base na geração elétrica verificada foi publicado em 2022 pela EPE, onde foram efetivamente avaliadas 374 usinas brasileiras. Do total, 304 estão localizadas em algum dos estados do NEB (Bahia, Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Pernambuco ou Paraíba), 10 no Norte (Manaus) e 60 no Sul (Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul). Os detalhes do estudo podem ser encontrados em [8].

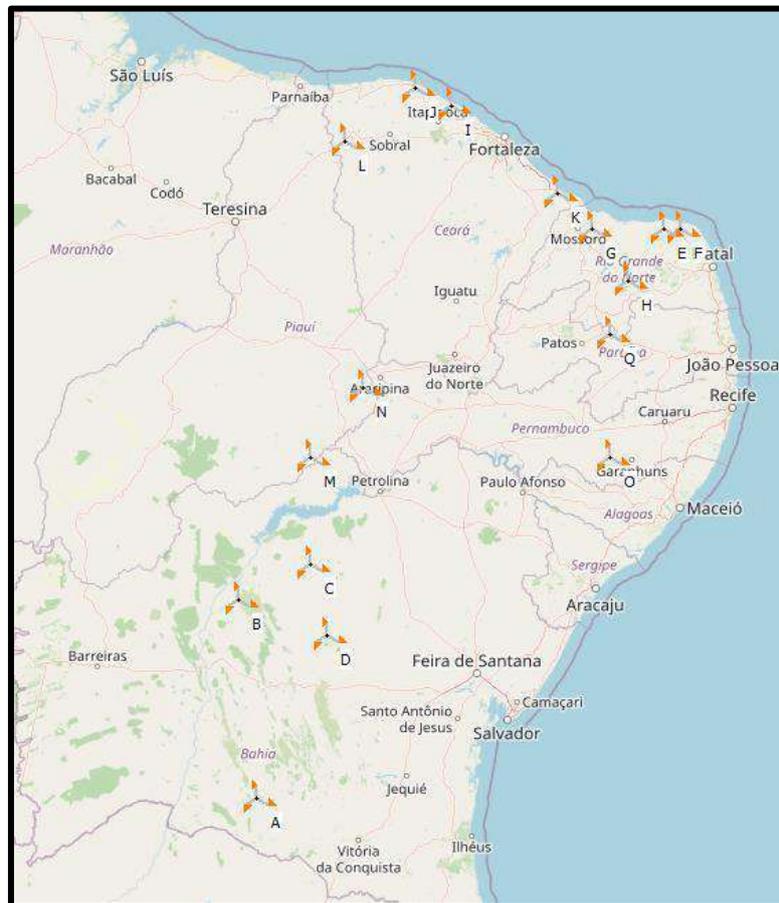
3. MÉTODO DO ESTUDO

Para verificar a variabilidade do recurso eólico no NEB, foram utilizados os dados de ventos horários, a 100 m de altura, da reanálise ERA-5 durante o período de 1988 a 2023, totalizando 35 anos completos. Com resolução espacial de $0,25^\circ$ (aproximadamente 31 km) [9], esta base de dados é amplamente usada pela indústria e pela academia nacionais [10,11] e internacionais [12,13] em razão de sua alta qualidade em capturar a variabilidade sazonal do vento, quando comparadas com outras bases de larga escala. Em relação ao período da base de reanálise, foi escolhido o maior período disponível, visando capturar a maior quantidade de eventos ENOS dos últimos anos.

Os pontos de grade (Figura 1) foram escolhidos tão qual sua proximidade com a maior quantidade de parques eólicos em operação, segundo base da ANEEL. Para os estados da Bahia (BA), Ceará (CE) e Rio Grande do Norte (RN), foram selecionados 4 (quatro) pontos, enquanto

para os estados do Piauí (PI) e Pernambuco (PE), foram determinados 2 (dois) pontos. Por fim, o estado da Paraíba (PB), apenas 1 (um) ponto foi selecionado.

Figura 1: Localização dos pontos escolhidos para a análise de variabilidade. Letras de A a D localizam-se na BA, E a H no RN, I a L no CE, M e N no PI, O e P em PE e Q na PB.



Para verificar a existência (ou não) de tendência significativa nos dados horários de ventos, foi utilizado o teste estatístico não paramétrico de *Mann-Kendall*. O resultado do teste pode se aproximar de 1 (um), no caso de uma série perfeitamente sem tendência, ou de 0 (zero), no caso em que há uma tendência clara. Salienta-se que, a existência de tendência não deve desqualificar os dados imediatamente, devendo ser realizada uma segunda análise a respeito do motivo de tal tendência [14].

Após esta etapa de validação estatística, a variação anual da velocidade do vento de cada ponto foi calculada a partir da diferença entre a média anual e a média de longo prazo (35 anos). Sendo calculado, posteriormente, a variação percentual de cada ano, também com base na média de longo prazo. A partir da variação anual de cada ponto de grade, foi feita a média da variação dentro do estado, haja vista o comportamento similar entre eles.

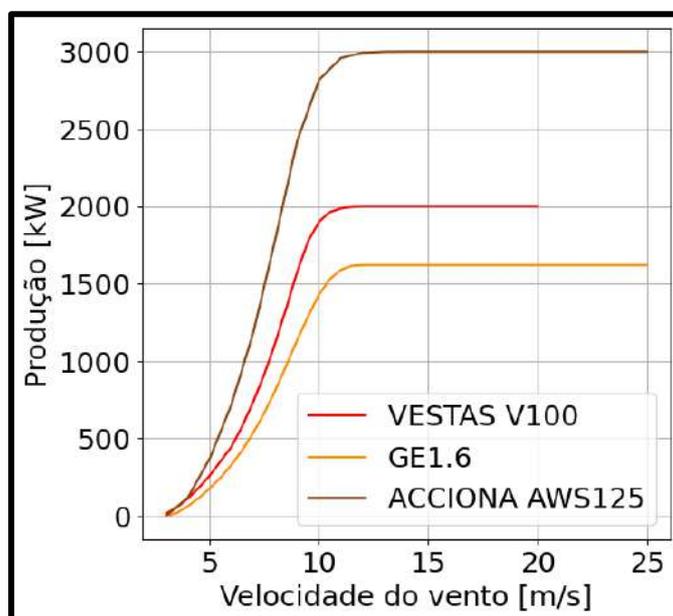
Dado que a magnitude da variação de energia pode ser mais realista para análise da geração média, a variação anual percentual do recurso eólico foi transformada em variação anual

percentual de energia. Para tanto, foram utilizadas três curvas de potência de três aerogeradores distintos (Figura 2):

- 1) VESTAS V100 de 2,0 MW de potência nominal, 100,0 m de diâmetro de rotor e 80,0 m de altura de cubo;
- 2) GE WIND ENERGY de 1,6MW de potência nominal, 82,5 de diâmetro de rotor e 80 m de altura de cubo;
- 3) ACCIONA WINDPOWER AW125 de 3,0 MW de potência nominal, 125,0 m de diâmetro de rotor e 120,0 m de altura de cubo.

Tais modelos foram escolhidos por serem os mesmos utilizados numa grande quantidade de parques eólicos em operação do NEB [15].

Figura 2: Localização dos pontos escolhidos para a análise de variabilidade.



A partir das curvas de potência específicas, foi encontrada a relação entre a variação da velocidade e a variação da energia eólica produzida. Estimou-se que 1% de variação na velocidade do vento impacta em 2% a variação de energia. Estes valores estão de acordo com outros estudos [16,17], embora esta sensibilidade possa ser maior em casos de aerogeradores maiores e/ou modelagens menos robustas, podendo estar entre 3 e 4% [18].

Buscando verificar a existência de relação e/ou predominância da variação de energia com a variabilidade climática El Niño Oscilação Sul (ENOS), foi utilizado a série histórica do índice MEI v.2, mensalmente disponibilizado pelo National Ocean American Administration (NOAA) [19]. Este índice, incorpora, além da temperatura da superfície do mar, a pressão ao nível médio do mar, as componentes zonal e meridional do vento e a radiação de onda longa, resultando em um índice mais robusto, quando comparado com outros que utilizam apenas uma única variável [19].

A partir dos valores mensais do índice MEI.v2, foi calculada a média do primeiro semestre, já que é neste período que o recurso eólico é mais sensível aos eventos ENOS [30]. Uma vez que o El Niño (La Niña) é caracterizado quando o índice mensal está acima (abaixo) de 0,5 (-0,5), foi também utilizado este critério para caracterizar um ano como El Niño (EN), La Niña (LN) ou Neutro (N), este último caracterizando-se quando a média anual é menor que 0,5 e maior que -0,5.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Análise Estatística

A Tabela 1 apresenta o P-valor mensal do teste de *Mann-Kendall* para cada um dos pontos de grade utilizados no estudo. É possível observar que, não há nenhuma tendência significativa nos dados, exceto o ponto de grade N, nos meses de Março a Outubro. Uma investigação detalhada deste ponto, indicou uma tendência positiva de cerca de 0,01 m/s por mês, o que equivale a 0,034 m/s por década.

Tabela 1: P-valor mensal do teste de *Mann-Kendall*. Letras de A a D localizam-se na BA, E a H no RN, I a L no CE, M e N no PI, O e P em PE e Q na PB. Valores em negrito referem-se aos meses onde há tendência significativa nos dados.

Mês	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Jan	0,691	0,713	0,881	0,614	0,693	0,881	0,406	0,270	0,817	0,859	0,522	0,796	0,673	0,074	0,406	0,775	0,577
Fev	0,441	0,932	0,532	1,000	0,910	0,955	0,495	0,334	0,842	0,977	0,609	0,865	0,379	0,050	0,589	0,910	0,798
Mar	0,514	0,932	0,532	0,938	0,798	0,977	0,426	0,410	0,932	0,955	0,551	0,887	0,443	0,025	0,551	0,977	0,589
Abr	0,248	0,932	0,609	0,889	0,820	0,977	0,426	0,320	1,000	0,955	0,495	1,000	0,334	0,021	0,650	0,955	0,691
Mai	0,358	0,609	0,670	0,840	0,977	0,691	0,334	0,394	0,977	1,000	0,460	0,842	0,495	0,013	0,460	0,691	0,798
Jun	0,406	0,478	0,650	0,816	0,865	0,865	0,293	0,140	0,955	1,000	0,460	0,932	0,551	0,027	0,307	0,798	0,551
Jul	0,374	0,532	0,712	0,792	0,955	0,712	0,460	0,256	0,910	0,932	0,443	0,977	0,629	0,020	0,222	0,842	0,691
Ago	0,594	0,495	0,755	0,429	0,977	0,755	0,334	0,268	1,000	1,000	0,514	0,932	0,570	0,018	0,280	0,798	0,776
Set	0,953	0,410	0,820	0,314	0,910	0,865	0,320	0,256	0,887	0,932	0,460	1,000	0,570	0,018	0,443	0,733	0,495
Out	0,929	0,363	0,977	0,233	0,955	0,865	0,280	0,256	0,910	0,932	0,394	0,977	0,733	0,029	0,307	0,460	0,570
Nov	1,000	0,478	0,977	0,209	0,691	0,955	0,307	0,191	1,000	0,977	0,379	0,887	0,733	0,088	0,164	0,460	0,532
Dez	0,906	0,589	1,000	0,285	0,609	0,842	0,320	0,211	0,977	0,977	0,394	0,910	0,609	0,050	0,222	0,514	0,551

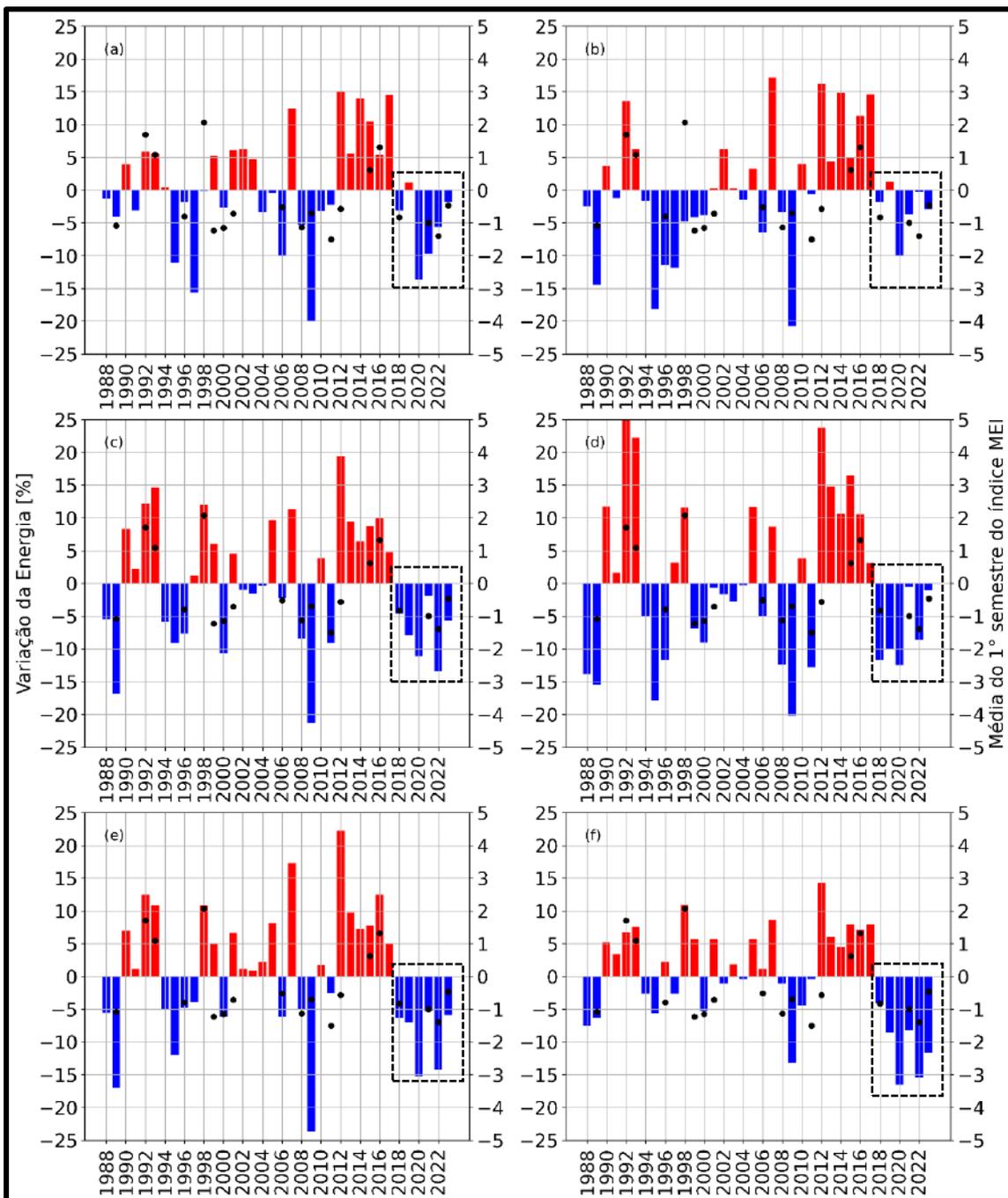
Esta tendência de aumento, embora pontual neste estudo, foi também documentada por [20]. A partir de dados de ventos, a 10 m de altura, de 80 estações meteorológicas, os autores observaram uma tendência média (e estatisticamente significante) de aumento de velocidade na América do Sul, estimada em 0,047 m/s por década durante o período de 1989 a 2018. Este valor é similar ao encontrado neste trabalho. Deste modo, os dados do ponto N não foram descartados.

5.2 Análise Histórica da Variação de Energia: causas

A Figura 3 apresenta a média da variação de energia anual para cada um dos seis estados analisados. Vale salientar que, a transformação de variação anual percentual da velocidade média foi transformada em variação anual percentual de energia a partir da média dos três modelos de aerogeradores descritos na seção do Método de Estudo, cujo resultado médio foi que uma variação de 1% na velocidade média representa uma variação de 2% na produção de energia.

Comum a todos os gráficos, está a variação negativa subsequente dos últimos quatro anos (2020 a 2023). Nestes quatro anos, o valor médio do primeiro semestre do índice MEI é inferior a -0,5, caracterizando estes anos como LN. Uma pesquisa recente [22], indicou que a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) foi responsável por uma estação chuvosa mais intensa durante 2021 e 2022. Conforme [23], existem indícios de uma forte interação entre LN e o desenvolvimento da ZCAS.

Figura 3: Média da variação de energia por estado (a) BA, (b) PI, (c) RN, (d) CE, (e) PB e (f) PE. Os círculos em preto representam eventos ENSO cuja média anual é maior ou igual a 0,5 (El Niño) ou menor ou igual a -0,5 (La Niña), com destaque para os 6 últimos anos.



A formação de LN subsequentes também mostra ser uma tendência [24] sob o atual cenário de aquecimento global, muito embora a projeção da frequência de EN forte também seja de aumento [25]. Deste modo, há indícios de que eventos de EN podem se tornar mais eficientes em desencadear LN em anos subsequentes [25], sugerindo a necessidade de adaptação de políticas públicas dos setores econômicos, sociais e ambientais que podem ser atingidos pelas potenciais consequências.

Outro evento de variação negativa comum aos estados do NEB é o de 2008 e 2009, sendo ambos caracterizados como LN. O estudo de caso de [26] mostrou que o posicionamento mais a sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), desencadeado por um Dipolo do Atlântico negativo, foi responsável por aumentar a precipitação e diminuir a velocidade do vento.

Com respeito a variação de energia mostrada na Figura 3, é possível verificar um segundo comportamento comum aos seis estados: a variação positiva observada entre 2012 e 2017. Durante este período, apenas as médias anuais de 2015 e 2016 foram superiores a 0,5, caracterizando estes anos como EN. A partir de análises climatológicas e hidrologias do NEB, estudos [27,28] caracterizaram 2012 a 2016 como anos de seca severas na região, em decorrência de um posicionamento mais a norte da ZCIT.

Os anos de 1992 e 1993 também merecem menção, já que ambos tiveram uma variação de energia positiva e foram anos de EN. Assim como o evento citado acima, o período de 1990 a 1993 esteve associado à uma seca severa no NEB [29], sendo esta condição de seca também atrelada ao evento EN.

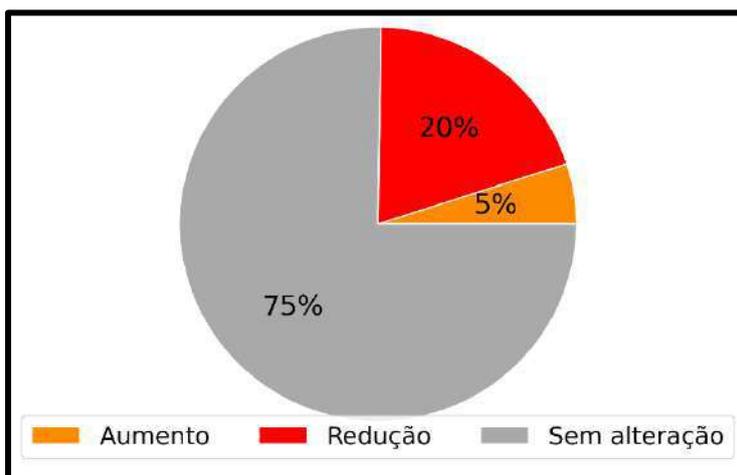
A pesquisa de [30], conduzida a partir das médias horárias da velocidade do vento, durante 1982 a 2012, em uma usina eólica no NEB indicou que as velocidades médias do primeiro semestre são maiores durante os eventos de EN, seguida pela velocidade média dos eventos N e por último pela LN. Os resultados do estudo acima citado se alinham com os encontrados neste trabalho.

Em síntese, a análise destes quatro eventos, de 2020 a 2023 e 2008 a 2009, com variação de energia negativa, e 2012 a 2017 e 1992 a 1993, com variação positiva de energia, indicam a forte relação entre a precipitação – e sua interação com os eventos ENSO - e a disponibilidade do recurso eólico da região do NEB.

5.3 Análise Histórica da Variação de Energia: consequências

A partir do exposto na seção anterior, notou-se uma ocorrência de anos com variação negativa e positiva subsequentes. De acordo com o documento da EPE mais recente a respeito do cálculo e revisão de GF [8], 25% dos empreendimentos eólicos analisados tiveram sua GF alterada – deste valor, 20% enfrentaram uma redução de GF e 5% um aumento (Figura 4).

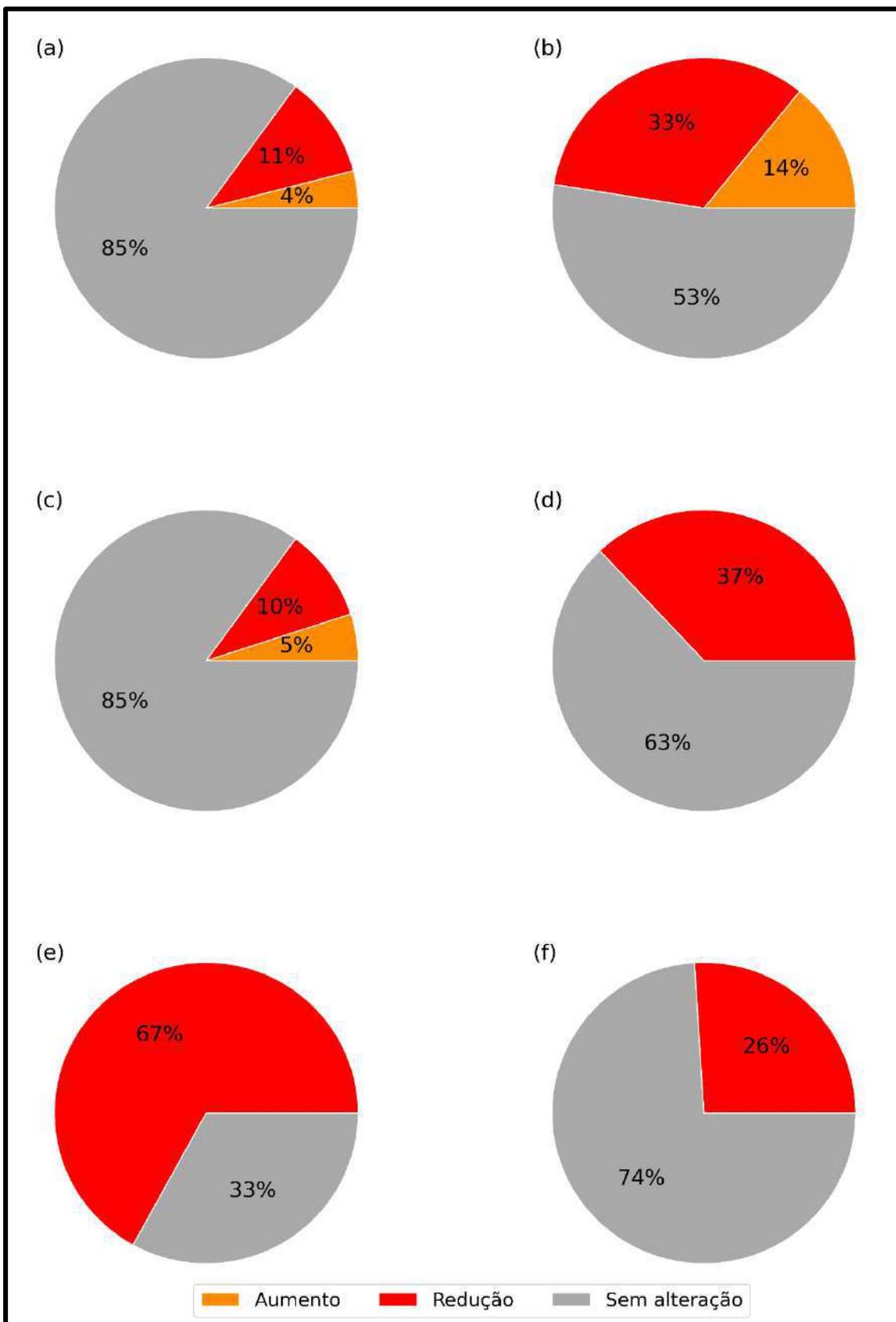
Figura 4: Revisão de GF no NEB, segundo documento [8].



A análise da revisão de GF por estado, revela que, a redução de GF predominou frente à porcentagem referente à algum tipo de alteração. Nos estados da BA (Figura 5a), PI (Figura 5b), e RN (Figura 5c), a redução de GF foi, respectivamente, em 11%, 33% e 10% dos parques avaliados, enquanto o aumento se deu em 4%, 14% e 5%. Já nos estados do CE, PB e PE, nenhum dos parques avaliados teve aumento no valor da GF, a redução foi, respectivamente, 37%, 67% e 26%.

Relacionando a Figura 5 com a Figura 3, há forte indícios de que a redução de GF sentida por 20% dos empreendimentos eólicos, localizados nos seis estados do NEB avaliados neste estudo, pode estar associada à variação negativa de recurso nos últimos 6 (seis) anos, visto que a garantia física é atualizada com base nos 5 anos passados de baixo recurso eólico.

Figura 5: Revisão de GF por estado (a) BA, (b) PI, (c) RN, (d) CE, (e) PB e (f) PE, segundo documento [8].



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise histórica da variabilidade de energia dos últimos 35 anos mostrou que os últimos seis anos (2018 a 2023) foram marcados por uma variação negativa na disponibilidade de recurso eólico na região do NEB. A partir da média do primeiro semestre do índice MEI v.2, foi possível verificar que em quatro deles (2018 e 2021 a 2023) estiveram atrelados à evento de LN.

Durante o período avaliado, houveram outros anos subsequentes negativos, como 2008 a 2011 na BA e PE (Figura 3a e 3f), 1994 a 2000 no PI (Figura 3b) e 1999 a 2004 no CE (Figura 3d), com pelo menos dois anos associados a LN. Além desta associação com a fase fria do evento ENOS, a existência de outros períodos com variação negativa subsequentes sugere que a variação é intrínseca à fonte. Períodos de variação positiva também foram verificados.

Salienta-se que, em decorrência do aquecimento global, o clima regional já pode estar sofrendo com as consequências do mesmo. Dado que os extremos climáticos se tornarão mais frequentes e intensos [1] e que os fenômenos de variabilidade climática ENSO atuam na desregularização da precipitação, é necessário que os órgãos, entidades e empresas do setor tenham ciência do passado e das tendências do futuro.

O documento [6] que regulamenta a revisão de garantia de parques eólicos não apresenta os motivos do período escolhido para a análise "... a partir do 13º mês e no mínimo 48 meses...", mas acredita-se que a motivação seja ter um período que demonstre um comportamento médio, com anos acima, abaixo e médios. Assim, projetos que iniciassem em anos de baixo recurso teriam um período para se recuperar e vice-versa (projetos que iniciarem em anos de alto recurso, teriam um período para retornar a média), não sofrendo assim, revisão de sua GF.

Contudo, o presente estudo e os dados da EPE [8] apontam para outra tendência. Foi observado na região, 06 (seis) anos consecutivos de baixo recurso, fato que pode ter contribuído para a revisão da garantia física (redução) de 20% dos projetos da região. Como sugestão, no que tange à uma maior adequabilidade dos parques eólicos à regra de revisão de GF, um aumento da incerteza na variabilidade interanual se mostra uma possibilidade para tornar a estimativa de produção de energia mais fidedigna à variação do recurso.

Além disso, sugere-se que o órgão regulador avalie com detalhes a regra de revisão de GF de modo a considerar as informações do presente trabalho e de outros estudos referenciados, incorporando a característica regional do Nordeste à regulação brasileira.

REFERÊNCIAS

- [1] IPCC, 2023. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- [2] Reboita, M. S. et al. The South Atlantic Subtropical Anticyclone: Present and Future Climate. *Frontiers in Earth Science*, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00008>.
- [3] CCEE. Geração de Energia Elétrica, 2024. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/web/guest/dados-e-analises/dados-geracao>
- [4] ANEEL. RALIE – Acompanhamento da Expensão da Oferta de Geração de Energia Elétrica, 2024. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/Ralie>
- [5] EPE. Garantia Física, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/garantia-fisica>
- [6] Cálculo e Revisão de Garantia Física de Energia de Empreendimentos Eólicos com base na Geração de Energia Elétrica Verificada, 2015. Disponível em: https://antigo.mme.gov.br/documents/72128/268769/Portaria_n_416-2015.pdf/ade61865-617b-8227-4df6-8ac0b63e1d27?version=1.0
- [7] IRENA. Renewable Energy Auctions: A guide to design, 2015. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_RE_Auctions_Guide_2015_6_liabilities.pdf?la=en&hash=350A7731E12C35443863582F76C76FD6CFD66C478
- [8] EPE. Cálculo e revisão de Garantia Física, 2022. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-publica-valores-de-garantias-fisicas-de-usinas-eolicas-para-2023/calculo-e-revisao-de-garantia-fisica-de-energia.pdf>
- [9] ECMWF. ERA5: Data Documentation, 2024. Disponível em: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>
- [10] Siefert, C. A. C. et al. Avaliação de Séries de Velocidade do Vento em Produtos de Reanálises Climáticas para o Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-7786360026>
- [11] Santos, J.S. Wind Speed Evaluation of MERRA-2, ERA-Interim and ERA-5 Reanalysis Data at a Wind Farm Located in Brazil. *Proceeding of Solar World Congress*, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18086/swc.2019.45.10>
- [12] Gualtieri, G. Reliability of ERA5 Reanalysis Data for Wind Resource Assessment: A Comparison against Tall Towers. *Energies*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en14144169>
- [13] Brune, S. et al. Evaluation of Wind Speed Estimates in Reanalyses for Wind Energy Applications. *Advances in Sciences & Research*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/asr-18-115-2021>
- [14] EMD International S/A. Energy Calculation. Disponível em: https://help.emd.dk/knowledgebase/content/windPRO4.0/c3-UK_windPRO4.0_ENERGY.pdf
- [15] EPOWEBAY. Wind Turbine Global Market: Brazil and Finland, 2018. Disponível em: <https://www.epowerbay.com/single-post/2019/04/29/wind-turbine-global-market-brazil-and-finland>
- [16] ASIAN DEVELOPMENT BANK. Guidelines for Wind Resource Assessment: best practices for countries initiating wind development, 2014. Disponível em: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/42032/guidelines-wind-resource-assessment.pdf>

- [17] Lee, J. C. Y; Fields, M. J. An overview of Wind-Energy-Production Prediction Bias, Losses, and Uncertainties. *Wind Energy Science*, 2021. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/79631.pdf>
- [18] DNV. Windiness 2020: A geospatial overview of wind resource - what are the implications for you?. *Articles*, 2021. Disponível em: <https://www.dnv.com/article/windiness-2020-a-geospatial-overview-of-wind-resource-what-are-the-implications-for-you--199700/>
- [19] Wolter, K; Timlin, M. S. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *Interntional Journal of Climatology*, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.2336>
- [20] NOAA. Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2). Disponível em: <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>
- [21] Fan, W. et al. Evaluation of Global Reanalysis Land Surface Wind Speed Trend to Support Wind Energy Development Using In Situ Observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2021. Disponível em: DOI: 10.1175/JAMC-D-20-0037.1
- [22] Pezzi, L. P. et al. Oceanic SACZ produces an abnormally wet 2021/2022 rainy season in South America. *Scientific Reports*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28803-w>
- [23] Braga, H; Ambrizzi, T. The Teleconnection between SPCZ and SACZ during La Niña Years. In: 13 International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/360523436_The_Teleconnection_between_SPCZ_and_SACZ_during_La_Nina_Years.
- [24] Geng, T. et al. Increased occurrences of consecutives La Niña events under global warming. *Nature*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06236-9>
- [25] Cai, W. et al. Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. *Nature*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0776-9>.
- [26] Machuca, M. N. et al. Estudo de Caso do Evento de Baixa Geração de Energia Eólica em 2009 no Nordeste Brasileiro: Possíveis Influências Climáticas Regionais. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26678/ABCM.CONEM2018.CON18-1345>
- [27] Azevedo, S. C. et al. Analysis of the 2012-2016 drought in the northeast Brazil and its impacts on the Sobradinho water reservoir. *Remote Sensing Letters*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/2150704X.2018.1437290>
- [28] Marengo, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil regions. *Earth Sciences*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- [29] Rao, V. B. et al. On the severe drought of the 1993 in north-east Brazil. *International Journal of Climatology*, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.3370150608>
- [30] Lima, C. N. N. et al. Estimacão do Impacto do El Niño/La Niña na Intensidade dos Ventos do Nordeste Brasileiro. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_232_240

Pagamento pela Concessão de Outorga de projetos eólicos offshore: Avaliação da parcela de Bônus de Assinatura

Thais Sobrosa¹, Monique Riscado¹, Amanda Vinhoza², Gustavo Ponte², Gabriella Dantas¹

¹ PSR; ² Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

thais@psr-inc.com; monique@psr-inc.com; amanda.vinhoza@epe.gov.br; gustavo.ponte@epe.gov.br; gabriella@psr-inc.com.

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma discussão sobre o pagamento a ser realizado pelo empreendedor pela concessão da Outorga de Eólicas Offshore, a partir das parcelas propostas pelo Projeto de Lei nº 576 de 2021. Das três parcelas apresentadas, a de bônus de assinatura é a que contempla uma maior incerteza e maior impacto potencial ao empreendedor. A experiência de países mais avançados no tema, com leilões já realizados, como os Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido e Escócia, é uma importante fonte de conhecimento qualitativo e também quantitativo para ser considerado no contexto nacional. Este tema é extremamente relevante porque uma oneração excessiva dos empreendedores com os custos de assinatura pode trazer riscos à viabilização dos projetos resultando, no limite, em atrasos de investimentos e, eventualmente, rompimento de contratos. A análise das experiências internacionais apresenta situações nas quais lances agressivos nos leilões, somados a outras questões conjunturais como alta de inflação, taxas de juros, entre outros, têm contribuído para as dificuldades por parte dos agentes em manter os projetos.

Palavras-chaves:

Energia eólica offshore; Projeto de Lei nº 576/2021; Bônus de Assinatura; LCOE; Risco

ABSTRACT

This paper discusses the payment to be made by the developer for the concession of Offshore Wind Grants, based on the installments proposed by Bill No. 576 of 2021. Among the three installments proposed, the signing bonus is the one with greatest uncertainty and potential impact on the developer. The experience of more advanced countries on this topic, with auctions already conducted, such as the United States, Germany, the United Kingdom, and Scotland, is an important source of qualitative and quantitative knowledge to be considered in the national context. This topic is extremely relevant because excessive burdens on developers with signing bonus can pose risks to the feasibility of projects, ultimately resulting in investment delays and potentially the termination of contracts. The analysis of international experiences shows situations where aggressive bidding in auctions, combined with other conjunctural issues such as high inflation, interest rates, among others, have contributed to the difficulties faced by agents in maintaining projects.

Keywords:

Offshore wind power; Bill No. 576/2021; Signing bonus; LCOE; Risk

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia com eólica offshore (OFW) é uma realidade há alguns anos em vários países do mundo e as perspectivas são de crescimento contínuo da fonte. De acordo com o Global Wind Energy Council (GWEC), a capacidade instalada global de energia eólica offshore atingiu 75 GW no final de 2023 [1]. Isso representa um crescimento significativo em comparação com os 64,3 GW registrados no final de 2022.

Em relação à participação potencial do Brasil no mercado da offshore, o país está muito bem-posicionado em nível mundial. Conforme estudos realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o país tem um potencial técnico da ordem de 700 GW, concentrados principalmente na costa das regiões Nordeste e Sudeste [2], enquanto o Banco Mundial estima um potencial ainda maior, de aproximadamente 1.200 GW [3].

Contudo, o mercado de OFW é ainda incipiente no país, sem parques instalados e fora da cadeia de valor de fornecimento de equipamentos e componentes. No entanto, nos últimos anos tem ocorrido um avanço nas discussões legislativas e regulatórias. Em 2022, houve a aprovação do Decreto 10.946/2022, da Portaria Normativa nº 52/GM/MME/2022 e da Portaria Interministerial MME/MMA nº 03/2022, com o regramento para a cessão de áreas no mar para geração de energia elétrica, podendo ser na forma planejada ou independente. A primeira consiste na oferta de prismas previamente delimitados pelo MME a quaisquer interessados, por meio de licitação, enquanto o segundo consiste na atribuição de prismas requeridos por iniciativa dos interessados em explorá-los, os quais também serão objeto de licitação.

Ademais, pode-se citar iniciativas no Poder Legislativo, merecendo especial destaque o Projeto de Lei 576/2021 (PL 576/2021), em discussão mais avançada no momento, com objetivo de disciplinar sobre o aproveitamento de potencial energético offshore. Tal cessão de uso da área poderá ser feita por meio de oferta planejada ou permanente. A primeira consiste na oferta de prismas previamente delimitados pelo poder concedente a quaisquer interessados, por meio de licitação, enquanto a segunda consiste na atribuição de prismas requeridos por iniciativa dos interessados em explorá-los, os quais também serão objeto de processo concorrencial.

Com a mudança de governo no início de 2023, o avanço da regulação infralegal foi pausado e o mercado passou a aguardar a tramitação do projeto de lei, que trará maior segurança jurídica para o processo de cessão de área para projetos eólicos offshore.

Em nota técnica (NT) publicada recentemente pela EPE, são feitas considerações acerca do valor a ser cobrado pela cessão de áreas para projetos de geração eólica offshore [4]. Conforme discutido no estudo, a legislação atual que rege a cessão de uso de bens imóveis de domínio da União prevê que a cessão do leito marinho para geração de energia elétrica deve ser feita de forma onerosa no Brasil. A NT também traz uma revisão da estrutura de pagamento pela cessão em outros países e em outros casos brasileiros, como o de usinas hidrelétricas e o de óleo e gás.

Na redação mais recente do referido PL, que tem precedido a discussão da regulação para cessão de uso do mar, está previsto o pagamento de participações governamentais, a ser realizado pelo empreendedor pela concessão da Outorga. Este pagamento está dividido em três parcelas:

- I. **Bônus de assinatura:** valor será estabelecido no edital e no respectivo termo de outorga e corresponderá ao pagamento ofertado na proposta para obtenção da outorga;
- II. **Taxa de ocupação da área:** calculada em real por quilômetro quadrado (R\$/km²), cujo pagamento será realizado anualmente;
- III. **Participação proporcional na receita gerada:** pagamento mensal, a partir da data de entrada em operação comercial, correspondente a percentual, a ser estabelecido no edital, do valor da energia gerada pelo empreendimento, calculado conforme o regulamento.

No entanto, o referido PL não apresenta de forma detalhada como tais pagamentos serão calculados. Com a expectativa de aprovação iminente deste projeto de lei, torna-se relevante o aprofundamento das discussões acerca do referido tema. Dessa forma, especificamente neste artigo, o foco será em avaliar os

possíveis caminhos que podem vir a ser adotados para definição do valor a ser pago no Bônus de Assinatura pelo agente vencedor da licitação. Esta parcela representa uma receita potencial de curto prazo para a União, dado que deve ser paga no momento de assinatura do termo de outorga¹.

O artigo está dividido em três capítulos, além desta breve introdução. A primeira seção destina-se a levantar experiências correlatas, tanto no contexto nacional quanto internacional, ao pagamento pelo bônus de assinatura previsto no PL 576/2021, de forma a avaliar as metodologias que vêm sendo aplicadas e os principais resultados até o momento de elaboração deste artigo. A segunda seção objetiva replicar essas experiências ao contexto nacional, avaliando a relação entre os custos com o bônus de assinatura e o impacto potencial nos preços de energia para que tais empreendimentos sejam viabilizados. Por fim, as considerações finais resumem as principais reflexões a serem consideradas quando da definição da metodologia a ser aplicada para o cálculo do bônus de assinatura a ser pago pela cessão da área.

2. BÔNUS DE ASSINATURA: EXPERIÊNCIAS CORRELATAS

A bonificação por outorga é um dos critérios de julgamento previstos na Lei 8.987/1995² para a escolha de um licitante vencedor em uma concessão pública. Trata-se de um pagamento comum no setor elétrico, principalmente para as usinas hidrelétricas (UHEs), quando há pagamento de um montante no ato de assinatura em caso de prorrogação e nova licitação. Dessa forma, considerando o contexto nacional, é possível traçar um paralelo entre o **Bônus de Outorga** e a parcela denominada de **Bônus de Assinatura**.

Analogamente, ainda traçando paralelos com experiências nacionais, é possível citar o bônus de assinatura do regime de concessão para exploração e produção de petróleo e gás natural. Trata-se de um pagamento previsto na Lei nº 9.487/1997, cujo montante mínimo é definido pela ANP no edital da licitação e deve ser pago integralmente no ato de assinatura do contrato.

Contudo, ressalta-se que, em ambos os casos, para o cálculo do valor a ser pago são consideradas especificidades referentes à tecnologia envolvida. No caso das UHEs, por exemplo, são considerados fatores como custo operacional das usinas, no qual aplica-se uma fórmula que leva em consideração a área do reservatório, número de unidades geradoras, entre outros. Assim, é fundamental que nesse cálculo sejam consideradas as características específicas das usinas eólicas offshore³.

Diante do exposto, para esse exercício, a metodologia ideal é analisar os mecanismos de cobrança que vem sendo aplicados em experiências internacionais. Para isso, foram analisadas quatro experiências de países que estão em estágios mais desenvolvidos do mercado eólico offshore, as quais serão detalhadas a seguir. No entanto, será dado foco no pagamento inicial a ser arcado pelos vencedores dos leilões.

De forma geral, a experiência internacional revela diferentes abordagens de cobrança pela cessão da área. Há países que não consideram uma cobrança explícita pelo uso da área, como forma de estimular o desenvolvimento da fonte e/ou minimizar o impacto no preço da energia. Porém, inclusive em alguns desses países, é comum encontrar a exigência mínima de um aporte de garantia (ou caução) para participação na licitação. Entretanto, na maioria dos países, a cessão é onerosa e é cobrado um aluguel periódico, análogo à **taxa de ocupação da área**. Essa taxa pode variar conforme a fase do projeto e do procedimento de cessão, e pode ser substituída na fase operacional por uma taxa incidente sobre a receita ou energia produzida, análoga à cobrança de **participação proporcional**.

¹ No edital pode ser definida a possibilidade de parcelamento do pagamento, com um percentual a ser pago no momento da assinatura e o restante de acordo com implantação do empreendimento.

² Art. 14. *Toda concessão de serviço público, precedida ou não da execução de obra pública, será objeto de prévia licitação, nos termos da legislação própria e com observância dos princípios da legalidade, moralidade, publicidade, igualdade, do julgamento por critérios objetivos e da vinculação ao instrumento convocatório.*

Art. 15. *No julgamento da licitação será considerado um dos seguintes critérios:*

.....
II - a maior oferta, nos casos de pagamento ao poder concedente pela outorga da concessão.

³ Mais informações podem ser encontradas na Nota Técnica “Geração Eólica Offshore - Considerações sobre valor devido à União pela cessão de área”, publicada pela EPE [4].

Por fim, dentre os países analisados, a cobrança menos frequente é a de **Bônus de assinatura** (ou **Taxa de opção**). Essa prática é observada nos Estados Unidos, Reino Unido e Escócia. Na Alemanha, apesar de não haver claramente uma parcela de bônus de assinatura, este critério de desempate foi aplicado na segunda fase do procedimento de leilão, incidindo como um pagamento inicial que representa um percentual do valor total do leilão. As subseções seguintes detalham a experiência desses países.

2.1 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, o *Bureau of Ocean Energy Management* (BOEM) é a instituição responsável pela cessão de áreas offshore. A estrutura de pagamento pela cessão de área dos EUA é composta por: um depósito, análogo ao bônus de assinatura, que depende da proposta vencedora do leilão e é pago no momento da celebração da cessão; um aporte de garantia no valor de US\$ 100.000 anterior à celebração da cessão; com a cessão celebrada, é cobrado um aluguel anual, de US\$ 3/acre e um aluguel da área de servidão destinada ao cabeamento até a costa, do maior valor entre US\$ 5/acre e US\$ 450; quando do início da operação comercial, é cobrada uma taxa operacional anual, que substitui o aluguel anual, e que representa 2% do faturamento bruto do empreendedor [5].

O processo licitatório é iniciado com um lance mínimo, que é o lance mais baixo que o BOEM aceitaria como lance vencedor. Nos últimos leilões, realizados em 2022 e 2023 (Tabela 1), o BOEM propôs um lance mínimo de 50 ou 100 US\$/acre para o arrendamento. A cada rodada do leilão, o preço pedido pelo BOEM é elevado e os competidores indicam se estão dispostos ou não a pagar aquela quantia pela cessão da área. O leilão vai até apenas um competidor aceitar pagar o preço pedido, ou para o que oferecer a melhor proposta, composta por um bônus em dinheiro, e que pode ser complementada com um crédito, quando o projeto atender a requerimentos de geração de co-benefícios, como geração de emprego, desenvolvimento da cadeia de suprimentos e benefícios à comunidade.

De acordo com a Tabela 1, no leilão realizado para o estado de Nova York, em 2022, as propostas vencedoras atingiram montantes cerca de 100 vezes maiores que as propostas mínimas pelas áreas, chegando a um valor total máximo de 1,1 bilhão de US\$. Em termos de cobrança por unidade de área, os lances vencedores chegaram à faixa dos 844 mil US\$/MW.

*Tabela 1 - Resultado Leilões Estados Unidos - Ago/2023(Golfo do México), Dez/2022 (California), Mai/2022 (Carolina do Norte) e Fev/2022 (Nova York) **Erro! Fonte de referência não encontrada.***

Lote	Ganhador	Lance no leilão (US\$ milhões)	Potência (MW)	US\$/MW
Golfo do México/OCS-G 37334	RWE Offshore US Gulf, LLC	5,6	1.240	4.516
California/OCS-P 0565	Invenergy California Offshore LLC	145,3	976	148.873
California/OCS-P 0564	Golden State Wind LLC	150,3	976	153.996
California/OCS-P 0563	Equinor Wind US LLC	130,0	972	133.745
California/OCS-P 0562	California North Floating, LLC	173,8	838	207.399
California/OCS-P 0561	RWE Offshore Wind Holdings, LLC	157,7	769	205.072

Carolina do Norte/OCS-A 0546	Cinergy Corp	155,0	662	234.193
Carolina do Norte/OCS-A 0545	TotalEnergies Carolina Long Bay, LLC	160,0	659	242.702
Nova York/OCS-A 0544	Vineyard Mid-Atlantic LLC	285,0	523	544.933
Nova York/OCS-A 0542	Invenergy Wind Offshore LLC	645,0	934	690.578
Nova York/OCS-A 0541	Atlantic Shores Offshore Wind Bight, LLC	780,0	924	844.156
Nova York/OCS-A 0539	Community Offshore Wind, LLC	1.100,0	1.387	793.079
Nova York/OCS-A 0538	Attentive Energy LLC	795,0	964	824.689
Nova York/OCS-A 0537	Bluepoint Wind, LLC	765,0	868	881.336

2.2 Alemanha

Existem dois diferentes sistemas de leilão para eólicas offshore de acordo com o arcabouço regulatório alemão. Um sistema é direcionado para áreas previamente investigadas pelas autoridades governamentais, enquanto o segundo é destinado a áreas que não passaram pelo processo de investigação prévia.

Em julho de 2023 a Alemanha realizou o maior leilão de eólica offshore do país, licitando 7 GW de capacidade e totalizando uma arrecadação de 12,6 bilhões de Euros, pelo direito de desenvolver os projetos.

Esse leilão foi do tipo destinado a áreas que não passaram pelo processo de investigação prévia. Nesse processo, o critério econômico é o único parâmetro de decisão do vencedor e o procedimento de licitação ocorre de forma dinâmica, dividido em duas fases:

- Na primeira fase do leilão, os vencedores serão selecionados com base na menor proposta de subsídios necessários para desenvolver o projeto que oferecerem.
- Caso na primeira fase a oferta pelo subsídio seja zero, então o certame passa para a segunda fase, onde os licitantes ofertam valores a serem pagos pelos lotes do processo competitivo. Os empreendedores irão pagar, inicialmente, 10% da receita do leilão dentro do prazo de 12 meses após o vencerem o leilão. Depois de um ano, serão pagos os 90% da receita em taxas anuais iguais durante o período de 20 anos.

No leilão mais recente, em todos os lotes houve uma empresa que renunciou ao apoio federal (*feed-in tariff*), com valor teto de € 0,062/kWh, sendo assim, a segunda etapa foi acionada, com lances a partir de €2.000.000,00, conforme tabela a seguir.

Tabela 2 - Resultado Leilão Alemanha - Jul/2023 [7]

Lote	Ganhador	Lance no leilão (€ milhões)	Potência (MW)	€/MW
Mar Norte	BP	3.660	2.000	1.830.000
Mar Norte	TotalEnergies	3.750	2.000	1.875.000
Mar Norte	BP	3.120	2.000	1.560.000
Mar Báltico	TotalEnergies	2.070	1.000	2.070.000

No caso da Alemanha, por exemplo, estima-se que os projetos necessitarão de uma receita entre 70 e 80 €/MWh, pelo menos, para serem economicamente viáveis. Considerando que a média de preços no mercado spot foi de 40 €/MWh entre 2006 e 2020 [8], os valores estimados para viabilizar a venda da energia desses empreendimentos é significativamente maior do que os preços históricos de mercado, o que pode ocasionar desafios para o desenvolvimento desses projetos, assim como em outras experiências internacionais. Naturalmente, um pagamento tão expressivo pelas licenças aumenta consideravelmente o desafio de rentabilizar os projetos com a venda de energia no mercado spot ou em contratos bilaterais – os PPAs.

Apesar de no caso alemão não haver separação do montante a ser pago em diferentes parcelas, como é o proposto pelo PL 576/2021 no Brasil, podemos fazer um paralelo entre a parcela a ser paga nos primeiros 12 meses do projeto no caso alemão (10% do montante total) com o bônus de assinatura a ser pago no caso brasileiro, montante que também será desembolsado no início do desenvolvimento do projeto, visando discutir a ordem de grandeza que essa parcela poderá assumir.

2.3 Reino Unido

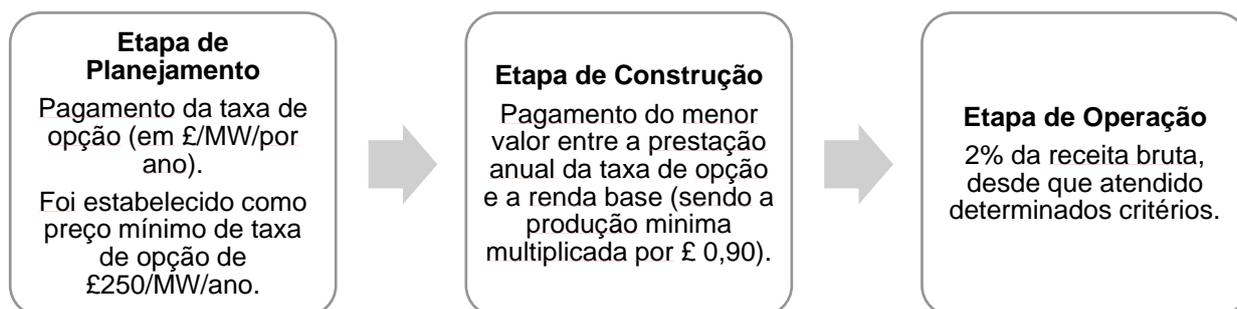
No Reino Unido, os procedimentos de cessão de área para energia eólica offshore são regulamentados e conduzidos pelo *The Crown Estate*, e ocorrem em rodadas (*Rounds*). Até o momento, foram realizadas cinco rodadas, a primeira teve início em 2000 e a quinta em 2023. Nas primeiras rodadas, o vencedor do leilão de cessão era definido a partir de uma metodologia de pontuação dependente de critérios de competência dos desenvolvedores, com uma Taxa de Opção (*Option fee*) definida. A partir do Round 4, o procedimento mudou e, após passarem por uma pré-qualificação, os participantes do leilão passaram a competir com base na maior proposta de Taxa de Opção oferecida, em £/MW/ano [9].

Ao assinarem o Contrato de Cessão (*Agreement for Lease – AfL*) pelo direito de uso do espaço marinho, os desenvolvedores se comprometem a pagar uma taxa de opção anual, que será paga com base na capacidade total do projeto. Essa taxa deverá ser paga pelo período de no mínimo 3 anos, podendo se estender por até 10 anos, sendo a primeira parcela depositada no momento do leilão. Assim, quanto mais rápida for a tomada de decisão de investimento por parte do empreendedor, menor será o montante total a ser pago. No Round 4, foi estabelecido o valor de £250/MW/ano como preço mínimo para a taxa de opção.

Após a fase de AfL, o pagamento da taxa de opção é cessado. Nessa etapa, quando o projeto estiver em fase de construção, o desenvolvedor poderá celebrar um Contrato de Arrendamento de até 60 anos, com direitos para construção e operação do projeto. Nesse período, o empreendedor deverá pagar uma taxa de aluguel que será referente ao menor valor entre a parcela anual da taxa de opção e a renda base (sendo a produção mínima multiplicada por £0,90).

Por fim, quando o ativo entra em operação, a taxa a ser paga é novamente alterada. Na etapa de operação, até o final do período de concessão, a renda a ser paga pelo empreendedor será 2% da receita bruta, sujeita a determinados mínimos.

O esquema abaixo sumariza as etapas do pagamento pela cessão da área:



Para o Round 4, as Taxas de Opção dos projetos vencedores variaram entre 76.203 e 154.000 £/MW/ano, para um total de 8 GW leiloados, resultando em um primeiro pagamento de mais de £ 900 milhões para o The Crown Estate. A tabela a seguir apresenta de forma detalhada o resultado:

Tabela 3 - Resultado da Rodada 4 do Reino Unido - Fev/2021 [10]

Lote	Ganhador	Lance no leilão	Potência (MW)	£/MW
Dogger Bank region	RWE Renewables	£114.304.500	1.500	£76.203
Dogger Bank region	RWE Renewables	£133.350.000	1.500	£88.900
Southern North Sea region	Green Investment Grou	£124.573.500	1.500	£83.049
North Wales region	Consortium of EnBW and BP	£231.000.000	1.500	£154.000
North Wales region	JV Cobra Instalaciones y Servicios, S.A. and Flotation Energy	£44.751.840	480	£93.233
North Wales region	Consortium of EnBW and BP	£231.000.000	1.500	£154.000

Em fevereiro de 2023 teve início o Round 5, no entanto, não foram recebidas ofertas. Este resultado é decorrente do somatório de dois fatores:

- (i) O aumento de custos de investimento na indústria de offshore:
 - o Os desenvolvedores apontaram um aumento substancial dos custos da indústria, decorrente principalmente do crescimento acelerado da inflação, com o custo dos componentes aumentando em cerca de 40% [11]; e
- (ii) A redução do limite de preços garantido pela eletricidade produzida através de empreendimentos eólicos offshore:

- O mecanismo britânico de “contrato por diferença”⁴, lançado em 2014, oferece aos empreendedores de energia renovável um preço garantido pela eletricidade produzida. Contudo, foi imposto um limite para licitações eólicas offshore de £ 44/MWh, abaixo das £ 46/MWh no Round 4.

Como consequência, em fevereiro de 2024, o The Crown Estate reiniciou a realização do Round 5, adotando importantes alterações. Com o objetivo de viabilizar os projetos, foi definida uma nova estrutura para a Taxa de Opção, mantendo o incentivo para entregar projetos no prazo, recompensa a entrega mais rápida, mas, incluindo um compartilhamento de riscos com o The Crown Estate em caso de atrasos que estão além do controle dos licitantes. O compartilhamento ocorre a partir do sexto ano do Período de Opção, sendo oferecido um desconto de 50% na taxa de opção, caso seja comprovada a ausência de responsabilidade do empreendedor no atraso.

Em relação ao caso brasileiro, a taxa de opção é a parcela que mais se assemelha ao bônus de assinatura. Contudo, importa ressaltar que esta deve ser paga pelo prazo mínimo de 3 anos, podendo se estender até 10 anos. Por outro lado, o PL 576/2021 define que o bônus de outorga no caso nacional deverá ser pago integralmente no ato da assinatura do termo de outorga.

2.4 Escócia

Na Escócia, o processo de identificação e cessão de áreas é conduzido pelo *Crown Estate Scotland* (CES). O procedimento de cessão escocês é similar ao do Reino Unido, com o pagamento da Taxa de Opção, seguido por um aluguel após iniciada a operação do parque. Os contratos de opção também são de até 10 anos, tempo destinado aos levantamentos de campo, obtenção de licenças, permissões e financiamento.

Entretanto, na Escócia, a maior parte da receita obtida dos projetos já cedidos vem da locação das áreas e não das taxas de opção. A experiência nestes casos mostrou que as taxas de opção mais altas afastavam os desenvolvedores, dificultando o objetivo do CES de maximizar o número de projetos e cumprir suas metas. Por isso, ao lançar a rodada ScotWind em 2020, o CES inicialmente limitou a taxa de opção a um máximo de £ 10.0000/km², a depender da área escolhida [12].

Porém, depois dos resultados do Round 4 realizado pelo Reino Unido, a rodada escocesa foi adiada, diante da preocupação de estarem subestimando os preços que poderiam ser alcançados. Assim, depois de algumas revisões da estrutura das Taxas de opção fixas, o governo escocês resolveu fixar o limite máxima da Taxa de opção £ 100.000/km², 10 vezes maior que o proposto anteriormente. Além das ofertas de taxa de opção, as propostas da rodada ScotWind foram avaliadas com base nos projetos, orçamento, experiência do desenvolvedor e recursos financeiros [13].

Como resultado, a rodada ScotWind, conduzida em 2022, teve Taxas de opção variando entre 2.600 e 43.000 £/MW para os 20 contratos assinados, totalizando quase 30 GW de capacidade e uma arrecadação de £ 755 milhões em taxas de opção. O detalhamento das taxas de opção ofertadas será apresentado na tabela a seguir:

Tabela 4 - Resultado Leilão Escócia - Abr/2022 [13]

Lote	Ganhador	Lance no leilão	Potência (MW)	£/MW
1	BP Alternative Energy Investments	£85.900.000	2.907	29.549
2	SSE Renewables	£85.900.000	2.610	32.912

⁴ Esse mecanismo define que, caso os preços de eletricidade estiverem acima do preço definido, as empresas pagam o excesso de volta aos fornecedores de energia, o que deve ajudar a reduzir as contas. Se os preços caírem abaixo do preço garantido, os fornecedores de energia – e os clientes – pagam à empresa a diferença.

3	Falck Renewables	£28.000.000	1.200	23.333
4	Shell New Energies	£86.000.000	2.000	43.000
5	Vattenfall	£20.000.000	798	25.063
6	DEME	£18.700.000	1.008	18.552
7	DEME	£20.000.000	1.008	19.841
8	Flack Renewables	£25.600.000	1.000	25.600
9	Ocean Winds	£42.900.000	1.000	42.900
10	Flack Renewables	£13.400.000	500	26.800
11	Scottish Power Renewables	£68.500.000	3.000	22.833
12	BayWa	£33.000.000	960	34.375
13	Offshore Wind Power	£65.700.000	2.000	32.850
14	Northland Power	£3.900.000	1.500	2.600
15	Magnora	£10.300.000	495	20.808
16	Northland Power	£16.100.000	840	19.167
17	Scottish Power Renewables	£75.400.000	2.000	37.700

Assim, de forma semelhante ao analisado no caso do Reino Unido, trata-se de uma parcela semelhante ao Bônus de Assinatura, dado o pagamento ocorrer no momento da assinatura da outorga, no entanto, deve ser pago por pelo menos três anos.

3. APLICAÇÃO AO CONTEXTO NACIONAL

Após analisados quatro casos de experiências internacionais com parcelas semelhantes ao bônus de assinatura, previsto pelo PL 576/2021, objetiva-se nesta seção definir uma métrica para estimar o valor a ser pago nesta parcela no contexto nacional.

A partir dos resultados apresentados na seção anterior dos leilões de offshore realizados nos quatro países analisados e trazendo os valores para uma data-base comum (fev/2024), é possível definir um valor médio que foi pago pelos empreendedores no momento de assinatura das cessões. Contudo, dado que as metodologias diferem da prevista para ser aplicada no Brasil, é importante fazer algumas observações:

- Estados Unidos: experiência mais semelhante ao contexto nacional, utilizamos como base os valores mais recentes dos *bids* apresentados na Tabela 1;
 - O leilão de Nova Iorque, realizado em fevereiro de 2022, apresentou valores de *bids*, em média, 3,8 vezes superior em comparação aos *bids* dos leilões mais recentes.
- Alemanha: consideramos 10% do valor dos *bids* apresentados na Tabela 2, e que o valor seria pago em uma única parcela no momento da assinatura;
- Reino Unido e Escócia: experiências mais distantes da realidade nacional, os valores ofertados e apresentados nas Tabela 3 e Tabela 4 devem ser pagos por no mínimo três anos (podendo ser até dez anos) e o mecanismo de leilão prevê não apenas o leilão da área, mas também da energia.

O gráfico abaixo apresenta o resultado desse exercício, com os valores mínimo, médio e máximo observados em cada um dos países nos leilões mais recentes:

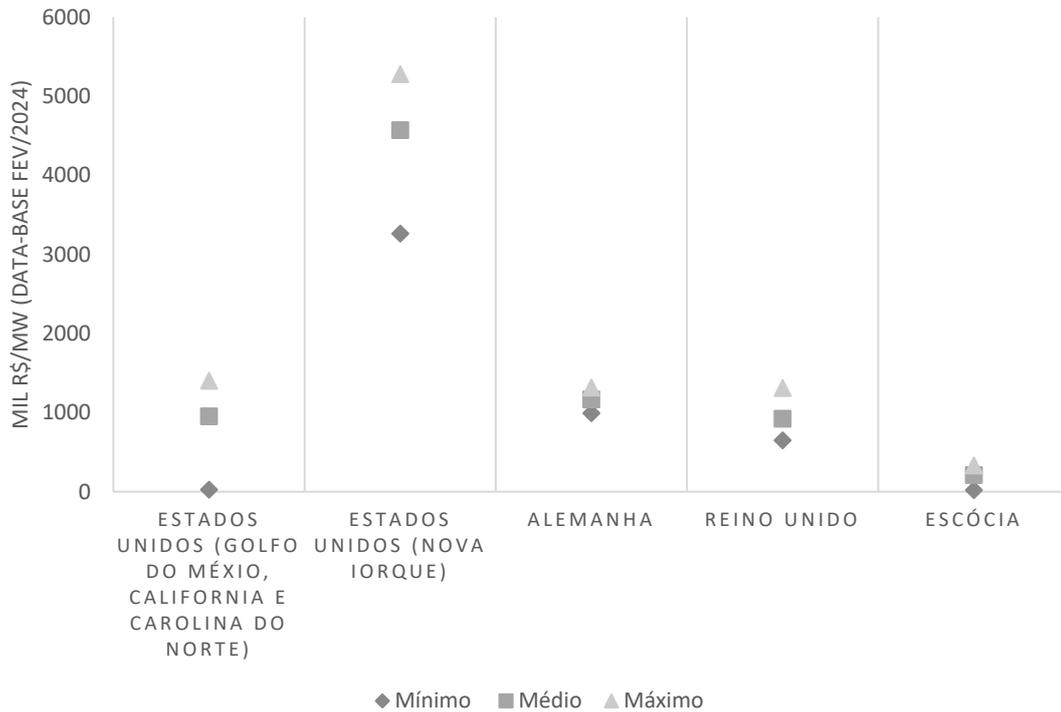


Figura 1 - Valores praticados nos leilões mais recentes das experiências analisadas - data base: fevereiro/2024

Apesar da alta variação das ofertas e considerando apenas a experiência dos Estados Unidos e da Alemanha, calculou-se um valor médio de **R\$ 2.230,5 mil por MW** de capacidade, pago no momento de assinatura do contrato pelo direito a explorar a área. Apesar de não serem incluídas no cálculo do valor médio, as demais experiências são fundamentais, dado que trazem importantes lições de funcionamento do leilão e de consequências que uma má precificação pode trazer.

Um dos principais pontos de atenção ressaltados na seção anterior é em relação aos elevados *bids* que têm sido ofertados pelos empreendedores. Quanto maior esse valor, mais elevados os custos do projeto. Contudo, custos de projeto muito elevados podem inviabilizar o atendimento aos contratos firmados na licitação, e até mesmo, no limite, resultar em tarifas muito elevadas, onerando o consumidor ou criando uma dependência de subsídios por parte do Poder Concedente.

Uma forma simplificada para testar o impacto potencial no consumidor de diferentes premissas na composição do bônus de assinatura é estimando o impacto desses cenários no Custo Nivelado de Energia (LCOE) da eólica offshore, como é apresentado no exercício a seguir.

O LCOE de um projeto de geração de energia corresponde à receita média, em R\$/MWh, que cobre todos os custos do projeto (investimento e operação) e garante uma taxa interna de retorno (TIR) para o acionista igual à taxa mínima de atratividade⁵.

Para o cálculo do LCOE das eólicas offshore, foi utilizada a metodologia de Fluxo de Caixa Descontado (FCD)⁶, incluindo premissas típicas para a tecnologia, como os custos de investimento⁷, custos de produção, parâmetros técnicos, condições de financiamento, encargos e impostos. Devido à característica

⁵ Esta taxa pode variar conforme os objetivos do empreendedor dado que representa o mínimo que o investidor se propõe a ganhar para aplicar seus recursos em determinado negócio.

⁶ Metodologia adotada pela Lazard, conforme descrito em <https://www.lazard.com/media/20zoovyg/lazards-lcoeplus-april-2023.pdf>

⁷ Utilizou como referência os valores apresentados pela EPE no PDE 2031 - <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-591/Caderno%20de%20Par%C3%A2metros%20de%20Custos%20-%20PDE2031.pdf>

intensiva em capital das tecnologias renováveis, os custos de capital são o maior componente do seu LCOE. Dentre as premissas adotadas, apresenta-se algumas das principais:

- CAPEX: Valores a partir do PDE 2031 [15];
- O&M: 3% do CAPEX;
- Taxa Mínima de Atratividade: 11,5%;
- Fator Capacidade: 57%;
- Vida útil do projeto: 25 anos (semelhante ao caso das usinas eólicas onshore).

A partir da metodologia utilizada, obteve-se um custo nivelado de energia para a eólica offshore no Brasil no valor **R\$ 615,40/MWh**. Neste valor, não estão incluídas as parcelas de pagamento pela cessão da área previstas pelo PL 576/2021. No entanto, a inclusão de novos custos resulta em um aumento do LCOE.

Assim, a tabela abaixo apresenta os resultados de impacto no LCOE da eólica offshore para diferentes premissas de valores de bônus de assinatura.

Tabela 5 - Impacto do Bônus de Assinatura no LCOE

Premissas	Valor (R\$/MW)	LCOE (R\$/MWh)	Variação (%)
Sem pagamento pela cessão da área	-	615,40	-
Com bônus de assinatura – Valor médio EUA e Alemanha	R\$ 2.230.260,80/MW	701,93	+ 14,06%
Com bônus de assinatura – Valor médio EUA (exceto Nova Iorque) e Alemanha	R\$ 1.059.538,02/MW	654,93	+ 6,42%
Com bônus de assinatura – Valor mínimo definido nos leilões dos EUA (\$ 100,00/acre)	R\$ 514.566,69/MW	635,62	+ 3,29%

A partir do exposto na Tabela 5, utilizando as premissas das experiências internacionais analisadas, estima-se que o impacto do bônus de assinatura pode resultar em um aumento entre 3,29% e 14,06% do LCOE. Assim, a cada R\$ 100.000,00 de pagamento devido no momento de assinatura, há um aumento de 0,65% no LCOE da tecnologia.

Contudo, mesmo sem considerar o impacto potencial decorrente do pagamento pelo bônus de assinatura, o LCOE inicial estimado para as eólicas offshore é superior às principais tecnologias que compõem a matriz elétrica brasileira. Ademais, além de comparar com as demais tecnologias, em um cenário no qual o LCOE é superior ao preço pago pela energia, o projeto pode não ser viável economicamente sem suporte adicional, como subsídios ou incentivos.

Por fim, é importante ressaltar que esse exercício estima o impacto apenas da parcela de bônus de assinatura. As parcelas de taxa de ocupação e de participação na receita também devem ser incluídas pelos agentes no fluxo de caixa, resultando em um LCOE ainda maior.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos principais desafios para a eólica offshore é sua competitividade, já que essa tecnologia ainda é consideravelmente mais cara que outras alternativas - de acordo com estimativas do PDE 2031, o CAPEX da eólica offshore é cerca de 2,3 vezes maior que o da onshore. Sendo assim, existe a preocupação de que, ao se cobrar pelo uso da área nesses empreendimentos, não haja sobreoneração que aumente consideravelmente os custos dos agentes e acabe por ser repassado para a tarifa dos consumidores de energia, especialmente caso haja futuramente um processo de contração de energia para essa fonte sem competição com outras tecnologias.

Ao mesmo tempo, existe um consenso de que o critério econômico é relevante para o processo de cessão da área, ainda que não seja o único parâmetro a ser considerado, em concordância com o que consta no Projeto de Lei nº 576/2021: “no julgamento, será considerado como critério, além de outros que o edital expressamente estipular, o maior valor ofertado a título de participações governamentais”. O desafio passa a ser mensurar qual montante deverá ser destinado ao pagamento dessas participações governamentais.

Neste artigo focamos em analisar apenas uma das três parcelas previstas no PL 576 a serem pagas por esses empreendimentos, o bônus de outorga, à luz de experiências internacionais. Foram analisados os casos dos Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido e Escócia. É importante salientar que, em alguns desses países, o leilão de energia e de área são combinados, tornando mais difícil estimar o valor implícito considerado pelo pagamento da área.

De acordo com as simulações feitas em relação ao LCOE atual estimado para eólicas offshore no Brasil (R\$ 615,40/MWh), a utilização de ordens de grandeza para o pagamento do bônus de assinatura similares aos padrões utilizados internacionalmente, podem impactar o LCOE entre 3,33% e 14,42%.

Vale ressaltar que o valor total a ser pago pelo empreendedor no caso brasileiro será ainda maior do que os montantes analisados, ao somarmos as duas parcelas associadas à área ocupada pelo empreendimento e à energia a ser produzida, o que, somado ao fato de ser uma parcela que possivelmente será paga no início do projeto, aumenta a importância da discussão a respeito de sua racionalização. O valor mínimo a ser pago pelo bônus de outorga ainda não possui valores de referência para o Brasil e será definido no edital do processo competitivo pela cessão da área.

Nota-se, a partir de algumas experiências internacionais, que caso os preços de mercado sejam insuficientes para viabilizar os projetos, os empreendedores podem acabar por rescindir contratos, postergar decisões de investimento, abandonar projetos ou buscar novas receitas junto ao governo. Nos Estados Unidos, o contexto de alta inflação, elevadas taxas de juros e gargalos na cadeia de suprimentos impactou o mercado eólico offshore em 2023, com contratos de venda de energia cancelados em Massachusetts, Connecticut e Nova Jersey [16]. A Avangrid, em julho de 2023, pagou US\$49 milhões ao estado de Massachusetts para rescindir um PPA, embora não tenha desistido do projeto Commonwealth Wind. Já a dinamarquesa Orsted, em março de 2023, declarou que precisará de mais apoio do governo para concluir o projeto Hornsea 3, no Reino Unido [8].

No Brasil, a legislação vigente prevê que a cessão de uso do espaço marinho, sendo um bem público da União, deve ser onerosa. Além disso, os leilões com fins arrecadatórios são positivos em atingir dois objetivos imediatos: (1) promover o desenvolvimento renovável; e (2) originar fundos que podem ser revertidos para o bem comum. No entanto, é importante que haja diligência das empresas participantes e do governo, para evitar que erros de estratégia encareçam os projetos, o que no futuro retorna para os consumidores por meio de preços ou tarifas mais altas. No fundo, o resultado pode acabar sendo um empréstimo tomado pelos contribuintes a taxas mais altas que os juros vigentes, a ser arcada pelos consumidores de energia. Além disso, vale ressaltar que é importante que a regra a ser definida nos primeiros anos e o montante a ser cobrado possam sofrer revisões nas licitações futuras conforme os custos da tecnologia reduzam e o mercado amadureça, como é visto na experiência internacional.

REFERÊNCIAS

- [1] Global Wind Energy Council. (2024). *Global Offshore Wind Report 2024*. Disponível em: https://gwec.net/wp-content/uploads/2024/06/GOWR-2024_digital_final_v2.pdf.
- [2] EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2020). *Roadmap Eólica Offshore Brasil*. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf
- [3] World Bank. (2019). *Going global – Expanding offshore wind to emerging markets*. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/716891572457609829/pdf/Going-Global-Expanding-Offshore-Wind-To-Emerging-Markets.pdf>
- [4] EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2024). *Geração Eólica Offshore – Considerações sobre o valor devido à União pela cessão de área*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-821/NT%20Offshore%20UBP%20EPE-DEE-036-2023-R1.pdf>
- [5] Code of Federal Regulations. (2023). *Title 30, Chapter V, Subchapter B, Part 585, Section 585.200(b)*. Disponível em: [https://www.ecfr.gov/current/title-30/chapter-V/subchapter-B/part-585#p-585.200\(b\)](https://www.ecfr.gov/current/title-30/chapter-V/subchapter-B/part-585#p-585.200(b)).
- [6] Bureau of Ocean Energy Management – BOEM. *Lease and Grant Information*. Disponível em: <https://www.boem.gov/renewable-energy/lease-and-grant-information>
- [7] Watson Farley & Williams. (2023). *Webinar: German Offshore Wind – Lessons learnt from a record breaking auction*. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=iAHP_fbGagk.
- [8] PSR. (2023). *Energy Report n° 199 – Jul/2023: O papel das corporações na agenda climática*.
- [9] The Crown Estate (2023). *Leasing Round 4 Information Memorandum*. Disponível em: <https://assets.ctfassets.net/nv65su7t80y5/4ZHHmYTY2431ksrhxD509/91eb8d1fdc5aaca88b12add9f7f8009/tce-r4-information-memorandum.pdf>
- [10] The Crown Estate (2023). *Offshore Wind Leasing Round 4 – Tender process outcome*. Disponível em: <https://assets.ctfassets.net/nv65su7t80y5/56PuasJnjMKbB2V3gFc59W/429dfffd70a862b847cf1af85daad5ff/round-4-tender-outcome-dashboard.pdf>
- [11] Catapult – Offshore Renewable Energy. (2023). *Renewable energy auction result in no bids for offshore wind*. Disponível em: <https://ore.catapult.org.uk/blog/renewable-energy-auction-results-in-no-bids-for-offshore-wind/>
- [12] Crown Estate Scotland. (2020). *ScotWind Leasing - Launch Summary*. Disponível em: <https://www.crownstatescotland.com/resources/documents>.
- [13] Crown Estate Scotland. "ScotWind leasing round," [Online]. Disponível em: <https://www.crownstatescotland.com/scotlands-property/offshore-wind/scotwind-leasing-round>
- [14] Crown Estate Scotland. (2022). *ScotWind offshore wind leasing delivers major boost to Scotland's net zero aspirations*. Disponível em: <https://www.crownstatescotland.com/news/scotwind-offshore-wind-leasing-delivers-major-boost-to-scotlands-net-zero-aspirations>
- [15] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2022). *Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 – Parâmetros de Custos – Geração e Transmissão*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-591/Caderno%20de%20Par%C3%A2metros%20de%20Custos%20-%20PDE2031.pdf>
- [16] Reuters. (2023). *US offshore wind poised for success next year after turbulent 2023*. Disponível em: <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/us-offshore-wind-poised-success-next-year-after-turbulent-2023-2023-12-22/>

Limitação de área a ser cedida para projetos eólicos offshore: experiência e estratégias internacionais

Amanda Vinhoza¹, Gustavo Ponte¹, Rafael Furtado¹, Nathália Tavares¹, Helena Motta¹

¹ Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

amanda.vinhoza@epe.gov.br; gustavo.ponte@epe.gov.br; rafael.furtado@epe.gov.br,
nathalia.tavares@epe.gov.br; helena.motta@epe.gov.br

RESUMO

Dentre as regras a serem estipuladas dentro do processo de cessão de áreas para eólicas offshore está a definição da área máxima a ser cedida. No presente trabalho, os autores trazem uma revisão da experiência internacional, ressaltando casos emblemáticos e os principais critérios para a limitação da área a ser cedida. Como complemento, é apresentada uma avaliação da relação entre a abordagem de limitação de área dos países apresentados com a sua estratégia de desenvolvimento do mercado eólico offshore e as principais lições aprendidas, com destaque para conclusões acerca da relevância da aplicação das regras em questão. Essa análise é importante para ressaltar as motivações por trás das definições de cada país e pensar como essa experiência pode ser traduzida para o contexto nacional, ajudando na construção do arcabouço regulatório do Brasil.

Palavras-chaves:

Energia eólica offshore; Cessão de áreas; Área máxima; Regulamentação; Critérios.

ABSTRACT

One of the rules to be set within the process of area leasing for offshore wind in Brazil is the definition of the maximum area to be leased. In the present work, the authors present a review on the international experience, highlighting emblematic cases and the main criteria employed for limiting the areas to be leased. Beyond that, they assess the relationship between the approach for area limiting in the depicted countries and their strategy for developing the offshore wind market. Also, the study presents the main lessons learned, exposing conclusions about the relevance of the rules' application. This analysis is important to highlight the motivations behind the definitions of each country and to discuss how to translate the international experience to the national context, serving as a basis for the construction of the regulatory framework in Brazil.

Keywords:

Offshore wind power; Area leasing; Maximum Area; Regulation; Criteria.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da energia eólica offshore no Brasil vem avançando em direção à regulamentação da cessão de áreas para a instalação dos projetos. O arcabouço vigente segue o disposto no Decreto nº 10.946, de 25 de janeiro de 2022, que regulamenta o uso do leito marinho para produção de energia elétrica. Entretanto, o Projeto de Lei (PL) 576/2021 está em tramitação e pode ser aprovado e passar a valer em breve, podendo trazer algumas alterações.

Conforme estipulado no Decreto e na Portaria Normativa nº 52/GM/MME, de 19 de outubro de 2022, que estabelece normas e procedimentos complementares, o rito para o desenvolvimento de projetos eólicos offshore no Brasil deverá se iniciar com um leilão de cessão de área, o qual deverá ser precedido da definição de algumas normas, dentre elas a limitação das áreas a serem cedidas a projetos eólicos offshore. O artigo 8º do Decreto diz que: “O Ministério de Minas e Energia poderá estabelecer limite máximo de área cujo uso poderá ser cedido num mesmo contrato, conforme o interesse público e as diretrizes estabelecidas pelas normas complementares”.

A outorga de uso de área é devida no Brasil pois o espaço marinho é um bem público da União, conforme a legislação vigente, e seu bom uso deve ser garantido. Nesse sentido, o objetivo da limitação da área a ser cedida para projetos eólicos offshore visa garantir o uso sustentável e compartilhado do espaço, prezando pela preservação da natureza e pela manutenção de outras atividades da Economia Azul.

Além disso, objetiva evitar o uso especulativo do espaço marinho para atividades que não sejam a geração elétrica offshore, estimular a competição no mercado e minimizar os riscos de os projetos não serem concluídos. Isso porque essa prática evita que um mesmo empreendedor ganhe a cessão de áreas muito extensas num mesmo leilão e não tenha condições financeiras de desenvolver parques em toda a região cedida, o que pode levar a projetos com baixas densidades de potência, culminando no uso ineficaz e monopolizado daquele espaço público.

Diante disso, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) publicou em junho de 2024 a Nota Técnica “Geração Eólica Offshore: Considerações sobre a limitação de área a ser cedida” [1], que traz considerações acerca da metodologia que pode ser utilizada em tais definições. Para tal, a NT apresenta conceitos e condições e contorno que ajudam a balizar as áreas aptas ao desenvolvimento de projetos, traz a experiência de setor nacional de Óleo e Gás e faz uma revisão dos procedimentos e critérios empregados em outros mercados¹.

Com base na análise supracitada, os autores trazem o presente estudo com o objetivo de resumir a experiência internacional, ressaltando casos emblemáticos e os principais critérios para a limitação da área a ser cedida. Além disso, fazem uma correlação entre as abordagens escolhidas e a estratégia de desenvolvimento do mercado eólico offshore de cada um dos países aqui apresentados. Essa avaliação é importante para ressaltar as motivações por trás das definições de cada país e pensar como essa experiência pode ser traduzida para o contexto brasileiro.

2. CONCEITOS RELEVANTES PARA A LIMITAÇÃO DE ÁREAS

2.1. Planejamento Espacial Marinho e condições de contorno

O Planejamento Espacial Marinho (PEM) é uma ferramenta muito útil para a identificação e a compatibilização dos múltiplos usos do espaço marinho. O PEM consiste em agregar informações e mapear os aspectos naturais e geográficos do oceano, incluindo áreas de ocorrência e de importância para diferentes grupos biológicos, biomas e batimetria, além dos aspectos sociais, que englobam todas as atividades que ocorrem no espaço marinho, como atividades do setor de energia, turismo, pesca, aquacultura, lazer, navegação, entre outros. Sendo assim, o PEM auxilia na definição de áreas que estão

¹ É importante ressaltar que a NT foi produzida em maio de 2023 e pode não conter as informações mais atualizadas acerca de resultado de leilões no mundo e das próprias regras vigentes, que tendem a mudar a cada leilão.

aptas ao desenvolvimento de projetos eólicos offshore, dadas as restrições técnicas, ambientais e sociais que devem ser consideradas quando dessa escolha.

Entretanto, apesar de facilitar o processo de seleção de áreas a serem cedidas e ter se mostrado uma ferramenta muito eficiente na minimização de conflitos e/ou impactos em mercados já maduros, a falta do PEM não é impeditiva para o início do desenvolvimento de projetos eólicos offshore no mundo, até mesmo pelo fato de ser um processo longo, caro e complexo, principalmente em países com litoral extenso, como o Brasil.

Além do PEM, existem diversas estratégias e ferramentas que permitem uma coordenação do planejamento espacial, com diferentes níveis de complexidade e escalas espaciais e setoriais, como a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) e os Estudos de Impacto Ambiental (EIA). Os EIA são obrigatórios dentro do processo de licenciamento ambiental nacional e exigem estudos aprofundados, a nível de projeto. Considerando mapeamentos a nível nacional ou regional, existe a ferramenta de Mapa de Sensibilidade (SenMap), abordagem que vem sendo indicada pelo Banco Mundial para novos mercados de eólicas offshore que ainda não possuem PEM, como a Colômbia [2].

No Brasil, o PEM está em desenvolvimento e vem sendo feito por regiões, tendo sido iniciado pela região Sul, seguida pela Sudeste e depois seguirá para Nordeste e Norte. De qualquer forma, é possível incorporar as diretrizes do PEM nos procedimentos e normas do setor eólico offshore, através da avaliação e consideração das condições de contorno pertinentes à cessão de áreas, por exemplo. E nesse sentido, a limitação da área máxima a ser cedida já busca minimizar a monopolização do espaço, garantir um bom uso e permitir a manutenção de outras atividades no espaço marinho.

2.2. Distanciamento mínimo entre parques

Outro fator relevante percebido durante a análise da experiência internacional foi a definição de um distanciamento mínimo entre parques eólicos offshore. Este aspecto é importante para a manutenção de outras atividades ao longo da costa, como corredores de navegação entre parques, e para evitar conflitos entre os próprios parques, devido, principalmente, ao chamado efeito esteira.

O efeito esteira pode ocorrer quando turbinas estão muito próximas umas das outras e consiste no processo de bloqueio do vento que chega a uma turbina após passar por outra, a depender da direção do vento. Esse efeito gera uma redução da energia produzida na turbina a jusante, impactando na viabilidade econômica dos projetos. Quando considerado dentro de um mesmo parque, em avaliações realizadas durante sua fase de projeto, pode ser minimizado com o estudo do escoamento do vento no local e com a otimização da localização das turbinas. Contudo, quando se trata de outro parque eólico, esse sombreamento do recurso por outro empreendedor pode ser ignorado e gerar conflitos.

Diante disso, além das condições de contorno já apresentadas, alguns países definem também distâncias mínimas entre parques em suas regras de leilão [1]. É o caso da Alemanha, que propõe uma distância mínima de 750 m em relação a projetos já aprovados, aumentando para 1.000 m a partir de 2030, ou 5 vezes o diâmetro do rotor. Já a Colômbia, prevê a consideração de um corredor de 1 milha náutica (1.852 m), entre parques. Em Taiwan, o limite é de 1.200 m. Na Escócia e no Reino Unido (*Round 4*), as restrições aplicadas são maiores, chegando a 5 km e 7,5 km, respectivamente.

2.3. Densidade de potência mínima

Um conceito muito importante na discussão do bom uso do espaço para geração eólica offshore é o de densidade de potência do parque. A densidade de potência informa quanto de potência está instalado na área ocupada pelo parque, e é dada em MW/km². É uma métrica muito utilizada em estudos de estimativa de potencial eólico nacional, por exemplo, nos quais geralmente são considerados valores em torno de 3 MW/km² [3].

Em projetos reais, esses valores tendem a ser mais altos, justamente pelas restrições de tamanho de área ocupada pelos projetos. Porém, há um compromisso entre se atingir densidades muito altas, o que poderia ser considerado uma otimização de uso do espaço, e se perder em geração elétrica e, conseqüentemente, em retorno financeiro do projeto, justamente pelo efeito esteira comentado anteriormente, que ocorre quando as turbinas são instaladas a distâncias insuficientes para mitigar as possíveis interferências.

3. EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL EM CESSÃO DE ÁREAS

Nesta seção, são apresentadas as experiências de alguns países que se encontram em diferentes estágios de desenvolvimento do mercado eólico offshore. Essa revisão se baseia no levantamento apresentado na Nota Técnica publicada pela EPE [1], destacando os casos mais emblemáticos e apresentando novos desdobramentos e conclusões.

Após uma breve apresentação do contexto atual e do eventual histórico de leilões nos mercados selecionados, o procedimento de cessão é explicado, juntamente com a abordagem para limitação da área a ser cedida e para incorporação de condições de contorno, que variam de país para país. Além disso, é feita uma análise relacionando a abordagem aplicada com a estratégia e as motivações de cada mercado.

3.1. Reino Unido

O Reino Unido é o mercado líder em capacidade instalada de eólicas offshore na Europa, somando 14,7 GW em 2024 [4]. Os procedimentos de cessão de direito de uso do espaço marinho são responsabilidade do *The Crown Estate* desde 1961, nas regiões da Inglaterra, País de Gales e Irlanda do Norte.

Os leilões de cessão de área são feitos em rodadas (chamadas *Rounds*) e o último realizado foi o *Round 4* [5]. Uma vez cedida a área, a fase de desenvolvimento e obtenção de licenças dura cerca de 5 anos e só depois os projetos participam do leilão de venda de energia. O processo de cessão de área no Reino Unido é realizado em 5 etapas:

- 1) Pré-qualificação dos participantes do leilão: são avaliadas a capacidade financeira, a experiência técnica e a conformidade legal dos empreendedores;
- 2) 1º estágio do leilão: avaliação da robustez financeira e técnica dos projetos propostos;
- 3) 2º estágio de leilão: processo competitivo, em que os participantes oferecem suas propostas de pagamento das taxas de opção (ou *Option fees*) e em que vence o maior lance;
- 4) Plano de Avaliação das Regulações de Habitat (ou *Habitats Regulations Assessment - HRA*): avaliação dos impactos dos projetos vencedores sobre áreas protegidas;
- 5) Assinatura do Acordo de Cessão (ou *Agreement for Lease – AfL*).

No *Round 4*, foram colocadas à disposição para cessão 4 regiões (chamadas *Bidding Areas*), que são consideradas as melhores áreas para o desenvolvimento de projetos, dadas as suas características técnicas e seus riscos reduzidos.

Para a seleção das áreas a serem cedidas, primeiro é feita uma caracterização regional, que é seguida de um refinamento, em que são aplicadas condições de contorno como: áreas de exercícios militares; distância de 13 km da costa para reduzir o impacto visual; rotas de navegação; áreas com alto risco para se obter licenças ambientais. Todo esse procedimento é realizado pelo governo, e reduz o risco ao empreendedor não só porque é o governo que conduz e arca com os estudos preliminares, mas também porque as áreas que podem ir a leilão já passaram por um filtro que minimiza futuros conflitos e dificuldades de licenciamento.

Com relação às regras da cessão, a capacidade a ser cedida no *Round 4* tinha metas variando entre 7 e 8,5 GW de capacidade, mas cada área só poderia comportar um total máximo de 3,5 GW. Cada projeto

deveria ter uma potência mínima de 600 MW (na Área de Dogger Bank) e de 400 MW (nas demais áreas), e máxima de 1,5 GW. A densidade de potência mínima requerida foi de 3 MW/km². Havia ainda uma restrição de distanciamento de outros parques existentes de 7,5 km.

Como resultado, 6 projetos foram vencedores, sendo 5 com 1,5 GW de capacidade e 1 de cerca de 500 MW, divididos em 3 das 4 regiões disponibilizadas (Tabela 1).

Tabela 1. Resultado do Round 4 do Reino Unido

Área	Projeto	Capacidade cedida (MW)	Área cedida (km ²)	Densidade de potência (MW/km ²)
Dogger Bank	1	1.500	495	3,0
Dogger Bank	2	1.500	494	3,0
Eastern Regions	3	1.500	500	3,0
Northern	4	1.500	497	3,0
Wales & Irish Sea	5	480	126	3,8
	6	1.500	322	4,7

Fonte: Adaptado de [6]

Sendo um mercado maduro, a estratégia do Reino Unido está associada a metas governamentais de instalação de nova capacidade eólica offshore, que apoiam a transição energética limpa nacional. Além disso, há uma preocupação em atender à indústria em si, através de um pipeline de leilões que auxilie na redução de custos da fonte. Também eram objetivos do Round 4 garantir o uso eficiente do mar e equilibrar os diversos interesses e usos do espaço marinho, o que é feito principalmente através do engajamento dos diversos atores e do cuidadoso procedimento de seleção de áreas.

3.2. Escócia

A Escócia possui 7 parques eólicos offshore em operação, totalizando 1,9 GW de capacidade instalada [7]. O país tem como meta alcançar o *Net Zero* até 2045 e o desenvolvimento de usinas eólicas offshore faz parte desta estratégia [8]. Apesar de fazer parte do Reino Unido e das similaridades entre ambos os processos de cessão, os procedimentos relacionados às eólicas offshore na Escócia são conduzidos por uma instituição própria, o *Crown Estate Scotland*.

No leilão de cessão de área *ScotWind*, todos os prismas definidos no leilão seguiram o conceito *plan-led*, ou seja, estão em áreas identificadas no “Plano Setorial Marinho para Energia Eólica Offshore”, que tem como principais objetivos minimizar efeitos adversos para o meio ambiente e outros setores da economia marinha, e maximizar oportunidades de desenvolvimento econômico, geração de empregos e investimentos [9]. Nessa rodada, a pré-qualificação dos candidatos é composta de sete critérios acerca dos aspectos técnicos dos projetos e da capacidade técnica e financeira dos empreendedores, e que visam determinar se o projeto é robusto o suficiente para que tenha uma alta taxa de sucesso, e, em caso de conflito nas áreas ofertadas, escolher qual é o melhor projeto que se inscreveu para determinada área [10].

Inicialmente, foram ofertadas áreas que variam de 200 a 2.580 km², somando 8.600 km². Foi exigido de cada aplicação uma potência mínima de 100 MW e área entre 20 e 860 km². Para garantir o uso eficiente do leito marinho, se exige uma densidade de no mínimo 1 MW/km² na fase inicial (ainda que o órgão reconheça que esse valor seja baixo), passando para o mínimo de 3 MW/km² na etapa seguinte (a menos que seja apresentada uma justificativa adequada). No entanto, a área é a principal medida avaliada, dado que a potência instalada vai ser influenciada por informações futuras de layout do parque, durante a fase de desenvolvimento. Também se exige 5 km de distância entre usinas concorrentes [11].

Como resultado da rodada *ScotWind* foram aceitas 20 propostas, totalizando 27,6 GW de capacidade, em uma área total cedida de 7.903 km² (Tabela 2) [12] [13].

Tabela 2. Resultado da Rodada ScotWind da Escócia

Área	Área Cedida(km ²)	Potência (MW)	Densidade (MW/km ²)	Fundação
E1	859	2.907	3,4	Fixa
	859	2.610	3	Flutuante
	280	1.200	4,3	Flutuante
E2	860	2.000	2,3	Flutuante
	200	798	4	Flutuante
E3	187	1.008	5,4	Fixa
NE1		500	-	Flutuante
	560	1.800	-	Flutuante
		500	-	Flutuante
NE2	200	1.008	5	Flutuante
NE3	256	1.000	3,9	Flutuante
NE4	429	1.000	2,3	Fixa
NE6	134	500	3,7	Flutuante
NE7	684	3.000	4,4	Flutuante
NE8	330	960	2,9	Flutuante
N1	657	2.000	3	Fixa
N2	390	1.500	3,8	Flutuante
N3	103	495	4,8	Mista
N4	161	840	5,2	Fixa
W1	754	2.000	2,7	Fixa
Total	7.903	27.626	3,5	

Fonte: Adaptado de [12] [13].

Apesar da similaridade com o procedimento do restante do Reino Unido, a Escócia é menos restritiva em termos de área máxima a ser cedida, resultando em projetos propostos de até 3 GW de capacidade. Apesar de haver uma análise da capacidade técnica e financeira dos empreendedores anterior à cessão, projetos dessa magnitude possuem um grande risco associado e um impacto relevante caso não se concretizem. Assim, dentro da estratégia escocesa de estímulo à fonte, o governo aceita esses riscos, além de também arcar com os estudos preliminares e com a seleção das áreas, reduzindo riscos aos empreendedores.

3.3. Alemanha

A geração eólica offshore na Alemanha foi regulamentada pela Lei do Desenvolvimento e Promoção da Energia Eólica no Mar (*Wind Energy at Sea Law - WindSeeG*), que prevê metas de instalação (30 GW até 2030, 40 GW até 2035 e 70 GW até 2045) e a realização de rodadas anuais de licitação. Atualmente, a Alemanha possui 8,5 GW de capacidade instalada offshore, sendo 7,1 GW no Mar do Norte e 1,4 GW no Mar Báltico [14].

Além do claro intuito de estipular metas para aumento da capacidade instalada, a lei faz a articulação entre a escolha do local de instalação de projetos, o planejamento regional, a aprovação de instalações, o financiamento e a conexão à rede, e versa sobre o desenho dos processos licitatórios competitivos, o qual pode ser alterado diante da estratégia nacional. Em 2023, por exemplo, o procedimento licitatório foi alterado, passando a permitir que áreas que não haviam sido previamente avaliadas pelo governo fossem a leilão também, com o objetivo de atingir as metas de instalação previstas.

Com isso, agora há dois tipos de licitação na Alemanha, que dependem se a área foi pré-examinada centralizadamente ou não [14]. No primeiro tipo, são avaliados para fins de competição entre os participantes, o valor de subsídio requerido, além de critérios não financeiros, como a contribuição para descarbonização e para a contratação de trabalhadores qualificados. Em agosto de 2023, foram cedidas 4 áreas pré-examinadas, com capacidades variando entre 270 e 630 MW e totalizando 1,8 GW (Tabela 3). Já para o modelo não-centralizado, foi realizado um leilão em junho de 2023. Neste leilão, diversos empreendedores ofereceram propostas com valor de subsídio requerido nulo, e partiram então para uma segunda fase competitiva, em que o empreendedor que oferecesse o maior valor pela cessão da área

seria o ganhador. Foram cedidas 4 áreas, para projetos de 1 e 2 GW de capacidade, somando 7,0 GW (Tabela 3).

Tabela 3. Resultado do leilão de 2023 na Alemanha

Área	Capacidade cedida (MW)	Área cedida (km ²)	Densidade de potência (MW/km ²)	Tipo de procedimento	Ano esperado de conclusão
N-3.5	420	29	14,5	Centralizado	2028
N-3.6	480	33	14,5	Centralizado	2028
N-6.6	630	44	14,3	Centralizado	2028
N-6.7	270	16	16,9	Centralizado	2028
N-11.1	2.000	205	9,8	Não-centralizado	2030
N-12.1	2.000	193	10,4	Não-centralizado	2030
N-12.2	2.000	187	10,7	Não-centralizado	2030
O-2.2	1.000	92	10,9	Não-centralizado	2030

Fonte: Adaptado de [15].

No planejamento centralizado, iniciado em 2017, a Agência Federal Marítima e Hidrográfica (BSH) conduz o plano de desenvolvimento dos sites e, por meio deste, define suas localizações, capacidade esperada e ponto de conexão. Com isso, os participantes da licitação recebem os resultados das investigações preliminares, sendo devido apenas o ressarcimento dos custos pelo vencedor da cessão.

Convém destacar que a Alemanha teve o modelo *open door* até 2011 e que recebeu diversas propostas, em vários locais, o que dificultou o planejamento da transmissão. Assim, a política para eólica offshore foi alterada, passando a seguir o rito descrito anteriormente. Como ressalva, pontua-se que o modelo *open door* tende a ser mais desafiador em países com menor disponibilidade de área, como é o caso da Alemanha, pela dificuldade em conciliar os pleitos dos desenvolvedores e as demais atividades econômicas no mar.

No caso da seleção e definição das áreas ser feita pelo órgão governamental, são considerados os impactos na navegação, segurança militar, descomissionamento, outros usos já aprovados e a conservação do meio ambiente, entre outros critérios. Além disso, a Alemanha, incluindo o Mar do Norte e do Mar Báltico, conta com o Planejamento Espacial Marinho (PEM), também conduzido pela BSH. Ou seja, quando a seleção de áreas para cessão é centralizada pelo governo, ela é realizada pela mesma instituição responsável pelo PEM, o que facilita a consideração das condições de contorno necessárias.

Como comentado, para as áreas pré-identificadas, o governo decide a localização, bem como o tamanho da área e a capacidade a ser instalada, uma vez que possui todos os estudos, e em concordância com a estratégia governamental. Sendo assim, não há limitação máxima de área na Alemanha, e a única exigência é de os campos de teste não excedam 40 km² [16]. Há ainda regras de distanciamento entre turbinas (mínimo 750 m em relação a projetos já aprovados, aumentando para 1.000 m a partir de 2030, ou 5 vezes o diâmetro do rotor) [17].

A estratégia alemã visa atingir metas claras e ambiciosas de capacidade instalada de eólicas offshore, alinhadas à política nacional de descarbonização. Portanto, o processo de cessão procura reduzir os riscos ao empreendedor. Uma tática é o governo conduzir e arcar com todos os estudos preliminares, devendo o vencedor do leilão de cessão apenas ressarcir posteriormente. Quanto aos custos, a cobrança pela cessão só se aplica quando mais de um empreendedor pede zero subsídios como proposta (*bid*) no leilão, o que é um indicador do amadurecimento do mercado. Outro indicador é o interesse dos investidores em propor projetos no procedimento não-centralizado, arcando com os custos dos estudos. Pode ser que com o avanço desse tipo de procedimento, o governo venha a impor uma limitação à área a ser cedida para estimular a competição no mercado, uma vez que o uso equilibrado do espaço já é balizado pelo PEM.

3.4. Japão

O Japão possui atualmente apenas 188 MW de capacidade eólica offshore instalada [4]. No entanto, o governo pretende ofertar 10 GW de capacidade eólica offshore até 2030 e de 30 a 45 GW até 2040, em linha com a meta nacional de neutralidade de carbono até 2050 [18].

Para as áreas marinhas que não estão sob a administração dos portos do país, há um procedimento centralizado em que as áreas são designadas para o desenvolvimento de projetos eólicos offshore de escala comercial, e que inclui as normas para a condução do processo de leilão para a cessão de áreas. O processo é estabelecido pelo *Act on Promoting the Utilization of Sea Areas for the Development of Marine Renewable Energy* [19], também chamado de “*Marine Renewable Energy Act*” ou “MREA”, de 2019.

Uma série de etapas condicionam o desenvolvimento de projetos eólicos offshore no Japão, como apresentado na Figura 1. Em resumo, o governo define as áreas, denominadas Áreas de Promoção, que serão ofertadas para cessão, através de condições de contorno que englobam critérios técnicos, ambientais e sociais. Em seguida, é realizado o leilão, conforme as diretrizes definidas pelo governo, que são específicas para cada “área de promoção”. O operador vencedor do leilão elabora um Plano de Ocupação da área e obtém as licenças necessárias para a construção e operação do parque eólico offshore.



Figura 1. Processo de cessão de áreas offshore no Japão

Fonte: [1], adaptado de [20].

A cessão de áreas para eólicas vem sendo realizada por rodadas, até o momento foram concluídas duas rodadas (*Rounds 1 e 2*) e o *Round 3* está em andamento (Tabela 4). O processo de avaliação do vencedor do leilão é feito através de um sistema de pontuação com critérios econômicos e não-econômicos. Contudo, o resultado do *Round 1* mostrou que a metodologia priorizava muito o critério econômico, em detrimento dos demais fatores de avaliação. Com isso, um único consórcio acabou arrematando toda a capacidade de escala comercial ofertada, somando 1.689 MW.

Diante disso, e visando garantir a competitividade e um maior número de participantes nos leilões, o governo providenciou uma atualização dos critérios de avaliação dos leilões para o *Round 2*, incluindo a imposição de um limite máximo de 1 GW de capacidade em projetos que um mesmo operador ou consórcio pode vencer no leilão. Como resultado dessa imposição, o *Round 2* teve uma maior diversidade de vencedores, com um vencedor diferente em cada área cedida.

Tabela 4. Rodadas de cessão de área no Japão

Round	Área	Potência (MW)	Vencedor
1	Goto (flutuante)	16,8	Consórcio de 6 empresas lideradas pela Toda Corporation
	Noshiro-Mitane-Oga	478,8	
	Yurihonjo	819	
	Choshi	390,6	
	Total (<i>Round 1</i>)	1.705,2	
2	Happo-Noshiro	356	Japan Renewable Energy, Iberdrola Renewables Japan e Tohoku Electric Power
	Oga-Katagami-Akita	336	JERA, J-Power, Itochu e Tohoku Electric
	Murakami-Tainai	700	Mitsui, RWE e Osaka Gas
	Sakai-Enoshima	424	Sumitomo e TEPCO Renewable Power

	Total (Round 2)	1.816	-
	Mar do Japão	600	
3	Yuza	450	Resultados devem ser apresentados em 12/2024
	Total (Round 3)	1.050	-

Fonte: Elaborado a partir de [21] [22] [23].

Outra mudança implementada no *Round 2* foi a utilização do mecanismo de remuneração *Feed-in Premium* (FIP) ao invés do mecanismo *Feed-in Tariff* (FIT). O mecanismo FIP tem como objetivo, além de incentivar o investimento em energia renovável, também promover a integração ao mercado de energia. O sistema FIP considera um prêmio ao preço de mercado da energia, enquanto no âmbito da tarifa FIT é considerado um preço fixo de energia [24].

A estratégia japonesa consiste em leiloar áreas pequenas, bem definidas pelo governo, e incentivar a fonte através de um mecanismo de incentivo sobre o preço da tarifa e uma frequência de leilões que vem se mantendo constante. As principais lições aprendidas são quanto à importância da revisão das regras ao longo das rodadas e da relevância da limitação de capacidade máxima a ser cedida por empreendedor para estimular a competição, o que é especialmente desejável em um mercado ainda em estágio inicial de desenvolvimento.

3.5. Austrália

A Austrália ainda não conta com capacidade instalada de eólicas offshore. Entretanto, recentemente o governo concedeu licenças de viabilidade a 6 projetos, e pretende conceder a mais 6, que somarão 25 GW de capacidade se construídos [18]. Essa ação está alinhada à estratégia de aumento de capacidade renovável e descarbonização do governo australiano, que pretende instalar 23 GW de capacidade renovável até 2030, chegando a uma matriz elétrica 82% renovável, e atingir o Net Zero até 2050 [25].

O processo de cessão de áreas na Austrália segue o procedimento ilustrado na Figura 2. O governo realiza uma pré-avaliação de áreas, que inclui a consulta a governos locais e regionais acerca da infraestrutura existente e de outros usos em curso no espaço, e chega nas Áreas Propostas, que são submetidas à consulta pública. Caso sejam identificadas como aptas ao desenvolvimento de projetos, elas passam a Áreas Declaradas e os empreendedores podem propor projetos dentro destas áreas, os quais deverão receber a Licença de Viabilidade e, posteriormente, uma Licença Comercial. A Licença de Viabilidade permite que os desenvolvedores conduzam estudos ambientais detalhados e pesquisas geotécnicas, que recebam permissões e conduzam consultas adicionais sobre seus projetos propostos.



Figura 2. Processo de cessão de áreas na Austrália

Fonte: [1], adaptado de [26].

O processo de obtenção da Licença de Viabilidade é competitivo e os projetos são avaliados conforme critérios de mérito, que levam em consideração: (i) a capacidade técnica e financeira do proponente; (ii) a viabilidade do projeto proposto, incluindo sua complexidade, rota de mercado e provável retorno financeiro; (iii) a conformidade do aplicante; (iv) e o interesse nacional, incluindo a possibilidade de geração de empregos e desenvolvimento regional, em conjunto com a capacidade do projeto de garantir um uso eficiente do espaço marinho e de identificar e mitigar os possíveis conflitos com outras atividades [27].

Atualmente, a Austrália possui 6 áreas prioritárias, dentre as quais 4 foram declaradas, somando 15.000 km² e onde os projetos submetidos estão em fase de avaliação [28]. Apenas na área de Gippsland, no estado de Victoria, é que as licenças já foram concedidas a 6 projetos, como comentado anteriormente.

O limite de área máxima licenciável (viabilidade e comercial) por projeto é de 700 km² e foi definido após consulta à indústria e agentes do setor offshore e a partir de comparação com outros mercados, considerando uma área de 250 km² para cada GW (4 MW/km²), enquanto os projetos propostos têm até 2 GW de capacidade. Com isso, uma área de 700 km² possibilita o desenvolvimento de projetos dessa capacidade com uma margem para acomodar a infraestrutura e, ao mesmo tempo, promover o uso eficiente do leito marinho. Um proponente pode requerer mais do que esse limite, mas considerando múltiplas licenças individuais adjacentes. Nesse caso, cada solicitação é tratada de forma isolada e deve ser viabilizada de forma independente [29].

Como apresentado ao longo do texto, o processo de cessão de áreas na Austrália é fortemente participativo, com consulta a governos locais e regionais e às comunidades ao longo da aprovação de áreas e da concessão de licenças por parte do governo. Além disso, dentre os critérios analisados para a concessão da Licença de Viabilidade, estão a interferência com outras atividades em curso e a capacidade de articulação com os atores locais por parte dos desenvolvedores. Sendo assim, fica clara a preocupação com os outros usos do espaço.

Já com relação ao critério de área máxima, ele é bastante permissivo. Esse valor conversa com o fato da Austrália apresentar uma extensa costa e um vasto potencial eólico offshore, assim como o Brasil. Entretanto, há de se ressaltar que o país possui metas ambiciosas de aumento de capacidade renovável para os próximos anos, tanto devido a seu plano de descarbonização quanto pela necessidade de aumentar a segurança energética do país. Nesse sentido, a instalação de grandes projetos de eólicas offshore é benéfica aos objetivos nacionais australianos e ainda tem a possibilidade de ser espacialmente alocada de forma a garantir o uso eficiente e compartilhado do ambiente marinho.

3.6. Colômbia

Na Colômbia ainda não há parques eólicos offshore instalados, mas o processo de leilão já foi iniciado, com a meta de leiloar entre 1 e 3 GW e capacidade. Essa iniciativa faz parte do planejamento energético de longo prazo do país, que indica a instalação de 10 a 18 GW de eólicas offshore até 2052 [30].

A primeira rodada foi iniciada em dezembro de 2023, com a abertura da etapa de pré-qualificação dos candidatos à participação na cessão. Após a habilitação técnica, financeira e jurídica dos participantes, eles podem nominar áreas de projeto, dentro de uma área pré-definida pelo governo, e definir suas ofertas, que serão avaliadas para seleção dos projetos vencedores. Uma vez formalizada a cessão da área, os empreendedores recebem uma licença de ocupação temporal de 8 anos, para que realizem estudos, consultas às comunidades e obtenham as licenças aplicáveis para iniciar a construção do projeto.

Entretanto, a rodada foi adiada durante o ano de 2024 devido a alterações no edital do leilão. Dentre as regras revisadas, as principais estavam relacionadas aos critérios de qualificação técnica e financeira dos candidatos, que estavam muito restritivas e inibindo a competição no processo. Com isso, a fase de qualificação foi adiada e vai até setembro de 2024.

A região disponível à nomeação de áreas soma cerca de 12.000 km². Entretanto, a DIMAR aplicou restrições espaciais e propôs uma área menor, de 1.200 km², com menos riscos, em que projetos podem ser propostos sem a necessidade da etapa de nomeação. As áreas propostas pelos empreendedores não podem se sobrepor a áreas protegidas, áreas de ocorrência de algas marinhas e zonas importantes para a segurança nacional. Além disso, existe um limite máximo de área de 270 km² [31].

Além da flexibilização das regras do leilão para estimular a competição, diante das contribuições da indústria, a Colômbia pretende incentivar o mercado e atrair investimentos através de uma reserva de capacidade de conexão dedicada aos projetos e de mecanismos de incentivo, provavelmente baseados

em contratos por diferença (CfD). Além disso, diante da inexistência de PEM, a Colômbia vai realizar, em parceria com o Banco Mundial, mapas de sensibilidade ambiental para a sua costa, com o objetivo de agregar informações, identificar áreas ambientalmente sensíveis e áreas interessantes para os próximos leilões de eólica offshore, o que reduz riscos aos empreendedores.

4. CONCLUSÕES SOBRE AS ESTRATÉGIAS INTERNACIONAIS PARA CESSÃO DE ÁREAS

Esta seção resume os principais critérios e abordagens aplicados em outros países para a definição dos limites para as áreas a serem cedidas, e a estratégia que geralmente motiva essa escolha. Além disso, apresenta as principais lições aprendidas em outros mercados ao longo dos procedimentos de cessão conduzidos.

4.1. Principais critérios e motivações

4.1.1. Densidade de potência mínima

A densidade de potência do parque é um conceito que integra a capacidade a ser instalada em um leilão, ou projeto, e a área a ser cedida. Na Austrália, por exemplo, que define uma área máxima em km², se chega nesse valor a partir do tamanho típico de projetos, em GW, e de uma densidade de potência de 4 MW/km². Entretanto, ela não é aplicada com caráter limitador.

Na Escócia, que é um país com um procedimento voltado à promoção da fonte, a densidade mínima é definida como 1 MW/km² nas fases iniciais do projeto, passando para 3 MW/km² quando o empreendedor detém um maior conhecimento da área. Esse último valor também foi estipulado no *Round 4* do Reino Unido. Essa definição objetiva garantir o bom uso das áreas destinadas à geração eólica offshore.

Já a aplicação, como regra no procedimento de cessão de áreas, de valores elevados (geralmente acima de 4 MW/km²) para a densidade de potência mínima pode estar atrelada à necessidade de garantir a instalação de capacidades definidas em países com potencial eólico offshore concentrado em áreas limitadas.

4.1.2. Potência máxima

O critério de potência mínima foi identificado para países que possuem metas de instalação ou que objetivam estimular o desenvolvimento da fonte, como é o caso da Escócia, que exige projetos com capacidade mínima de 100 MW, e o Reino Unido, onde o valor sobe para a faixa de 400 a 600 MW, a depender da região.

Já no sentido de limitação máxima, temos o exemplo do Reino Unido, com um limite de 1.500 MW por projeto e de 3.500 MW por área, empregados com o intuito de estimular a diversidade geográfica dos projetos do *Round 4*.

Já no Japão, a limitação é de 1.000 MW por empreendedor (ou consórcio) num mesmo leilão. Como apresentado na seção dedicada, a aplicação desse limite no procedimento japonês está diretamente ligada ao objetivo de evitar a concentração de mercado. Essa abordagem é interessante tanto para estimular a competição quanto para evitar os riscos de que um único empreendedor ou consórcio fique responsável pela instalação de muita capacidade em um mesmo mercado.

4.1.3. Área máxima

Dentre os países analisados os que utilizam o critério de área máxima são a Colômbia, com o valor de 270 km², a Austrália, com 700 km², e a Escócia, com 860 km². Como colocado na NT da EPE [1], uma vantagem

em relação às outras abordagens é a de que esse critério pode ser aplicado a qualquer fonte de geração elétrica offshore.

Esse critério é teoricamente mais relevante em países com potencial concentrado em pequenas regiões ou de aproveitamento limitado por restrições espaciais. Entretanto, a sua aplicação em um país com vasto potencial como a Austrália pode ter a motivação de garantir a competição no setor, assim como o critério de potência máxima. Como já comentado, o governo australiano chegou nesse valor de área máxima considerando potências e densidades de potência típicas de projetos eólicos offshore e dando uma área extra para que o empreendedor possa melhor alocar seu projeto. Ou seja, não tem um caráter de limitação espacial, mas sim de organização do espaço e do mercado.

4.2. Lições aprendidas e considerações finais

A experiência internacional mostra que a maior parte dos países realiza a cessão de áreas em rodadas, ao invés de disponibilizar regiões muito extensas ou geograficamente distantes de uma só vez. Essa abordagem permite um melhor planejamento da expansão da fonte eólica offshore, permitindo, dentre outros: melhor análise das condições de contorno das áreas a serem ofertadas; estímulo ao compartilhamento das instalações de uso exclusivo para conexão dos empreendimentos de uma mesma região; e facilidade de planejamento da expansão da transmissão e da infraestrutura portuária.

A abordagem da cessão por rodadas também permite a evolução das regras a cada leilão, como visto em diversos países. Ao contrário de trazer insegurança regulatória, essa flexibilidade é importante para garantir o alinhamento das cessões à estratégia nacional e para aprimorar o processo conforme os resultados forem se concretizando. A evolução geralmente se dá sobre os critérios de seleção das áreas, que podem ficar mais restritivos conforme o maior conhecimento dos usos do espaço marinho; sobre os critérios de pré-qualificação ou de seleção dos vencedores do leilão; e sobre os critérios de pagamento e limitação da área máxima a ser cedida. Além disso, é importante considerar a evolução tecnológica da fonte e os aspectos de cada região onde as áreas forem ser cedidas, adaptando as regras e critérios conforme necessário.

Por fim, com base nas lições aprendidas de outros mercados, fica clara a importância da definição de limites para a área máxima a ser cedida em um mesmo leilão, contrato, ou por empreendedor. Dentre elas, estão: assegurar o bom uso de uma área, que é essencialmente pública, permitindo a compatibilização e o equilíbrio entre as diversas atividades em curso no ambiente marinho e a preservação da natureza; diminuir os riscos de que os projetos não se concretizem, mantendo a previsibilidade das instalações; e estimular a competição, evitando a concentração de mercado, o que é especialmente desejável em mercados ainda em desenvolvimento.

Com isso, o presente estudo traz não apenas uma revisão da experiência internacional em procedimentos de cessão de área, mas serve de insumo para as discussões em curso no país, ajudando a identificar caminhos e abordagens que o Brasil pode seguir na estruturação da sua regulamentação para o mercado de eólicas offshore, levando em conta as especificidades locais e os objetivos do setor energético nacional.

REFERÊNCIAS

- [1] EPE, “GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE: Considerações sobre a limitação de área a ser cedida.” 2024.
- [2] W. B. Group, “Integrated Environmental & Social Sensitivity Mapping: Guidance for Early Offshore Wind Spatial Planning,” Washington, DC: World Bank Group. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO, 2024. [Online].
- [3] NREL, “Offshore Wind Energy Resource Assessment for the United States,” 2016.
- [4] Global Wind Energy Council, “Global Wind Report,” 2024.
- [5] The Crown Estate, “Offshore Wind Leasing Round 4 - Delivering a low carbon future,” 2021.
- [6] The Crown State, “Offshore Wind Leasing Round 4 – Tender process outcome,” [Online]. Available: <https://www.thecrownestate.co.uk/media/3920/round-4-tender-outcome-dashboard.pdf>.
- [7] Crown Estate Scotland, “Current offshore wind projects,” [Online]. Available: <https://www.crownstatescotland.com/scotlands-property/offshore-wind/current-projects>.
- [8] Crown Estate Scotland, “ScotWind Leasing Round,” [Online]. Available: <https://www.crownstatescotland.com/scotlands-property/offshore-wind/scotwind-leasing-round>. [Acesso em 07 2024].
- [9] Scottish Government, “Sectoral marine plan for offshore wind energy,” 10 2020. [Online]. Available: <https://www.gov.scot/publications/sectoral-marine-plan-offshore-wind-energy/>.
- [10] Crown Estate Scotland, “ScotWind Leasing - Seabed leasing for new offshore wind farms: Launch Summary,” 2020.
- [11] Crown Estate Scotland, “ScotWind Leasing: Seabed leasing for new offshore wind farms. Offer Document,” 2020.
- [12] Crown Estate Scotland, “ScotWind offshore wind leasing delivers major boost to Scotland’s net zero aspirations,” 2022. [Online]. Available: <https://www.crownstatescotland.com/news/scotwind-offshore-wind-leasing-delivers-major-boost-to-scotlands-net-zero-aspirations>. [Acesso em 07 2024].
- [13] Crown Estate Scotland, “Three Shetland ScotWind projects announced,” 2022. [Online]. Available: <https://www.crownstatescotland.com/news/three-shetland-scotwind-projects-announced>.
- [14] BWO, “Status of Offshore Wind Energy Development in Germany - Year 2023,” 2024. [Online]. Available: https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/dokumente-englisch/statistics/Status_of_Offshore_Wind_Energy_Development_Year_2023.pdf.
- [15] BWO, “Status of Offshore Wind Energy Development in Germany - Year 2022,” 2023. [Online]. Available: https://bwo-offshorewind.de/wp-content/uploads/2023/01/Status-of-Offshore-Wind-Energy-Development_Year-2022.pdf.
- [16] B. d. Justiz, “Lei de Desenvolvimento e Promoção da Energia Eólica no Mar (Wind Energy at Sea Act - WindSeeG),” 2016. [Online]. Available: <http://www.gesetze-im-internet.de/windseeg/BJNR231000016.html#BJNR231000016BJNG000100000>.
- [17] B. f. S. u. H. –. BSH, “Draft: Site Development Plan,” 2022. [Online].
- [18] Global Wind Energy Council, “Global Offshore Wind - Report 2024,” 2024.
- [19] Japanese Law Translation, “Act on Promoting the Utilization of Sea Areas for the Development of Marine Renewable Energy Power Generation Facilities,” 7 Dezembro 2018. [Online]. Available: https://www.japaneselawtranslation.go.jp/en/laws/view/3580/en#je_ch1at4. [Acesso em 09 Maio 2023].

- [20] European Commission, "Sectoral Study: Analysis of the offshore wind tender results in Japan," 2022.
- [21] Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), "Selection of Operators for the Offshore Wind Power Generation Project off Goto City, Nagasaki Prefecture," 11 Junho 2021. [Online]. Available: https://www.meti.go.jp/english/press/2021/0611_004.html. [Acesso em 09 Maio 2023].
- [22] GWEC, "Global Offshore Wind Report 2022," 2022.
- [23] White & Case, "Japan Offshore Wind Update – Round 2 Results & Round 3 Process," 04 2024. [Online]. Available: <https://www.whitecase.com/insight-alert/japan-offshore-wind-update-round-2-results-round-3-process>.
- [24] InfluenceMap, "Feed-in-tariff (FIT) / Feed-in-premium (FIP)," [Online]. Available: <https://japan.influencemap.org/policy/Feed-in-tariff-FIT-Feed-in-premium-FIP-5353>. [Acesso em 15 07 2024].
- [25] Australian Government, "Capacity Investment Scheme," 2024. [Online]. Available: <https://www.dcceew.gov.au/energy/renewable/capacity-investment-scheme>.
- [26] Australian Government, "Area in Bass Strait off Gippsland," DCCEEW, 2023.
- [27] Australian Government, "Guideline: Offshore Electricity Infrastructure Licence Administration – Feasibility Licences In relation to the Offshore Electricity Infrastructure Act 2021 - Version 3," 2024.
- [28] Australian Government, "Australia's offshore wind areas," 2024.
- [29] Minister for Climate Change and Energy, "EXPLANATORY STATEMENT: Offshore Electricity Infrastructure Act 2021 & Offshore Electricity Infrastructure Regulations 2022," 2022.
- [30] ANH/Agencia Nacional de Hidrocarburos, "Modifications to prequalification requirements and advances to market signal," 2024.
- [31] ANH/ Agencia Nacional de Hidrocarburos, "ANEXO A - ÁREAS PARA EL DESARROLLO DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE 2023," 2023.

Comparação dos Leilões de Cessão de Áreas da Alemanha, Países Baixos e Austrália para Desenvolvimento de Eólicas Offshore e Recomendações para o Brasil

Adriano Gouveia¹, Flávio Salvador², Isabella Leme³

Neoenergia

agouveia@neoenergia.com, flavio.martins@neoenergia.com, isabella.pereira@neoenergia.com

RESUMO

O presente documento apresenta 3 exemplos de modelo de cessão de áreas para desenvolvimento de projetos eólicos offshore em 3 países: Alemanha, Países Baixos e Austrália, comparando os critérios utilizados para seleção das propostas vencedoras, além dos valores pagos pela área. Concluiu-se que os leilões onde os critérios financeiros possuem peso maior na seleção da proposta vencedora, tendem a encarecer os custos de desenvolvimento desses empreendimentos, dificultando, assim, a viabilidade econômica dos projetos e o avanço dessa fonte de geração de energia no mundo.

Palavras-chaves:

Eólicas Offshore; Energias Renováveis; Leilões de Cessão de Área; *Beauty Contest*; Critérios não financeiros.

ABSTRACT

This document presents 3 examples of seabed lease processes for the development of offshore wind projects in 3 countries: Germany, the Netherlands and Australia, comparing the criteria used to select the winning proposals, in addition to the amounts paid for the area. It was concluded that auctions where financial criteria have greater weight in the selection of the winning proposal tend to increase the development costs of these projects, hindering the economic viability of the projects and the advancement of this source of energy generation in the world.

Keywords:

Offshore Wind, Renewable Energy, Seabed Lease Auction; *Beauty Contest*; Non price criteria.

¹estimando 7 anos de desenvolvimento e construção do projeto, 20 anos de operação, e contabilizando apenas os valores anuais das licenças comerciais e de viabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a energia eólica offshore, ou seja, a energia gerada através do vento em alto mar, está em constante expansão. Segundo o GWEC (2024), em 2023 mais de 10,8 GW de potência instalada foram conectadas na rede elétrica no mundo todo, um crescimento de cerca de 24% em relação ao ano anterior, sendo que se espera em 2028 que esse valor triplique. É uma das grandes apostas para se alcançar a transição energética no mundo, contribuindo para o alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU.

Segundo o IRENA (2023), o mundo precisaria de uma capacidade de eólica offshore estimada em 494 GW até 2030 e de 2.465 GW até 2050 para manter o aquecimento global abaixo de 1,5 graus celsius. Porém, de acordo com o Relatório Global de Eólicas Offshore de 2024 feito pelo GWEC, no final de 2023 a capacidade instalada mundial de eólicas offshore atingiu 75,2 GW, ou seja, apenas cerca de 15% do necessário para se alcançar o cenário de 1,5 graus celsius.

O crescimento dessa fonte de geração de energia acaba enfrentando vários desafios. Dentre eles, é possível citar a inflação e o aumento do custo de capital para os empreendedores, os problemas na cadeia de suprimentos que criaram incertezas no setor, além do aumento dos preços dos commodities, causado, principalmente, pela interrupção das cadeias produtivas e logísticas globais após a crise sanitária do COVID-19, e agravado pela Guerra na Ucrânia.

Diante disso, de acordo com o Jornal The Wall Street (2023), o custo de desenvolvimento de um parque eólico offshore aumentou cerca de 40% desde o ano de 2019, contribuindo com os desafios citados no parágrafo anterior que resultou no pedido de cancelamento dos contratos de energia por alguns desenvolvedores nos Estados Unidos, com o argumento de que eles não seriam mais viáveis financeiramente.

Em 2023 a Alemanha realizou um leilão de área onde foram pagos aproximadamente 2 milhões de euros por MW, apenas para ter o direito de exploração das áreas para eólica offshore. Este valor representou um aumento de aproximadamente 65% no CAPEX dos projetos.

Esse cenário mostra a pressão que os desenvolvedores dessa fonte de geração de energia estão tendo para viabilizar projetos, desafiando não só eles, mas toda a cadeia de suprimentos a buscar oportunidades de redução de custos de desenvolvimento desses empreendimentos.

Este artigo traz 3 exemplos de modelos de leilão de área. O primeiro caso é o modelo com critério puramente financeiro da Alemanha. Na sequência é apresentado o modelo adotado nos países baixos, que apesar de também utilizar critérios não financeiros exigiu investimentos em atividades não relacionadas ao desenvolvimento do projeto de eólica offshore, como a instalação de eletrolisadores, resultando em uma espécie de *negative bidding* que onera o desenvolvimento do empreendimento. E por fim, o modelo utilizado na Austrália que utilizou majoritariamente critérios não financeiros, aumentando a competitividade dos projetos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Leilão Alemanha

Em junho de 2024 a Alemanha realizou mais um leilão para desenvolvimento de parques eólicos offshore, atribuindo uma capacidade total de 2,5 GW. Esse leilão utilizou o método chamado de *Negative Bidding*, onde os desenvolvedores de parques eólicos oferecem o valor que estão dispostos a pagar pelo direito de construir e operar um empreendimento eólico naquela área.

Nesse modelo de leilão, a receita dos desenvolvedores dependerá do preço da energia no mercado, que irá variar durante a operação do parque, ou seja, nos momentos em que o preço da energia estiver maior, a receita será maior, assim como nos momentos em que o preço da energia estiver menor, a remuneração do desenvolver do projeto será menor também.

Esse modelo de leilão mencionado acima difere do de Contrato por Diferença (CfD), onde o valor da receita dos desenvolvedores será aquela estabelecido durante o leilão e, se os preços de mercado forem superiores ao definido na licitação, o empreendedor deverá pagar a diferença para o Governo (da mesma forma que receberá a diferença do governo quando os preços de mercado forem inferiores), garantindo, assim, uma receita média para o empreendedor.

Os valores ofertados pelo *negative bidding* acabam por ser um acréscimo direto aos custos de desenvolvimento de um parque eólico offshore, fazendo com que esses sejam repassados para a cadeia de abastecimento ou até mesmo para os consumidores da energia.

No caso do leilão da Alemanha em 2024, onde o modelo de *negative bidding* foi utilizado, foram duas áreas licitadas: O site N-11.2 com capacidade em torno de 1,5 GW, sendo que o vencedor do certame pagou 1,958 bilhões de euros pela área, ou seja, 1,3 milhões de euros por MW, e o site N-12.3 com capacidade em torno de 1 GW, onde o vencedor ofertou um valor de 1,065 bilhões de euro pela área, ou seja, em torno de 1,1 milhões de euros por MW. A Tabela 2.1. abaixo apresenta um resumo desses valores, além daqueles praticados no leilão de 2023 onde foram licitadas 4 áreas, atribuindo uma capacidade total de 7 GW Em 2023 foram pagos aproximadamente 2 milhões de euros por MW.

Tabela 2.1. Resumo dos Leilões da Alemanha de 2023 e 2024.

Site	Ano do Leilão	Capacidade Prevista (GW)	Valor Total Ofertado (Bilhões de EUR)	Valor por MW (Milhões de EUR)
N-12.2	2023	2,0	3,120	1,6
N-11.1	2023	2,0	3,660	1,8
N-12.1	2023	2,0	3,750	1,9
O2-2	2023	1,0	2,070	2,0
N-11.2	2024	1,5	1,958	1,3
N-12.3	2024	1,0	1,065	1,1

¹estimando 7 anos de desenvolvimento e construção do projeto, 20 anos de operação, e contabilizando apenas os valores anuais das licenças comerciais e de viabilidade.

2.2. Leilão Países Baixos

Já no caso dos Países Baixos, também foram dois sites ofertados no certame utilizando o método de *negative bidding*. Ambos os sites possuem uma capacidade em torno de 2 GW cada, contudo, enquanto no site IJmuiden Ver Alpha o vencedor ofertou o valor de 40 milhões de euros, ou seja, 20 mil euros por MW, o site IJmuiden Ver Beta o vencedor ofertou 800 milhões de euros, ou seja, 400 mil euros por MW.

Importante mencionar que o leilão holandês utilizou também critérios não financeiros. Para o site Alpha, houve um critério que avaliou a proteção da biodiversidade. Já para o site Beta, o critério não financeiro foi a integração do sistema.

Os licitantes vencedores assumiram compromissos significativos para investir nessas respectivas áreas. Dentre outras coisas, os vencedores se comprometeram a construir uma instalação de um eletrolisador de 1 GW em Roterdão, que funcionará com eletricidade renovável da unidade Beta. E o parque eólico Alpha foi concebido como um “laboratório vivo” – mais de 75% das turbinas eólicas do parque eólico terão recifes artificiais para atração de animais marinhos. A Tabela 2.2 apresenta um resumo desse leilão.

Tabela 2.2. Resumo do Leilão dos Países baixos.

Site	Capacidade Prevista (GW)	Valor Total Ofertado (Bilhões de EUR)	Valor por MW (Milhões de EUR)
Alpha	1,0	0,040	0,02
Beta	1,0	0,800	0,40

2.3. Leilão Austrália – Gippsland, Victoria

Em 2024 a Austrália avançou com seus planos de desenvolvimento de eólicas offshore, concedendo as primeiras licenças de viabilidade em áreas próximas as costas de Gippsland. Seis projetos, totalizando 12 GW em capacidade, obtiveram licenças com efeito imediato, ou seja, os desenvolvedores ganharam o direito de conduzir estudos meteorológicos detalhados e estudos de viabilidade de medição de vento.

Outros seis projetos receberam, em um primeiro momento, licenças preliminares de viabilidade que estavam sujeitas a consultas adicionais. No total foram 12 projetos que constituem 25 GW de potencial de capacidade.

Os critérios utilizados para avaliar as solicitações de cessão de área, estabelecidos pela Lei Australiana de Infraestrutura Offshore de 2021, foram:

- Capacidade Técnica e Financeira;
- Elegibilidade do Candidato;
- Viabilidade do Projeto;
- Interesse Nacional.

No critério de interesse nacional foi avaliado o desenvolvimento da cadeia de fornecimento, engajamento com partes interessadas etc.

Somente os projetos com licença de viabilidade poderão concorrer ao próximo leilão de venda de energia do estado de Victoria, que deverá ser iniciado no final do ano de 2025.

De acordo com a 4C offshore (2024), as taxas anuais previstas para o direito da área são:

- Taxa de Licença: 120 mil AUD para os primeiros 100 km² + um adicional de 1 mil AUD a cada 10 km². Durante a Licença Comercial do empreendimento, esse valor aumentará para 150 mil AUD para os primeiros 100 km² + um adicional de 2 mil AUD cada 10 km²
- Taxa do Commonwealth: 513.342,00 AUD
- Taxa de Conformidade: 100 mil AUD + 5 mil AUD por 10 km² de área licenciada acima de 100 km²

Para o leilão de venda de energia que está previsto para iniciar em 2025, será utilizado o modelo de Contrato por Diferenças (CfD). O preço mínimo do CfD, em AUD/MWh será definido pelo governo, com os desenvolvedores bidando pelo valor dos pagamentos adicionais necessários para a tarifa que viabilize o projeto.

As propostas dos desenvolvedores serão avaliadas com base em critérios financeiros e não financeiros. Os financeiros terão um peso maior e referem-se ao valor dos pagamentos adicionais necessários no CfD. Já os critérios não financeiros incluem:

- Capacidade do projeto e geração esperada de energia;
- Data prevista de operações comerciais (COD);
- Abordagens para conteúdo local, desenvolvimento da indústria e oportunidades de emprego;
- Progresso em matéria de aprovações ambientais e de planejamento;
- Benefícios para as comunidades locais;
- Sustentabilidade do projeto.

A Tabela 2.3. apresenta uma estimativa dos valores pagos por cada site, utilizando como premissa 7 anos de desenvolvimento e construção, além de 20 anos de operação do empreendimento.

Tabela 2.3. Resumo dos 12 projetos da Austrália.

Site	Capacidade Prevista (GW)	Valor Estimado a ser pago ¹ (Bilhões de EUR)	Valor Estimado por MW ¹ (Milhões de EUR)
Star of the South	2,20	0,060	0,03
Beta	1,00	0,030	0,03
High Sea Wind	1,28	0,070	0,02
Ørsted 1	2,80	0,070	0,03
Kut-Wut Brataualung	2,20	0,070	0,03
Gippsland Skies	2,50	0,070	0,03
Aurora Green	3,00	0,070	0,02
Gippsland Dawn	2,09	0,050	0,02
Great Eastern	2,50	0,070	0,03
Kent Offshore Wind	2,00	0,050	0,02
Navigator North	1,50	0,070	0,05
Ørsted 2	2,00	0,050	0,03

Dentre os 12 projetos, o “Star of the South” com capacidade prevista de 2,2 GW, ficará a 225 km do Porto de Hastings, exatamente em frente ao ponto de chegada na costa e é um dos projetos com estudos mais avançados. Em 2020, o “Star of the South” estimou um CAPEX de 8 bilhões de dólares australianos (4,9 bilhões de euros). Em 2024 a estimativa do CAPEX está cerca de 9,4 bilhões de dólares australianos, ou seja, 5,8 bilhões de euros.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos anos de 2023 e 2024 a Alemanha licitou áreas para 9,5 GW de projetos de eólica offshore e estes projetos ficaram concentrados em apenas 3 empresas. Sendo que apenas uma empresa concentrou 4,5 GW (mais de 47% do total). A concentração de projetos em poucas empresas não é algo benéfico para o país pois, caso alguma empresa decida em não seguir com os projetos, haverá uma parcela significativa de potência que não será construída. O alto valor pago pela cessão da área pode justificar o reduzido número de empresas com interesse nas áreas.

Importante destacar que os primeiros projetos de eólica offshore da Alemanha não foram tão onerosos para os desenvolvedores, o que facilitou o desenvolvimento do setor.

¹estimando 7 anos de desenvolvimento e construção do projeto, 20 anos de operação, e contabilizando apenas os valores anuais das licenças comerciais e de viabilidade.

Os países baixos, apesar de uma redução do valor pago pela cessão da área quando comparado com a Alemanha, também utilizou *negative bidding*. Nesse leilão, foi exigido investimentos em atividades não relacionadas com eólica offshore e isto pode prejudicar a competitividade dos projetos.

Na Austrália os 12 projetos ficaram divididos entre 10 empresas, não havendo assim concentração de grande quantidade de projetos em poucas delas. Isso pode ser justificado pela adoção de critérios não financeiros no processo competitivo.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para garantir o contínuo crescimento das eólicas offshore e o atingimento das metas globais de descarbonização, é fundamental que os leilões de área de eólicas offshore adotem critérios não financeiros para a o processo competitivo e englobem critérios robustos de qualificação de desenvolvedores. Isso facilitará as condições para investimentos de longo prazo visando a implantação contínua dos projetos de energia eólica offshore.

O projeto de lei nº 576 de 2021, que regulamentará o processo de cessão de área para aproveitamento energético offshore no Brasil, que está atualmente em tramitação no Senado, define o bônus de assinatura como um pagamento obrigatório, mas também estabelece que o edital do leilão poderá definir outros critérios de julgamento além de fatores de ponderação desses critérios.

A competitividade da fonte eólica offshore é um dos grandes desafios para desenvolver este setor no Brasil. A adoção do bônus de assinatura como único critério de seleção poderá refletir em uma tarifa de energia mais alta já que irá aumentar o custo dos projetos. O bônus de assinatura poderá resultar em necessidade de mais incentivos para viabilizar a fonte e dificultará o desenvolvimento da cadeia de valor do setor de eólica offshore no Brasil, pois aumentará a pressão sobre os fornecedores para reduções de preços.

Para evitar o que aconteceu na Alemanha nos leilões de 2023 e 2024 e visando contribuir com a competitividade da fonte é importante que os editais dos primeiros leilões de áreas para eólica offshore no Brasil definam um valor teto para o bônus de assinatura, com o objetivo de mitigar o risco de uma corrida especulativa pelo direito de cessão da área que aumente demasiadamente o custo de desenvolvimento dos projetos na fase inicial e que implique na necessidade de um valor mais alto de tarifa de venda de energia.

A Austrália é um bom exemplo de processo competitivo com a adoção de critérios não financeiros. Os critérios não financeiros são chamados de *Beauty Contest*.

A adoção de critérios não financeiro no processo competitivo reduz o custo de desenvolvimento do projeto, atrai mais empresas e facilita o desenvolvimento do setor. É importante destacar que os critérios não financeiros não sejam *negative bidding* que exigem investimentos em atividades não relacionadas com o projeto (instalação de eletrolisadores, por exemplo) nem considerar critérios especulativos como, por exemplo, maior quantidade de empregos gerados.

No Brasil é importante que os critérios qualitativos do *Beauty Contest* sejam mensuráveis para evitar possíveis problemas de judicialização.

Definir critérios qualitativos mensuráveis é difícil, porém, é possível.

REFERÊNCIAS

Wind Europe. 2024. Negative bidding continues to burden offshore wind development. Disponível em: <[Negative bidding continues to burden offshore wind development | WindEurope](#)>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

Aegir. 2024. Australia awards first feasibility licenses to 12 offshore wind projects totaling 25 GW. Disponível em: <[Australia awards first feasibility licenses to 12 offshore wind projects totaling 25 GW - Aegir \(aegirinsights.com\)](#)>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

The Wall Street Journal. 2023. The Bill for Offshore Wind is Rising. Disponível em: <[The Bill for Offshore Wind Power Is Rising - WSJ](#)>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

Utility Dive. 2023. Avangrid moves to cancel Park City offshore wind contracts on heels of SouthCoast termination. Disponível em: <[Avangrid moves to cancel Park City offshore wind contracts on heels of SouthCoast termination | Utility Dive](#)>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

4C offshore. 2024. Negative bidding continues to challenge offshore wind development in Germany and the Netherlands. Disponível em: <[Negative bidding continues to challenge offshore wind development in Germany and the Netherlands | 4C Offshore News](#)>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

GWEC. 2024. Global Offshore Wind Report. Disponível em: <[Global Wind Report 2024 - Global Wind Energy Council \(gwec.net\)](#)>. Acesso em: 18 de julho de 2024.

IRENA. 2023. World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5° pathway. Disponível em: <[World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway \(irena.org\)](#)>. Acesso em: 18 de julho de 2024.

Australian Government. 2022. Offshore Windfarm Development Awarded Major Project Status. Disponível em: <[Offshore windfarm development awarded Major Project Status | Department of Industry Science and Resources](#)>. Acesso em: 22 de julho de 2024.

4C Offshore. 2024. Overview of each market 's site leasing processes, offtake systems, transmission, and permit ting environment.

Engajamento de Stakeholders em Eólicas Offshore: Superando Desafios com Melhores Práticas e Padrões Internacionais

Autores [Ana Carolina Almeida de Carvalho Silva, Cleiton Jardewisk]

ERM Brasil

carolina.silva@erm.com, cleiton.jardeweski@erm.com

RESUMO

O engajamento de partes interessadas é um procedimento decisivo para o sucesso de projetos de energia eólica offshore. Por meio de uma comunicação aberta e transparente com as partes interessadas, as empresas operadoras podem garantir o apoio público, mitigar riscos e alcançar resultados sustentáveis.

No cenário específico de empreendimentos de energia eólicas offshore, que envolvem a instalação de turbinas em áreas marítimas, o engajamento com comunidades locais, pescadores, autoridades ambientais e outros grupos interessados é particularmente complexo. É essencial compreender e abordar as preocupações específicas desses stakeholders, incluindo impactos ambientais, econômicos e sociais potenciais, além de garantir uma participação significativa e inclusiva no processo decisório.

A estratégia de engajamento apresentada neste trabalho está referenciada em metodologia global que a Environmental Resources Management (ERM) desenvolve nos países onde projetos dessa natureza já estão em andamento, seja em fase de implantação ou de operação. Tal estratégia visa estabelecer uma comunicação transparente e participativa, reconhecendo a importância de construir confiança e colaboração de longo prazo com os stakeholders.

Palavras-chaves:

Engajamento; Stakeholders; Socioambiental; Relacionamento; Participação.

ABSTRACT

Stakeholder engagement is a decisive process for the success of offshore wind energy projects. Through open and transparent communication with stakeholders, operating companies can secure public support, mitigate risks and achieve sustainable results.

In the specific scenario of offshore wind projects, which involves installing turbines in maritime areas, engaging with local communities, fishermen, environmental authorities and other stakeholders is particularly complex. It is essential to understand and address the stakeholders' specific concerns, including potential environmental, economic and social impacts, as well as ensuring meaningful and inclusive participation in the decision-making process.

The engagement strategy presented in this paper is based on a global Environmental Resources Management (ERM) methodology that has been developed in countries where offshore wind farms are

already up and running. This strategy aims to establish transparent and participatory communication, recognizing the importance of building trust and long-term collaboration with stakeholders.

Keywords:

Engagement; Stakeholders; Socioenvironmental; Relationship; Participation.

1. INTRODUÇÃO

Engajar stakeholders de forma eficaz é sempre desafiador. O engajamento voluntário é uma prática que transcende o cumprimento de requisitos formais e se fundamenta na sustentabilidade dos projetos. Em um contexto global marcado por intensas discussões sobre mudanças climáticas e a emergência das práticas ESG (Ambiental, Social e Governança, do inglês, Environmental, Social and Governance), a capacidade das empresas de promover consultas e dialogar com as partes interessadas, para além de assegurar uma relação construtiva e transparente de longo termo, tornou-se um critério decisivo para a obtenção de apoio financeiro internacional.

Ainda que o Brasil esteja no início de sua jornada em relação à energia eólica offshore, há um claro movimento em direção a um marco regulatório mais definido e estruturado, visando aproveitar o potencial dessas fontes de energia renovável de forma sustentável e responsável. Os projetos de complexos eólicos offshore podem ter possíveis relações com impactos significativos em uma variedade de partes interessadas no Brasil, incluindo:

- Pescadores;
- Comunidades costeiras;
- Turistas;
- Agências governamentais;
- Investidores;
- ONGs e Grupos Ambientais;
- Governo e Legisladores; e
- Fornecedores e Empreiteiros.

O engajamento de stakeholders ajustado as partes interessadas pode facilitar a identificação e abordagem das preocupações dos envolvidos desde as primeiras etapas do desenvolvimento do projeto. Dessa forma, sendo possível ajudar a evitar conflitos, atrasos e custos adicionais no projeto.

2. ESTADO DA ARTE/ FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Panorama Atual

O Brasil possui um enorme potencial para geração de energia eólica offshore, estimado em até 700 GW pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). No entanto, o desenvolvimento desse setor ainda se encontra em fase inicial, com diversos desafios a serem superados.

A **Figura 1**, a seguir mostra a distribuição de Projetos de Eólicas offshore abertos no Ibama.

Figura 1 – Mapa de projetos eólicos offshore em licenciamento no Brasil



Fonte: Adaptado de Mapas de projetos em licenciamento - Complexos Eólicos Offshore. Ibama, 2024.

No panorama atual devemos considerar os seguintes pontos relacionados, a seguir:

- **Capacidade Instalada:** Atualmente, o Brasil não possui nenhuma usina eólica offshore em operação comercial.
- **Projetos em Planejamento:** De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), há 97 projetos¹ de complexos eólicos offshore que estão em fase de planejamento, aguardando regulamentação.
- **Regulamentação:** O Decreto nº 10.946, de 25 de janeiro de 2022, versa sobre a cessão de uso de espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais em águas interiores de domínio da União, para a geração de energia elétrica a partir de empreendimentos offshore. A Portaria Normativa nº 52/GM/MME, de 19 de outubro de 2022, estabelece as diretrizes para o desenvolvimento de projetos eólicos offshore no Brasil. Já o Projeto de Lei nº 11.247/2018, conhecido como Lei do Mar Territorial, que ampliação das atribuições institucionais relacionadas à Política Energética Nacional com o objetivo de promover o desenvolvimento da geração de energia elétrica a partir de fonte eólica. O Projeto de Lei 11.247/2018, foi aprovado na Câmara dos Deputados com modificações significativas (maiores subsídios do Governo para a implementação desses projetos) na forma do substitutivo aprovado pela Comissão de Minas e Energia (CME) da casa, e foi apensado ao Projeto de Lei nº 5.932/2023, que também trata da temática da energia eólica offshore. O Senado Federal recebeu o PL apensado em

¹ Informação obtida na publicação da Diretoria de Licenciamento Ambiental: Processos de licenciamento ambiental de eólicas offshore abertos no Ibama até 04 de abril de 2024.

dezembro de 2023 e o encaminhou para análise da Comissão de Infraestrutura (CI), onde ainda não foi apreciado.

- **Leilões:** O primeiro leilão de energia eólica offshore no Brasil está previsto para 2025, no entanto até o segundo semestre de 2024, não ocorreu andamento da regulamentação no Senado Federal.

2.1. - Desafios no Desenvolvimento das Eólicas Offshore no Brasil

Com os elementos destacados acima, há que se levar em consideração alguns desafios no desenvolvimento dos projetos eólicos na plataforma continental brasileira. Desde a falta de experiência local na construção e operação de usinas eólicas offshore em escala comercial, até o alto custo, mesmo que as mudanças feitas pela Comissão de Minas e Energia da Câmara Federal, que fornecem mais subsídios para os projetos, sejam aprovadas na legislação. Há que se considerar que para a geração de energia eólica deverá ser feito grande investimento na infraestrutura marítima e na rede de transmissão de energia, visando suportar esse desenvolvimento. Esses detalhes colocam mais carga na rede de apoio marítima, já sobrecarregada, especialmente em Bacia Sedimentares já exploradas pela indústria de óleo e gás.

Outro desafio é o Licenciamento Ambiental desses projetos. Em novembro de 2020 o IBAMA divulgou o Termo de Referência para determinar diretrizes e critérios técnicos gerais que deverão fundamentar a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) de empreendimentos eólicos offshore, a fim de subsidiar o processo de licenciamento ambiental prévio. No entanto, não há informação sobre consulta às partes interessadas. Apenas uma menção de Projeto de Comunicação Social no Plano de Gestão Ambiental. Esse é um ponto sensível, visto que os projetos eólicos offshore irão gerar impactos em área já vulneráveis, em novas áreas de municípios com possíveis negociações fundiárias (considerando as Linhas de Transmissão Associadas aos Parques eólicos offshore), que possivelmente já são impactados pela indústria de óleo e gás.

Toda a indústria deseja que os projetos sejam desenvolvidos de forma sustentável, minimizando os impactos ambientais, mas é preciso lembrar que o impacto socioeconômico tem grande peso nesse processo. É nesse quesito que o engajamento de stakeholders se destacará como prioritário no desenvolvimento dos projetos. São muitos fatores a serem considerados para que haja um alinhamento de ideias a fim de gerar menos conflitos.

3. MÉTODO DO ESTUDO

3.1. - Padrões internacionais para engajamento de stakeholders

Os padrões internacionais para o engajamento de stakeholders são estabelecidos por organizações como a Corporação Financeira Internacional (IFC, do inglês, International Finance Corporation) o Banco Mundial, a ONU, Global Sustainability Standards Board (GSSB) e outras entidades internacionais. Esses padrões geralmente incluem diretrizes para a consulta e participação das partes interessadas, transparência nas operações, prestação de contas, e a consideração dos impactos

sociais e ambientais das atividades empresariais. Nesta seção serão destacadas as principais organizações e suas diretrizes.

3.1.1. International Finance Corporation (IFC)

A IFC (International Finance Corporation) é uma instituição financeira internacional que faz parte do Grupo Banco Mundial. Os padrões de desempenho da IFC são um conjunto de diretrizes que fornecem orientação para empresas e projetos em que a IFC investe ou financia. Esses padrões foram desenvolvidos para ajudar as empresas a identificar e gerenciar riscos sociais e ambientais em seus negócios e garantir que seus projetos tenham um impacto positivo nas comunidades locais e no meio ambiente. Eles abrangem uma série de áreas-chave, incluindo: Avaliação e gestão de riscos ambientais e sociais; Condições de trabalho e gestão da mão de obra; Gestão de saúde e segurança; Eficiência energética e conservação de recursos; Biodiversidade e conservação de habitats naturais; Engajamento das partes interessadas e divulgação de informações; e Reassentamento involuntário.

O cumprimento desses padrões não apenas ajuda a reduzir os riscos sociais e ambientais associados aos projetos, como também pode melhorar a reputação da empresa e sua capacidade de atrair financiamento e investimento.

A IFC considera o engajamento de stakeholders como um elemento crucial em seus padrões de desempenho. Engajar as partes interessadas significa envolver e comunicar-se de forma transparente com todas as partes afetadas por um projeto ou operação, incluindo comunidades locais, grupos indígenas, organizações da sociedade civil, governos locais e outros stakeholders relevantes. A organização tem diretrizes específicas para o engajamento das partes interessadas em seus padrões de desempenho promovendo práticas como: Identificação das Partes Interessadas; Comunicação Transparente; Diálogo e Consulta; Participação Efetiva; Respeito pelos Direitos Humanos; e Mecanismos de Resolução de Conflitos.

3.1.2. International Association for Public Participation (IAP²)

A IAP² (International Association for Public Participation) é uma organização internacional que promove e desenvolve as melhores práticas em participação pública e engajamento de stakeholders. Embora a IAP² seja independente da IFC, as diretrizes e princípios da IAP² são frequentemente utilizados como referência por organizações, incluindo a IFC, para orientar seus processos de engajamento de stakeholders.

A IAP² estabeleceu um conjunto de princípios e práticas para o engajamento efetivo de stakeholders, conhecido como "Espectro de Participação". Esse espectro apresenta diferentes níveis de participação, desde informar e consultar até envolver e capacitar os stakeholders. O **Quadro 1** a seguir mostra os principais níveis do espectro. Esses princípios podem ser aplicados em diferentes contextos e estão alinhados com as melhores práticas de engajamento de stakeholders promovidas pela IFC e outras organizações.

Quadro 1 - Espectro da Participação Pública, segundo IAP²

Informar	Consultar	Envolver	Colaborar	Empoderar
Fornecer informações aos stakeholders sem a expectativa de feedback ou envolvimento ativo.	Obter feedback dos stakeholders e considerar suas opiniões e preocupações na tomada de decisões.	Trabalhar diretamente com os stakeholders ao longo do processo de tomada de decisões, garantindo que suas contribuições sejam consideradas e integradas.	Trabalhar em parceria com os stakeholders para desenvolver soluções e implementar ações, compartilhando responsabilidades e poder de decisão.	Capacitar os stakeholders para que assumam um papel ativo no processo de tomada de decisões e na implementação de soluções, promovendo a autodeterminação e a capacidade de influenciar resultados.

Fonte: produzido pelos autores a partir dos dados da IAP², 2018.

Ao implementar o engajamento de stakeholders, a IFC e outras organizações frequentemente buscam atender aos padrões éticos e práticos delineados pela IAP², adaptando-os conforme necessário para atender às necessidades específicas de cada projeto e contexto. Isso pode incluir a realização de consultas públicas, grupos focais, reuniões comunitárias, e o estabelecimento de mecanismos formais para receber e responder a comentários e preocupações dos stakeholders.

3.1.3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU)

O engajamento de stakeholders é fundamental para a implementação eficaz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Os ODS são uma agenda global que aborda uma ampla gama de questões sociais, econômicas e ambientais, e sua realização requer a colaboração e participação de governos, setor privado, sociedade civil e outros stakeholders. Seus principais propósitos são: Alinhamento de Objetivos; Implementação de Projetos Sustentáveis; Monitoramento e Avaliação; Advocacia e Mobilização; e Inovação e Parcerias.

Ao integrar o engajamento de stakeholders em iniciativas relacionadas aos ODS, as organizações podem promover uma abordagem mais holística e inclusiva para o desenvolvimento sustentável, garantindo que as vozes e necessidades de todas as partes interessadas sejam consideradas e valorizadas. Isso é essencial para garantir um progresso significativo em direção aos ODS e para criar um futuro mais justo, próspero e sustentável para todos.

3.1.4. Global Sustainability Standards Board (GSSB)

O Global Sustainability Standards Board (GSSB) é uma entidade independente que supervisiona o desenvolvimento e a manutenção das Normas Internacionais de Relatórios de Sustentabilidade (GRI). A GRI é uma organização que desenvolve diretrizes globais para relatórios de sustentabilidade, fornecendo um framework para as organizações comunicarem seus impactos sociais, ambientais e econômicos de maneira transparente e consistente.

O engajamento de stakeholders desempenha um papel crucial no processo de desenvolvimento e revisão das normas da GRI. Aqui estão algumas maneiras pelas quais o engajamento de stakeholders é integrado ao trabalho do GSSB e à evolução das normas de sustentabilidade: Consulta Pública;

Participação de Stakeholders nos Processos de Revisão; Diálogo Contínuo; Transparência e Prestação de Contas; e Capacitação e Construção de Capacidades.

Por meio desse engajamento significativo e colaborativo, o GSSB e a GRI buscam garantir que suas normas reflitam as melhores práticas e padrões internacionais em relatórios de sustentabilidade, promovendo a transparência, a responsabilidade e o impacto positivo nas organizações e na sociedade como um todo.

3.2. - Aplicando as metodologias internacionais de engajamento à metodologia ERM Brasil

Os métodos utilizados na elaboração de planos de engajamento pela ERM, conforme **Figura 2** a seguir, com utilizando técnicas desenvolvidas a partir de estudos aprofundados nas áreas da socioeconomia, comunicação e gestão de relacionamentos, além de consultas a políticas e padrões de referência no mercado, citados no Item 4.1.

Figura 2 - Partes integrantes do engajamento de stakeholders



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3. - Mapeamento de Stakeholders

Para o mapeamento prévio dos stakeholders, deverá ser considerada a lista de Partes Interessadas integrante de estudos prévios, a pesquisa de dados secundários ou listagem de contatos de outros projetos na mesma região e dados primários. Ao longo da etapa de pesquisa é possível que sejam identificados novos stakeholders, tanto em função da aplicação da metodologia de busca ativa (*snowball sampling*), quanto pela própria dinâmica de organização de alguns grupos de stakeholders (por exemplo, prefeitura e secretarias municipais subdividas em diretorias temáticas). Assim, deverá ser feita uma priorização dos atores a serem entrevistados considerando: (i) a entrada de novos atores; (ii) as disponibilidades de agendas e; (iii) a relevância dos grupos para o projeto/empresa (por exemplo, considerando a relação da instituição em relação à área de influência do empreendimento).

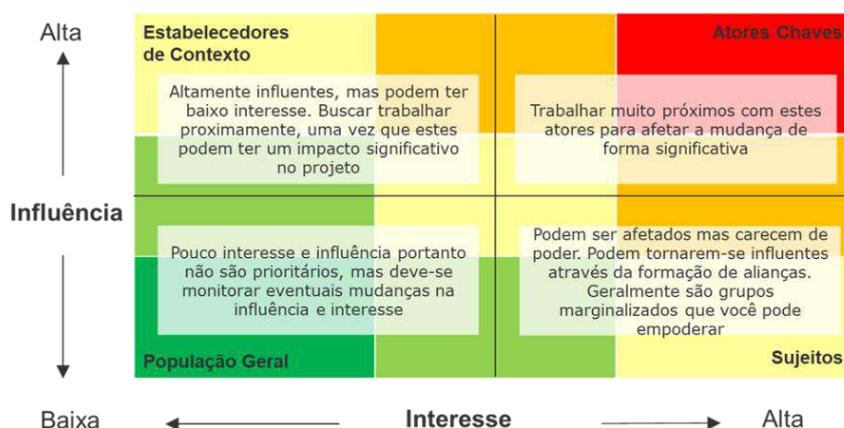
A partir das delimitações citadas para coleta de dados deverão ser estruturadas atividades de campo, visando identificar novos atores, problemas e desafios, potencialidades, projetos e iniciativas dos stakeholders, além das impressões e nível de conhecimento dos atores com relação às atividades de energia eólica offshore. Para tanto, a ERM indica entrevistas estruturadas e semiestruturadas junto aos grupos. As entrevistas devem ser agendadas previamente, conforme disponibilidade da agenda dos atores, com base no roteiro antecipadamente elaborado, permitindo flexibilidade para incluírem novos questionamentos no decorrer do diálogo.

3.3.1. Caracterização

Os stakeholders mapeados passam a ser categorizados conforme seus interesses, suas similaridades e diferenças institucionais, assim como escalas geográficas de atuação. Posteriormente, cada stakeholder deverá ser caracterizado conforme seus níveis de poder/influência e de impacto/interesse com relação ao projeto/empresa (alto, médio e baixo), conforme premissas estabelecidas pelo IAP2. Desta forma, é gerada uma matriz de interesse v.s. influência cujo objetivo é ilustrar o método de engajamento mais adequado conforme as características do público de interesse, conforme mostra a **Figura 3**. De forma complementar, é considerada a avaliação proposta por Reed et al (2009), que relaciona interesse v.s. influência, adotando as seguintes classificações dos stakeholders:

- Stakeholders que são Atores-Chave para o empreendimento e com os quais se deve trabalhar de forma muito próxima;
- Stakeholders que são Estabelecedores de Contexto, pois possuem grande influência, mas pouco interesse e devem ser próximos, pois podem impactar significativamente o projeto;
- Stakeholders que são Sujeitos Vulneráveis, pois possuem pouco poder, mas grande exposição aos efeitos do projeto, geralmente são grupos vulneráveis que você pode empoderar, além disso podem formar alianças com outros atores mais poderosos que podem afetar significativamente as decisões; e
- Stakeholders que são a População Geral, não sendo considerados prioritários, porém devem ser informados e monitorados.

Figura 3 – Matriz de Interesse/Influência



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Reed *et al.* (2009).

Dessa forma é possível ajustar de forma mais apropriada o esforço de engajamentos dos atores conforme suas características locais e contextos de inserção institucional. Importante ressaltar que as posições dos stakeholders na matriz não são fixas e podem variar ao longo do tempo, conforme se alteram os cenários políticos, sociais e econômicos da região de estudo.

De forma associada às categorias supracitadas, são definidos cinco níveis de engajamento para orientar a abordagem principal na gestão dos relacionamentos com os stakeholders, conforme **Quadro**

2, abaixo. Estes níveis são definidos de acordo com a associação das características de poder e influência dos stakeholders, dessa forma é possível estabelecer uma escala de prioridade, objetivos de participação no projeto, abordagem e as ferramentas mais adequadas para cada nível de engajamento.

Quadro 2 – Nível de Engajamento, Abordagem, Objetivo e Ferramentas entre abordagens

Nível de Engajamento	Abordagem	Objetivo de Participação	Ferramentas
Informar	Tratamento Distanciado	Prover ao público informações equilibradas e objetivas para auxiliá-lo na compreensão dos problemas, alternativas e/ou soluções.	<ul style="list-style-type: none"> Fichas técnicas; Sites; Casas abertas.
Consultar	Tratamento Justo	Para obter feedback público sobre análises, alternativas e/ou decisões.	<ul style="list-style-type: none"> Comentário público; Grupos focais; Pesquisas; Reuniões públicas.
Envolver	Relacionamento Próximo	Trabalhar diretamente com o público durante todo o processo para garantir que as questões e preocupações públicas sejam consistentemente compreendidas e consideradas.	<ul style="list-style-type: none"> Workshops; Votação deliberada.
Colaborar	Relacionamento Contínuo	Contaremos com você para aconselhamento direto e inovação na formulação de soluções e incorporaremos seus conselhos e recomendações nas decisões na medida do possível.	<ul style="list-style-type: none"> Comitês consultivos de cidadãos; Construção de consenso; Tomada de decisão participativa.
Empoderar	Relacionamento Estratégico	Implementaremos o que você decidir.	<ul style="list-style-type: none"> Júris cidadãos; Votações; Decisões delegadas.

Fonte: produzido pelos autores, a partir de dados do IAP².

3.4. Identificação de Riscos e Oportunidades

A identificação de riscos e oportunidades deve ser realizada através da análise dos resultados obtidos pelas entrevistas estruturadas e semiestruturadas. Os entrevistadores devem ser treinados para explorar e identificar posicionamentos, percepção e meios (recursos) disponíveis pelos stakeholders que orientem a definição de um risco de natureza não técnica. Os riscos não-técnicos são definidos como riscos que afetam diretamente um projeto específico ou a empresa, causados por partes interessadas externas (não-contratantes), que desencadeiam eventos não planejados e inesperados, resultando em desvio indesejável da premissa original de entrega do projeto. O que diferencia um risco não-técnico dentro de um contexto de projeto é que existe uma ligação clara entre o risco e as partes interessadas externas, ou seja, geralmente se originam de stakeholders externos. A partir destes, os riscos são delineados para identificação das oportunidades e recomendações de engajamento.

3.5. Licença Social

A Licença Social para Operar (LSO) é um complemento essencial às licenças legais regulares e a compreensão dos aspectos sociais na indústria da energia eólica offshore, é um requisito crítico para

o sucesso de um projeto e aceitação da empresa na região em que atua. Os impactos sociais de um projeto de geração de energia eólica offshore são, muitas vezes, difíceis de se determinar, uma vez que os significados sociais variam de acordo com as expectativas de cada stakeholder. A aprovação contínua de um projeto/empresa pela comunidade local e por aqueles cujas opiniões podem impactar a lucratividade deste projeto é a essência do conceito da LSO (Moffat & Zhang, 2014).

O tratamento das interferências e impactos causados pela empresa no meio ambiente e nas comunidades onde ela opera é indicado como uma importante atividade de relacionamento e gestão de stakeholders e é inerente ao processo de gestão da responsabilidade social (Carapeto et al., 2019).

A identificação do posicionamento e do nível de licença social para operar é realizada a partir das informações coletadas e determinada segundo a régua apresentada na **Figura 4**.

Figura 4 – Níveis de licença social para operar



Fonte: elaborado pelos autores.

Além das análises qualitativas dos dados coletados (secundários e primários), para subsidiar a análise são utilizadas perguntas voltadas à posição e percepção dos stakeholders como parte do questionário semiestruturado:

- Você/sua organização sabe o que é um projeto de eólica offshore?
- Como você/sua organização percebe o setor de eólicas offshore no Brasil e qual a visão dela sobre o seu papel na sociedade?
- Quais são as principais preocupações você/sua organização tem em relação a instalação e operação de eólicas offshore na sua região, especialmente no que diz respeito aos impactos socioambientais?
- Você/sua organização conhece a empresa x e/ou outras empresas de eólicas offshore no Brasil?
- Se sim, consegue avaliar o relacionamento com as comunidades?
- Após a apresentação, você pode indicar em uma escala de 1 a 10 como você se sente sobre o novo projeto da Empresa X?
- Na sua opinião a presença da Empresa x ou Projeto Y traz benefícios para você, sua organização, sua comunidade ou região?
- Avalie, até que ponto você concorda com as afirmações:
 - 1 – Discordo totalmente; 2 – Discordo; 3 - Não concordo nem discordo; 4 – Concordo e 5 – Concordo totalmente.
 - A Empresa X é uma empresa que vejo de forma positiva;

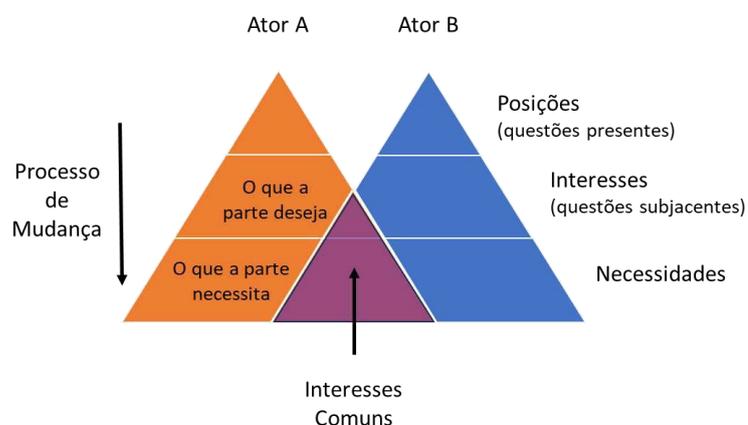
- Empresa X é uma empresa que eu confio; e
- Empresa X é uma empresa que, no geral, tem boa reputação.

Os Stakeholders mais reativos ou “salientes” identificados durante a análise dos stakeholders devem ser destacados e tratados de forma separada devido a potenciais riscos que estas partes interessadas podem trazer ao processo. Estratégias de comunicação exclusivas devem ser pensadas para o engajamento destes atores.

3.6. Análise de Conflitos

Ao avaliar as alternativas prioritárias para acordos e negociações em potenciais conflitos com stakeholders salientes, deve ser adotada uma abordagem estratégica de negociação e relacionamento colaborativo. Isso implica na necessidade de obter as licenças ambientais enquanto se estabelece relacionamentos produtivos com esses atores. Desta forma, deve ser conduzida uma análise PIN (Posições, Interesses, Necessidades) para orientar a estratégia de comunicação e negociação com os stakeholders reativos identificados. Cabe citar que esse modelo ajuda a decifrar as posições iniciais frequentemente superficiais que as pessoas adotam no começo de negociações, permitindo identificar seus verdadeiros interesses e necessidades para facilitar acordos latentes e fortalecer o relacionamento institucional (**Figura 5**).

Figura 5 – Identificação de Interesses Comuns – Análise PIN



Fonte: elaborado pelos autores.

Outra ferramenta que auxilia na construção de sentido no relacionamento com stakeholders significativos é o "Mapeamento de Necessidades e Medos" (*Needs-Fears Mapping*). Esta abordagem se concentra na análise das diferentes perspectivas das partes envolvidas, seja em um conflito ou em uma esfera de governança. O método delimita questões, interesses, necessidades e medos de cada ator, permitindo a visualização e comparação de semelhanças e diferenças. Isso facilita a preparação e condução de processos de mediação. Esta ferramenta pode ser aplicada de três maneiras:

1. Análise de um conflito por um determinado ator, projetando hipoteticamente os pontos de vista dos demais envolvidos;
2. Por um terceiro, visando esclarecer sua interpretação dos atores de forma hipotética; e

3. Durante a mediação, utilizando uma tabela resumida, focando, por exemplo, em questões e interesses.

3.7. Manutenção do Engajamento

Após toda primeira fase do engajamento relatada acima, feita a análise de conflitos e avaliado o nível de Licença Social da empresa, há uma indicação de monitoramento e ações permanentes. A depender das análises, onde serão definidas posições, interesses necessidades e necessidades em comum entre os stakeholders a empresa que busca o engajamento, deverão ser definidas ações para a os grupos que apresentarem maior necessidade de manutenção do engajamento, com vistas a Licença Social. O **Quadro 3**, a seguir mostra um exemplo de como são definidas as ações.

Quadro 3 – Exemplo de mapeamento de necessidades e medos

Partes	Questões	Interesses/ Necessidades	Medos	Meios	Opções
Empreendedor	Obtenção da Licença Ambiental de Operação e Melhoria da Licença Social para Operar.	Geração de Lucro e Renda e Garantir Sustentabilidade das Operações.	Indeferimento da Licença; Impactos na Imagem; e Protestos e Conflitos.	Lobby Político; e Garantir Melhores Práticas na Gestão Ambiental e Social do Empreendimento.	Engajar no processo de Diálogo com as Comunidades Afetadas; Geração de Empregos; PEA e PCAP; e Projetos de Responsabilidade Social.
Colônia/Associação de Pescadores	Acesso aos recursos pesqueiros e melhoria da qualidade de vida dos pescadores.	Garantia de direitos para os pescadores; Modos de vida e sobrevivência dos pescadores; Reeleição nas Colônias; e Legitimidade.	Impactos na pesca podem inviabilizar a sobrevivência das famílias de pescadores; e Aumento de custo dos insumos para pesca.	Lobby político; Ações Cívicas Públicas; Pesca nas áreas de exclusão; Protestos; e PCAP.	Engajar no processo de diálogo; Sugerir alternativas às áreas de exclusão; e Barganhar projetos de compensação e auxílio aos pescadores; e Participação nas Audiências Públicas.
Prefeituras e Secretaria Municipais	Crescimento Econômico sem inquietação social; e sem sobrecarga dos serviços municipais	Reeleição / Popularidade.	Inquietação Civil; e Falta de Desenvolvimento.	Meios Políticos, Legais e Financeiros.	Influenciar o processo de diálogo, fundos municipais (uso dos <i>royalties</i>).

Fonte: elaboração dos autores.

Quando identificados stakeholders mais reativos e/ou “salientes” poderá ser sugerido o trabalho de grupos focais, que atividades especiais a serem realizadas com partes interessadas que necessitam de esclarecimentos de informações e podem apresentar riscos ou maiores incertezas no processo de

engajamento, a fim de garantir a diminuição de contraposições ao projeto e fatores externos que possam impactar o projeto como um todo.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A abordagem de engajamento desenvolvida e implementada pela ERM procura estabelecer laços sólidos e duradouros com todos os envolvidos, reconhecendo que o engajamento é a peça-chave para construir confiança e promover uma colaboração profícua e perene, de longo prazo. Essa estratégia visa ampliar a compreensão entre a empresa e as partes interessadas, criando um canal de diálogo que minimiza tensões e prioriza confiança, responsabilidade socioambiental. Entende-se que em um novo contexto de empreendimento, como dos projetos eólicos offshore, esse trabalho deve ser iniciado o quanto antes, para maior entendimento sobre o processo, equalização de dúvidas e conhecimento das necessidades legítimas dos stakeholders.

O engajamento dos stakeholders permitirá entender a percepção dos grupos locais a respeito dos riscos e impactos pré-identificados, considerando uma atuação anterior aos estudos ambientais, e eventuais necessidades de adequação do(s) projeto(s) e/ou das medidas de gestão dos impactos, bem como validar a identificação das comunidades diretamente afetadas pelo projeto e a caracterização dos grupos e lideranças identificados nos estudos prévios, definindo atividades e estratégias de relacionamento. Essa ação prévia pode ajudar a construir confiança e a criar um senso de comunidade ao aumentar a compreensão mútua e ao abordar problemas de interesse e preocupação de todas as partes. Todo esse esforço prévio para se estabelecer um bom relacionamento com os stakeholders antes mesmo da implantação dos projetos busca, para além de apoiar as empresas na obtenção das licenças ambientais referentes aos processos de Licenciamento Ambiental, a licença social para operar.

Finalmente, quando se trata de mercado financeiro, é notório, que esses processos serão cada vez mais importantes na hora de fechar negócios na nova configuração de mercado que está se formando, sabendo dos altos valores de implementação de projetos de energia eólica offshore, esse será um passo muito importante na validação desses investimentos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

É recomendável que suas ações de engajamento propostas, sempre, através de um Plano de Engajamento com Partes Interessadas (PEPI) devam ser constantes e com o monitoramento dos stakeholders por meio de clipping de notícias e acontecimentos nas regiões da área de estudo (EFR – External Factor Review). Após a primeira etapa de entrevistas, podem ser realizados grupos focais nas comunidades ou instituições onde foram verificadas fragilidades no relacionamento e/ou questões especiais. Em casos de projetos que estejam em fase de Licenciamento Ambiental estes grupos focais podem ser realizados antes da divulgação da análise do IBAMA para o estudo ambiental, e reuniões técnicas de pré-mobilização para as audiências públicas são recomendáveis para fortalecer o engajamento e antecipar devidos esclarecimentos sobre o projeto, seus impactos e medidas de gestão e a forma de participação dos stakeholders no processo de consulta e acompanhamento.

A transição energética assume um papel fundamental na construção de um futuro mais sustentável, resiliente e próspero para todos. Através da colaboração entre governos, empresas, comunidades e a sociedade civil, podemos moldar um mundo alimentado por energia limpa, impulsionando o desenvolvimento socioeconômico e combatendo as mudanças climáticas.

O engajamento de stakeholders é a chave para uma transição energética justa, equitativa e bem-sucedida, promovendo a transparência, a responsabilidade e a sustentabilidade em diversas áreas, incluindo o setor privado, organizações internacionais, governos e sociedade civil. Ao utilizar as práticas e diretrizes fornecidas por organizações como as citadas neste trabalho que baseiam a metodologia da ERM, é possível alcançar um engajamento mais eficaz e significativo das partes interessadas com uma estrutura sólida para os projetos em desenvolvimento, garantindo a consideração dos impactos sociais, ambientais e econômicos ao longo do ciclo de vida do projeto, e incentivando a participação ativa das partes interessadas em todas as etapas.

REFERÊNCIAS

Moffat K, Zhang A (2014) The paths to social license to operate: an integrative model explaining community acceptance of mining. *Resource policy* 39:61–70.

Carapeto, M.; Vieira Neto, J. & Quelhas, A. D. (2019) Social License to Operate – The Perspective of Professionals from Brazilian Extractive Companies. *Brazilian Journal of Operations & Production Management* 16:448-461.

Fisher Simon. 2011. *Working with Conflict: Skills and Strategies for Action* 7th impr ed. London: Zed Books.

Mason, S. Rychard, S. (2005): *Conflict Analysis Tools - Tip Sheet*. Bern: Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC), Conflict Prevention and Transformation Division (COPRET).

Reed, M.S.; Graves, A.; Dandy, N.; Posthumus, H.; Hubacek, K.; Morris, J.; Prell, C.; Quinn, C.H.; Stringer, L.C. (2009) - Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management*, Volume 90, Issue 5.

International Finance Corporation, IFC. *Padrões de Desempenho sobre Sustentabilidade Socioambiental*. 2012. Disponível em: <<https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2010/2012-ifc-performance-standards-pt.pdf>>. Acesso em 28 jun. 2024.

International Association of Public Participation, IAP2. *Core Values, Ethics, Spectrum – The 3 Pillars of Public Participation*. Disponível em: < <https://www.iap2.org/page/pillars>>. Acesso em 30 jun. 2024.

International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, IPIECA. Disponível em < <https://www.ipieca.org/impact/action?theme=people>>. >. Acesso em 30 jun. 2024.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ibama. *Mapas de projetos em licenciamento - Complexos Eólicos Offshore*. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/mapas-de-projetos-em-licenciamento-complexos-eolicos-offshore>. Acesso em 18 jul. 2024.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ibama. *Termo de Referência Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA*. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/arquivos/publicacoes/2020-11-TR_CEM.pdf>. Acesso em 16 jul. 2024.