

Estudo Cadeia de Valor: Energia Eólica *Offshore*

Sumário Executivo

DEZEMBRO 2022

Coordenador técnico:

Maurício Tolmasquim

Equipe técnica responsável pelo sumário executivo:

Bruna Guimarães

Eliab Ricarte

Erika Nogueira

Rafael Morais



COPPE
UFRJ



ESSENZ
Soluções



ONSHORE OFFSHORE

ABEEólica

Coordenador técnico: Maurício Tolmasquim

Equipe técnica responsável pelas Notas Técnicas:

- I. Planejamento e Expansão da transmissão: Murilo de Miranda e Rafael Morais
- II. Oportunidades e planejamento da infraestrutura portuária e logística: Eliab Ricarte e Pedro Vardiero
- III. Benefícios socioambientais e econômicos da fonte: Bruna Silveira Guimarães e Erika Carvalho Nogueira
- IV. Geração de empregos e cenários: Erika Carvalho Nogueira e Murilo de Miranda
- V. Papel da fonte em relação à segurança e transição energética: Erika Carvalho Nogueira e Rafael Morais
- VI. Projeção de custos, LCOE e viabilidade tecnológica: Guilherme Dantas e Pedro Vardiero
- VII. Status das inovações tecnológicas do setor: Bruna Silveira Guimarães, Pedro Vardiero e Eliab Ricarte
- VIII. Panorama do status regulatório: Bruna Silveira Guimarães, Erika Carvalho Nogueira e Pedro Vardiero
- IX. Demanda por aço da indústria e demanda de materiais: Bruna Silveira Guimarães e Eliab Ricarte
- X. Financiamento e o papel dos bancos nacionais para a cadeia de valor: Guilherme Dantas e Pedro Vardiero
- XI. P&D e necessidade de capacitação de mão de obra: Murilo de Miranda e Rafael Morais

Entidades envolvidas: Programa de Planejamento Energético (PPE/COPPE/UFRJ), Essenz Soluções Técnico-Econômicas em Projetos e Estudos Regulatórios LTDA – ESSENZ

Sumário

Apresentação.....	7
Principais resultados	8
I. Planejamento e Expansão da transmissão	11
II. Oportunidades e planejamento da infraestrutura portuária e logística	13
III. Benefícios socioambientais e econômicos da fonte.....	17
IV. Geração de empregos e cenários	22
V. Papel da fonte em relação à segurança e transição energética	25
VI. Projeção de custos, LCOE e viabilidade tecnológica.....	28
VII. Status das inovações tecnológicas do setor	30
VIII. Panorama do status regulatório	35
IX. Demanda e oferta de componentes e materiais	41
X. Financiamento e o papel dos bancos nacionais para a cadeia de valor	46
XI. P&D e necessidade de capacitação de mão de obra	48
Referências.....	53

Lista de figuras

Figura 1: Concentrações da Energia Eólica Offshore no Brasil.....	14
Figura 2. Requisitos de recursos humanos para trabalhadores em energia solar fotovoltaica, energia eólica (onshore e offshore).	22
Figura 3. Capacidade de transferência de habilidades da indústria offshore de óleo e gás para a offshore renovável.	23
Figura 4. Índices de geração de emprego por MW instalado de diferentes tecnologias de geração de energia encontrados na literatura. O ponto azul é a mediana entre os valores encontrados.	24
Figura 5. Painel de complementaridade horária entre carga e o vento offshore em um dia típico. A linha cinza representa a carga e a azul o vento offshore (a) Carga do Brasil e vento offshore no Ceará (b) Carga do Brasil e vento offshore no Rio Grande do Norte (c) Carga do Nordeste e vento offshore no Ceará (d) Carga do Nordeste e vento offshore no Rio Grande do Norte. Fonte: Elaboração própria.	26
Figura 6. Complementariedade entre geração hídrica e geração eólica offshore simuladas no Brasil para um ano típico (2013). Fonte: (NOGUEIRA, 2020)	27
Figura 7. Evolução do LCOE da eólica offshore em dois cenários. Fonte: Elaboração própria.	29
Figura 8: Aspectos relacionados ao progresso da energia eólica offshore e suas interligações	31
Figura 9: Linha do tempo dos desdobramentos normativo, técnicos e regulatórios da eólica offshore no Brasil	36
Figura 10: Materiais necessários para uma usina eólica offshore de 500 MW	44
Figura 11: Nuvem de palavras com as indicações de temas dos respondentes.	49
Figura 12: Nuvem de palavras com as respostas de gargalos para o desenvolvimento do setor eólico offshore.	52

Lista de tabelas

Tabela 1: Principais desafios e possíveis soluções para o planejamento da expansão da transmissão.....	12
Tabela 2. Resumo dos benefícios ambientais da energia eólica offshore.....	19
Tabela 3. Resumo dos benefícios socioeconômicos da energia eólica offshore	20
Tabela 4. Detalhamento do potencial técnico de produção de hidrogênio a partir dos recursos eólicos offshore.....	26
Tabela 5: Principais inovações identificadas, por categoria.....	34
Tabela 6. Recursos para implantação de projetos no setor elétrico brasileiro (bilhões de reais).....	47
Tabela 7: Eixos temáticos sugeridos pela equipe técnica e sugeridos pelos especialistas	49

Abreviações

ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica	ILO – <i>International Labour Organization</i>
ACL – Ambiente de Contratação Livre	IRENA – <i>International Renewable Energy Agency</i>
ACR – Ambiente de Contratação Regulada	LFAC – <i>Low Frequency Alternating Current</i>
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica	LCOE – <i>Levelized Cost of Energy</i>
CAPEX – Capital Expenditure	LFAC – <i>Low Frequency Alternating Current</i>
CA – Corrente alternada	MME – Ministério de Minas e Energia
CC – Corrente Contínua	Mt – Megatonelada
CLI – Cenário de limite inferior	MtCO ₂ – Megatonelada de Dióxido de carbono
CLS – Cenário de limite superior	MW – Megawatts
CO ₂ – Dióxido de carbono	MWh – Megawatt-hora
CTEM – Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática	O&G – Óleo e gás
CTVs – <i>Cargo Transfer Vessel</i>	O&M – Operação e Manutenção
Dist – Distância	PDE – Plano Decenal de Expansão da Energia
E&P – Exploração e produção	PD&I – Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
EIA – Estudo de Impacto Ambiental	PEO – Parque Eólico Offshore
EO – Eólica Offshore	PET – Polietileno tereftalato
EPE – Empresa de Pesquisa Energética	PL – Projetos de Lei
exc. – Exceto	PROMINP – Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural
GW – Gigawatts	Rima – Relatório de impacto ambiental
GIS–SPOWER–BR Toolbox – <i>GIS-based method for Strategic Planning of the Offshore Wind Renewable Energy for Brazil</i>	RN – Rio Grande do Norte
H ₂ – Gás Hidrogênio	R\$ – Real
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis	SAR – <i>Synthetic Aperture Radar</i>
ICG – Instalações de Transmissão de Interesse exclusivo de Centrais de Geração para conexão compartilhada	SIN – Sistema Interligado Nacional
	STAR – <i>Sweep Twist Adaptive Rotor</i>
	TR – Termo de Referência
	WTIV – <i>Wind Turbine Installation Vessel</i>
	XLPE – <i>Cross-Linked Polyethylene</i>

Apresentação

O projeto intitulado “Estudo de cadeia de valor: energia eólica offshore”, patrocinado pela ABEEólica, teve por objetivo mapear o estágio atual do segmento de energia eólica *offshore* no Brasil. Buscou-se identificar oportunidades, desafios e perspectivas futuras. Trata-se de um estudo que apresenta os principais caminhos impulsionadores para o desenvolvimento da cadeia de valor da energia eólica offshore, levando em conta o planejamento e a expansão da tecnologia no contexto nacional. A equipe executora foi formada por especialistas em planejamento energético e fontes renováveis da Essenz Soluções e PPE/COPPE/UFRJ. A coordenação técnica foi de Maurício Tolmasquim, professor Titular do PPE/COPPE/UFRJ.

O trabalho foi desenvolvido a partir da elaboração de onze notas técnicas, abordando os seguintes tópicos: (I) Planejamento e Expansão da transmissão, (II) Oportunidades e planejamento da infraestrutura portuária e logística, (III) Benefícios socioambientais e econômicos da fonte, (IV) Geração de empregos e cenários, (V) Papel da fonte em relação à segurança e transição energética, (VI) Projeção de custos, LCOE e viabilidade tecnológica, (VII) Status das inovações tecnológicas do setor (VIII) Panorama do status regulatório, (IX) Demanda por aço da indústria e demanda de materiais, (X) Financiamento e o papel dos bancos nacionais para a cadeia de valor e (XI) P&D e necessidade de capacitação de mão de obra.

Este sumário executivo apresenta uma síntese dos documentos produzidos, contendo seus principais resultados, conclusões e recomendações. As notas técnicas completas aprofundam todos os temas aqui tratados. Além dessa apresentação, o sumário executivo contém uma seção de “Principais resultados”, em que se expõe o encadeamento lógico entre os temas das notas técnicas, além de se destacar os principais resultados de cada tópico. Em seguida, as próximas seções apresentam os resumos das notas técnicas. Cada resumo traz perguntas norteadoras, de modo a tornar a leitura mais fluida e direta.

Boa leitura!

Principais resultados

O estudo se inicia tratando dos principais desafios a serem endereçados a respeito do **planejamento da expansão de infraestrutura de transmissão** e conclui que os principais aspectos tangem (i) a localização dos projetos eólicos *offshore*, (ii) o desalinhamento entre cronogramas de geração e transmissão, (iii) propriedade e obrigações referentes à infraestrutura de transmissão marítima e (iv) os aspectos ambientais da infraestrutura de transmissão. Embora estes desafios careçam de soluções, verifica-se que a regulação brasileira já incorpora ferramentas suficientes para fornecer os incentivos adequados aos agentes de transmissão de modo a não se mostrar um entrave para o desenvolvimento de infraestrutura de transmissão.

Da mesma forma que a infraestrutura de transmissão se mostra importante para o escoamento da geração eólica *offshore*, a **infraestrutura portuária e logística** é fundamental para o desenvolvimento dessa indústria no Brasil. Os portos e a logística permitem a chegada das peças que compõem o parque eólico ao Brasil, assim como a sua fabricação e transporte otimizados. A análise da situação dos portos no país verificou que nenhum porto brasileiro, pela falta de histórico de plantas eólicas *offshore* no país, está completamente pronto para a operação plena e imediata na montagem de parques eólicos *offshore*, mas não há necessidade de construção de novos portos ou terminais. O conjunto da infraestrutura portuária brasileira, com sua devida capacitação adicional, é suficiente para atender a demanda de forma mais rápida e a um menor custo. Além disso, a cabotagem é o modal de transporte preferencial para a indústria eólica *offshore*, haja vista as demandas requeridas pelas dimensões e pesos das novas cargas.

Além das infraestruturas de transmissão e portuária, o desenvolvimento da cadeia de valor *offshore* depende da disponibilidade de **componentes e materiais**. Como em qualquer mercado emergente de energia eólica *offshore*, a cadeia de suprimentos do Brasil exigirá amplo desenvolvimento para capturar o máximo de benefício local da energia eólica *offshore*. No entanto, o Brasil está em uma excelente posição inicial em comparação a muitos mercados emergentes, dada a sua experiência com o setor de óleo e gás *offshore* e com o setor eólico *onshore* e sua pujante indústria da construção civil. Com relação aos materiais para a construção dos parques, o mais utilizado é o aço, mas também há dependência de cobre para cabeamento e eletricidade, de elementos de terras raras como o neodímio e o disprósio para turbinas eólicas de acionamento direto e híbrido, entre outros. No caso do Brasil, as limitações ficam por conta do processo de fabricação e beneficiamento destes materiais. Sendo assim, o maior desafio é adaptar as indústrias já existentes para as novas necessidades da energia eólica *offshore* de forma estratégica e planejada.

Uma vez endereçadas as questões referentes a infraestrutura de transmissão, portuária, logística e disponibilidade de materiais, a cadeia de valor da eólica *offshore* poderá entregar seus diversos benefícios **socioambientais e econômicos**. É uma alternativa energética renovável, de

baixa emissão de gases do efeito estufa, que pode contribuir para que o Brasil alcance as metas climáticas de carbono zero, demanda menos recursos e matéria-prima durante a sua operação em comparação com outras fontes de eletricidade e contribui para atividades paralelas, como o turismo e a aquacultura. Além disso, pode trazer benefícios econômicos, como a geração de empregos, renda, valor adicionado, ganhos de produção e bem-estar social para a população. É importante que as etapas de avaliação ambiental, planejamento e gestão sejam realizadas visando a potencialização dos benefícios gerados em detrimento dos impactos negativos.

Um benefício adicional da cadeia de valor da eólica *offshore* é a **geração de empregos**. Como um benefício transversal, transita em aspectos sociais e econômicos. Os cenários desenvolvidos mostraram que pode ser gerado em média de 11 até 34 empregos por MW instalado de eólica *offshore* em cada ano no Brasil. São empregos sustentáveis, diretos e indiretos, que exigem uma variedade de competências, em toda a cadeia de valor do setor. Além disso, a energia eólica *offshore* oferece uma resposta às rupturas no mercado de trabalho decorrentes da transição energética, como o deslocamento de empregos para trabalhadores de petróleo e gás *offshore* e de engenharia naval devido às sinergias ao longo de suas cadeias de valor.

O contexto atual, movido pela **transição e segurança energéticas**, tende a otimizar os benefícios socioambientais, econômicos e de empregos supracitados. Nesse sentido, a eólica *offshore* apresenta três papéis em termos de segurança e transição energética: (i) integração com a produção de hidrogênio (H₂) verde, (ii) redução de emissões de gases de efeito estufa e (iii) complementaridade com outras fontes de eletricidade. Adicionalmente, um aspecto que pode estimular estas contribuições da eólica *offshore* é a valoração de atributos socioambientais das fontes energéticas, adicionais à análise técnica-econômica tradicional.

Tais papéis se viabilizarão na medida em que os parques eólicos *offshore* sejam construídos. Para que ocorra a entrada de plantas eólicas *offshore*, seus custos devem ser competitivos. Atualmente, o LCOE desta tecnologia é 333 R\$/MWh. Os cenários construídos indicam a possibilidade de que a eólica *offshore* passe a ser competitiva com as usinas marginais ao longo da década de 2030, a depender do nível de desenvolvimento da cadeia de valor da eólica *offshore*. Estes cenários resultam em uma faixa de LCOE entre 189 R\$/MWh e 105 R\$/MWh em 2050.

A competitividade da eólica *offshore* pode ser fomentada se houver um arcabouço de **financiamento** bem desenvolvido. O estudo mostrou que, historicamente, os aportes de capital dos bancos nacionais de fomento foram vitais para a viabilização de projetos de infraestrutura de eletricidade. Embora o provimento de *funding* de longo prazo para o financiamento de projetos de geração de energia elétrica venha se diversificando, o papel dos bancos públicos continua sendo extremamente relevante, com destaque para os recursos do BNDES no financiamento de projetos de usinas renováveis.

Além do financiamento, o arcabouço regulatório estável se mostra um importante pré-requisito para o desenvolvimento da eólica *offshore* no país. O panorama do **status regulatório** atual mostrou que apesar da aprovação de um projeto de lei ser o mecanismo mais seguro para estabelecer um marco regulatório para o setor, o caminho escolhido por meio da publicação de um decreto (Decreto nº 10.946/2022) e suas portarias complementares, são aceitáveis para a efetivação dos investimentos nesta nova atividade no país. A base regulatória fornecida já foi suficiente para trazer a confiança e a sinalização adequada aos agentes com o intuito de promover o início do desenvolvimento da fonte eólica *offshore* e de sua cadeia de valor no Brasil.

As dimensões econômica, regulatória, de infraestrutura, logística e de materiais, citadas até aqui, servem como impulsionador do aproveitamento técnico do recurso eólico *offshore*. Um levantamento do **status das inovações tecnológicas** do setor mostrou que mercado eólico *offshore* é um dos que mais cresce e evolui no mundo. A constante busca por inovações e sua aplicação vem trazendo inúmeros avanços, como a redução de custos, melhorias técnicas no *design*, tamanho e potência das turbinas, aumento da eficiência energética dos parques, aumento de eficiência na cadeia de suprimentos, criação de novos mercados, entre outros. Apesar dos avanços, o setor precisa continuar inovando com o intuito de aproveitar cada vez mais o potencial eólico em águas mais profundas, aprimorar seus processos, e reduzir os custos.

Em geral, as inovações tecnológicas, extremamente relevantes para o desenvolvimento da tecnologia eólica *offshore* no Brasil, advém de projetos de **P&D**. Por isso, o estudo aplicou um questionário para compreender percepções de especialistas do setor a respeito de temas de P&D, necessidades de capacitação de mão de obra e gargalos para o desenvolvimento da cadeia de valor da eólica *offshore* no Brasil. Os especialistas sugeriram temas envolvendo o mapeamento do recurso eólico *offshore*. Além disso, destacaram tópicos que abordam questões de competitividade da fonte, impactos ambientais, transmissão, impactos no SIN, regulação, incentivos, planejamento e mudanças climáticas. Entre os principais gargalos citados, destacam-se planejamento, regulação e custos.

I. Planejamento e Expansão da transmissão

Quais são os principais desafios a serem superados para se garantir disponibilidade de infraestrutura de transmissão para as usinas eólicas offshore?

A tecnologia eólica *offshore* vem se desenvolvendo nos últimos anos como uma alternativa de geração de eletricidade por fontes renováveis. Dadas suas características de produção, o interesse na implementação desta tecnologia tem sido destacado em estudos prospectivos do setor energético (EPE, 2020a, MME e EPE, 2022), que evidenciam a tendência de forte expansão desta forma de geração de energia elétrica. No entanto, por se tratar de uma nova tecnologia, existem ainda incertezas e desafios para sua expansão.

Neste contexto, o objetivo da nota técnica sobre planejamento da infraestrutura foi abordar aspectos desafiadores para o planejamento da expansão da transmissão no setor elétrico brasileiro no que tange à expansão em larga escala da tecnologia eólica *offshore*. A metodologia se baseou em uma completa revisão bibliográfica e em entrevistas com especialistas em energia eólica *offshore* e planejamento energético.

Os principais desafios identificados (Tabela 1) se referem (i) a localização dos projetos eólicos *offshore*, (ii) o desalinhamento entre cronogramas de geração e transmissão, (iii) propriedade e obrigações referentes à infraestrutura de transmissão marítima e (iv) os aspectos ambientais da infraestrutura de transmissão.

No que diz respeito à localização dos projetos, a indefinição dos pontos de acesso à rede dificulta a previsão da capacidade do sistema de transmissão em absorver esta injeção de energia. O planejamento do setor vem aprofundando as análises para garantir a adequação das proposições de ampliação, reforços e melhorias das instalações de transmissão. Sabe-se que está previsto um aumento significativo da margem de escoamento de energia para as áreas Norte e Nordeste e que tende a melhorar a condição para o escoamento da energia na região com maior potencial de empreendimentos eólicos *offshore*. Contudo, ainda é complexo afirmar qual a real a capacidade de absorção da SIN para a geração eólica *offshore*.

Sobre o desalinhamento de cronogramas, o planejamento já vem atuando para resolver este desafio. Os estudos mais recentes, como o do Plano Decenal de Expansão de Energia e respectivas notas técnicas passaram a considerar um espectro maior de informações. Anteriormente, eram abordados os montantes de energia contratados no ACR e a expansão indicativa dos modelos de expansão da geração oficiais do planejamento. A partir do PDE 2031, passaram a ser consideradas informações como a potência dos empreendimentos do ACL em fase avançada de acesso à rede e a localização específica dos resultados da expansão indicativa definida no PDE 2031.

Tabela 1: Principais desafios e possíveis soluções para o planejamento da expansão da transmissão

Desafio	Descrição	Diretrizes
Localização dos projetos	Falta de infraestrutura de transmissão e capacidade de escoamento nos pontos de elevado potencial eólico <i>offshore</i> .	Aprimoramento dos estudos sobre o impacto na rede para garantir o adequado investimento em ampliação, reforços e melhorias das instalações de transmissão
Desalinhamento de cronogramas	Infraestrutura de transmissão deve estar pronta para o funcionamento no instante do início de operação dos parques eólicos <i>offshore</i> .	Adequado dimensionamento e recomendação do plano de obras da transmissão, resultante dos estudos de planejamento.
Infraestrutura de transmissão marítima	Discussão sobre o direito de propriedade e obrigação de instalação dos equipamentos de transmissão submarinos.	Melhoria do arcabouço regulatório, de modo a garantir os incentivos à instalação de projetos eólicos <i>offshore</i> .
Aspectos ambientais	Levantamento dos diversos impactos ambientais da construção e operação de linhas de transmissão <i>offshore</i> .	Licenciamento ambiental integrado das linhas <i>onshore</i> e <i>offshore</i> .

Fonte: Elaboração própria com base em (EPE, 2018, 2020b; IBAMA, 2020)

Considerando a infraestrutura de transmissão marítima, a propriedade da infraestrutura de transmissão que conecta a energia à Rede Básica passaria a incorporar mais adequadamente a tecnologia eólica *offshore* a partir de certos aprimoramentos regulatórios. Por exemplo, a possibilidade da ICG é interessante para os empreendedores obterem uma redução nos custos de investimento dos cabos que conectam os parques eólicos *offshore* à Rede Básica. No entanto, o desenho regulatório da ICG poderia ser revisto e reavaliado de modo a considerar todos os agentes envolvidos, suas obrigações, direitos e penalidades pelo eventual descumprimento das diretrizes estabelecidas. Além disso, as experiências internacionais destacam dois pontos adicionais relevantes: (i) a necessidade de coordenação entre os empreendedores responsáveis pelas usinas eólicas e os operadores dos sistemas de transmissão e (ii) o alinhamento de incentivos regulatórios de modo que os agentes atuem no auge das suas capacidades em torno de todas as fases dos projetos.

No que concerne os desafios ambientais, uma possível solução destacada por EPE (2020) seria a elaboração do licenciamento ambiental que permita a definição de processos capazes de reduzir os impactos socioambientais da instalação da infraestrutura de transmissão. Adicionalmente, se faz necessária uma visão integrada dos equipamentos de transmissão *onshore*

e *offshore*, de modo a se mitigar os impactos ambientais gerados por todo o percurso da eletricidade gerada pelas usinas eólicas *offshore*.

A revisão bibliográfica e as entrevistas mostraram que o Brasil detém instrumentos de planejamento suficientes para endereçar os principais desafios identificados. Os especialistas destacam que o modelo setorial é robusto o suficiente para lidar com eles. Para isso, o modelo deverá estar atento aos avanços tecnológicos e às políticas energéticas que vão surgindo, não apenas em relação à eólica *offshore*, mas também para outras tecnologias (por exemplo, hidrogênio, baterias, usinas hidrelétricas reversíveis, entre outras). Afinal, o objetivo do planejamento da transmissão é buscar sempre prover adaptabilidade e flexibilidade à rede com uma visão holística do sistema, independente das tecnologias que o componham.

No caso específico da eólica *offshore*, apesar da preocupação com a magnitude dos montantes de energia a serem conectados, os desafios técnicos foram minimizados pelos especialistas por conta da compatibilidade dos prazos entre o tempo de implementação destes projetos e o tempo de construção de uma nova infraestrutura de transmissão para atendê-lo (o que não ocorre com os empreendimentos *onshore*, por serem implementados mais rapidamente). Por outro lado, existem gargalos em termos de aspectos regulatórios e, principalmente, ambientais, que parecem ainda distantes de serem equacionados. Nesse sentido, é necessário que a política energética do país tenha um posicionamento claro quanto às eólicas *offshore* para promover a ampliação das investigações sobre estes temas com vistas a auxiliar a tomada de decisão quanto às melhores práticas. Da mesma forma, a política energética deve levar em conta, ainda, que os custos com transmissão precisam ser encarados como investimentos que trarão maiores benefícios, uma vez que possibilitarão um melhor arranjo para o mercado e a entrada de diversos empreendimentos, agregando benefícios sistêmicos.

II. Oportunidades e planejamento da infraestrutura portuária e logística

A estrutura portuária é suficiente para o desenvolvimento da eólica offshore Brasil?

Devido ao caráter remoto dos sítios de energia eólica *offshore*, a tendência é que sejam empregados os aerogeradores de última geração de forma a acrescentar tempo à vida útil do parque. Este aspecto exige uma plataforma de atendimento também sempre no limite da tecnologia. Portanto, é correto afirmar que nenhum porto brasileiro, pela falta de histórico de plantas eólicas *offshore*, está completamente pronto para a operação plena imediata. O ineditismo de instalação de equipamentos para energia eólica *offshore* no Brasil aponta que todos os portos serão passíveis de adaptações, em menor ou maior escala. A ausência de um determinado recurso

não deve ser entendida como atraso tecnológico dos portos brasileiros. Este estudo não intenciona reprovar ou apontar o porto ótimo, mas ajudar na tomada de decisão.

Neste contexto, o objetivo da nota técnica sobre oportunidades e planejamento da infraestrutura portuária e logística foi avaliar as principais questões relacionadas a portos de instalação para a indústria de energia eólica *offshore*, se detendo nas características que poderiam tornar um porto viável ou inviável para esse intuito.

O estudo usou como metodologia a eleição de um porto de instalação de referência para movimentação dos ativos característicos de uma planta de energia eólica *offshore* e atendimento às embarcações envolvidas nas fases de implantação e operação dos parques. Foram utilizados dois padrões para as ofertas de cada porto consideradas como “Recomendada” ou “Aceitável” para fazer a inclusão ou exclusão do porto brasileiro em função de sua aptidão para a nova demanda. Além disso, foi realizada uma avaliação da localização dos portos, ante às plantas intencionadas, para aumentar a oferta da plataforma logística para atendimento a embarcações de menor porte que requerem agilidade na prestação dos seus serviços, desafogando os portos de instalação. As plantas eólicas *offshore* foram segregadas em *clusters*, segundo as regiões (Figura 1), para uma avaliação mais adequada quanto aos aspectos locacionais e a metodologia utilizada identificou em que aspecto os portos brasileiros precisam ser melhorados e se podem ser melhorados.



Figura 1: Concentrações da Energia Eólica Offshore no Brasil

Fonte: Elaboração Própria com dados do IBAMA sobre a base geográfica do Google Earth (IBAMA, 2022)

Este estudo não recomenda a construção de novos portos por mais especializados que se anunciem. A costa brasileira de dimensão continental pode se dizer privilegiada na distribuição de instalações e terminais portuários segundo suas atuais especializações. Há no mínimo um porto por estado e outro bom número de complexos industriais e portuários pujantes distribuídos pelas regiões políticas do país. Não por acaso, tais complexos coincidem com as concentrações dos

parques eólicos *offshore* brasileiros. O conjunto da infraestrutura portuária brasileira, com sua devida capacitação adicional, é suficiente para atender a demanda portuária de forma mais rápida e a um menor custo.

Adaptações em maior ou menor volume se farão necessárias nos portos existentes, porém, sem alocação de altos recursos em um único ponto, haja vista o destino das cargas não serem também em um único ponto da costa.

O estudo evidenciou a existência de uma plataforma portuária e logística que deve ser utilizada de forma complementar aos portos existentes em detrimento da construção de novos portos para esta finalidade apenas. O conjunto da oferta portuária brasileira é suficiente para atender a demanda de instalação de parques eólicos *offshore*, ainda mais com portos praticamente se sobrepondo do ponto de vista geográfico por efeito de conturbação e tendo em vista o momento de pico das implantações e o número de turbinas envolvidas. Independente de qual porto brasileiro saia a carga e mão de obra, o importante é que os volumes e equipes se encontrem no sítio de instalação no momento requerido de forma harmônica. Por certo que isto demandará um esforço gerencial de logística e fiscal para atendimento da necessidade, contudo, esse ainda terá um custo infinitamente mais baixo para a sociedade do que o investimento em novos portos.

Além disso, o estudo apontou o porto mais adequado para cada região brasileira, com base nas intenções de implantações manifestadas, no sentido de subsidiar a capacitação da infraestrutura, e em termos de obtenção de resultados em menor tempo.

As características portuárias mais demandadas se referem ao aumento da capacidade de carga dos cais de atracação, aumento da oferta de área de armazenagem contígua ao cais, bem como a capacitação da resistência do solo por tratamento geotécnico.

Relativo à infraestrutura portuária, algumas demandas podem ser supridas com maior agilidade como as áreas de armazenamento, no que se refere ao espaço, desde que haja área para expansão ou reaproveitamento. Contudo, tais áreas disponíveis precisarão ter a sua capacidade geotécnica avaliada e mitigada. Por certo que esta demanda seria das mais leves impostas ao porto de instalação e poderiam ser supridas sem interferência nas atividades pré-existentes.

Questões mais graves, como o atingimento da batimetria do canal de acesso ou dos berços de atracação demandam dragagem para modificação de sua capacidade. Um processo demorado, caro, de grande controle ambiental e altamente perturbador das atividades correntes que pode levar a inviabilidade de um porto para os fins aqui desejados. Igualmente, o aumento das dimensões dos cais, em especial para os portos ora altamente demandados que, além da exigente obra de engenharia, ainda teriam as suas operações perturbadas durante a fase de construção adicional.

A estrutura logística de transporte intermodal atual é suficiente para o desenvolvimento da eólica offshore Brasil? Qual é o modal de transporte preferencial?

Os *players* que pretendem participar da cadeia de valor da energia eólica *offshore* de forma mais otimizada, devem buscar maior proximidade dos portos como principal fator para a sua localização industrial, pois essa é a natureza da indústria de energia eólica *offshore*. É importante levar em consideração a avaliação da região de maior concentração do número de aerogeradores como sendo aquela de menor custo logístico em função da distância das plantas. Esse critério há de fazer grande diferença na economicidade financeira dos projetos bem como nos prazos de instalação dos parques. Neste sentido, note-se que quase a metade dos mais de 12.000 aerogeradores terão domicílio na costa norte do litoral do nordeste brasileiro (46%), mais de um terço no extremo sul do Brasil (35%) e menos de um quinto na costa leste do sudeste brasileiro (19%), sem consideração das superposições.

Essa concentração (densidade de carga) é um fator técnico importante utilizado como método de ponderação de fatores como critério de localização industrial. É importante se levar em consideração a origem da carga, se dos domínios do complexo industrial e portuário ou de uma fábrica distante. Para as embarcações de apoio, aquelas que realizam o transporte de equipes de montagem e operação, é recomendada uma dispersão controlada dos seus pontos de partida de forma a proporcionar um menor trajeto. Isso trará uma otimização logística com consequências superpositivas, como a agilidade no atendimento, um menor tempo de pessoal embarcado e maior tempo dedicado ao serviço, maior conectividade com outros modais de transporte, principalmente aéreo, e tudo isso se refletindo em custo e prazo da implantação, operação e manutenção.

O Modal ferroviário no Brasil desapareceu, restando somente trechos para carga especializadas ou trechos muito curtos, limitando o alcance da malha ferroviária. Trechos da malha foram transformados em estradas ou invadidos por outras atividades, provocando uma descontinuidade significativa na integração entre os centros de carga. A maior probabilidade de uso do modal ferroviário pode vir a ser para a transferência de carga para uma área de armazenagem na hinterlândia, a região fora dos muros do porto, mas que existe em função dele. Com uma maior capacidade de transporte de carga, tanto em termos de volume com de peso, a ferrovia passa a ser atrativa para o a escala de dimensões crescente dos aerogeradores.

Longe de ousar avaliar a malha rodoviária brasileira, vale lembrar que o país tem uma importante indústria de energia eólica *onshore* e esta tem encontrado os seus caminhos rodoviários. Ativos já são transportados por estradas dentro da cadeia de suprimento da energia eólica continuarão fazendo uso dessas vias inclusive para o mercado *offshore*. Do ponto de vista construtivo e operacional, rodovias são incompatíveis com o tamanho da nova carga em análise e é inconcebível que se venha a construir longos trechos de rodovias para capacitar o transporte de produtos de dimensões crescentes como uma nacela e demais cargas características da eólica

offshore. Cargas com este perfil devem utilizar a cabotagem para o transporte interno que têm maior capacidade de carga por nave do que qualquer outro modal.

O destino final dos ativos no ambiente *offshore*, tendo o porto como centro de pré-montagem aponta a cabotagem como modal de transporte preferencial, haja vista as demandas requeridas pelas dimensões e pesos das novas cargas. Esta modalidade de transporte apresenta o menor consumo de combustível por tonelada-quilômetro transportado tendo como impacto uma menor emissão de poluentes em benefício ambiental.

Os estaleiros atuais no Brasil são capazes de atender a demanda da futura indústria eólica offshore no Brasil?

O Brasil é um dos maiores players de estruturas *offshore* no mundo no mercado de Óleo & Gás, com muitos serviços similares aos da energia eólica *offshore*. Há uma numerosa frota de embarcações cuja sinergia merece ser estudada e aproveitada, principalmente, no que tange as embarcações de apoio para o transporte de equipes e operação. Até mesmo o padrão de custos pode-se dizer conhecidos pois não de ser muito próximos ao praticado pelo setor de O&G. Os estaleiros no Brasil também são capazes de modernizar as embarcações existentes, por exemplo, atualizar as embarcações de abastecimento para adicionar sistemas *walk-to-work* ou novos CTVs (*Cargo Transfer Vessel*) especializados em energia eólica *offshore*.

O problema da oferta naval reside principalmente nas embarcações especializadas na montagem vertical dos aerogeradores no sítio de implantação, tipo *jack-up*. Essas embarcações atendem hoje ao mercado internacional na exata medida da demanda existente, sem nenhuma capacidade ociosa, obedecendo um agendamento planejado e acordado. Os 176,5 GW de oferta eólica *offshore* prometidos para o Brasil terão que suprir sua própria demanda futura por embarcações compatíveis com a demanda futura e terá que ofertar a frota compatível com a magnitude dos empreendimentos. Principalmente porque há turbinas de 20 MW dentre as intenções de instalação no Brasil, demandando um perfil diferente daquela oferta existente hoje no globo.

III. Benefícios socioambientais e econômicos da fonte

Qual é o retorno em termos de benefícios socioambientais e desenvolvimento econômico ao Brasil a partir dos investimentos na cadeia eólica offshore?

A energia eólica *offshore* tem se mostrado uma opção cada vez mais viável para geração de energia renovável ao redor do mundo e está relacionada a diversos benefícios socioambientais e econômicos. Dentre eles, destaca-se o fato de ser uma alternativa energética renovável, de baixa

emissão de gases do efeito estufa, que pode contribuir para que o Brasil alcance as metas climáticas de carbono zero (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2022). Esta fonte também demanda menos recursos e matéria-prima durante a sua operação em comparação com outras fontes de eletricidade (AECOM, 2017). Pode contribuir para atividades paralelas à atividade eólica *offshore*, como o turismo e a aquacultura (LAL et al., 2021; WEVER; KRAUSE; BUCK, 2015). Além de trazer benefícios econômicos, como a geração de empregos durante a instalação, operação e manutenção destes empreendimentos, somados ao efeito de aumento de consumo em decorrência de todas essas atividades (GWEC, 2021). Por fim, em decorrência dos benefícios já mencionados e dependendo das orientações individuais de valor pessoal, a energia eólica *offshore* também pode gerar bem-estar pessoal para a população (LANGE et al., 2010).

Neste contexto, o objetivo da nota técnica sobre benefícios socioambientais e econômicos da fonte foi avaliar os impactos positivos socioeconômicos e ambientais da geração de energia eólica *offshore* no país, com base nas experiências internacionais de empreendimentos eólicos *offshore* e nas experiências nacionais com outras fontes de energia elétrica.

A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam a lista dos principais benefícios que podem resultar da implementação de um projeto de geração de energia eólica *offshore*, separando-os em benefícios ambientais e socioeconômicos respectivamente. Esses benefícios incluem benefícios diretos e indiretos, que podem advir da prevenção da expansão de outras fontes (por exemplo, termelétricas a recursos fósseis), ou mesmo da implantação dos projetos de energia eólica *offshore*. Ressalta-se que esta lista não é uma compilação exaustiva de todos os efeitos esperados, mas uma amostra dos efeitos potenciais.

Tabela 2. Resumo dos benefícios ambientais da energia eólica offshore

Tópico	Benefício Ambientais Potenciais
Água	Uso de água Não há uso de água na operação (por exemplo: controle de poeira, resfriamento de caldeiras, limpeza de painéis). A aquicultura em PEOs ¹ contribui para a redução da demanda de água para aquicultura de água doce.
	Descargas de águas residuais Não há descarga de efluente térmico ou água concentrada.
	Áreas alagadas Não há impactos nos ecossistemas de áreas alagadas por meio da construção de gasodutos ou outras infraestruturas.
Recursos	Recursos biológicos Fragmentação mínima de habitat na construção (por exemplo, como ocorre quando há construção de estradas de acesso e corredores de gasodutos). Substrato rígido da <i>offshore</i> em áreas de substrato macio uniforme. Não há modificação do curso dos rios (como ocorre em hidrelétricas). Aumento da biodiversidade pelo efeito de recifes artificiais.
	Recursos culturais Identificação prévia de patrimônio cultural, histórico e arqueológico submerso.
	Recreação e turismo Turistas viajando para ver os PEOs ¹ (pontos turísticos). Incentivo à visitação de museus. Promoção de educação ambiental e tecnológica. Conscientização sobre mudanças climáticas. Atração pela beleza cênica.
	Pesca Aumento da pesca recreativa e comercial devido à maior concentração de peixes. Benefício para a pesca que usa equipamento que seria usado na operação da fazenda eólica. Aquicultura em PEOs ¹ contribui para a segurança alimentar.

¹ PEOs: Parques eólicos *offshore*

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3. Resumo dos benefícios socioeconômicos da energia eólica offshore

Tópico		Benefício Socioeconômicos Potenciais
Segurança	Segurança	As estruturas das turbinas eólicas podem auxiliar a navegação em situações de baixa visibilidade. Aumento da segurança energética.
	Solo	Não há remoção de sedimentos de sistemas de fluxo Não faz uso de solo terrestre nem alagamento de áreas para produção de energia.
Geologia	Uso da Terra	Necessidade reduzida de condenar propriedade privada (exceto para transmissão de energia).
	Resíduos sólidos	Não gera cinzas (como plantas à carvão). Não tem resíduo de combustível (como na nuclear)
Saúde Pública	Qualidade do ar e Mudanças Climáticas	Redução ou eliminação das emissões de GEE e emissões de poluentes. Sem efeitos prejudiciais à saúde pública. Sem compostos orgânicos voláteis/óxidos nitrosos Sem emissões de partículas (nenhum material particulado)
	Poluição sonora	Isolamento do barulho da construção e operação, pois se encontra longe de residências e centros populacionais.
Social	População Local e Trabalhadores	População diretamente afetada durante a construção e obra é reduzida em relação a outras fontes. Projetos sociais podem compensar e beneficiar a população local, principalmente com educação e infraestrutura. Aumento do bem-estar social (recreação, alimentos, saúde, infraestrutura etc.).
	Geração de empregos	Criação de empregos diretos e indiretos, considerando toda a cadeia de produção. Criação de empregos na fabricação e instalação dos PEOs (empregos temporários) Criação de empregos de longo prazo para monitoramento remoto, inspeções e serviços de reparo (permanentes). Criação de mais expertise local e recursos, como embarcações especializadas para a indústria de energia eólica <i>offshore</i> . Incremento da atividade de comércio & serviços locais. Incremento das atividades relacionadas ao turismo (hotelaria, alimentação, recreação).
Economia	Geração de Renda	Expansão da capacidade de fabricação e da atividade econômica das cadeias de suprimentos domésticas. Aumento da renda por conta do aumento de empregos. Geração de renda pelo incremento da atividade turística.

Fonte: Elaboração própria

Os benefícios ambientais podem estar associados ao uso de água, descargas de águas residuais, áreas alagadas, recursos biológicos, recursos culturais, recreação, turismo, pesca, segurança, solo, uso da terra, resíduos sólidos, qualidade do ar, mudanças climáticas, poluição sonora e população local. A instalação de um parque eólico *offshore*, em detrimento de outra fonte energética, já fornece benefícios em termos de impactos evitados, como é o caso de resíduos

sólidos, efluentes líquidos e emissões de gases de efeito estufa, que não ocorrem durante a operação dos parques eólicos *offshore*, mas são observados em termelétricas fósseis, por exemplo.

Os cenários elaborados no projeto com diferentes penetrações da eólica *offshore* no Brasil até 2050 resultaram em um intervalo de capacidade instalada entre 15,5 GW e 28,5 GW. Dessa forma, a eólica *offshore* tem potencial de evitar de 37 a 112 MtCO₂ em todo período analisado, quando comparado com as emissões do SIN. Já em comparação com as emissões das termelétricas a gás de ciclo combinado, as emissões evitadas são ainda maiores no período, ficando entre 160 e 480 MtCO₂.

Além disso, há criação de recifes artificiais, aumentando a biodiversidade no local, criando condições ambientais favoráveis para desenvolvimento e reprodução de diversas espécies. Ressalta-se que, para o Brasil, é importante que sejam realizados estudos considerando as especificidades da biota e da fauna local. Nesta mesma linha, a aquicultura pode aumentar a biodiversidade local e beneficiar as empresas de ambos os lados. As empresas de aquicultura podem usar as estruturas das turbinas para fixar seus equipamentos e a energia necessária para operar a fazenda de aquicultura poderia ser comprada diretamente do parque eólico. Ressalta-se a necessidade de avaliação e adaptação de algumas regras para a viabilização destas atividades em concordância, por exemplo, com as normas da Marinha Brasileira.

Outra atividade positivamente impactada é o turismo, que pode trazer benefícios econômicos, educacionais e sociais, na medida em que impacta na geração de emprego, renda, valor adicionado, ganhos de produção, além de promover encontros e atividades educacionais de cunho ambiental e tecnológico.

Com relação aos benefícios econômicos, destaca-se a geração de empregos, pois quando desenvolvida plenamente (de acordo com os cenários), a energia eólica *offshore* tem potencial para gerar entre 72 e 163 mil empregos em 2050. Além disso, o setor de energia renovável é caracterizado por um maior equilíbrio de gênero, em relação ao setor de energia como um todo. O Brasil tem a oportunidade de contribuir para aumentar a representatividade feminina nesse segmento em crescimento, pois a diversidade aumenta o desempenho e competitividade, contribuindo para transição energética.

Por fim, todas as atividades mencionadas estão direta e indiretamente ligadas ao bem-estar social, tendo em vista que os parques eólicos *offshore* oferecem diversos serviços ecossistêmicos de diferentes intensidades para a população local e para os visitantes.

Ressalta-se que a energia eólica *offshore*, assim como as demais tecnologias de geração elétrica, também pode causar interferências socioambientais negativas, as quais precisam ser analisadas antecipadamente. Sendo assim, é importante que as etapas de avaliação ambiental, planejamento e gestão sejam realizadas visando a potencialização dos benefícios gerados em detrimento dos impactos negativos.

IV. Geração de empregos e cenários

Qual é o retorno em termos de empregos ao Brasil a partir dos investimentos na cadeia eólica offshore?

Além de fornecer eletricidade carbono zero na operação, a energia eólica tem a capacidade de trazer benefícios socioeconômicos para as comunidades locais. Projetos eólicos *offshore* de grande escala geram uma variedade de empregos sustentáveis que exigem uma variedade de competências, em toda a cadeia de valor do setor (GWEC, 2020). Em 2021, a energia eólica gerou 1,4 milhão de empregos, com predominância de projetos *onshore*, mas o segmento *offshore* está ganhando força e pode se basear em conhecimentos e infraestrutura no setor *offshore* de petróleo e gás (IRENA, ILO, 2022).

Ganhos socioeconômicos em termos de renda local e geração empregos podem ser maximizados aproveitando a economia existente na construção nos mercados domésticos da cadeia de abastecimento para a indústria eólica *offshore*. Educação e treinamento são cruciais para construir cadeias de suprimentos locais (IRENA, 2018). Criar uma força de trabalho qualificada é essencial. Para isso, é necessário equilibrar a demanda e a oferta de habilidades, o que requer uma coordenação estreita entre a indústria, governo e instituições educacionais e de treinamento para atrair um público mais amplo e mais diversificado de candidatos para a futura força de trabalho (Figura 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

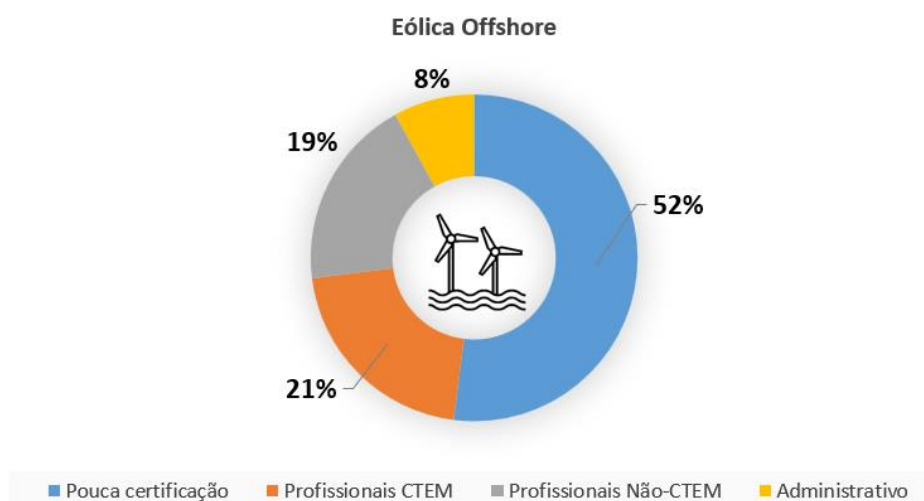


Figura 2. Requisitos de recursos humanos para trabalhadores em energia solar fotovoltaica, energia eólica (*onshore* e *offshore*).

Fonte: (IRENA, ILO, 2021).

Neste contexto, o objetivo deste relatório foi analisar o potencial impacto da energia eólica *offshore* no Brasil, em termos de criação de emprego (direto e indireto). Para isso, foi adotada uma metodologia baseada na análise da cadeia de valor ao longo do ciclo de vida das

atividades temporais e permanentes. Dessa forma, o estudo faz um balanço dos efeitos multiplicadores dos investimentos realizados pelas empresas do setor eólico *offshore*, por meio da metodologia de matriz insumo-produto, que mostra como um investimento se desdobra chegando a outras indústrias e impactando outros serviços, gerando empregos diretos e indiretos.

Constatou-se que a energia eólica *offshore* oferece uma resposta às rupturas no mercado de trabalho decorrentes da transição energética, como o deslocamento de empregos para trabalhadores de petróleo e gás *offshore* e de engenharia naval (Figura 3). Há oportunidade de emprego de mão de obra qualificada pela indústria de óleo e gás no setor de renováveis à medida que a indústria de eólica *offshore* se desenvolve, pois existem sinergias ao longo de suas cadeias de valor. São semelhantes o *design* de fundação e fabricação, construção e instalação *offshore*, operação das embarcações e O&M submarino entre a eólica *offshore* e indústria de petróleo e indústria de gás. Além disso, a implantação de usinas de geração de energia eólica *offshore* pode ser um vetor de criação de empregos a nível nacional, regional e local.

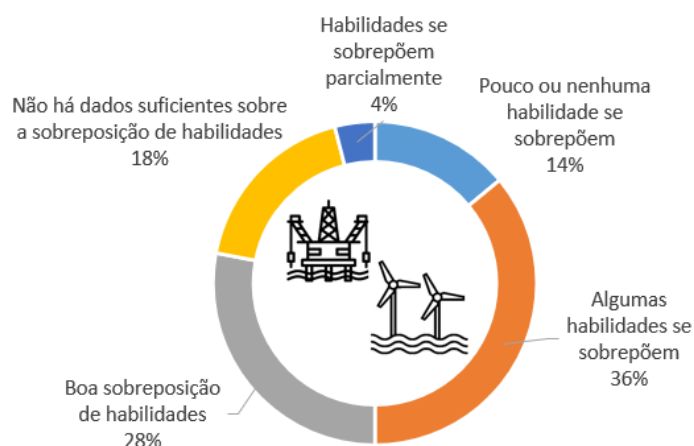


Figura 3. Capacidade de transferência de habilidades da indústria offshore de óleo e gás para a offshore renovável.

Fonte: (EY, 2015, MUTTITT, MARKOVA, et al., 2019).

A tendência da geração de emprego no setor energético é moldada por vários fatores, o destaque é a taxa na qual os equipamentos de energia renovável são fabricados, instalados e operados. A tendência dos custos da eólica *offshore*, assim como da energia solar e eólicas *onshore*, é continuar a diminuir. Com investimentos anuais relativamente estáveis, os menores custos se traduzem em uma implantação mais ampla, impulsionando a criação de empregos.

Os resultados derivados do modelo insumo-produto destacam os efeitos relevantes na criação de emprego nacional. A maior parte do emprego é desencadeada por atividades temporais, o que significa que é dependente das novas capacidades instaladas. Então, a instabilidade do mercado ou institucional pode atrapalhar esses benefícios econômicos. Uma grande parte da

criação de empregos temporários ocorre no setor industrial (fabricação de produtos de metal), portanto, o emprego criado é caracterizado por alta produtividade do trabalho.

Os índices de empregos gerados por meio da produção de eletricidade pelas fontes podem variar significativamente entre os estudos devido a aspectos locais, temporais e metodológicos. Há grande variação dos valores dos índices de empregos gerados por MW instalado dos dados encontrados na literatura. Nesses dados, a eólica *offshore* gera em média 24 empregos por MW instalado, esse número é superior do que o encontrado para fontes não renováveis, 5, 2 e 16 empregos/MW instalado respectivamente para o carvão, gás natural e nuclear (Figura 4), devido aos prazos de projeto, construção, montagem e instalação mais longos. Sendo assim, cada caso deve ser analisado separadamente, não é possível utilizar índices produzidos em outros contextos para estimar a geração de emprego por uma tecnologia de energia renovável em outro período ou local (SIMAS, PACCA, 2014). O valor calculado pelo presente estudo para o Brasil está contido na faixa de variação da literatura. Os resultados mostram que é gerado, em média, de 11 até 34 empregos por MW em cada ano, dependendo do cenário analisado. Para o cálculo específico do valor para o Brasil, foram necessários estudos que incluem curvas de evolução tecnológica, taxas de aprendizado, nível de nacionalização e outros fatores necessários para uma base nacional.

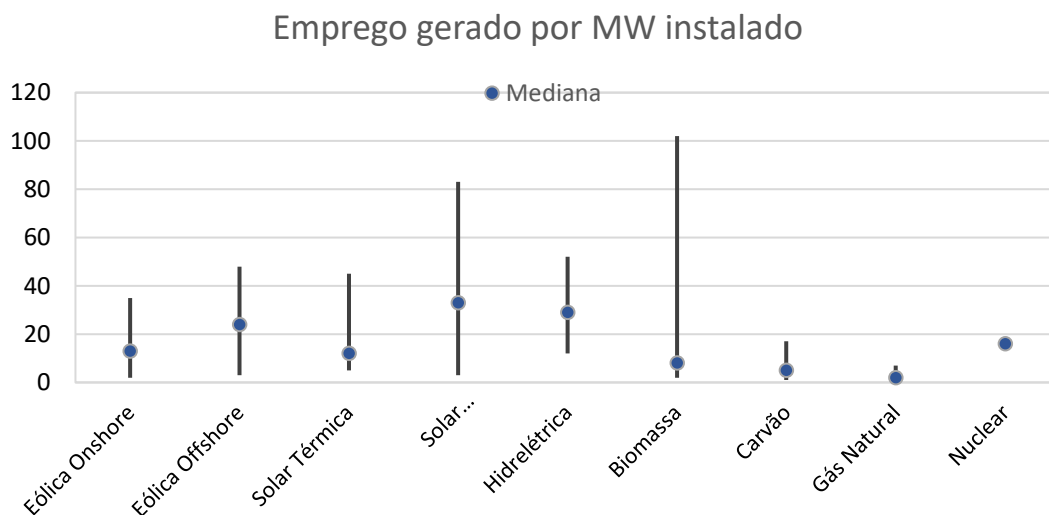


Figura 4. Índices de geração de emprego por MW instalado de diferentes tecnologias de geração de energia encontrados na literatura. O ponto azul é a mediana entre os valores encontrados.

Fonte: Elaboração própria com base em baseado em (DALTON, G. J.; LEWIS, 2011, EWEA, 2008, GWEC, 2021, MORENO, B.; LÓPEZ, 2008, RUTOVITZ, J.; ATHERTON, 2009, SIMAS, PACCA, 2014, TOURKOLIAS, C.; MIRASGEDIS, 2011, UNEP/ILO/IOE/ITUC, 2008, WEI, M.; PATADIA, S.; KAMMEN, 2010).

A indústria eólica precisa ser preparada para o significativo crescimento projetado no mercado de eólico *offshore* nas próximas três décadas. O estudo fornece informações potencialmente críticas sobre os requisitos de capacidade no mercado de trabalho e dada a

dinâmica setorial, é essencial estabelecer políticas públicas para promover o setor eólico *offshore* e sua cadeia de valor no curto e longo prazo.

V. Papel da fonte em relação à segurança e transição energética

O que é transição energética? O que é segurança energética?

A transição energética atual define-se por mudanças nos sistemas energéticos buscando sustentabilidade, acessibilidade, criação de valor, segurança e menores impactos ambientais (WEF, 2021). Seu diferencial em relação a transições energéticas passadas é que a recente transição energética se motiva pelo combate às mudanças climáticas, como destacam IPCC (2019) e IPCC (2021). Daí a importância de que esta transição seja pautada em fontes renováveis de energia.

A segurança energética e o acesso à energia dizem respeito à garantia de acesso universal à energia segura e confiável (WEF, 2021). A Agência Internacional de Energia complementa esta definição acrescentando que segurança energética é a disponibilidade ininterrupta de recursos energéticos a preços acessíveis (IEA, 2022).

Quais são os papéis da eólica offshore em relação à segurança energética e à transição energética no contexto brasileiro?

A nota técnica destacou três possíveis papéis da eólica *offshore*:

1. Insumo para a produção de hidrogênio (H₂) verde:

A eólica *offshore* pode servir de insumo para a produção de hidrogênio verde por meio da eletrólise da água, atividade intensiva no consumo de eletricidade. O hidrogênio renovável e livre de carbono terá três papéis fundamentais na transição energética (MME/EPE, 2022): (i) descarbonizar os segmentos de difícil abatimento de emissões, como o setor de transportes pesados de longo-curso (caminhões, trens e embarcações), setor aéreo e indústria (fertilizantes, siderurgia e cimento), (ii) facilitar o armazenamento de energia das fontes renováveis variáveis como a eólica e a solar e (iii) permitir o acoplamento entre os setores: elétrico, transporte e industrial.

A eólica *offshore* é uma fonte renovável, que possibilita diversos usos finais de energia, não só a elétrica, mas também a produção de hidrogênio verde e a amônia renovável. Os recursos renováveis *offshore* se destacam com um enorme potencial técnico para a produção de hidrogênio. A demanda mundial pelo hidrogênio verde coloca o Brasil em destaque como potencial fornecedor internacional, dada a riqueza local de recursos renováveis e consequente

competitividade de geração (MME/EPE, 2022). O potencial técnico do recurso eólico *offshore* no Brasil para geração de H₂ é de 350,4 Mt/ano no total, como mostrado na

Tabela 4 (MME/EPE, 2022).

Tabela 4. Detalhamento do potencial técnico de produção de hidrogênio a partir dos recursos eólicos *offshore*

Recurso Energético Renovável <i>Offshore</i>	Potencial de Hidrogênio Mt/ano
Eólica <i>offshore</i> – 10 km dist.	11,2
Eólica <i>offshore</i> – 50 km (exc. 10 km dist)	39,8
Eólica <i>offshore</i> – 100 km (exc. 50 km dist)	50,2
Eólica <i>offshore</i> – ZEE (exc. 100 km dist)	249,2
Total	350,4

Fonte: Adaptado de (MME/EPE, 2022)

Além da análise do recurso total, é imprescindível analisar a disponibilidade eólica para a produção de H₂. A Figura 5 traz a complementaridade entre o recurso eólico *offshore* a 100 km da costa do Nordeste e a carga do Nordeste e do Brasil, mostrando que pode haver momentos de possível *curtailment*, caso a fonte eólica *offshore* utilizada diretamente para atendimento da carga.

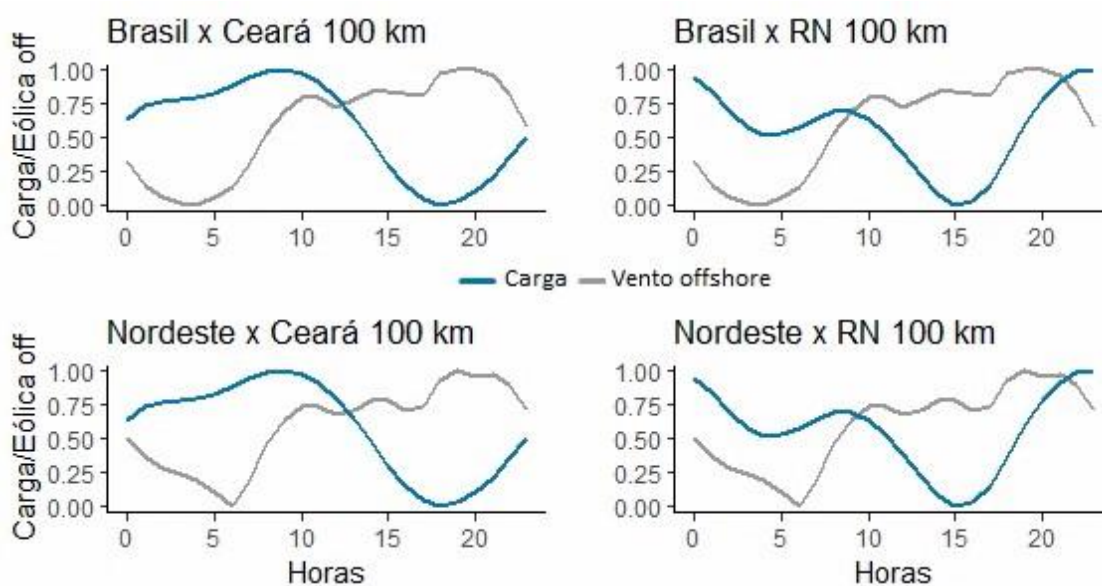


Figura 5. Painel de complementaridade horária entre carga e o vento *offshore* em um dia típico. A linha cinza representa a carga e a azul o vento *offshore* (a) Carga do Brasil e vento *offshore* no Ceará (b) Carga do Brasil e vento *offshore* no Rio Grande do Norte (c) Carga do Nordeste e vento *offshore* no Ceará (d) Carga do Nordeste e vento *offshore* no Rio Grande do Norte. Fonte: Elaboração própria.

As curvas complementares indicam a possibilidade de utilização da energia *offshore* para outros usos além do atendimento à carga do Sistema Interligado Nacional (SIN). Dentre eles, destacam-se a produção de hidrogênio verde.

2. Redução de emissões de gases de efeito estufa:

A geração eólica *offshore* pode propiciar a redução de emissões de gases de efeito estufa tanto no planejamento da expansão e operação de sistemas elétricos quanto no setor de óleo e gás. Quando integrada ao SIN, a eólica *offshore* desloca a geração das usinas movidas a fontes fósseis, reduzindo o fator de emissão do sistema elétrico. Adicionalmente, podem contribuir para redução de emissões em plataformas de E&P de petróleo, que demandam elevada quantidade de energia elétrica em seus processos. A eletricidade pode ser gerada a partir da eólica *offshore*, o que significa uma unidade de transformação de eletricidade próxima a estes centros de carga, reduzindo custos de transmissão. Portanto, a instalação de turbinas eólicas *offshore* pode representar uma medida de mitigação de gases de efeito estufa para o setor de óleo e gás.

3. Complementaridade com outras fontes energéticas:

A eólica *offshore*, nas regiões Nordeste e Sudeste, tem complementaridade com os recursos hídricos do Brasil como um todo, sinergia com o petróleo e proximidade com o maior centro consumidor. A utilização dos recursos de energia complementares tem o potencial de melhorar a qualidade da energia fornecida, pois é esperado menor irregularidade na curva de geração do sistema. A complementaridade sazonal é ilustrada na Figura 6 para as regiões Nordeste e Sudeste.

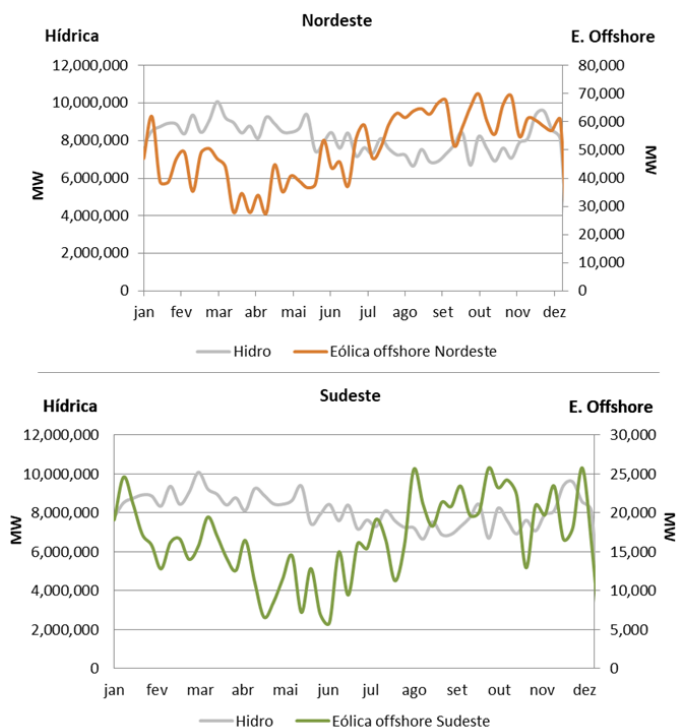


Figura 6. Complementariedade entre geração hídrica e geração eólica offshore simuladas no Brasil para um ano típico (2013).

Fonte: (NOGUEIRA, 2020)

O que é necessário para que a transição energética seja efetiva?

Para que a transição energética seja efetiva, os países devem ter segurança energética, que envolve a disponibilidade ininterrupta de recursos energéticos a preços acessíveis. O Brasil tem uma posição privilegiada com relação a segurança e a descarbonização, com uma vantagem competitiva significativa por conta da elevada participação de renováveis de sua matriz energética, o armazenamento dos reservatórios hidrelétricos e os recursos fósseis que complementam os renováveis.

Um dos desafios do país é administrar a abundância e diversidade de recursos energéticos, que são de baixa emissão de gases de efeito estufa, competitivos e apresentam complementaridades espaciais e temporais. A diversificação da matriz pode ser a base da busca por segurança energética no Brasil. A produção eólica *offshore* é uma tecnologia que se destaca neste contexto de transição energética por apresentar diversas possibilidades de contribuição.

Enfim, o Brasil pode liderar e se transformar um exemplo de economia de baixo carbono do mundo. O país pode oferecer alternativas de baixo carbono e baixo custo. Um importante papel adicional do Brasil é o possível auxílio aos países para atingirem suas metas de neutralidade climática de maneira mais acessível.

VI. Projeção de custos, LCOE e viabilidade tecnológica

O que é custo nivelado (Levelized Cost of Electricity -LCOE)?

O LCOE consiste na razão entre os custos estimados e a geração estimada da usina ao longo de sua vida útil (SHORT, PACKEY, *et al.*, 1995). Em outras palavras, o LCOE pode ser tido como um preço teórico de venda de eletricidade. Nestas bases, consiste em uma importante ferramenta para comparação da atratividade econômica de diferentes fontes de geração de energia elétrica (MARTINEZ e IGLESIAS, 2022).

Quais são as perspectivas de evolução do custo nivelado da eólica offshore no Brasil?

A nota técnica de projeção de custos, LCOE e viabilidade tecnológica calculou um LCOE para projetos eólicos *offshore* no Brasil de 332,76 R\$/MWh. Na comparação mais direta com outras tecnologias renováveis, o LCOE atual de projetos eólicos *offshore* ainda não é competitivo, pois as demais fontes tendem a ter LCOE inferiores a 250 R\$/MWh. No caso de plantas eólica *onshore* e de projetos fotovoltaicos, os LCOE típicos são inferiores a 150 R\$/MWh. Apenas projetos de biomassa, sobretudo de biogás, podem apresentar LCOE próximos ao valor atual de 332,76 R\$/MWh de projetos eólicos *offshore*. Ao se comparar com as fontes não renováveis, nota-se que projetos eólicos *offshore* já são competitivos frente à energia nuclear.

No entanto, como ocorre com as tecnologias entrantes, espera-se que o ganho de maturidade da tecnologia gere uma curva de aprendizado, de modo que o custo de investimento se reduza conforme maiores capacidades de eólicas *offshore* são incluídas no setor elétrico brasileiro.

As estimativas de evolução dos parâmetros de cálculo do LCOE, incluindo custos de investimento, custos de operação e outros, foram baseadas em dois cenários: “Navegar é preciso” e “Mar Azul”. Suas descrições completas são encontradas na nota técnica. Em poucas palavras, “Navegar é preciso” indica reduções mais modestas de custos de investimento e operação em relação ao “Mar Azul”, que apresenta reduções maiores. A Figura 7 traz as projeções de custos nivelados da eólica *offshore* para os dois cenários.

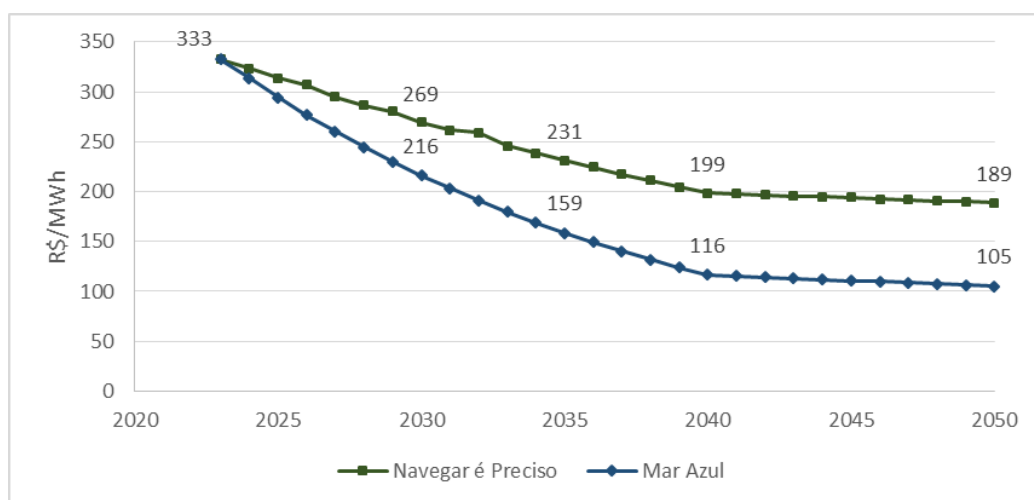


Figura 7. Evolução do LCOE da eólica offshore em dois cenários.

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que, no cenário “Navegar é Preciso”, o LCOE próximo a 250 R\$/MWh da tecnologia eólica *offshore*, no início da década de 2030, a tornaria competitiva em relação a pequenas centrais hidroelétricas e com alguns projetos de solar fotovoltaica, sobretudo quando se trata da tecnologia fotovoltaica flutuante. Esta competitividade vai se acentuando ao longo das décadas de 2030 e de 2040, na medida em que os custos de projetos eólicos *offshore* vão diminuindo e atingindo um LCOE em torno de 200 R\$/MWh.

Já no cenário “Mar Azul”, o LCOE inferior a 160 R\$/MWh, já em 2035, torna a tecnologia eólica *offshore* competitiva quando comparada com as demais fontes, incluindo projetos eólicos *onshore*. Os ganhos de competitividade seguem ao longo dos anos e, na década de 2040, os projetos *offshore* consistiriam em uma alternativa extremamente competitiva. Ao fim do período, o LCOE de 105 R\$/MWh tornaria os projetos eólicos *offshore* competitivos até mesmo com os projetos eólicos *onshore*.

Apesar de dados internacionais sobre os custos da tecnologia eólica *offshore* se mostrarem referências importantes, é necessário considerar a presença de especificidades e características locais que tendem a influenciar consideravelmente os custos e a atratividade econômica dos projetos nacionais. As projeções de LCOE apresentadas na nota técnica sobre custos nivelados mostram que existe um significativo espaço para esta tecnologia se tornar competitiva na medida em que seu mercado venha a ser desenvolvido.

Quais aspectos não são captados pelo cálculo do LCOE?

Há outros aspectos relevantes que impactam a viabilidade da fonte eólica *offshore* e que não são consideradas nos cálculos de LCOE, como externalidades positivas advindas da redução das emissões, integração com a indústria de hidrogênio verde, menor impacto visual da fonte,

complementaridade com outras fontes e contribuição para a segurança energética. Além disso, riscos intrínsecos a cada tecnologia, diretrizes regulatórias, arcabouços comerciais, o enquadramento tributário e a carga de impostos e encargos associada também podem impactar a viabilidade das plantas de geração de eletricidade e não são abarcados pelo cálculo do LCOE.

VII. Status das inovações tecnológicas do setor

Qual o papel das inovações no desenvolvimento de parques eólicos offshore e como isso foi abordado no estudo?

O mercado eólico *offshore* é um dos que mais cresce e evolui no mundo. Tal afirmação fica clara ao se analisar não só o aumento de capacidade instalada, mas também as inovações que surgiram e vêm sendo implementadas desde a instalação do primeiro parque, em 1991. Dentre os principais avanços alcançados, destacam-se a redução dos custos, avanços na tecnologia, aumento de eficiência na cadeia de suprimentos, criação de novos mercados, dentre outros fatores que conjuntamente formam um mercado capacitador e promissor. Considerando as evoluções técnicas, destacam-se o aumento do distanciamento dos parques da costa e da profundidade de instalação, o que demanda fundações mais resistentes, a instalação de turbinas com maior potência nominal e de maior tamanho, e adoção de novas tecnologias nas turbinas (MUSIAL et al., 2021).

O progresso da energia eólica *offshore* envolve diversos aspectos que se correlacionam de forma complexa, como características da turbina (tamanho da turbina, altura do cubo, diâmetro do rotor), distância da costa, profundidade da água, criação e adoção de padrões, desenvolvimento de patentes, entre outras. De forma resumida, é a interconexão de três esferas que levam a esse progresso: ecossistema de inovação; tecnologia; e formação do mercado.

A inovação se dá em um processo cíclico, e ao mesmo tempo contínuo, de *feedback* entre diferentes etapas, fornecendo informações sobre lacunas e oportunidades. Este ciclo contribui para o acúmulo de conhecimento, fortalecimento da colaboração entre diversos atores, redução dos custos de instalação e do LCOE, redução do risco tecnológico, aumento da maturidade tecnológica e, conseqüentemente, aumento da capacidade instalada (IRENA, 2021).

A Figura mostra, de forma resumida, como a inovação pode contribuir para a evolução do setor eólico *offshore* e como esses diversos aspectos se correlacionam.

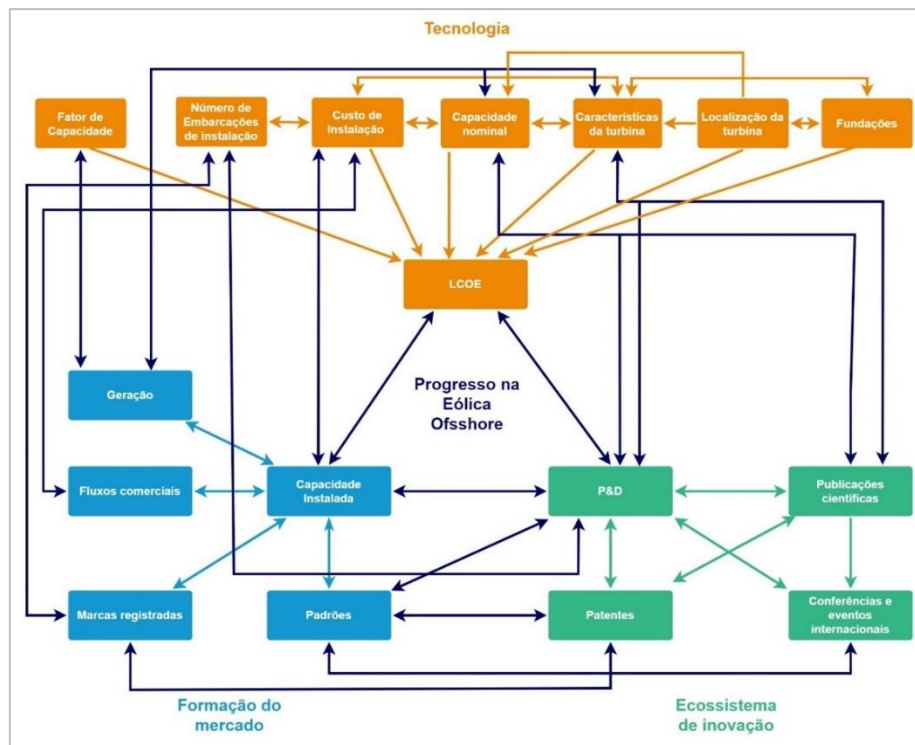


Figura 8: Aspectos relacionados ao progresso da energia eólica offshore e suas interligações

Fonte: Adaptado de IRENA, 2021.

A nota técnica “Status das inovações tecnológicas do setor” teve como objetivo descrever a evolução dos parques eólicos *offshore* instalados em todo o mundo, identificar os potenciais e as técnicas que estão sendo considerados para o desenvolvimento desta tecnologia no Brasil e descrever algumas das principais inovações que estão em desenvolvimento e em aplicação no mundo.

Quais são as principais inovações identificadas?

Apesar dos avanços, o setor precisa continuar inovando com o intuito de aproveitar cada vez mais o potencial eólico em águas mais profundas, aprimorar seus processos, e reduzir os custos. Diante disso, foi realizada uma revisão das principais inovações relacionadas às temáticas de: (i) etapas prévias de planejamento; (ii) turbinas; (iii) fundações; (iv) infraestrutura elétrica; (v) operação e manutenção e (vi) infraestrutura portuária.

No âmbito das etapas prévias de planejamento destacam-se as soluções voltadas para análises computacionais de previsão e análise de dados meteoceanográficos e ambientais, além de programas capazes de projetar futuros parques eólicos *offshore*, visando a adoção de soluções o mais custo-efetivas possível. Já as inovações voltadas para as turbinas eólicas, estão, em sua maioria, voltadas para a criação de turbinas mais potentes, visando a ampliação da capacidade de

geração ao menor custo. Para isso, surgem inovações voltadas para metodologias de otimização da fabricação das turbinas. Além disso, há um aumento na preocupação com relação aos tipos de materiais utilizados na fabricação e na sua capacidade de reciclagem.

Com relação às fundações dos aerogeradores, as inovações têm como objetivo aumentar a segurança estrutural, essencial para a instalação de aerogeradores cada vez maiores e mais pesados e para que os parques possam ser instalados em áreas mais profundas e distantes da costa. Inicialmente, há movimentação no desenvolvimento de fundações do tipo *monopile* e *jacket* capazes de suportar maiores esforços, mas a tendência futura é a ampliação do uso de fundações flutuantes. Isso pode ser explicado pelo fato de o setor buscar estruturas mais leves e mais fáceis de transportar e instalar, reduzindo os custos de produção, implantação e operação dos parques.

No que diz respeito à infraestrutura elétrica, destacam-se as inovações relacionadas às tecnologias dos cabos e das subestações. Sobre os cabos utilizados, uma importante inovação que resultará em menores custos e sistemas mais eficientes é o emprego da tecnologia LFAC, que permite a redução de perdas e de custos para parques mais distantes: entre 60 e 80 km a 200 km. Ainda sobre cabos, uma solução necessária para os parques que irão adotar estruturas flutuantes é o cabo dinâmico. Estes cabos possuem excelente resistência mecânica, provando-se adequados para suportar condições como o movimento das plataformas flutuantes, grandes cargas de tração devido às profundidades da água e tensões hidrodinâmicas significativas geradas por ondas e correntes. Por fim, destacam-se os avanços em estudos sobre subestações flutuantes como a solução mais custo-efetiva para parques eólicos *offshore* com profundidades maiores.

As inovações associadas às atividades de operação e manutenção dos PEOs estão geralmente relacionadas às áreas da automação, digitalização de procedimentos, inteligência artificial e outras soluções atreladas à tecnologia da informação. A utilização destas tecnologias permite a identificação rápida e precisa de problemas, podendo ser feita virtualmente, o aumento da segurança dos funcionários, pela redução das idas à área do parque, além da redução dos custos.

Relativamente à infraestrutura portuária, a maior parte das inovações são voltadas para aumentar a eficiência e otimizar a logística. Devido à magnitude dos parques eólicos *offshore* e seus componentes, tanto em termos de tamanho, peso e volume de movimentações, quaisquer inovações que contribuam para melhorar a logística resulta em reduções significativas dos custos, seja na fase de instalação ou de operação e manutenção. Neste sentido, no âmbito de portos, cita-se a criação de terminais específicos a projetos eólicos *offshore* ou o emprego de tecnologias pertencentes à indústria 4.0.

Por outro lado, destacam-se as embarcações específicas, que reduzem o tempo de instalação ou de manutenção dos parques, conferindo reduções tanto do CAPEX como do OPEX dos parques. Tal qual para os portos, as tecnologias 4.0 também servirão para o propósito de otimizar os processos. Por fim, vale destacar o papel que as inovações incrementais terão sobre a indústria eólica *offshore*. Por se tratar de uma indústria nova, ainda sem infraestrutura completa

específica para suas atividades ou com disponibilidade limitada, adaptações e adequações em embarcações provenientes de outros setores, como de óleo e gás, servirão para impulsionar a indústria eólica *offshore* até que esta esteja madura para possuir toda a sua logística específica desenvolvida.

A

Tabela 5 resume as principais inovações identificadas divididas nas categorias de: (i) etapas prévias de planejamento; (ii) turbinas; (iii) fundações; (iv) infraestrutura elétrica; (v) operação e manutenção e (vi) infraestrutura portuária.

Tabela 5: Principais inovações identificadas, por categoria.

Etapas prévias de planejamento	Modelagem Computacional Acoplada
	LIDAR em estrutura flutuante
	Estimativa de potencial eólico com dados SAR
	GIS-SPOWER-BR Toolbox
	Dinâmica de fluidos computacional para minimizar efeitos da esteira das turbinas
	Plano Estratégico para Tecnologias Energéticas
Turbinas	Turbinas maiores e mais potentes
	Turbinas recicláveis
	Sweep Twist Adaptive Rotor (STAR)
	Produção 3D de moldes de turbinas
	Coloração preta de uma pá para redução de mortalidade de pássaros
Fundações	Monopile “extra-grandes”
	Fundações flutuantes
	Fundações versáteis e adaptáveis
	PivotBuoy
	Fundações como berçário de corais
Infraestrutura elétrica	Tecnologias mais custo-efetivas para transporte da energia à costa em fazendas eólicas com maiores distâncias: CA; CC; e LFAC;
	Solução para incrustação e corrosão para resfriamento de sistemas (Chloropac)
	Isolamento de cabos com tecnologia XLPE
	Subestações flutuantes
	Cabos dinâmicos para aerogeradores com estruturas flutuantes
	Inclusão de fibra ótica
	Software de análise dinâmica OrcaFlex
Operação e manutenção	Digitalização para acompanhamento da geração e para o monitoramento
	Inspeção remota e automatizada de ativos
	Inteligência artificial para monitorar espécies
	Diferentes estratégias para reparos de turbinas em área externa ou no local
Infraestrutura portuária e embarcações	Gerenciamento e coordenação para otimização da logística portuária
	Criação de terminais específicos e dedicados à indústria eólica <i>offshore</i>
	Aplicação de soluções da indústria 4.0 na infraestrutura portuária
	Descarbonização e criação de redes colaboradoras entre portos e players eólicos
	Embarcações dedicadas para acompanhar o avanço tecnológico e de tamanho das turbinas
	Sistema X-BOW
	Emprego de modernos WTIVs para reduzir custos na fase de instalação e comissionamento.
	Indústria 4.0 nas embarcações
	Inovações incrementais

Fonte: Elaboração própria.

VIII. Panorama do status regulatório

Quais são os principais mecanismos regulatórios vigentes e em discussão no Brasil para a eólica offshore?

Recentemente, o Brasil deu passos importantes para que a energia eólica *offshore* comece a ser inserida em sua matriz. Com o objetivo de fornecer subsídio para os empreendedores e para os órgãos governamentais competentes, a nota técnica de panorama do status regulatório teve como objetivo avaliar as normas legais e regulatórias que estão sendo desenhadas e implementadas no país e trazer experiências de outros países, a fim de avaliar as vantagens e desvantagens da adoção das inúmeras regras associadas aos empreendimentos eólicos *offshore*.

Em 2020, a EPE lançou o Roadmap Eólica *Offshore* Brasil, cujo objetivo principal era identificar barreiras e desafios a serem enfrentados para a implementação da eólica *offshore* no Brasil (EPE, 2020b). No mesmo ano, o IBAMA lançou o Termo de Referência ligado aos complexos eólicos marítimos, cujo objetivo era determinar diretrizes e critérios técnicos gerais que deverão fundamentar a elaboração do EIA e o Rima, de modo a subsidiar o processo de licenciamento ambiental.

No Brasil, até 2021, os projetos de energia eólica *offshore* enfrentaram obstáculo regulatório para a sua implementação, pois havia impossibilidade de obtenção de outorga por indefinição dos critérios de uso de áreas *offshore*. O primeiro passo para superar esse obstáculo se deu pela edição do Decreto 10.946/2022, que trata da cessão de uso de espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais em águas interiores de domínio da União para a geração de energia eólica *offshore*. O Decreto estabelece as regras mais gerais da organização regulamentar da eólica *offshore* no Brasil.

Conforme previsto no próprio decreto, este foi complementado por meio da edição de normas, movimento que se deu com a publicação da Portaria Normativa nº 52/GM/MME e a Portaria Interministerial MME / MMA nº 3, ambas de outubro de 2022. Deve-se ressaltar, no entanto, que o arcabouço regulatório da eólica *offshore* ainda carece de algumas regulamentações específicas adicionais, as quais devem ser editadas e publicadas até julho de 2023.

Em um caminho paralelo à publicação do Decreto 10.946/2022, atualmente, existem três Projetos de Lei (PL) em curso que também pretendem formatar a regulação da exploração de eólicas *offshore* em território nacional: (i) o PL nº 576/2021, de autoria do Senador Jean Paul Prates; (ii) o PL nº 11.247/2018 (originalmente PLS nº 484/2017), do senador Fernando Collor; e (iii) o PL nº 3.655/2021, do deputado Danilo Forte.

A Figura 9 compila em uma linha do tempo os principais marcos normativos, técnicos e regulatórios que ocorreram no setor eólico *offshore* no Brasil.

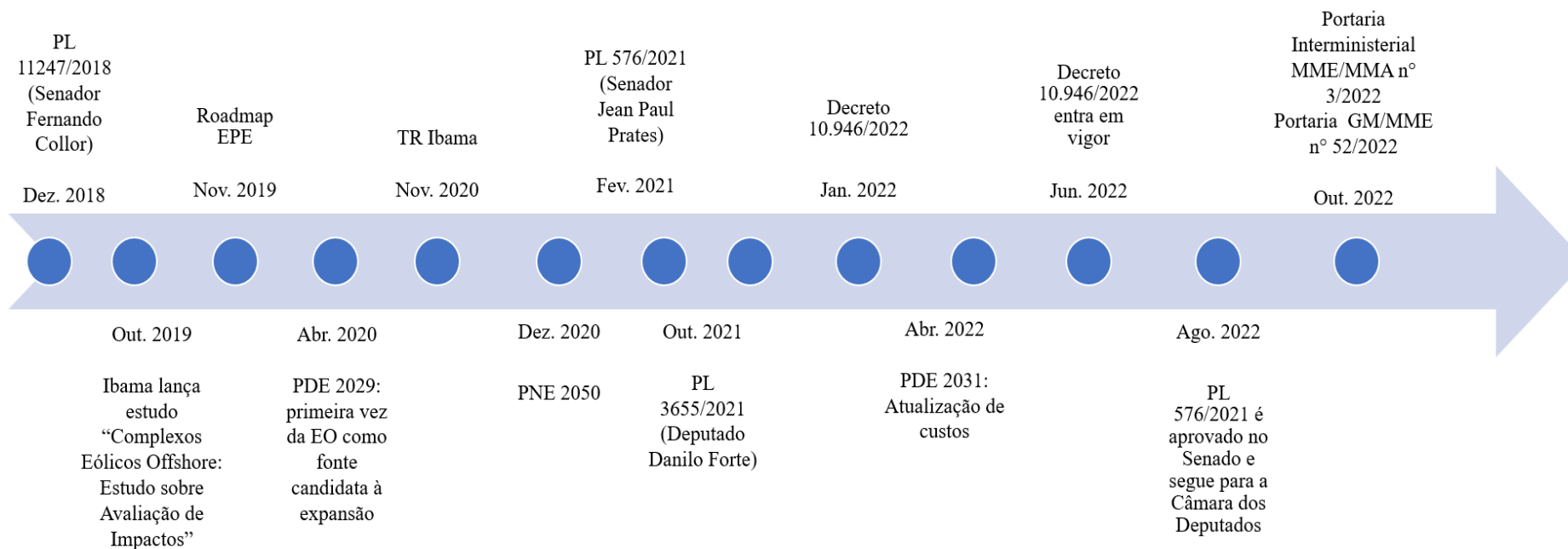


Figura 9: Linha do tempo dos desdobramentos normativo, técnicos e regulatórios da eólica offshore no Brasil

Fonte: Elaboração própria.

Regulamentação das eólicas offshore no Brasil: por projeto de lei ou decreto?

Diferentemente do encadeamento tradicional da legislação brasileira, que se constitui a partir da publicação da lei, seguida do decreto e da portaria, o arcabouço regulatório da energia eólica *offshore* no Brasil teve início a partir da publicação do Decreto nº 10.946/2022. Esta escolha se deu de forma a trazer celeridade no processo a fim de fornecer a base normativa para que os agentes e o mercado pudessem dar início aos investimentos no setor, promovendo o início do desenvolvimento da fonte eólica *offshore* e de sua cadeia de valor no Brasil.

O principal risco associado ao caminho escolhido é a possibilidade da ocorrência de conflitos entre o decreto e suas normas complementares e uma potencial futura lei que deverá ser promulgada após a conclusão da tramitação dos projetos de lei. Neste sentido, é importante que os projetos de lei sigam em uma direção que permita que as cessões de área e as outorgas concedidas em data anterior à publicação da lei sejam preservadas, de modo que estes projetos não precisem iniciar novo processo de cessão e outorga quando da publicação da nova lei.

De acordo com o que fora estabelecido pelo Decreto nº 10.946/2022 e suas portarias, o contrato de cessão de uso para área *offshore* pode se dar para a exploração de central geradora de energia elétrica, por meio de cessão onerosa, ou para a realização de atividades de PD&I, que terá cessão de uso gratuita. Trata-se de uma decisão relevante, pois incentivará o desenvolvimento de projetos de PD&I para geração eólica *offshore*, colaborando de forma decisiva para o início do desenvolvimento da complexa indústria e da cadeia de valor da fonte no Brasil.

A nota concluiu que o caminho escolhido para o estabelecimento do arcabouço regulatório por meio da publicação de um decreto, foi uma escolha acertada, pois é mais rápido e flexível. Naturalmente, os projetos de lei em tramitação podem vir a gerar uma nova lei, que trará ainda mais segurança jurídica e normativa ao setor e aos empreendedores. No entanto, a base regulatória fornecida através do decreto e de suas portarias complementares já foram suficientes para trazer a confiança e a sinalização adequada aos agentes.

Como se dá a cessão de uso de espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais para a geração de energia eólica offshore?

Há dois caminhos a se seguir: modelo de cessão planejada, que consiste na oferta de prismas previamente delimitados pelo MME a interessados; e o modelo de cessão independente, que consiste na cessão de prismas requeridos por iniciativa dos interessados em explorá-los. Ambos os caminhos preveem a ocorrência de processo licitatório para que se garanta competição das áreas a serem cedidas. No entanto, uma etapa obrigatória, é o recolhimento das Declarações de Interferência Prévia, que consistem em diversas declarações padronizadas solicitadas junto aos diferentes órgãos e instituições potencialmente afetadas por uma cessão de área.

Para facilitar este processo, foi prevista a criação do Portal Único de Gestão *offshore*, importante instrumento dentro do arcabouço regulatório, pois viabiliza a introdução de uma espécie de balcão único para o setor. A experiência internacional mostra a importância do estabelecimento de um portal único, sendo seus principais benefícios a redução do número de órgãos envolvidos na tramitação dos processos das áreas *offshore*, a redução dos custos e da incerteza regulatória e o aumento da previsibilidade dos processos e da transparência. Apesar de as responsabilidades de execução das atividades do Portal Único de Gestão estarem claras na portaria, não está clara a origem do orçamento e a instituição responsável pela sua construção.

O arcabouço regulatório desenhado hoje para a eólica offshore é suficientemente detalhado para o pleno desenvolvimento da fonte no Brasil?

Apesar de fornecerem o embasamento regulatório para o início do desenvolvimento do setor eólico *offshore*, as publicações do decreto e das portarias complementares ainda carecem de algumas definições relevantes, que precisam ser disciplinadas com celeridade para fornecer a segurança necessária à nascente indústria da eólica *offshore*.

Um primeiro ponto é a definição da metodologia de cálculo do valor pelo uso do bem público. Essa metodologia é importante, pois servirá de balizamento para os processos licitatórios, e deverá fornecer um valor justo pela cessão, em que não se onere sobremaneira os projetos eólicos *offshore*, sem penalizar em demasia os potenciais ganhos da União.

Cabe ressaltar que um caminho possível seria a definição dessa metodologia via caminho infralegal, tendo em vista que isso traria flexibilidade de ajuste e calibração ao longo do tempo. Destaca-se que esta matéria será tratada por portaria específica do MME com um prazo máximo de 30 de julho de 2023.

Outro aspecto que necessita receber um tratamento legal é o limite máximo de área cedida em um mesmo contrato. Essa questão já está presente na redação dos atos, mas sem apresentar a regra específica. O limite máximo de área cedida por contrato ou empresa é uma prática comumente utilizada em outras jurisdições e setores, e serve principalmente para evitar práticas especulativas, além de estimular a concorrência e a diversidade de agentes no setor. A experiência internacional revela que há restrições em termos de limites de extensão de áreas, limites de potência, limites de densidade energética dos parques ou, ainda, limite do número de áreas cedidas para cada empresa no mesmo processo licitatório.

Como o Brasil é um país com grande extensão de costa, uma limitação de área provavelmente não estaria relacionada à escassez de áreas, mas sim aos interesses de promover um setor eólico *offshore* com diversidade de atores e de garantir o aproveitamento energético eficiente das áreas concedidas. Além disso, limitar o tamanho das áreas reduz o impacto de uma eventual situação em que se forneça a cessão de uma área a um empreendedor que resolva não

levar a cabo o desenvolvimento do projeto. Limitações e restrições, baseadas em critérios bem desenhados, podem trazer eficiência aos projetos e fomentar a diversidade e a competição no setor, o que é benéfico para toda a indústria eólica *offshore*.

Qual é a metodologia definida para a seleção e critério de julgamento para o processo de cessão das áreas?

Conforme apresentado pelo decreto e pelas portarias, o critério de julgamento da licitação será o de maior retorno econômico pela cessão do prisma. Entretanto, destaca-se que este é mais um ponto que carece de maior detalhamento, pois ainda não está claro quais serão os aspectos considerados nesta análise. Por exemplo, é possível que se considerem externalidades positivas, como impactos nos principais setores da cadeia de valor, na geração de emprego e renda, impactos socioambientais, bem como a consideração dos valores ofertados pelo uso da área.

Dentro do fluxo procedimental, os atos normativos preveem que os editais de licitação para a cessão de uso das áreas devem apresentar as credenciais técnicas, operacionais, econômico-financeiras e jurídicas, por parte dos interessados, de modo a se assegurar a viabilidade e a efetivação da implantação, da operação e do descomissionamento das instalações. Trata-se de um ponto de extrema relevância, pois são os requisitos necessários que habilitam os interessados a partir da disputa pela área em questão. No entanto, as redações dos atos ainda não apresentaram especificação relativa a estas credenciais.

A experiência internacional revela a existência de duas vertentes principais no que diz respeito a essa metodologia de seleção e critério de julgamento para o processo de cessão das áreas: competição pura e a competição multicritério. O processo de competição pura tem como seu principal critério a variável preço, de forma que o desenvolvedor escolhido é aquele que oferece o maior lance de pagamento pela cessão da área. Já a competição multicritério leva em consideração um conjunto de fatores, que podem ser financeiros, técnicos, ambientais, sociais etc., resultando em um sistema de pontuações. O vencedor, em geral, é aquele que atinge a maior pontuação.

A adoção do critério de maior valor oferecido pela área torna o processo competitivo mais simples, objetivo e claro, com menores chances de erro ou posterior judicialização. Neste caso, pode-se utilizar um modelo tradicional de leilão, que já é amplamente conhecido e aplicado não só no Brasil, mas em diversas outras jurisdições. Além disso, tem o potencial de gerar maior receita ao proprietário da área, em geral a União, o que pode acarretar benefícios para a região de instalação dos parques eólicos *offshore* e para a sociedade.

Por outro lado, a escolha pelo critério de maior valor oferecido pode levar à desconsideração de uma análise mais holística a respeito das vantagens de cada uma das propostas, que consideraria não só efeitos econômicos, mas também socioambientais. A disputa

por quem paga mais pode tornar a fonte ainda menos competitiva e encarecer o produto (eletricidade, hidrogênio), seja ao consumidor cativo ou no mercado livre. Dessa forma, pelo potencial de acarretar preços mais elevados, esse modelo pode acabar favorecendo empresas maiores e com maior porte financeiro, e não necessariamente o melhor empreendedor, que poderia explorar a área da melhor forma e com o melhor retorno global.

Já a competição multicritério, leva em consideração outros atributos que não apenas o financeiro, dando peso a outras potenciais externalidades positivas, como maior garantia de sucesso nas técnicas construtivas adotadas, de qualidade dos estudos ambientais realizados, do número de empregos locais gerados, do uso de componentes com conteúdo local, da aplicação de programas socioambientais para a região e comunidades locais, entre outros. Se combinada com a adoção de preço teto, pode conferir uma redução no valor do produto final (eletricidade, hidrogênio).

No entanto, dependendo do critério adotado, sobretudo para o caso de critérios com carácter mais subjetivo, há o risco da realização de avaliações imprecisas, dando margem para judicialização e contestação, tendo em vista que os critérios muitas das vezes são baseados em atributos qualitativos. Dessa forma, para que seja um modelo efetivo, tem que se estabelecer critérios muito bem definidos a priori, incluindo suas regras de aplicação e pontuação.

No caso da escolha de um critério de maior preço, também há a possibilidade do estabelecimento de um preço teto. Nesta modalidade, os lances são dados até que se alcance um valor máximo estipulado. Neste caso, outro critério deve ser utilizado para avaliar o empreendedor ganhador no caso de empate no preço teto. Este artifício tem como objetivo a atribuição de maior segurança financeira para os projetos e uma maior segurança para o custo da energia no futuro, quando da operação do parque eólico. Dessa forma, há uma combinação dos critérios de competição pura e multicritério. Para tanto, são necessárias transparência e assertividade, ou seja, os critérios devem ser objetivos, facilmente calculados e comparáveis.

É importante que as regras associadas a qualquer modalidade de competição sejam especificadas previamente, gerando maior segurança jurídica. Por outro lado, é importante haver uma flexibilidade para atualização destas regras, de modo que se possam incorporar lições aprendidas com o desenvolvimento do setor no país. Diante da possibilidade de flexibilidade, uma solução que poderia ser aplicada é a escolha por um modelo que incite o desenvolvimento da fonte eólica *offshore* através de um pagamento pelo uso do Uso do Bem Público mais baixo, em um primeiro momento, com uma posterior readequação para uma metodologia que beneficie a arrecadação da União em um segundo momento, quando a indústria e a cadeia de valor estiverem mais consolidadas.

IX. Demanda e oferta de componentes e materiais

Quais são os principais componentes e materiais de um parque eólico offshore e como eles foram analisados neste estudo?

O ambiente hostil da zona *offshore* com clima turbulento, altas ondas, correntes, altas velocidades de ventos e sua (ir) regularidade, além de um arcabouço de potencial energético promissor, são desafios estruturais que precisam ser encarados e vencidos. O sucesso dessa indústria está amplamente dependente de estruturas altamente duráveis capazes de sobreviver às condições hostis que lhe são impostas. Sendo otimamente dimensionadas ou não, só há uma forma das estruturas resistirem aos esforços atuantes e o aumento da capacidade de geração: o uso intensivo de materiais.

A construção de parques eólicos *offshore* gera uma demanda intensiva por aço, o material mais utilizado em sua construção. Outros componentes das turbinas eólicas como componentes elétricos, eletrônicos e magnéticos (como naceles, rotores, geradores, caixas de engrenagens e cabos) geram uma demanda significativa de minerais críticos, incluindo cobre, níquel, zinco, terras raras, como neodímio e disprósio para geradores de ímã permanente, cromo e cobalto. Já na construção das pás, os materiais primários são o compensado naval, fibras de vidro e resinas epóxi, além de alternativas mais sustentáveis, como polietileno tereftalato (PET) e fibras de carbono pultrudadas (IEA, 2022b).

Neste estudo sobre a demanda e oferta de componentes e materiais foi realizado um levantamento particularizado da cadeia de valor. As seções estudadas tiveram uma visão holística da cadeia de fornecimento brasileira de energia eólica *offshore* para identificar as principais lacunas previstas. Para isso, foi elaborada uma descrição dos componentes do aerogerador, incluindo os subcomponentes, subconjuntos e materiais necessários para um projeto de energia eólica *offshore*, utilizando a construção de mapas de hierarquia conforme o estudo de Shields et al. (2022). Em seguida, avaliou-se a presente disponibilidade da cadeia doméstica de suprimentos para fornecer os subconjuntos necessários à fabricação de componentes nacionais para eólica. Os componentes analisados nos mapas de hierarquia foram: Turbinas eólicas; Fundações de monoestacas; Peças de transição de monopilha; Bases de jaqueta; Fundações baseadas em gravidade; Plataforma semissubmersível flutuante; Sistema de amarração; Cabos; Subestações *offshore*; e Rede elétrica em terra.

Além disso, foram apresentados cenários de desenvolvimento de energia eólica *offshore* no Brasil e a consequente demanda por materiais associada a esses cenários. Por fim, também apresentamos o estado da arte das indústrias que sofrerão maior aumento em sua demanda nos próximos anos, tendo esses cenários como base.

É importante ressaltar que além da pesquisa bibliográfica, este estudo também incluiu a realização de entrevistas com especialistas em assuntos específicos relacionados à demanda por componentes e materiais. Essas entrevistas forneceram informações importantes sobre os detalhes relacionados aos componentes, o processo de fabricação e as considerações logísticas.

A indústria brasileira está pronta para o desenvolvimento de parques eólicos offshore?

Devido ao caráter remoto dos parques eólicos *offshore*, a tendência é que cada vez mais sejam empregados os aerogeradores de última geração e de maior tamanho, de forma a acrescentar tempo à vida útil do parque com maior geração de eletricidade. Este aspecto há de exigir uma plataforma de insumos também sempre no limite da tecnologia. Portanto, é correto afirmar que nenhuma indústria brasileira, pela falta de histórico de plantas *offshore*, já está completa para essas atividades.

Por certo que os fornecedores existentes para outras indústrias, como energia eólica *onshore*, aeroespacial, petróleo e gás, construção naval ou ainda a construção civil, possam alavancar suas capacidades existentes para desenvolver tais componentes e começar a transferir a experiência de fabricação e força de trabalho para a nova demanda. Por exemplo, instalações de produção eólica *onshore* podem expandir suas operações e usar sua força de trabalho treinada para produzir componentes eólicos *offshore*, embora o tamanho dos componentes *offshore* exija reequipamento, expansão da fábrica e proximidade dos portos para transportar os produtos acabados. Essa capacidade de fabricação representa uma oportunidade na transição para uma cadeia de suprimentos totalmente doméstica, à medida que mais componentes subjacentes são construídos localmente. No entanto, os componentes especializados necessários para projetos de energia eólica *offshore* também representam um desafio para indústrias que ainda não possuem conhecimentos ou certificações suficientes para entregar a qualidade de projetos exigida pelo setor.

Essa restrição potencial se apresenta como uma motivação para uma cadeia de suprimentos doméstica que pode reduzir o risco das instalações se propondo ao fornecimento de componentes dedicados ao mercado local.

A enorme quantidade e tipos de componentes necessários para construir projetos de energia eólica *offshore* oferecem uma oportunidade para os fabricantes nacionais alavancarem seus pontos fortes existentes para apoiar o *pipeline* de implantação. Identificam-se vários componentes que atualmente não são fabricados no Brasil, como ímãs permanentes, flanges e rolamentos de grande diâmetro, pás de turbinas eólicas maiores e correntes de ancoragem. Essa limitação representa um desafio para estabelecer uma cadeia de suprimentos doméstica, mas também uma oportunidade para os pioneiros do setor desenvolverem as capacidades no Brasil.

Aproximadamente 55 GW de potência já foram instalados ao redor do globo. De uma certa forma a cadeia de valor para a energia eólica *offshore* está em equilíbrio para a atual demanda. Já no Brasil, até dezembro de 2022, já tinham sido anunciadas intenções de instalação de uma potência da ordem de 176 GW, mais que o triplo da potência instalada acumulada em todo o mundo (IBAMA, 2022).

Considerando alguns dos principais materiais necessários para a construção desses parques e a conformação das indústrias globais que fabricam esses materiais, temos que o aço, o ferro, o alumínio e o concreto possuem cadeias de fornecimento de produção bastante globais. Por outro lado, a mineração e o processamento de minerais essenciais para turbinas eólicas estão concentrados em determinadas regiões geográficas, apresentando potencial logístico e riscos de segurança.

A consideração da entrada desse potencial brasileiro no mercado certamente pode provocar um desequilíbrio e não é difícil concluir que o país não poderá contar muito com cadeias de valor externos, dado o seu comprometimento com a atual demanda mundial, o que nos obriga a uma capacitação para atendimento da demanda prevista.

Sendo assim, como em qualquer mercado emergente de energia eólica *offshore*, a cadeia de suprimentos do Brasil exigirá amplo desenvolvimento se o país quiser capturar o máximo de benefício local da desta fonte de eletricidade. No entanto, como um dos maiores exportadores mundiais em mineração e agricultura e com cadeias de suprimentos maduras de energia eólica *onshore* (previsão de 40 GW até 2029), de petróleo e gás (previsão de 5,5 milhões de barris por dia até 2029) e uma pujante indústria da construção civil, o Brasil está em uma excelente posição inicial em comparação a muitos mercados emergentes (Rambøll, 2022).

Qual é a expectativa de demanda por materiais in natura considerando o desenvolvimento de parques eólicos offshore no Brasil?

Em termos de matéria bruta, se há um país que possa fornecer uma grande quantidade de materiais para a indústria eólica esse país é o Brasil. As limitações ficam por conta do processo de fabricação e beneficiamento. Há uma especialização no parque fabril brasileiro para o mercado estabelecido e não para um mercado emergente da magnitude da energia eólica *offshore* como intencionado. Para se ter uma ideia, o parque de geração elétrica no país possui, aproximadamente, 181 GW de capacidade instada contra os 176 GW de energia eólica *offshore* em licenciamento junto ao IBAMA até o presente momento (EPE, 2022; IBAMA, 2022). Sendo assim, a construção destes parques representaria um novo Brasil em termos de geração de eletricidade.

Com relação à demanda de materiais *in natura*, dois cenários foram considerados no estudo, mostrando um amplo cone de possibilidades, a depender da velocidade com a qual os

prismas *offshore* forem concedidos e os parques eólicos *offshore* instalados: (i) cenário de limite inferior (CLI) e (ii) cenário de limite superior (CLS). A Figura 10 ilustra os materiais utilizados para a construção de um parque eólico típico *offshore* de 500 MW, sendo evidente a importância de aço, cobre e chumbo para o desenvolvimento deste novo setor.



Figura 10: Materiais necessários para uma usina eólica offshore de 500 MW

Fonte: IRENA (2018).

No cenário de limite inferior a demanda por materiais apresenta uma evolução mais lenta, chegando a um crescimento mais intenso a partir de 2045, alcançando o pico de demanda de mais de 20 milhões de toneladas dos diversos materiais em 2050. No cenário de limite superior essa demanda mais intensa acontece ainda mais cedo, pois em 2040 já ultrapassa os 15 milhões de toneladas, chegando a aproximadamente 40 milhões em 2050.

Dentre os materiais analisados, o aço se destaca por ser o material com maior demanda. Em 2050, somando todos os tipos de aço, a demanda apresenta uma variação de 6,3 até 11,5 Mt nos cenários CLI e CLS respectivamente. O segundo mais utilizado é o cobre, que varia de 5,9 a 10,9 Mt, seguido do chumbo, que varia de 4,6 a 8,5, e do isolamento XLPE, que varia de 1,5 a 2,7 Mt. Os demais materiais possuem um aumento de demanda sempre inferior a 1,5 Mt em 2050.

Dessa forma, é evidente que a transição para um sistema energético mais limpo, como é o caso da eólica *offshore*, irá gerar um enorme aumento nas exigências por materiais. Sendo uma das preocupações a confiabilidade, acessibilidade e sustentabilidade do suprimento de recursos minerais para a produção destes diversos componentes. Alguns dos riscos associados ao aumento desta demanda são: concentração da cadeia de suprimentos em um pequeno número de geografias, amplificação da influência de questões geopolíticas, maior exposição das estruturas regulatórias à padrões internacionais, maior exposição ao preço e risco de atraso na transição energética (GWEC, 2022).

Como é possível aumentar a segurança do suprimento dos equipamentos e materiais necessários para o desenvolvimento da eólica offshore no Brasil?

Segundo a IEA (2021), deve-se assegurar o investimento adequado em fontes diversificadas de novos abastecimentos; promover a inovação tecnológica em todos os pontos da cadeia de valor; aumentar a reciclagem; aumentar a resiliência da cadeia de suprimentos e a transparência do mercado; integrar padrões ambientais, sociais e de governança mais elevados; e fortalecer a colaboração internacional entre produtores e consumidores. Sendo assim, outro aspecto importante é estar preparado para a nova geopolítica da cadeia de suprimentos, criando uma estrutura regulatória internacional mais forte para lidar com o aumento da concorrência por *commodities* e minerais críticos (GWEC, 2022).

Para ampliar sua matriz energética limpa, a partir do desenvolvimento da energia eólica *offshore*, o Brasil deve aproveitar suas vantagens competitivas diante dos outros países e buscar se adaptar às novas demandas por materiais, que estão em evolução a cada ano, com vistas a se beneficiar do desenvolvimento de novas atividades e novos mercados, trazendo benefícios econômicos e sociais para os brasileiros. Sendo assim, o país tem a capacidade de se destacar tanto como fornecedor de materiais, como quanto exportador para suprir sua demanda interna, devendo se planejar e se organizar para alcançar seus objetivos futuros.

Grande parte dos componentes para eólica *offshore* não pode ser fabricada internamente e exigirá investimentos significativos em novas instalações para desenvolver as capacidades necessárias, caso seja essa a opção por produção interna. No entanto, cada um dos componentes para eólica *offshore* possui uma ampla variedade de subconjuntos e subcomponentes que também têm potencial para serem fabricados no Brasil.

As novas demandas não podem ser supridas pelo parque fabril existente, portanto não se trata de modificação ou ampliação de fábricas, até mesmo porque as fábricas existentes já têm compromissos com o mercado corrente. Trata-se do estabelecimento de novas plantas especializadas no perfil dos novos componentes e insumos para o novo mercado. Outro fator preocupante é que o desenvolvimento de uma planta operacional requer tempo, sem mencionar os respectivos investimentos, desde o estabelecimento do perfil das demandas específicas até a fabricação da primeira unidade daquele produto.

A opção à fabricação pode ser a diversificação, de forma a ampliar o número de fornecedores pela consideração de outras formas construtivas. Como exemplo, a assunção de soluções em concreto armado para fundações com estacas, postes de concreto e o uso de torres treliçadas em detrimento dos monopostos e seus respectivos requerimentos. Pode parecer que se vai na contramão da tendência mundial, mas é um caminho viável no contexto brasileiro, não se tratando de modismo, mas da viabilização da criação de um novo setor industrial que pode trazer a polarização do mercado de energia eólica *offshore* para o território brasileiro.

As torres treliçadas permitem trazer as peças metálicas para um tamanho dentro da capacidade de produção dos seus insumos no Brasil. Não que os grandes monopostos e suas fundações em metal não possam ser fabricados no País, mas que requererá trabalho mais intensivo de solda e de mão-de-obra especializada, demandando mais tempo na fabricação da peça. Por outro lado, a construção civil brasileira alcançou maturidade invejável no uso do concreto armado como forma construtiva de menor custo no cenário nacional. Há centenas de empresas capazes de assumir a oferta, o que permite a pulverização, inclusive geográfica, do fornecimento de peças protendidas e pré-moldadas com menores custos que as peças de aço, se elas pudessem atender plenamente as necessidades.

Um parque industrial doméstico para os ativos de energia eólica *offshore* exigiria um número significativo de trabalhadores que deveriam estar disponíveis desde já, resultando em uma necessidade imediata de treinamento da força de trabalho. Característica favorável a produtos da construção civil é que é um setor com grande disponibilidade de mão-de-obra, com capacidade de resposta em grande velocidade ao preenchimento de vagas.

Assim, destacam-se algumas ações que podem garantir maior segurança para o desenvolvimento desta nova tecnologia, como alívio sobre a mineração; alívio sobre as siderúrgicas sob ameaça de esgotamento; diversificação de oferta de produto: o sistema atual recai sobre poucos fornecedores, até agora todos eles estrangeiros; redução do custo do componente: O concreto é produto mais barato, pois usa uma fração do aço; dispersão geográfica da produção e dos consequentes benefícios; tornar-se mais sustentável: menos mineração, menos energia, menos transporte (na matéria prima e na dispersão geográfica da construção civil) etc.; diversificação de fornecedores, o que multiplica a possibilidade de fornecimento para toda a indústria da construção civil que é de macro dimensão; aumento da empregabilidade: a construção civil, por ser intensiva de mão de obra, muito pode contribuir para a geração de emprego e renda no País, contribuindo para o desenvolvimento social; atração de investimentos estrangeiros no novo produto; desenvolvimento tecnológico.

X. Financiamento e o papel dos bancos nacionais para a cadeia de valor

Como anda o financiamento de projetos eólicos offshore?

Em nível internacional, é grande o interesse dos investidores na indústria eólica offshore. Este interesse passa pelo reconhecimento de que se trata de um setor estratégico na dinâmica de transição energética onde fontes renováveis terão participação crescente na matriz energética. Ao mesmo tempo, existe o entendimento de que os riscos de implantação do projeto são tão grandes que o setor acabou por criar uma razoável capacidade de gerir estes riscos de forma eficaz.

Este interesse vem acompanhado em uma melhor percepção dos riscos do projeto. Como consequência, o custo do capital destes projetos vem gradativamente se reduzindo, pois o prêmio de risco exigido pelos investidores é cada vez menor. Em grande medida, esta gradativa redução do prêmio de risco é resultado do histórico de projetos eólicos *offshore* que vêm sendo implantados respeitando o cronograma e o orçamento previamente estabelecidos. Em sua fase operacional, estes projetos também vêm se apresentando em linhas com premissas consideradas em suas modelagens financeiras. Neste sentido, os investidores passam a enxergar mais maturidade na tecnologia e os projetos dotados de menos incertezas.

Notadamente, em países em que a indústria eólica *offshore* se faz presente, o setor financeiro já enquadra suas usinas no âmbito da categoria de projetos em que o financiamento pode ser tido como convencional. Logo, o ambiente para bons projetos acaba sendo extremamente favorável, inclusive em termos de custo do capital no que tange ao acesso a capital de terceiros em condições atrativas em um contexto em que as estruturas de financiamento são cada vez mais diversificadas.

Qual é o papel dos bancos nacionais no desenvolvimento da cadeia de valor da eólica offshore?

O exame da evolução dos projetos financiados ao longo dos últimos 20 anos aponta que os aportes de capital destes bancos foram vitais para a viabilização de projetos de infraestrutura de eletricidade, englobando empreendimento de geração e transmissão. Os bancos públicos de fomento, por meio da modalidade *project finance*, atuaram como os grandes provedores de recursos de longo prazo para o setor elétrico brasileiro (SIFFERT *et al.*, 2009). A Tabela 6 traz a origem dos recursos para implantação de projetos no setor elétrico brasileiro.

Tabela 6. Recursos para implantação de projetos no setor elétrico brasileiro (bilhões de reais)

Origem dos Recursos	Período: 2009-2014	Período: 2015-2020
Aprovações do BNDES	126	111
Desembolsos do BNDES	101	88
Debêntures Incentivadas	5	71

Fonte: Elaboração própria com base em CASTRO et al. (2021).

Observa-se que o provimento de *funding* de longo prazo para o financiamento de projetos de geração de energia elétrica vem se diversificando, com o aumento da emissão de debêntures incentivadas no período de 2015 a 2020. Ainda assim, aprovações e desembolsos do BNDES somam 73% do total de recursos dedicados a projetos do setor elétrico nacional. Sendo assim, reitera-se que o papel dos bancos públicos de fomento continua sendo extremamente relevante, com destaque para os recursos do BNDES no financiamento de projetos eólicos e solares.

No âmbito do desenvolvimento e difusão de novas tecnologias, a atuação dos bancos públicos de fomento vem possibilitando a estruturação da cadeia produtiva destas novas tecnologias em nível nacional. Basicamente, isso ocorre por meio de iniciativas voltadas para a exigência de percentuais mínimos de conteúdo local para a concessão de linhas de financiamento. Esta política de conteúdo local fora de grande relevância, por exemplo, para o desenvolvimento da indústria eólica *onshore* no Brasil, incluindo seus diferentes estágios da cadeia de valor. No entanto, é necessário que as exigências de conteúdo não se constituam como um obstáculo ao acesso ao financiamento.

Quais são as principais condicionantes, oportunidades e os desafios do financiamento de empreendimentos eólicos offshore no Brasil?

Ainda não existem modelos específicos para o financiamento de projetos eólicos *offshore* no Brasil e os bancos públicos de fomento não definiram as diretrizes para este propósito até então. Contudo, o ambiente e a lógica atuais de financiamento do setor elétrico brasileiro tendem a ser aderentes às necessidades da indústria eólica *offshore*.

É preciso a coexistência de boas práticas de governança, de capacitação técnica e de um arcabouço regulatório dotado de clareza e estabilidade. Caso estas temáticas sejam adequadamente endereçadas, o financiamento dos projetos deixa de ser um entrave à implantação de projetos eólicos *offshore* em bases competitivas.

Por fim, observa-se que a formatação de linhas específicas para o setor eólico *offshore* é desejável e pertinente. Além da sua complexidade, seus potenciais benefícios justificam um tratamento específico com vistas a viabilizar esta tecnologia no Brasil de forma compatível com os interesses tanto do setor elétrico brasileiro como da indústria e da economia nacional de forma mais abrangente.

XI. P&D e necessidade de capacitação de mão de obra

A nota técnica teve por objetivo identificar temas de P&D, necessidades de capacitação de mão de obra e gargalos para o desenvolvimento da cadeia de valor da eólica *offshore* no Brasil. Para isso, foi aplicado um questionário de modo a captar as percepções de especialistas do setor. Foram obtidas trinta e uma respostas, que permitiram levantar reflexões e constatações para consolidação de uma visão comum ao setor.

Quais são os principais temas de interesse do segmento de eólica offshore no Brasil?

A definição dos principais temas de interesse foi prescindida de um levantamento de eixos temáticos. A proposta do eixo temático é organizar e permitir a classificação de temas específicos.

Há um significativo destaque para temas envolvendo o mapeamento e estudo do recurso eólico *offshore*. Além disso, destacam-se temas que abordam questões de competitividade da fonte, impactos ambientais, transmissão, impactos no SIN, regulação, incentivos, planejamento e mudanças climáticas.

As instituições de ensino estão preparadas para capacitar os profissionais ao setor de energia eólica offshore?

Em relação à avaliação do nível de preparação das instituições de ensino brasileiras para capacitar os profissionais ao setor de energia eólica *offshore*, a média das respostas dos especialistas foi de 6,3 e a mediana, 7. A maioria dos entrevistados (29%) deu nota 8, seguido pelas notas 6 (25,8%) e 7 (22,65%). Portanto, é consistente afirmar que a avaliação geral das instituições apresenta um resultado entre médio e bom, havendo algumas opiniões mais críticas quanto ao nível de preparação. As opiniões mais críticas justificaram suas respostas alegando pouca quantidade de instituições de ensino especializadas em eólica *offshore*, além de uma resposta que destacou a falta de investimento em Ciência e Tecnologia no país durante os últimos anos.

Qual é a ordem de prioridade dos perfis profissionais para capacitação de mão de obra?

Foram sugeridos quatro perfis profissionais, para os quais o respondente deveria indicar a ordem de importância da necessidade de melhoria na capacitação da mão de obra deles. Os quatro perfis profissionais sugeridos foram: (i) **CTEM** (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática): profissionais altamente qualificados nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática; (ii) **Não-CTEM** (Não Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática): profissionais altamente qualificados em outras áreas, como advogados, especialistas em logística, profissionais de *marketing* ou especialistas em regulamentação e normatização; (iii) **Administrativos**: secretariado, assistentes, Recursos Humanos, contabilidade e serviços gerais; (iv) **Operações Offshore**: profissionais habilitados para prestar serviços no mar, como técnicos de O&M, mergulhadores, pilotos de embarcações, entre outros.

O resultado das respostas foi consistente em apontar a categoria de Profissionais CTEM como prioritária, tendo recebido 24 indicações (77% dos respondentes) na 1ª colocação. Os 23% restantes apontaram a categoria de Profissionais de Operações *Offshore* em primeiro lugar. Esta categoria foi a que recebeu mais indicações na 2ª colocação (17 respostas). Nenhum respondente indicou as outras categorias na 1ª colocação e apenas a categoria de Profissionais Administrativos também não teve indicações na 2ª colocação. Portanto, majoritariamente, as categorias de Profissionais Administrativos e Profissionais Não-CTEM ficaram nas duas últimas posições, com

um robusto número de indicações (29 respostas) colocando a categoria de Profissionais Administrativos como a menos prioritária.

Quais são os aspectos que poderiam ser desenvolvidos para promover uma efetiva capacitação de mão-de-obra na cadeia de valor da eólica offshore?

Em linhas gerais, destaca-se a seguir treze pontos relevantes e em comum observados nas respostas: (i) ampliar as relações com países que estão avançando com maior urgência nesta tecnologia para gerar ganhos de aprendizado; (ii) investimentos em aparelhamento tecnológico dos centros de ensino para permitir estudos com maior precisão, (iii) Criação de laboratório para aulas e pesquisas práticas de operações submarinas, (iv) criação de formações técnicas, carreiras e cursos de pós-graduação com conteúdo e linhas de pesquisa específicos para a eólica *offshore*, (v) desenvolvimento de programas de intercâmbio de pesquisadores, (vi) aumento da integração das instituições de ensino com o mercado, (vii) ampliação dos investimentos em P&D, com foco na participação das instituições de ensino, (viii) identificação dos profissionais mais demandados para direcionar os esforços em capacitação, (ix) consolidação de cursos profissionalizantes de rápida formação para absorção do mercado, (x) utilização de infraestrutura existente de portos e bases logísticas para realização de treinamentos híbridos de teoria e prática, (xi) capacitação local em regiões onde serão desenvolvidos os *hubs* de eólica *offshore* do Brasil, (xii) desenvolvimento de parcerias entre instituições de ensino e ampliação do envolvimento de instituições públicas brasileiras que tem trabalhado no tema (ABEEólica, EPE, MME, ANEEL) e (xiii) Referência ao modelo do Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural (PROMINP).

Quais são os principais gargalos para o desenvolvimento do setor eólico offshore no Brasil?

Os principais gargalos identificados pelos respondentes foram “planejamento”, seguida de “custos” e “regulação”, conforme ilustrado na Figura 12.



Figura 12: Nuvem de palavras com as respostas de gargalos para o desenvolvimento do setor eólico offshore.

Fonte: elaboração própria.

A palavra “planejamento” possui um espectro amplo que, em parte, justifica sua maior quantidade de citações. Em outras palavras, foram feitas referências a planejamento para abordar distintas questões, como integração com sistema da transmissão, organização do espaço marítimo, expansão da matriz energética, previsão da demanda de eletricidade, entre outros. Em relação aos custos, a questão da competitividade de custos da fonte, de fato, ainda é um gargalo consideravelmente sinalizado pelos especialistas.

Em relação a palavra “regulação”, também pode-se associar a ela a recorrência da palavra “segurança jurídica” (reforçando a preocupação quanto às incertezas do setor, mencionada mais acima), o que limita a tomada de decisão por parte de investidores e dos próprios órgãos brasileiros. Vale destacar que as portarias do decreto foram publicadas, mas ainda falta a definição de aspectos e metodologias para a consolidação de um arcabouço regulatório que sustente a evolução do setor e traga segurança jurídica aos investidores. Portanto, observa-se que as discussões regulatórias específicas sobre o setor eólico *offshore* ainda são incipientes no Brasil.

Referências

- AECOM. Evaluating Benefits of Offshore Wind Energy Projects in NEPA. Disponível em: <<https://www.boem.gov/sites/default/files/environmental-stewardship/Environmental-Studies/Renewable-Energy/Final-Version-Offshore-Benefits-White-Paper.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2022, 2017.
- CASTRO, Nivalde; SIFFERT, Nelson; ALVES, André; LEAL, Luiza; BRAZ, Vinicius. Padrão de Financiamento no Setor Elétrico no período 2015/2020. Texto de Discussão do Setor Elétrico no. 104. GESEL/UFRJ. Rio de Janeiro, 2021.
- DALTON, G. J.; LEWIS, T. "Metrics for measuring job creation by renewable energy technologies, using Ireland as a case study.", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 4, p. 2123–2133, 2011.
- EPE. "Desafios da Transmissão no Longo Prazo", *Estudos de Longo Prazo*, p. 13, 2018.
- EPE. "Plano Nacional de Energia 2050 - Demanda de Energia", p. 1–232, 2020a.
- EPE. Roadmap Eólica Offshore Brasil, 2020b.
- EWEA. Wind at Work - Wind energy and job creation in the EU. Bruxelas. Disponível em: http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/Wind_at_work_FINAL.pdf., 2008.
- EY. Fuelling the Next Generation: A study of the UK upstream oil and gas workforce. Disponível em: <http://oilandgasuk.co.uk/wp-content/uploads/2015/10/EY-Report-Fuelling-the-nextgeneration-A-study-of-the-UK-upstream-oilgas-workforce-.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2022., 2015.
- GWEC. Global Offshore Wind Report 2020. Global Offshore Wind Report 2020. Disponível em: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2020/12/GWEC-Global-Offshore-Wind-Report-2020.pdf> ., 2020.
- GWEC. Wind power & green recovery: Wind can power 3.3 million new jobs over next five years. Disponível em: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/04/Jobs-Note-April-2021-2.pdf>., 2021.
- GWEC - GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. GWEC GLOBAL WIND REPORT. Disponível em: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2022/03/GWEC-GLOBAL-WIND-REPORT-2022.pdf>, 2022.
- IBAMA. Termo de Referência Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA - Tipologia: Complexos Eólicos Marítimos (Offshore). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama/Diretoria de Licenciamento Ambiental - Dilic. Novembro de 2020., 2020.
- IBAMA. Mapa em PDF- Processos de licenciamento ambiental de eólicas offshore abertos no Ibama até 7 de dezembro de 2022. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/2022-12-07_Usinas_eolicas_offshore_Ibama.pdf. Acesso em: 23 dez. 2022., 2022.
- IEA. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>, License: CC BY 4.0, 2021.
- IEA. Energy security Reliable, affordable access to all fuels and energy sources. Energy security Reliable: Affordable access to all fuels and energy sources. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/energy-security>. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/energy-security>, 2022a.
- IEA. Minerals used in clean energy technologies compared to other power generation sources, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/minerals-used-in-clean-energy-technologies-compared-to-other-power-generation-sources>. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/minerals-used-in-clean-energy-technologies-compared-to-other-power-generation-sources>, 2022b.
- IRENA. Renewable Energy Benefits: Leveraging Local Capacity for Offshore Wind, IRENA, Abu Dhabi. <https://www.irena.org/publications/2018/May/Leveraging-Local-Capacity-for-Offshore-Wind>, 2018.
- IRENA. Tracking the Impacts of Innovation: Offshore wind as a case study, 2021.
- IPCC. Foreword Technical and Preface, 2019.
- IPCC. "WG III contribution to the Sixth Assessment Report - Technical Summary", Sixth Assessment Report, v. 2050, 2021.
- IRENA, ILO. Renewable energy and jobs: Annual review 2022. Renewable energy and jobs: Annual review 2022. Geneva, Switzerland, Renewable energy and jobs: Annual review 2022, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi and International Labour Organization, 2022. Disponível em: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2022.pdf, 2022.
- IRENA, ILO. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021. Abu Dhabi, Geneva, International Renewable Energy Agency, International Labour Organization. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2021/Oct/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2021>, 2021.

- LAL, P. et al. The Potential of Offshore Wind Energy Tourism in Ocean City, New Jersey. Disponível em: <<https://www.montclair.edu/clean-energy-sustainability-analytics/wp-content/uploads/sites/151/2022/07/offshore-wind-energy-tourism-white-paper.pdf>>. Acesso em: 1 set. 2022, 2021.
- LANGE, M. et al. Analyzing Coastal and Marine Changes: Offshore Wind Farming as a Case Study. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292739822>, 2010.
- MARTINEZ, A.; IGLESIAS, G.. "Mapping of the levelised cost of energy for floating offshore wind in the European Atlantic". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 154, 2022.
- MME/EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2031. . Brasília, Brasil. Disponível em: https://storage.epbr.com.br/2022/04/PDE_2031_RevisaoPosCP_rv2.pdf., 2022.
- MORENO, B.; LÓPEZ, A. J. "The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain).", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 12, p. 732–751, 2008.
- MUSIAL, W. et al. Offshore Wind Market Report: 2021 Edition. 2021.
- MUTTITT, G., MARKOVA, A., MATTHEW, et al. Sea change: climate emergency, jobs and managing the phaseout of uk oil and gas extraction, platform, oil change international and friends of the earth scotland. Disponível em: <https://priceofoil.org/content/uploads/2019/05/SeaChange-final-r3.pdf>, 2019.
- NOGUEIRA, C. E. Análise da inserção da geração eólica offshore no Sistema Interligado Nacional. 102 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/ÉrikaNogueira-Mestrado.pdf>., 2020.
- RAMBØLL. Supply Chain and Port Infrastructure Assessment for Bottom-Fixed Offshore Wind in Ceará, Brazil. Report Draft to the Energy Cluster Denmark. 2022.
- RUTOVITZ, J.; ATHERTON, A. Energy Sector Jobs to 2030: A Global Analysis. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/PageFiles/3751/energy-sector-jobs-to-2030.pdf>, 2009.
- Shields, Matt, Ruth Marsh, Jeremy Stefek, Frank Oteri, Ross Gould, Noé Rouxel, Katherine Diaz, Javier Molinero, Abigail Moser, Courtney Malvik, and Sam Tirone. The Demand for a Domestic Offshore Wind Energy Supply Chain. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5000-81602. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/81602.pdf>. Acessado em 18/11/2022, 2022.
- SHORT, W., PACKKEY, D. J., HOLT, T. A manual for the economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies. Golden, CO, [s.n.], mar. 1995.
- SIFFERT, Nelson; ALONSO, Leonardo; CHAGAS, Eduardo; SZUSTER, Fernanda; SUSSEKIND, Claudia. O papel do BNDES na expansão do setor elétrico nacional e o mecanismo de project finance. BNDES Setorial, no. 29. Rio de Janeiro. Disponível em https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1843/2/BS%2029_O%20papel%20do%20BNDES_P.pdf, 2009.
- SIMAS, M., PACCA, S. "Assessing employment in renewable energy technologies: A case study for wind power in Brazil", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 31, p. 83–90. DOI: 10.1016/j.rser.2013.11.046. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.046>, 2014.
- TOURKOLIAS, C.; MIRASGEDIS, S. "Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in Greece", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 6, p. 2876–2886, 2011.
- UNEP/ILO/IOE/ITUC. Green Jobs: Towards Decent Work in a Sustainable, Low-Carbon World.. Disponível em: http://www.unep.org/labour_environment/PDFs/Greenjobs/UNEP-Green-Jobs-Report.pdf, 2008.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Offshore Wind Energy Strategies: Regional and national strategies to accelerate and maximize the effectiveness, reliability, and sustainability of U.S. offshore wind energy deployment and operation. Washington. Disponível em: <<https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-01/offshore-wind-energy-strategies-report-january-2022.pdf>>. Acesso em: 1 set. 2022, 2022.
- WEF. 49 Fostering Effective Energy Transition 2021. 2020 Edition, 2021.
- WEI, M.; PATADIA, S.; KAMMEN, D. M. "Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in theUS?", *Energy Policy*, v. 38, n. 2, p. 919–931, 2010.
- WEVER, L.; KRAUSE, G.; BUCK, B. H. 2015. Lessons from stakeholder dialogues on marine aquaculture in offshore wind farms: Perceived potentials, constraints and research gaps. *Marine Policy*, v. 51, p. 251–259. 2015.