

SINERGIA DOS SETORES DE PETRÓLEO E EÓLICO OFFSHORE PARA DESENVOLVIMENTO E DESCARBONIZAÇÃO DA ECONOMIA AZUL NO BRASIL

Denise de Almeida Pires do Rosário¹

Diogo Viana Grion Velasco²

Marcelo Simas³

Samuel dos Santos Comprido⁴

RESUMO

O presente artigo avalia o papel da energia offshore no Brasil, considerando a significativa participação do setor de óleo e gás na economia brasileira e o elevado potencial eólico, identificando os recursos minerais críticos, os desafios, potencialidades e sinergia entre esses setores, no contexto da transição energética. Como resultados, destaca-se a importância do Brasil fazer investimentos na utilização de terras raras para fabricação de ímãs para energia eólica offshore em conjunto com pesquisa de materiais substitutos, bem como em questões referentes à reutilização destes recursos minerais. Além disso, em relação ao desenvolvimento da cadeia local de fornecedores para potencializar a criação de valor doméstico, sugere-se o aprofundamento da análise das sinergias com o setor de O&G e de eólica onshore, por meio do mapeamento da cadeia de fornecedores, de sua localização geográfica e da sua real competitividade em um contexto global.

Palavras-Chave: Eólica *Offshore*. Transição Energética. Óleo e Gás. Oceano. Minerais Críticos.

¹ Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Estudos Marítimos (PPGEM) da Marinha do Brasil, pesquisadora do Grupo Economia do Mar, Analista Ambiental na Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: denise.a.rosario@gmail.com / ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5939-0360>

² Doutorando em Estudos Marítimos pela Escola de Guerra Naval (PPGEM/EGN), Mestre em Análise e Gestão de Políticas Internacionais e formado em Relações Internacionais pela PUC-Rio. Consultor no projeto Visualizando e aprimorando cadeias de valor na Amazônia da UFAM e da Universidade de Leeds, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: dvgrion@gmail.com / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2965-1953>

³ Professor MSc. do Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: mmsimas@geologia.ufrj.br / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0359-5295>

⁴ Mestrando em Políticas Públicas (4P-UFPR), Paraná, PR, Brasil. E-mail: compridosamuel@gmail.com / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0137-8756>

INTRODUÇÃO

A relevância do oceano é enfatizada nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, que contemplam um objetivo específico para a sustentabilidade marinha, o ODS 14, Vida na Água, o qual é transversal a praticamente todos os demais (TURRA, 2020). Merecem destaque as interfaces com o ODS 7, Energia Limpa e Acessível, e o ODS 13, Ação contra a Mudança Global do Clima, uma vez que a energia offshore é um componente crítico para a transição energética. Além disso, nota-se que a importância do oceano no cenário internacional aumentou com a Década da Ciência Oceânica (2021-2030), que é coordenada pela Comissão Oceanográfica Internacional da UNESCO.

Sendo o Brasil um país continental, com larga extensão territorial marítima, áreas marinhas protegidas, diversidade de espécies e de ecossistemas costeiros e marinhos (PRATES; GONÇALVES; ROSA, 2012) e com uma posição de relevância internacional na exploração de petróleo e minerais, julga-se que aqui mantiveram-se relações históricas, políticas e econômicas devido a importância do mar (BEIRÃO *et al.*; 2020).

A Economia do Mar, também denominada de Economia Azul (*Blue Economy*), tem como objetivo estudar o uso e a riqueza dos recursos naturais existentes nos mares e oceanos, visando ao desenvolvimento sustentável, considerando a diversidade dos setores e atores envolvidos nas atividades diretamente relacionadas ao uso dos mares (SANTOS, 2019). Nos setores e atividades compreendidos pela economia do mar, encontram-se fontes vitais de alimentos, energia, minerais, saúde, lazer e transporte. A exploração econômica tradicional do mar envolve o transporte marítimo, a pesca, a recreação e o turismo e, há cerca de 50 anos, a produção *offshore* de petróleo e gás. Estas atividades compartilham o espaço marinho com atividades emergentes, muito promissoras, como a geração de eletricidade, a aquicultura, a mineração dos fundos marinhos, a biotecnologia marinha e a vigilância marítima (IEA, 2018; OECD, 2016).

No âmbito da Economia do Mar, toda a indústria marítima é permeada pela produção de energia, seja como fornecedora, seja como usuária (OECD, 2016). A exploração econômica da energia produzida nos oceanos, ou energia *offshore*, compreende os recursos energéticos oriundos do subsolo marinho (petróleo e gás), a energia renovável do oceano (marés, ondas, correntes, gradiente térmico e gradiente salino), e a energia gerada

na superfície dos oceanos (eólica e solar *offshore*). Além disso, também se destaca que investimentos em energia produzida nos oceanos exigem uma utilização maior de determinados recursos minerais, principalmente quando grandes estruturas precisam ser construídas, como por exemplo as turbinas eólicas *offshore*, que cada vez mais se consolidam em paisagens marítimas e demandam recursos minerais críticos como o cobre, o zinco e as terras raras.

A crescente capacidade de geração de energia elétrica no mar, especialmente nos parques eólicos offshore, também pode potencializar o desenvolvimento de novos produtos, como a conversão de energia elétrica em combustíveis (os chamados *electrofuels* - ou *e-fuels* - hidrogênio, gás natural sintético, metanol) por meio de processos *power-to-gas* ou *power-to-liquid*, de modo integrado com o setor de óleo e gás (O&G), aproveitando a infraestrutura desse setor para a conversão e transporte/escoamento da produção em áreas remotas (Crivellari & Cozzani, 2019; Crivellari et al., 2019).

A energia *offshore* é um componente importante do suprimento energético global, responsável pelo fornecimento de mais de um quarto do petróleo e do gás natural, principalmente no Oriente Médio, Brasil, Mar do Norte, Golfo do México e Mar Cáspio, e a energia eólica *offshore* é uma força crescente, a despeito de contribuir, em 2017, com apenas 0,2% da geração global de eletricidade, especialmente na região do Mar do Norte, na Europa (IEA, 2018). A Agência Internacional de Energia (IEA, 2018), entretanto, projeta uma participação de 2 a 4% da energia eólica offshore na matriz elétrica global em 2040, que se consolidará como a principal fonte de energia renovável no ambiente marinho, com potencial de contribuir para a mitigação da mudança climática global (IPCC, 2012).

O Brasil encontra-se entre os maiores produtores de O&G do mundo, com a produção de 97% do petróleo e 82% do gás natural ocorrendo no ambiente *offshore* (ANP, 2021). Em relação às energias renováveis *offshore*, o Brasil possui um elevado potencial eólico, estimado em cerca de 700 GW na região costeira com lâmina de água inferior a 50m (EPE, 2020b), e importantes recursos de energia renovável do oceano, com potencial teórico de 91,8 GW para energia das ondas, em uma faixa com largura média de 185 Km ao longo de toda costa, e estimativas promissoras também para energia das correntes e de gradiente térmico (SHADMAN et al., 2019).

Enquanto a indústria de óleo e gás *offshore* brasileira é madura

e consolidada, a indústria de energia eólica marítima está nos estágios iniciais de desenvolvimento, com os primeiros projetos em processo de licenciamento ambiental pelo IBAMA (MÜLLER, 2019). Contudo, existe uma tendência global de ampliação de investimentos em energia eólica *offshore*, com projeções que apontam para um negócio de US\$ 1 trilhão a partir da década de 2040 (IEA, 2019). Este cenário também aumenta a demanda por recursos minerais que o Brasil dispõe e que são necessários para a construção de grandes turbinas eólicas offshore, bem como naqueles que o país não possui em quantidade e que precisam ser importados.

Neste trabalho, pretendemos avaliar o papel da energia *offshore* para a promoção do desenvolvimento sustentável do Brasil, no contexto da transição energética, identificando os desafios, potencialidades e sinergia dos setores de óleo e gás e eólico *offshore*. A metodologia utilizada foi a revisão bibliográfica e pesquisa crítica na internet. A análise dos dados foi feita de forma exploratória e descritiva.

Em consonância com os desafios da Década das Nações Unidas da Ciência Oceânica (2021-2030) para o Desenvolvimento Sustentável, este trabalho tem o objetivo de contribuir com a ampliação do conhecimento para promoção de um oceano produtivo e explorado de modo sustentável (UNESCO, 2019).

ENERGIA OFFSHORE NO CONTEXTO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E O CENÁRIO BRASILEIRO

A transição energética ocorre em um cenário de aumento absoluto da demanda global de energia, em função do aumento da população e do PIB, porém com redução progressiva da participação dos combustíveis fósseis na matriz energética e aumento crescente de fontes renováveis, da eficiência energética e da eletrificação (GLOBAL COMMISSION ON THE GEOPOLITICS OF ENERGY TRANSFORMATION, 2019).

Os principais vetores dessa transição são a redução dos custos das tecnologias de geração renovável e armazenamento de energia, a definição de metas de descarbonização, associadas ao aumento de crédito e outros incentivos dos governos e do sistema financeiro global para mitigação de poluição e das mudanças climáticas por meio do fortalecimento das energias renováveis (GLOBAL COMMISSION ON THE GEOPOLITICS OF ENERGY TRANSFORMATION, 2019).

As principais características ligadas à eletrificação costumam

ser sintetizadas nos chamados 3Ds: a digitalização provocada por tecnologias disruptivas da 4ª Revolução Industrial, a descarbonização da matriz energética pela substituição de fontes fósseis por outras menos poluidoras e a descentralização do mercado de energia (Instituto E+, 2020). No caso brasileiro, para enfrentar o desafio ímpar que é a necessidade de “administração da abundância” tanto de fontes tanto fósseis como renováveis, conforme PNE 2050 (EPE, 2020a), a fim de tornar o país competitivo, inclusivo e eficiente até 2050, seria necessário incluir outros dois Ds: a democratização do acesso da sociedade à energia mais barata e de qualidade, com novas oportunidades econômicas e redução das desigualdades sociais, e o desenho de mercado para assegurar negociações eficientes com integração das novas tecnologias.

Com base em BP (2020), 84% da demanda de energia primária do mundo vem de fontes fósseis (O&G e carvão) atualmente. Embora em termos absolutos estas fontes venham crescendo, em termos relativos sua participação conjunta vem caindo nos últimos 25 anos (de 88%, em 1993, para 84%, em 2019), em contrapartida ao aumento das renováveis (hídrica e renováveis, de 6%, em 1993, para 12%, em 2019).

A transição energética se processará de forma assimétrica no mundo, dependendo do estágio de cada região dentro de um país, dos países e entre eles, com modelos de coexistência entre várias fontes enquanto forem viáveis economicamente. Espera-se que um mix de energias fósseis e renováveis predomine até 2050, porém com diferentes projeções sobre o Pico da demanda do Petróleo, variando de 2025, conforme BP (2020) e IRENA, passando por 2030 no modelo da IEA, que representa as *majors* e os países desenvolvidos, e chegando a 2040 na previsão da OPEP, que representa os Petroestados dependentes da exportação de petróleo e que buscam maximizar sua utilização. Os modelos também preveem a queda da demanda de derivados em todos os cenários, variando o *timing* considerado por cada entidade para que a ampliação da frota de veículos elétricos aumente a demanda global por eletricidade, outra tendência na transição energética. Os cenários também consideram aumento da utilização de derivados pela petroquímica, substituindo o uso no setor de transportes, porém há limitações para o uso não energético do petróleo e os resíduos plásticos gerados a partir das rotas petroquímicas podem agravar a poluição no oceano, colocando em xeque a sustentabilidade desta aplicação.

A redução de financiamento para as fontes fósseis é outra tendência

face à disseminação cada vez maior dos princípios ESG (*Environment, Social and Governace*) por pressões do mercado financeiro na direção de práticas cada vez mais sustentáveis nas estratégias das grandes corporações, devido ao aumento de risco nestes investimentos. Além disso, a IEA (2021) projeta para 2021 um reposicionamento relevante da própria indústria do petróleo, com um salto do investimento médio anual inferior a 1% do total, nos últimos anos, para mais de 4% (mais de 4 bilhões USD). A Equinor, por exemplo, anunciou em junho de 2021 a meta de direcionar mais de 50% do investimento bruto anual em renováveis e soluções de baixo carbono em 20305.

As importantes reservas e produção de O&G brasileiras encontram-se no ambiente marinho. A tendência global de redução de acesso a estes recursos no cenário de transição energética deve fomentar uma estratégia nacional de médio prazo de utilização dos recursos fósseis como impulsores do desenvolvimento de novas fontes renováveis, tanto por meio de investimentos, como pela potencialização da sinergia entre os setores, mantendo uma indústria marítima robusta no setor de energia, apta a gerar desenvolvimento socioeconômico, tecnológico e empregos.

Atualmente, a energia eólica é a principal fonte renovável *offshore*. A capacidade instalada global em operação foi expandida de 3 GW, em 2010, para 23GW, no final de 2018, com incremento de cerca de 30% ao ano desde 2010 (IEA, 2019). Essa capacidade instalada está associada a mais de 5.500 turbinas *offshore*, conectadas à rede elétrica, em 17 países (IEA, 2019). Em 2020, a capacidade instalada global atingiu o marco de 34,4 GW (IRENA, 2021).

O crescimento da indústria eólica *offshore* vem sendo fomentado nos países europeus banhados pelo Mar do Norte, onde a elevada qualidade dos recursos eólicos e a lâmina d'água relativamente baixa, ofereceu condições bastante favoráveis para o desenvolvimento tecnológico e implantação de projetos comerciais (IEA, 2019). Deste modo, o aproveitamento deste recurso energético autóctone e renovável, nas proximidades de um grande mercado consumidor e importador de energia, resultou na liderança europeia neste setor. Atualmente, Reino Unido, Alemanha, Países Baixos, Bélgica e Dinamarca respondem por mais de 70% da capacidade instalada mundial (IRENA, 2021).

⁵ Disponível em: <https://www.equinor.com/en/news/20210615-cmd-2021.html>. Acesso em 24 de junho de 2021.

Apesar do protagonismo europeu, a China está avançando rapidamente na geração de energia eólica *offshore*, em alinhamento com a meta de aumento de 5 GW para esta fonte no período de 2016-2020, definida no seu 13º Plano Quinquenal (GOSENS *et al.*, 2017). As metas por fonte ainda não foram apresentadas para o 14º Plano Quinquenal da China, referente ao período 2021-2025, mas foi definido o aumento de 20% para 25% na participação de renováveis na matriz elétrica, com protagonismo para energia eólica e solar (GWEC, 2021). Em 2018, pela primeira vez, a China foi o país com o maior incremento anual na capacidade instalada, chegando em 2020 27,4% da capacidade instalada global (8.9 GW; Quadro 1), consolidando o seu papel entre os líderes mundiais no setor (IEA, 2019).

A participação global da energia eólica *offshore* na geração de eletricidade é de apenas 0,3%, porém em alguns países esta contribuição é expressiva, como no caso da Dinamarca (15%), Reino Unido (8%), Bélgica, Alemanha e Países Baixos (entre 5 e 3%). O portfólio atual do setor compreende 150 novos projetos, em 19 países, com a previsão de conclusão de mais de 100 projetos até 2021, o que deve acelerar a taxa de incremento anual da capacidade instalada, bem como o estabelecimento desta indústria em novos mercados nos próximos cinco anos (IEA, 2019). Projetos em larga escala estão planejados na Austrália, República da China (Taiwan), Índia, Japão, Coreia do Sul, Nova Zelândia, Turquia e Vietnã, enquanto projetos a longo prazo estão previstos nos EUA.

O mercado de energia eólica *offshore* atualmente é um negócio da ordem de bilhões de dólares, com cadeias de suprimento bem estruturadas nos países líderes, que atuam em todo o ciclo de vida da atividade, e movimentando, em 2018, quase 20 bilhões de dólares, enquanto em 2010 os investimentos eram menores que 8 bilhões de dólares ao ano (IEA, 2019).

As empresas que lideram o mercado de geração de energia offshore são a dinamarquesa Orsted, a alemã RWE e observa-se um crescente compartilhamento do mercado por empresas chinesas, em que as estatais China Longyuan, em terceiro lugar, e *China Three Gorges*, já figuram entre as maiores do mundo neste setor. Além das empresas geradoras e distribuidoras de energia elétrica, empresas do setor de óleo e gás, como a Equinor e a própria Orsted, que redirecionou sua estratégia e não atua mais no setor, e investidores privados e públicos, como *Macquarie Capital*, *Global Infrastructure Partners*, *Siemens Financial Services* e *Public Pension* (Dinamarca), possuem ativos em diversos estágios de desenvolvimento e

são atores importantes neste setor (IEA, 2019).

O desenvolvimento do setor eólico *offshore* no Brasil ainda é incipiente, mas o país possui uma indústria *offshore* sólida associada à produção de óleo e gás, bem como a competência tecnológica e operacional da Petrobras para realização de atividades em águas rasas, profundas e ultraprofundas, que podem impulsionar o aproveitamento do potencial eólico.

O Brasil também pode beneficiar-se desse potencial também no contexto geopolítico, uma vez que as energias renováveis constituem um instrumento das políticas climáticas decorrentes do Acordo de Paris e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 aproximam os temas de energia, clima e meio ambiente (SANTOS, 2020).

DESAFIOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA ENERGIA OFFSHORE BRASILEIRA NO CONTEXTO DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

O Brasil já possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, composta em mais de 48% por fontes renováveis (EPE, 2021). Comparado ao mundo, o país vivencia o chamado “efeito Orloff”, ou seja, é hoje o que os outros querem ser daqui a 20 a 30 anos. De acordo com o Balanço Nacional de Energia (EPE, 2021), o Brasil tem 3,5 vezes mais renováveis que a média mundial e 4,4 vezes que os países da OCDE.

A fim de mensurarmos o tamanho dos dois principais setores mencionados no trabalho, O&G e mineração, ambos de perfil exportador, vejamos sua relevância para a economia brasileira. Segundo Moreira e Tavares (2016), o Setor de O&G no Brasil, que ainda possui a característica de verticalização do agente dominante (PETROBRAS) e, a partir do início da década passada, também se tornou exportador líquido de petróleo. Considerando todos os aspectos que afetaram a indústria no período (aumento das demandas de China e Índia, *boom* das commodities, Pré-sal, Crise de 2008, queda de preços em 2014, OPEP+, entre outros), sua participação relativa no PIB nacional variou entre 3,5% a 5,8% no período de 2000 a 2015, incluindo as atividades de *upstream* (extração de petróleo e gás) e *downstream* (incluindo refino, petroquímicos, comércio de derivados, transporte e distribuição).

Em relação à mineração, com base no IPEA, a participação do Setor Mineral no PIB brasileiro compreendendo o complexo econômico que gira

em torno da cadeia produtiva da mineração, englobando as atividades de extração mineral e o conjunto de atividades de transformação industrial diretamente conectadas à extração, com base no modelo proposto para 2019 e 2020, a estimativa da participação do Setor Mineral brasileiro no PIB foi de 3,190% e 3,182% respectivamente.

Somados, os dois setores abrangem mais de 7% da economia brasileira e colocam-se ao lado do agronegócio como as atividades exportadoras mais relevantes para economia brasileira (*commodities*).

A produção de petróleo no mundo é predominantemente *onshore*, enquanto no Brasil o segmento de O&G é majoritariamente *offshore*. Em 2019, o país foi o 10º produtor mundial de petróleo, respondendo por 2,877 MM bpd (3% do total), e o 31º de gás natural (1% do total).

Segundo ANP (2020), em 2020 o Brasil produziu 2,940 MM bpd de petróleo sendo cerca de 96% *offshore* e 127 MM m3/dia de gás natural dos quais 81% *offshore*. Em termos de fronteira exploratória, entre 2005-2010 mais de 50% das descobertas do mundo foram em águas profundas e somente o Brasil respondeu por 63% destas descobertas no período, a maior parte no Pré-sal.

Com base nestes indicadores, observamos que o Brasil tem recursos energéticos abundantes e um posicionamento estratégico importante na geração de energia renovável em terra e de O&G no mar. Mas, além disso, de acordo com o Plano Nacional de Energia 2050 (EPE, 2020a), a disponibilidade de recursos (280 bilhões de tep) supera largamente a demanda prevista (15 bilhões de tep) até 2050, com a maior parte dos recursos disponíveis presentes no ambiente marinho, principalmente energia fotovoltaica *offshore* (183,6 bilhões de tep) e energia eólica *offshore* (45,9 bilhões de tep).

O elevado potencial eólico marítimo brasileiro, estimado em cerca de 700 GW na faixa costeira com lâmina de água inferior a 50m (EPE, 2020b), posiciona o país como detentor de um dos melhores recursos eólicos do mundo.

Os principais desafios identificados pela EPE (2020) para o aproveitamento do potencial eólico marinho brasileiro relacionam-se a aspectos ambientais e risco de conflitos de uso do ambiente marinho, à segurança da navegação, ao aperfeiçoamento do arcabouço jurídico-regulatório para regular o uso do espaço marítimo destinado à exploração dos recursos eólicos marinhos, à adequação da infraestrutura portuária, à disponibilidade de navios e outras embarcações para instalação e

manutenção dos parques eólicos, à adaptação da indústria eólica nacional, a reforços na infraestrutura de transmissão para escoamento da geração elétrica *offshore*, à capacitação de profissionais para atuação no setor e ao aprofundamento dos estudos técnicos para redução de incertezas quanto ao potencial eólica em escala que permita maior acurácia. Além destes desafios, são previstos custos mais elevados nos primeiros projetos, especialmente em comparação com outras fontes renováveis já estabelecidas no país, como a eólica *onshore* e a solar, sendo necessária a avaliação da viabilidade de políticas específicas para estimular os primeiros projetos e gerar uma curva de aprendizagem e desenvolvimento inicial do setor que resulte na redução dos custos.

As principais ações para redução de riscos socioambientais e conflitos de uso são o aprimoramento das políticas públicas, como a realização do Planejamento Espacial Marinho (PEM; Mont'Alverne & Melo Cavalcante, 2018), submetido à Avaliação Ambiental Estratégica (AAE; EPE, 2020). Atualmente, está em tramitação na Câmara dos Deputados o substitutivo do PL nº 6.969/2013, que estabelece o PEM nacional e regional e a avaliação ambiental estratégica para os planos setoriais com impacto sobre o Bioma Marinho e ecossistemas associados como instrumentos da Política Nacional para a Conservação e o Uso Sustentável do Bioma Marinho Brasileiro (PNCMar). No âmbito da SECIRM (Secretaria da Comissão Interministerial de Recursos do Mar), a Portaria nº 236/MB, publicada em 23 de agosto de 2019, instituiu o Grupo Técnico do Planejamento Espacial Marinho (GT-PEM), em caráter temporário, para o desenvolvimento das Ações previstas nos Planos e Programas em vigor na CIRM, sinalizando a importância conferida a este tema.

Quanto à definição de critérios para o licenciamento ambiental na escala dos projetos individuais, o IBAMA publicou, em setembro de 2020, o *Termo de Referência para realização de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para Complexos Eólicos Offshore* (IBAMA, 2020), após a realização de seminário técnico internacional para a discussão dos principais impactos e medidas de mitigação para esta atividade e consulta pública do documento.

Em janeiro de 2022, 36 empreendimentos de diferente portes e características possuíam processos de licenciamento ambiental iniciado no IBAMA (IBAMA, 2022), totalizando 80,4 GW e 5.464 turbinas eólicas, todos em lâmina d'água inferior a 50m, com destaque para os três projetos da Força Eólica do Brasil (Neoenergia; 9 GW) e o empreendimento da Equinor,

com dois parques eólicos (3,8 GW). Em 2021, foram abertos processos de licenciamento de cinco empreendimentos da Ventos do Atlântico (15,2 GW), quatro da Bosford Participações (7,35 GW) e seis outros projetos, configurando um cenário dinâmico, com busca de pioneirismo no acesso a áreas com recursos eólicas de boa qualidade e proximidade do mercado consumidor, enquanto não há uma regulação definida sobre o modelo de outorga.

Desses empreendimentos, onze apresentam polígonos parcialmente sobrepostos ou muito próximos a projetos com licenciamento ambiental protocolados anteriormente no IBAMA, evidenciando um potencial conflito relacionado a lacunas regulatórias.

Em resposta a este cenário, em janeiro de 2022 foi publicado o Decreto nº 10.946/2022, que dispõe sobre a cessão de uso de área para aproveitamento de recursos naturais para a geração de energia elétrica por empreendimentos *offshore* nas águas interiores de domínio da União, mar territorial, na Zona Econômica Exclusiva e na plataforma continental. O Decreto prevê os modelos de cessão planejada, que compreende a oferta de prismas delimitados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), mediante licitação, e de cessão independente, que cede prismas requeridos por iniciativa dos interessados. O Decreto destaca que a cessão planejada deve ser feita em conformidade com o planejamento espacial conduzido pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, quando houver. O Decreto entra em vigor em 15 de junho de 2022 e depende de normas complementares que deverão ser editadas, neste prazo, pelo MME.

Além, do decreto, outras iniciativas encontram-se em discussão no Congresso Nacional para regulação de outorgas para a geração de energia eólica *offshore*, sendo a mais antiga o Projeto de Lei 11247/2018 (originário do PLS 484/2017), de autoria do Senador Fernando Collor de Mello, que estabelece o marco para a concessão de áreas via leilões organizados pela União. Outra iniciativa de destaque é o Projeto de Lei 576/2021 apresentado recentemente, de autoria do Senador Jean Paul Prates, que possibilita duas alternativas para a concessão de áreas para o desenvolvimento: a outorga independente, com custos e riscos assumidos pelo investidor, concedida por meio chamada pública para identificar eventuais concorrentes para a área e na qual é avaliada a viabilidade dos projetos apresentados como critério de concessão da outorga; na outorga planejada, a União realiza os estudos, delimita as áreas e realiza o leilão, que será vencido pelo empreendedor que pagar o maior bônus de assinatura. O PL 576/2021 contempla o rateio

da receita com o bônus de assinatura entre união estados e municípios, mas não aborda a comercialização da energia, um aspecto fundamental para estimular os investidores.

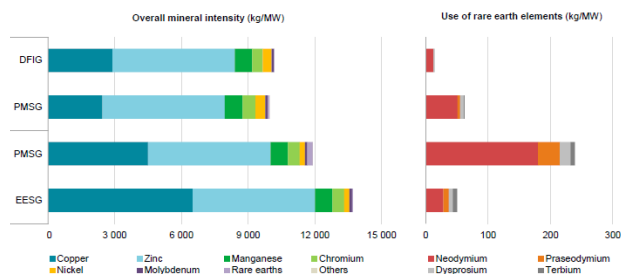
Em relação aos investimentos em infraestrutura, reforço da rede de transmissão elétrica, adaptação da indústria eólica *onshore* nacional e capacitação profissional, EPE (2020) sugere ações de diagnóstico e aprofundamento de estudos para subsidiar o planejamento.

Um outro aspecto que merece ser avaliado é a disponibilidade de insumos minerais críticos para a energia eólica *offshore* brasileira no contexto de transição energética destacam-se três aspectos: (I) Dependência da China devido a utilização das terras raras para fabricação de eólicas *offshore* devido ao uso da tecnologia de *Direct Drive*; (II) necessidade de investimentos em economia circular e reciclagem; e (III) necessidade de formulação de política públicas para minerais críticos. Tais desafios reforçam a importância do investimento em pesquisa, desenvolvimento e tecnologia no Brasil para que o país alcance um desenvolvimento sustentável e seguro.

No que diz respeito à utilização de terras raras, é importante considerar que as maiores reservas conhecidas e quase todo processamento desses materiais ocorrem na China. Com o aperfeiçoamento das turbinas eólicas surgiu a tecnologia *Direct Drive* que, de acordo com a Universidade de Tecnologia de Sydney (2016), é responsável por conceder um design mais simples e uma menor taxa de manutenção nas turbinas. Um fator que contribui para isso é que, de acordo com a Universidade de Tecnologia de Sydney (2016) as turbinas com *Direct Drive* não precisam do intitulado *Gearbox* (caixa multiplicadora), que é um dos equipamentos em grandes turbinas eólicas responsáveis por ajudar na velocidade e no rolamento das turbinas e que mais exigem manutenção. Destaca-se ainda que, de acordo com o Portal Energia (2020), muitas vezes falhas ocorrem envolvendo esse equipamento por uma má compreensão das cargas e problemas nos rolamentos das turbinas, principalmente em turbinas de grande porte.

Diante deste cenário destaca-se que foi feita uma estimativa pela Universidade de Tecnologia de Sydney (2016) que os 10% do total das turbinas eólicas com *Direct Drive* existentes no mundo em 2010 vão saltar para um percentual entre 40% e 50% em 2050, no contexto da transição energética, tendo em vista a agenda de mudanças climáticas das Nações Unidas. Na Figura 1, é possível observar o impacto das turbinas que usam o *Direct Drive* nos recursos minerais.

Figura 1: Minerais para turbinas eólicas (Fonte: IEA, 2021).



De acordo com a IEA (2021b) o uso intensivo de minerais não depende apenas do tamanho da turbina, mas também do tipo e conforme pode ser observado, as turbinas PMSG de Direct Drive, são as mais utilizadas no setor eólica *offshore* representando cerca de 60% do mercado mundial, são as que mais demandam recursos minerais terras raras (IEA, 2021b). Nesse sentido, é recomendável que os planos de desenvolvimento para o setor de eólica *offshore* no Brasil considerem o fato da concentração do processamento de terras raras estar localizado na China.

Além do desafio para encontrar substitutos para as terras raras no desenvolvimento de turbinas com a tecnologia Direct Drive também existe outro desafio que envolve as terras raras, que são os níveis de reciclagem dos minerais utilizados para a eólica *offshore*. De acordo com dados da IEA (2021b) o níquel apresenta um nível de reciclagem de 60%, enquanto cobre, cromo, zinco e cobalto apresentam um percentual de reciclagem dentre 45% a 35%, no entanto as terras raras têm um percentual abaixo de 1%.

A importância no investimento na economia circular e na reciclagem é muito alta tendo em vista o contexto supracitado e já mostra resultados em âmbitos regionais, de acordo com a IEA (2021b) quase que 50% do total da produção de metais na União Europeia é suprido utilizando reciclagem, por outro lado no resto do mundo esse percentual é de 18%. Além disso, também se destaca que o investimento na indústria de reciclagem dos minerais pode promover maior competitividade ao setor mineral.

O Painel de Alto Nível para Uma Economia Sustentável dos Oceanos, composto por 14 líderes mundiais de países diversos, também endossa a necessidade do investimento em economia circular e reciclagem

de recursos minerais, pois com tais medidas ainda poderia diminuir a pressão pela mineração nos oceanos. Nesse sentido, também se destaca que as projeções feitas pela Universidade de Tecnologia de Sydney (2016) estimam que, mesmo em um cenário com 100% de energia oriunda de fontes renováveis, não seria preciso promover a mineração nos oceanos caso se realizem investimentos estruturantes para reciclagem.

O Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Minerais críticos 2018-2022 abarca medidas de investimento para fabricação de imãs com terras raras, mas não contempla a pesquisa e desenvolvimento de materiais substitutos, o que seria importante tendo em vista a utilização na energia eólica *offshore*. Desse modo, destacamos que os desafios de desenvolvimento do setor eólico *offshore* requerem ações e políticas integradas também em relação aos insumos minerais críticos.

POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DO POTENCIAL ENERGÉTICO OFFSHORE DO BRASIL PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O aproveitamento do elevado potencial eólico brasileiro pode resultar em benefícios econômicos (PIB), geração de empregos, aumento da segurança energética, redução da poluição atmosférica e dos riscos associados a mudanças climáticas, contribuindo para o bem-estar da sociedade (IRENA, 2017).

O fortalecimento da cadeia de suprimentos nacional é uma das principais estratégias para a captura destes benefícios, por meio da ampliação dos investimentos, desenvolvimento industrial, tecnológico e no setor de serviços, geração de empregos locais e ampliação da capacidade de atuação na cadeia global do setor. No caso do Brasil, a indústria de petróleo *offshore* e sua cadeia de fornecedores podem impulsionar o desenvolvimento do setor eólico marítimo no país. Os setores marítimos de energia eólica e O&G compartilham tanto tecnologias, como elementos de suas respectivas cadeias de suprimentos, com possibilidade de explorar ligações adicionais (IEA, 2019). A IEA (2018b) estima que cerca de 40% do custo total da vida útil de um projeto eólico *offshore* padrão tenha sinergias significativas com o setor de O&G *offshore*, o que pode significar uma oportunidade de mercado entre US\$ 400 bilhões e US\$ 550 bilhões na Europa e na China, a depender da evolução do setor. As principais possibilidades de compartilhamento de fornecedores entre os dois setores

identificadas pela IEA (2018b) foram (i) a construção das fundações e de estruturas submarinas, a experiência em logística e a existência de uma frota de embarcações de apoio para as atividades de instalação e operação dos parques eólicos; (ii) a expertise no desenvolvimento de plataformas flutuantes para a indústria eólica *offshore*; e (iii) o conhecimento na instalação e manutenção de infraestrutura submarina, que favorece a oferta de serviços relacionados às subestações e aos cabos de energia.

Em estudo realizado pela Scottish Enterprise e BVG Associates (2018), foi realizada uma avaliação detalhada das oportunidades existentes para o setor de O&G em relação à energia eólica *offshore* na Escócia, considerando as mesmas etapas e atividades descritas neste trabalho. As maiores oportunidades identificadas relacionam-se às atividades de desenvolvimento e gerenciamento do projeto, lançamento de cabos, estruturas das subestações, fundações das turbinas, siderurgia, instalações de cabos, fornecimento de equipamentos e serviços de suportes para instalações e serviços de manutenção e inspeção.

O suporte logístico para o setor de óleo e gás no Brasil, citado acima, conta, atualmente, com cerca de 372 embarcações, sendo 328 de bandeira brasileira e 39 de bandeira estrangeira, responsáveis pelo transporte de suprimentos e de pessoal de apoio e tripulações, suporte a operações de mergulho, lançamento e operações de *Remote Operate Vehicle* - ROVs (Associação Brasileira das Empresas de Apoio Marítimo, 2020), para citar atividades comuns ao setor de óleo e gás e eólica *offshore*.

As turbinas são o componente de maior custo, possuem poucos fabricantes, agregam muita tecnologia e possuem uma logística bastante complexa para o transporte e instalação. Ainda que existam limitações para a geração das grandes turbinas *offshore* pelos fabricantes do setor eólico *onshore*, e que possa ter ocorrido uma retração dos fornecedores de fundações para plataformas de O&G devido à migração dos investimentos mais recentes para plataformas flutuantes em águas profundas e ultraprofundas, a existência prévia destas atividades reflete-se em fornecedores de componentes, profissionais qualificados, entre outros fatores que podem facilitar a instalação da indústria eólica *offshore* no Brasil.

Na etapa de operação e manutenção, custos significativos são associados ao suporte logístico marítimo e aéreo, inspeções de segurança, além do reparo e substituição de peças e equipamentos (BVG Associates, 2019). Essas atividades também podem se beneficiar das sinergias com a

cadeia de suprimentos da indústria de O&G *offshore* e da eólica *onshore*.

A indústria de O&G também possui ferramentas, profissionais e fornecedores qualificados para os estudos de caracterização ambiental, estudos de impacto ambiental e levantamento de dados meteorológicos, os quais são críticos para o licenciamento do projeto e para suporte à tomada de decisão em relação à escolha locacional dos empreendimentos eólicos *offshore*. A fase de Operação e Manutenção dos parques eólicos compreende uma geração relevante de emprego para técnicos(as), tripulação de embarcações, funções administrativas e de contabilidade, engenharia, serviços de limpeza e segurança, assessoramento jurídico e regulatório, operação de guindaste, pilotos(s) de helicóptero, profissionais nas áreas de segurança, saúde, qualidade e meio ambiente. Os empregos na fase de O&M envolvem, na sua maior parte, a contratação de trabalhadores(as) locais, configurando um benefício socioeconômico direto do setor. A fase de descomissionamento também gera uma demanda de trabalho importante, porém ocorre no final do ciclo de vida de um parque eólico, cerca de 25 anos após a sua implantação.

Além da potencial contribuição para o desenvolvimento do setor eólico *offshore*, a indústria de O&G pode beneficiar-se da integração com esse setor IEA (2018b). O compartilhamento de fornecedores, o fornecimento de eletricidade de baixo carbono para as plataformas, substituindo turbinas a gás ou motores a diesel, e o aproveitamento da infraestrutura de O&G (dutos e compressores nas plataformas de petróleo e gás) para armazenamento de CO₂ exemplificam algumas possibilidades da articulação entre esses segmentos de energia *offshore*. Outra interessante oportunidade de integração é o fornecimento de energia autônoma para sistemas de injeção de água para recuperação de óleo e outras atividades, como o projeto “WIN WIN”(Wind-powered Water Injection Project), da DNV-GL (2000), ou o estudo de caso realizado por Shadman et al. (2020) para um campo de petróleo no Brasil.

Em consonância com o potencial de oportunidades de desenvolvimento da energia eólica *offshore* no Brasil também é preciso analisar se o país apresenta recursos minerais para conseguir promover o investimento nessa modalidade de energia renovável. Nesse sentido destaca-se que alguns recursos minerais utilizados para a implementação da energia eólica *offshore* são classificados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) (2011) como minerais estratégicos, também chamados de minerais críticos.

A classificação dos recursos minerais críticos varia de acordo com as necessidades e com as características domésticas de cada país e, no caso do Brasil, a partir da tabela 01 é possível observar os minerais já mencionados como estratégicos considerando como referência o Plano Nacional de Mineração 2030 e com o intitulado Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Minerais Estratégicos 2018-2022 do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação (MCTIC).

Tabela 1: Classificação de Minerais Estratégicos (Críticos) pelo MME e MCTIC

Situação 1	Situação 2	Situação 3
Dependente de Importação	Portadores do Futuro	Vantagens comparativas do Brasil
Potássio, Nitrogênio, Fósforo, Carvão Metalúrgico	Terras Raras, Lítio, Cobalto, Tântalo, Silício, Grafita, Metais do grupo da Platina, Molibdênio, Tálco, Titânio, Vanádio	Minério de Ferro e Nióbio

Fonte: Elaboração própria com base em dados do MME 2011 e MCTIC 2018

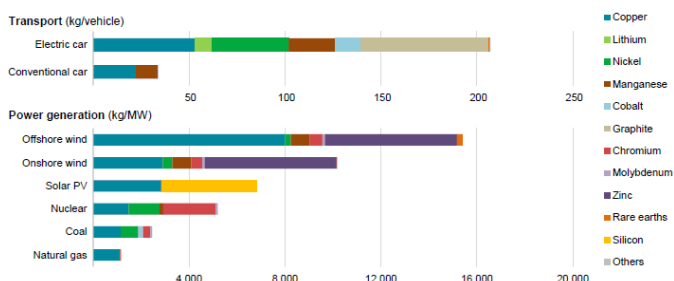
O MCTIC e o MME consideram como minerais críticos os recursos minerais que estão relacionados a uma das três situações ilustradas pela Tabela 1, minerais que o Brasil depende de importação como o carvão metalúrgico, minerais conhecidos como portadores do futuro, de acordo com o MCTIC (2018), que tem alta aplicação em produtos de alta tecnologia e os minerais que o Brasil detém vantagens comparativas, como é o caso do minério de ferro. No que concerne a compreensão do potencial brasileiro no desenvolvimento de energia eólica *offshore* destaca-se os minerais conhecidos como portadores do futuro e que o Governo Federal ainda vai elaborar uma relação de minerais críticos do Brasil por meio do Comitê Interministerial de Análise de Projetos de Minerais Estratégicos (CTAPME), de acordo com o Decreto Nº 10.657, de 24 de março de 2021.

Diante deste cenário é importante pensar em questões como por exemplo - quais serão os impactos causados por tais minerais mais conhecidos como portadores do futuro nos países e em seus respectivos territórios? É possível estimar que a lista de minerais críticos que será elaborada pelo Brasil com alta aplicação em produtos de alta tecnologia precisa ser feita considerando os dados apresentados pela *International Renewable Energy Agency* (IRENA) em 2021 sobre extração e processamento de recursos minerais utilizados para a transição energética. Tais dados

indicam para uma grande dependência da China, tendo em vista que esse país detém uma alta participação na extração de terras raras, valor que chega 60% do total extraído no mundo, bem como detém alto percentual em processamento de recursos minerais no mundo sendo o país responsável por processar aproximadamente 40% do cobre, 38% do níquel, 70% do cobalto, 58% do lítio e até 90% de terras raras no mundo.

Tendo em vista a grande concentração da cadeia produtiva dos minerais críticos utilizados para a transição energética torna-se importante compreender quais são os principais minerais utilizados para a energia eólica *offshore*, que podem ser observados na Figura 2.

Figura 2: Minerais utilizados nas energias limpas (Fonte: IEA, 2021)

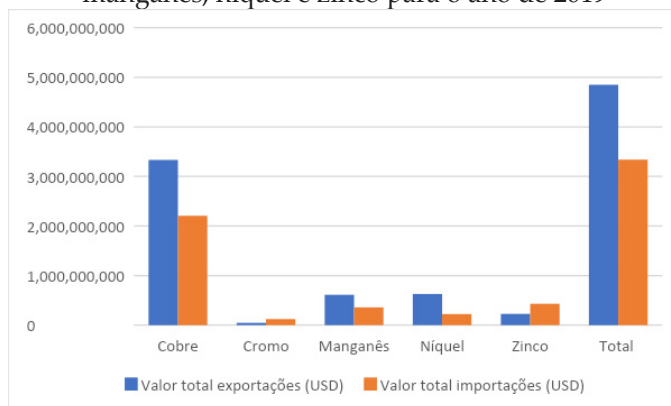


Nota-se que especificamente para a energia eólica *offshore* são utilizados os recursos minerais de cobre, níquel, manganês, cromo, molibdênio, zinco e terras raras e que tal modalidade exige muito mais recursos minerais do que a eólica em terra. Além disso nota-se que ao fazer uma transição energética para energias renováveis mais recursos minerais vão ser demandados, como exemplo é possível observar que a eólica *offshore* exige muito mais recursos minerais do que o gás natural. Nesse sentido é importante que o governo e o setor privado, incluindo as principais empresas produtoras e geradoras de energia, bem como as empresas do setor de recursos minerais, estejam incluídas na formulação de políticas públicas sobre a utilização da energia eólica *offshore* na transição energética.

A alta demanda por recursos minerais para a promoção da energia eólica *offshore* reforça a importância da característica do Brasil de ser um país em que o setor de mineração é pujante e que conforme destacado pelo Ministro de Minas e Energia Bento Albuquerque (Governo Federal, 2021) representa cerca de 2,5% do PIB. Dentre as riquezas e a produção mineral

de acordo com o gráfico abaixo é possível avaliar os valores referentes a exportações e as importações para quase todos os minerais, exceto para o molibdênio e terras raras, que são necessários para as tecnologias utilizadas na energia eólica offshore de acordo com os dados apresentados pela IEA (2021).

Figura 3: Valor em USD em Exportações e Importações de cobre, cromo, manganês, níquel e zinco para o ano de 2019



(Fonte: Elaboração própria com base em dados da Agência Nacional de Mineração, 2020).

Nota-se que o Brasil detém capacidade de comercialização de muitos dos recursos minerais utilizados para investir na transição energética para energia eólica *offshore*. Para estimular uma maior compreensão do total dos recursos minerais utilizados para promoção da energia eólica offshore também podemos observar a Tabela 2, que trata em maior detalhe dos minerais utilizados para as turbinas eólicas.

Tabela 2: Materiais usados em turbinas eólicas

Componentes	Tubinas Eólicas	
		Materiais
Fundação	Concreto, Aço	
Torre	Concreto, Aço (low-alloy)	
Nacelo	Alumínio, Fibra de Vidro, Epoxy Resin	
Pás do Rotor	Fibra de Vidro, Fibra de Carbono, Epoxy Resin, Alumínio, Resina de Poliester	
Sistema Hidráulico	Óleo Hidráulico, Ferro (alloy)	
Caixa de Multiplicação/Transmissão (Gearbox)	Ferro, Lubrificantes	
Rotor Hub	Ferro Fundido, Cr-steel	
Drive Train	Ferro Fundido, Cr-steel, Borracha	
Gerador	Ferro, Cobre, Ferro Fundido, Elementos de Terras Raras, Cr-Steel, Alumínio	
Grid Connection	Cobre, Plásticos	

Fonte: University of Technology Sydney, 2016

Pela Tabela 2 é possível notar que além dos minerais destacados nos dados da IEA (2021) representados na figura 01 existe uma grande importância na utilização do ferro para produção das turbinas eólicas, que está presente em muitos componentes. O minério de ferro, conforme dados da Agência Nacional de Mineração (2020), representou 72,8% do valor total da produção mineral comercializada em 2019, figurando dessa forma em primeiro lugar em termos de valor dentre todos os recursos minerais. Além disso, também é notável que o Brasil apresenta capacidade em recursos minerais para investir em energia eólica offshore, pois outros minerais muito utilizados para essa energia são muito produzidos no Brasil, como é o caso do cobre, que de acordo com a Agência Nacional de Mineração (2020) representou 7,9% do total do valor comercializado em 2019 pelo setor mineral brasileiro, valor que ficou abaixo apenas do ferro e do ouro que representou 10,5% do total.

Além dos minerais já comercializados e produzidos pelo Brasil, também convém destacar que, de acordo com o MCTIC (2018), o país possui grande quantidade de terras raras e fica apenas atrás da China em termos de reservas mundialmente conhecidas destes elementos. Destaca-se que tais recursos são muito utilizados como ímãs permanentes para turbinas eólicas e existe um processo de investimento mundial na busca por alternativas para esses ímãs que conforme destacado nos dados da IRENA (2021) são processados quase que em sua totalidade na China.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o elevado potencial brasileiro e as tendências

internacionais de ampliação crescente do setor, a geração de energia eólica *offshore* pode se tornar um importante componente para o futuro da economia do mar no país, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e com as metas de descarbonização, o que pode ser facilitado pela sinergia com o setor de óleo e gás (IEA, 2018a) e de eólica *onshore*.

A ponderação sobre as oportunidades de criação de valor doméstico por meio de sinergias com a cadeia de suprimentos de indústrias existentes, especialmente a de O&G (IEA, 2019; IRENA, 2017; Scottish Enterprise & BVG Associates, 2018) merece ser mais bem avaliada no Brasil, uma vez que a indústria de O&G é bastante madura e já possui uma cadeia de fornecedores estabelecida.

Contudo, o crescimento do setor requer políticas públicas de incentivo, ao menos para o desenvolvimento da cadeia de suprimentos e para treinamento e formação de mão-de-obra qualificada (IRENA, 2017), ou seja, depende de algum grau inicial de subvenção estatal. Nesse sentido, deve ser efetuado o balanço entre os benefícios potenciais e o custo do desenvolvimento doméstico do setor eólico *offshore*. Embora os custos estejam caindo, os investimentos em energia eólica *offshore* ainda são cerca de duas vezes maiores do que em projetos eólicos *onshore*, por exemplo, uma fonte igualmente renovável, disponível e com cadeia produtiva já estruturada no país (EPE, 2020).

Desse modo, o planejamento energético nacional deve considerar os objetivos e formas de incentivo para a energia eólica *offshore*. O elevado potencial brasileiro, a perspectiva de maior estabilidade na geração de energia elétrica em relação à energia *onshore* e à solar, a proximidade de grandes cidades costeiras, a possível existência de expertise para a produção de energia *offshore* desenvolvida no setor de O&G, bem como o forte movimento global para a viabilização desta atividade justificam a necessidade de aprofundamento desta avaliação e definição de uma política para o setor. Além disso, também é importante que o país faça investimentos na utilização de terras raras para fabricação de ímãs para energia eólica *offshore* em conjunto com pesquisa de materiais substitutos. As terras raras também exigem um cuidado com questões referentes à reciclagem e por isso o Brasil também necessita investir nessa atividade e na economia circular.

Em relação ao desenvolvimento da cadeia local de fornecedores para potencializar a criação de valor doméstico, sugere-se o aprofundamento da análise das sinergias com o setor de O&G e de eólica

onshore, por meio do mapeamento da cadeia de fornecedores, de sua localização geográfica e da sua real competitividade em um contexto global. Um maior detalhamento dos equipamentos, materiais e requisitos de mão-de-obra para cada segmento da cadeia de valor de eólica *offshore*, possibilitará, de modo mais preciso, a identificação do potencial de utilização de conteúdo local e geração de empregos nos projetos no Brasil. Esta análise pode ser expandida para uma melhor compreensão do papel do país no fornecimento da cadeia de valor global de eólica *offshore*, em especial, a possibilidade de liderança regional nos projetos da América Latina.

SYNERGY BETWEEN THE OIL AND GAS AND OFFSHORE WIND SECTORS FOR DEVELOPMENT AND DECARBONIZATION OF THE BLUE ECONOMY IN BRAZIL

ABSTRACT

This article evaluates the role of offshore energy in Brazil, considering the significant participation of the oil and gas sector in the Brazilian economy and the high wind potential, identifying the critical mineral resources, the challenges, potentials, and synergy between these sectors, in the context of energy transition. As a result, the importance of Brazil making investments in the use of rare-earth for the manufacture of magnets for offshore wind energy is highlighted, in conjunction with research on substitute materials, as well as on issues related to the reuse of these mineral resources. In addition, in relation to the development of the local supply chain to enhance the creation of domestic value, it is suggested to deepen the analysis of synergies with the O&G and onshore wind sector, by mapping the supply chain, its geographic location, and its real competitiveness in a global context.

Keywords: offshore wind. energy transition. oil and gas. ocean. critical minerals.

REFERENCES

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais substâncias metálicas 2020**. [S. l]: Agência Nacional de Mineração, 2020.

ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**: 2020. Rio de Janeiro: [s.n, s.d]. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/central-conteudos/anuario-estatistico/2020/anuario-2020.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2021.

BEIRÃO, André Panno; MARQUES, Miguel; RUSCHEL, Rogerio Raupp. **O Valor do mar: uma visão integrada dos recursos do oceano do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Essencial Idea Editora 2020.

BP. **Statistical Review of World Energy**. 69. ed. London: British Petroleum, 2020. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Minerais Estratégicos 2018-2022**. Brasília, DF: [s. n.], 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Brasília,DF: [s. n.], 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasília, DF: MME;EPE, 2020. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio Final do PNE 2050.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf). Acesso em: 30 abr. 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Roadmap Eólica Offshore Brasil: perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima**. Brasília, DF: MME;EPE, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf. Acesso em: 30 abr. 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Relatório Síntese Balanço Energético Nacional Relatório Síntese**. Brasília, DF: MME/EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/Relatório Síntese BEN 2021-ab 2020_v2.pdf. Acesso em: 30 abr. 2021.

CARBON TRACKER INITIATIVE. **Balancing the Budget. Why deflating the carbon bubble requires oil and gas companies to shrink**. v. 1, 2019. Disponível em: <https://carbontracker.org/reports/balancing-the-budget/>. Acesso em: 02 abr. 2021.

CRIVELLARI, A.; COZZANI, V. Offshore renewable energy exploitation strategies in remote areas by power-to-gas and power-to-liquid conversion. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.215>.

CRIVELLARI, A.; COZZANI, V.; DINCER, I. (2019). Design and energy analyses of alternative methanol production processes driven by hybrid renewable power at the offshore Thebaud platform. **Energy Conversion and Management**, v. 187, p. 148–166. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.03.017>.

DESEMPENHO do setor mineral supera expectativas. **Governo Federal**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/02/desempenho-do-setor-mineral-em-2020-supera-expectativas#:~:text=O%20faturamento%20do%20setor%20mineral,casa%20dos%20R%24%20209%20bilh%C3%B5es.&text=Entre%20os%20tributos%2C%20a%20Compensa%C3%A7%C3%A3o,6%2C1%20bilh%C3%B5es%20em%202020>. Acesso em: 15 jun. 2021.

EDENHOFER, Ottmar; MADRUGA, Ramón Pichs; SOKONA, Youba (eds). **Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. New York: Cambridge University Press, 2012. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SRREN_Full_Report-1.pdf. Acesso em: 28 abr. 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **A New World: The Geopolitics of the Energy Transition**. [S. l.]: IRENA, 2019. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/Global_commission_geopolitics_new_world_2019.pdf . Acesso em: 20 abr. 2021.

GLOBAL Wind Report 2021. Belgium: GWEC, 2021. Disponível em: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/03/GWEC-Global-Wind-Report-2021.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

GOSENS, J.; KÅBERGER, T.; WANG, Y. China's next renewable energy revolution: goals and mechanisms in the 13th Five Year Plan for energy. **Energy Science & Engineering**, v. 5, n. 3, p. 141–155, 2017. DOI <https://doi.org/10.1002/ese3.161>.

H. Peter; L. Lisa. **Energy and Deep-Seabed Minerals in a Sustainable Future?** Ocean Panel, 2019.

HIGH LEVEL PANEL FOR A SUSTAINABLE OCEAN ECONOMY. **Qual o papel da energia renovável nos oceanos e dos minerais do mar profundo num futuro sustentável?**. Ocean Panel: [S. l.], 2019. Disponível em: <https://oceanpanel.org/sites/default/files/2020-09/Ocean%20Energy%20and%20Deep-Sea%20Minerals%20Summary%20Portuguese.pdf>. Acesso em: 08. Abr. 2021.

IBAMA. **Termo de Referência Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA): Tipologia Complexos Eólicos Marítimos (offshore)**. Brasília, DF: IBAMA, 2020. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/publicacoes/2020-11-TR_CEM.pdf. Acesso em 10. Abr. 2021.

IBAMA. **Mapa do licenciamento ambiental federal de complexos eólicos offshore em junho de 2021**. IBAMA: [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/2021-07-21-CEOffshore.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

IEA. **Offshore Energy Outlook**. France: IEA Publications, 2018. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/f4694056-8223-4b14-b688-164d6407bf03/WEO_2018_Special_Report_Offshore_Energy_Outlook.pdf. Acesso em: 09. abr. 2021.

IEA. **Offshore Wind Outlook 2019**. France: IEA Publications, 2019. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/495ab264-4ddf-4b68-b9c0-514295ff40a7/Offshore_Wind_Outlook_2019.pdf . Acesso em: 15. abr. 2021

IEA. 2021a. World Energy Investment 2021. In World Energy Investment 2021. International Energy Agency. <https://doi.org/10.1787/9789264277854-en>

IEA. **The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions**. Paris: IEA Publications, 2021. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/24d5dfbb-a77a-4647-abcc-667867207f74/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

INSTITUTO E+. **Transição Energética no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto E+, 2021. Disponível em: <https://emailsenergia.org/wp-content/uploads/2020/05/ETransicaoEnergeticaBrasileira.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

IRENA. Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics. In: FERROUKHI, A. *et al.* **International Renewable Energy Agency**. [S. l.]: IRENA, 2016. Disponível em: https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf. Acesso em: 28 abr. 2021.

IRENA. **Renewable Energy Benefits: Leveraging Local Capacity for Offshore Wind**. [S. l.]: IRENA, 2018. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2018/May/Leveraging-Local-Capacity-for-Offshore-Wind>. Acesso em 20. abr. 2021.

IRENA. **Innovation Landscape for a Renewable-Powered Future: Solutions to Integrate Variable Renewables**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Landscape_2019_report.pdf. Acesso em: 30 abril 2021.

IRENA. **Capacidade instalada acumulada de energia eólica offshore (MW), em 2020**. [S. l.]: Irena, 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series>. Acesso em: 18 jun. 2021.

MONT'ALVERNE, T. F.; MELO, M. Cavalcante. Gestão dos Espaços Marinhos no Contexto das Energias Marinhas Renováveis. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 8, n. 1, p. 725-744, 2018. DOI <https://doi.org/10.5102/rbpp.v8i1.4778>.

MÜLLER, M. do N. **Análise de tecnologias e custos para inserção da energia eólica offshore na costa brasileira**. 2019. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/Dissertação_Matheus_do_Nascimento_Müller.pdf. Acesso em: 18 jun. 2021.

NUNES, J. P. C. e S. **Energia Eólica Offshore: um estudo de caso para análise de viabilidade técnico-econômica de uma usina marítima próxima à costa do Rio Grande do Norte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020.

OECD. **The Ocean Economy in 2030**. [S. l.: s. n], 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264251724-enoffshore-wind-expenditure-set-to-match-upstream-oil-and-gas-in-Europe-in-2021-surpass-it-in-2022>. Acesso em: 01 jun. 2020.

PRATES, A. P. L.; GONÇALVES, M. A.; ROSA, M. R. **Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos no Brasil**. 2. ed. ed. Brasília: MMA, 2012.

RYSTAD ENERGY. **Press Release. Rystad Energy.** [S. l.: s. n], 2020. Disponível em: <https://www.rystadenergy.com/newsevents/news/pressreleases/>. Acesso em: 01 jun. 2020.

SANTOS, T. Economia do Mar. In: ALMEIDA, F. E. A.; MOREIRA, W. S. (org.). **Estudos Marítimos: Visões e abordagens.** 1. ed. São Paulo: Humanitas, 2019. p. 355-388. v. 1.

SANTOS, Thauan. The Prize and the Quest of Energy Beyond the Oil Paradigm: Renewable energy deployment under the sustainable development agenda. **Sul Global**, v. 1, p. 60-83, 2020.

SETOR de extração de minérios ganha nova Política Pró-Minerais Estratégicos. **Governo do Brasil**, mar. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/03/setor-de-extracao-de-minerios-ganha-nova-politica-pro-minerais-estrategicos#:~:text=Setor%20de%20extra%C3%A7%C3%A3o%20de%20min%C3%A9rios%20ganha%20nova%20Pol%C3%ADtica%20Pr%C3%B3%20Minerais%20Estrat%C3%A9gicos,-Min%C3%A9rios%20estrat%C3%A9gicos%20podem&text=%E2%80%9CO%20decreto%20estabelece%20uma%20pol%C3%ADtica,o%20ponto%20de%20vista%20estrat%C3%A9gico>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SHADMAN, M. et al. 2019. Ocean Renewable Energy Potential, Technology, and Deployments: A Case Study of Brazil. **Energies**, v. 12, n. 19, 2019. DOI <https://doi.org/10.3390/en12193658>

TESKE. *Set al.* **Renewable Energy and Deep-Sea Mining:** Supply, demand and scenarios. Australia: Institute for Sustainable Futures of the University of Technology Sydney, 2016.

THE CROWN State: A Guide to an Offshore Wind Farm. [S. l.]: BVG Associates, 2019. Disponível em: <https://bvgassociates.com/cases/guide-offshore-wind-farm/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

TURRA, A. Conservação Marinha. In: PEREIRA, R. C.; GOMES, A. S (eds.). **Ecologia Marinha.** Rio de Janeiro: Interciência, 2020. p. 690.

UNESCO. **A ciência que precisamos para o oceano que queremos: a Década das Nações Unidas da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030)**. Paris: [s.n.],[s. d.]. Disponível em: <http://oceandecade.org>. Acesso em: 25 abr. 2021.

Recebido em: 31/08/2021

Aceito em: 25/02/2022