

ENERGIA EÓLICA OFFSHORE: UM OVERVIEW DO CENÁRIO GLOBAL E O CONTEXTO BRASILEIRO

OFFSHORE WIND ENERGY: AN OVERVIEW OF THE GLOBAL SCENARIO AND THE BRAZILIAN CONTEXT

Henrique Vaicberg¹
Gian Lucas de Carvalho Valiatt²
Matheus Ferreira de Queiroz³

RESUMO: O mundo vem passando por mudanças significativas nas últimas décadas. Argumentos como a teoria do aquecimento global e o inevitável esgotamento global das reservas de combustíveis fósseis vem sendo usados como forma de impulsionar uma mudança de paradigma no mercado de energia em prol da transição para energias ditas limpas, de fontes renováveis. Os governos do mundo inteiro vêm tomando medidas para diminuir sua pegada ambiental e a produção de energia eólica *offshore* chega para ocupar um espaço no abastecimento das malhas energéticas ao redor do mundo. O Brasil, apesar do potencial produtivo, não possui parques eólicos *offshore* – ainda.

PALAVRAS-CHAVE: Energia eólica *offshore*. Energia renovável. Brasil.

ABSTRACT: The world has been going through significant change in the past few decades. Arguments such as the theory of global warming and the inevitable depletion of fossil fuel around the world have been used as a way of propelling a paradigm shift in the energy sector in favour of clean, renewable energy. Governments around the world have been taking measures to decrease their carbon footprint and offshore wind power comes to occupy its space in the supply of energy grids everywhere. Brasil, despite its productive potential, does not have offshore wind farms – yet.

KEYWORDS: Offshore wind power. Renewable energy. Brazil.

¹ Mestre em Meteorologia (2017). Possui graduação em Ciências Náuticas pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (1988). Atualmente é professor do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, lecionando as disciplinas de Estabilidade, Navegação e Manobras de Navios. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Ciências Náuticas.

² Aluno da Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante – EFOMM/RJ

³ Aluno da Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante – EFOMM/RJ



1 INTRODUÇÃO

A energia eólica é um tipo de energia renovável, ou seja, é obtida através de um recurso natural que é naturalmente reabastecido. Ela é obtida através do vento - mais precisamente, através da coleta e uso da energia cinética do vento, que é convertida em energia mecânica, gerando, assim, eletricidade. Esse processo de conversão da energia cinética em energia mecânica é possibilitado pelas turbinas eólicas, que são um tipo de gerador elétrico, e por meio de suas pás realizam todo esse processo.

O vento, por ser um recurso inesgotável e abundante em todo o planeta, possibilita que sua utilização como meio de geração de energia possa ser efetuada em grande parte do globo, reduzindo assim a importação de energia da qual alguns países dependem para atender à sua demanda interna. Além disso, a criação de novos parques eólicos pode ser traduzida em maior atividade econômica para o país que adotar a produção de energia eólica, gerando empregos e diversificando a sua matriz energética, aumentando a segurança energética do país.

Outra característica da energia eólica é que ela é considerada uma energia limpa, ou seja, seu processo de geração não envolve combustão e, conseqüentemente não emite gases poluentes ou tóxicos, muito menos produz resíduos. Isso significa que ela está de acordo com a tendência mundial de reduzir os impactos ao meio ambiente que tem causa humana. A matriz de energia eólica pode ser subdividida em dois tipos, que se referem ao ambiente no qual são geradas: são elas *onshore* e *offshore*.

Energia eólica *onshore* refere-se a parques de geração em que as turbinas estão localizadas em terra e usam os sistemas de vento que agem sobre o continente para gerar eletricidade. Energia eólica *offshore* é a utilização dos sistemas de vento de alta velocidade e regularidade de disponibilidade sobre o mar para gerar eletricidade, estando as unidades de produção localizadas em pontos diversos da costa, com profundidades variadas e, conseqüentemente, métodos de implantação que correspondem às necessidades de cada contexto. Cada uma das matrizes possui suas particularidades quanto à implementação, manutenção, operação, custos e *output*⁴.

⁴ *Output* (em português, produção) é, em termos gerais, o resultado final de um processo produtivo. Aqui aplica-se a ideia econômica do termo em que *output* é o resultado da combinação de vários fatores de produção.



O Brasil, no momento da confecção deste trabalho, não possui parques eólicos *offshore* instalados em suas águas jurisdicionais. No entanto, existem projetos para a implantação do primeiro parque eólico *offshore* do Brasil na costa do nordeste – ainda que, para que esses projetos se concretizem, uma série de avanços jurídicos e logísticos precisem acontecer. Tais avanços podem ocorrer de forma rápida, eficaz e condizente com a realidade brasileira ao se analisar o precedente internacional, onde já existem *players* com bases jurídicas e operacionais bem estabelecidas e um histórico de implantação, operação e descomissionamento de parques, passando por toda a vida útil de um parque eólico *offshore*.

O principal objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade e rentabilidade da exploração do potencial de produção de energia eólica *offshore* no Brasil através de dados de custo de implementação, produção, impactos no meio ambiente, e o potencial eólico offshore da costa brasileira.

O estudo propõe uma visão geral sobre o estado do mercado de energia eólica mundial, seu histórico, os custos envolvidos em sua operação, uma breve análise da situação atual do mercado brasileiro de energia eólica *offshore*, seus desafios presentes como o arcabouço legal, projetos futuros e conjecturas sobre o envolvimento da frota mercante brasileira durante a possível transição. Quanto à classificação da pesquisa, é aplicada ao envolver sugestões de aplicação prática do seu conteúdo contra os problemas enfrentados. Quanto aos objetivos, a pesquisa é descritiva ao discorrer sobre fatos pertinentes ao mercado de energia eólica *offshore*. Na abordagem do problema, o estudo se trata de uma pesquisa qualitativa ao tentar explicitar e explicar algumas das questões existentes acerca do tema.

A respeito dos procedimentos técnicos, a pesquisa é classificada como bibliográfica por se apoiar sobre material previamente elaborado acerca do tema como informes, livros e notícias.

2 CENÁRIO GLOBAL

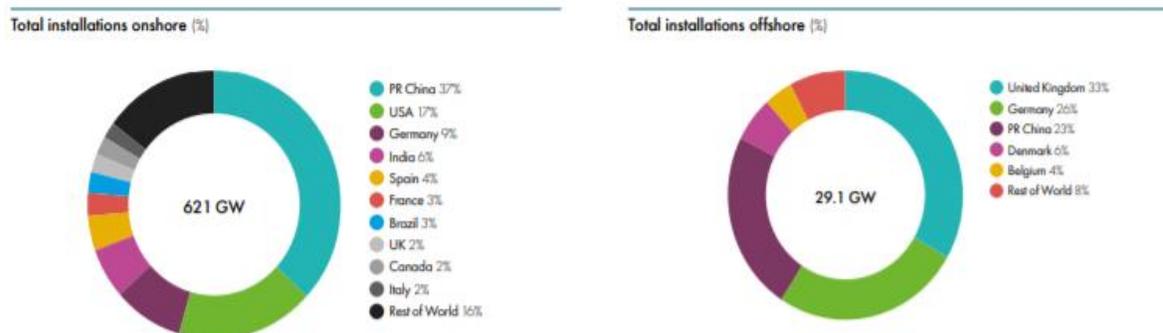
No passado recente, tendo como causa principal o desenvolvimento acentuado de países asiáticos, sobretudo a China, e mudanças climáticas pontuais em algumas estações do ano nos Estados Unidos e na Europa (ENERDATA, 2019), a tendência de alta da demanda por energia



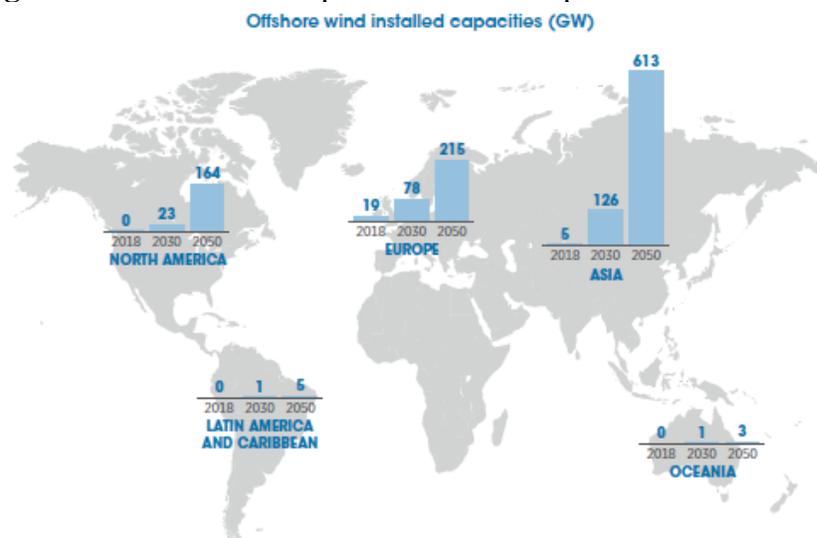
criou condições favoráveis para pesquisa e desenvolvimento de opções de fontes de energia renováveis.

Segundo o relatório anual do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC), 60.4GW de capacidade de geração eólica foram instalados globalmente em 2019, dos quais 6.1GW são provenientes de parques *offshore*, um incremento de dez por cento em relação a 2018 (GWEC, 2019). A China segue sendo líder do ranking mundial de produção total de energia eólica, enquanto o Reino Unido lidera o ranking no quesito produção total *offshore* (Figura 1). No entanto, a expectativa é que esse quadro logo se reverta e por volta de 2050 o continente asiático assumirá a liderança do mercado com certa folga (Figura 2). O Brasil ocupa o sétimo lugar no ranking geral de produção de energia eólica, subindo uma posição em relação ao ano anterior, embora não haja nenhuma instalação de produção de energia eólica *offshore* em funcionamento no momento da elaboração do presente artigo.

Figura 1: Distribuição de produção de energia eólica total (à esquerda) e *offshore* (à direita)



Fonte: GWEC (2019)

Figura 2: Estimativa de capacidade instalada por continentes em 2050

Fonte: IRENA (2019)

2.1 Histórico

O primeiro parque eólico *offshore* instalado no mundo foi o *Vindeby Offshore Wind Park*, construído em 1991 na Dinamarca. O objetivo da empreitada era provar a viabilidade da geração de energia limpa *offshore* (OFFSHORE WIND, 2017). O parque se manteve ativo por vinte e cinco anos, provando a viabilidade da implementação de projetos similares e introduzindo no mercado uma variedade de soluções relacionadas ao funcionamento de turbinas eólicas *offshore*.

Em 2000, foi construído o parque eólico de *Middelgrunden*, a três quilômetros de Copenhague, Dinamarca. À época, o parque era o maior do mundo, com vinte turbinas e capacidade de quarenta *megawatts* (LARSEN, 2001). Ainda em 2000 foi comissionado o parque *Blyth Offshore*, primeiro parque eólico no Reino Unido, país com a maior parcela do mercado atual de energia eólica *offshore*. O parque contava com duas turbinas e capacidade de quatro *megawatts*. Foi o primeiro parque a utilizar a tecnologia *float and submerge*, o que permite que as turbinas sejam rebocadas e diminui custos de implantação por eliminar a necessidade de instalar fundações no fundo do mar. Foi descomissionado em 2019. (EDF, 2019)

A Europa foi pioneira no desenvolvimento e implementação de tecnologias que possibilitaram a implementação de parques eólicos *offshore* e colhem os benefícios da iniciativa tanto em produção de energia quanto nos negócios. Grande parte dos projetos, sejam em águas

européias ou não, são gerenciados por empresas europeias, e grande parte da produção dos componentes necessários para a construção das turbinas é feita por empresas europeias (seja em território europeu ou não). Empresas como a sueca *Vattenfall*, a norueguesa *Equinor* e a alemã *Siemens* são líderes de mercado no mundo inteiro em todos os estágios da vida de um parque eólico.

3 CONSTRUÇÃO E CUSTOS

Existe uma série de custos atrelados à construção de um parque eólico *offshore*. Comparando brutaemente com uma instalação *onshore*, a complexidade inerente a um parque *offshore* é alta: é preciso ajustar a robustez das torres para suportar velocidades mais altas de vento e os materiais utilizados devem ser mais protegidos contra corrosão, considerar as diversas opções de fundações ou sistemas de ancoragem dependendo da profundidade no local e toda a infraestrutura de transmissão de energia. Todos esses fatores, somados às condições de mercado, são determinantes para definir a rentabilidade de um parque eólico *offshore* e, finalmente, influenciar no momento de decisão de construção ou não.

3.1 Aerogeradores

Os aerogeradores são compostos, basicamente, por cinco elementos: a fundação, a torre, o rotor, a *nacelle*⁵ e o conversor.

3.1.1 Fundações

A fundação é a estrutura física responsável por dar sustentação ao aerogerador. Para o caso de aerogeradores *offshore*, a fundação é especialmente importante pois é encarregada de sustentar os esforços estáticos e dinâmicos na torre. De acordo com Ribeiro (2015), classificam-se os tipos de fundações da seguinte forma:

- 1) Relativo à fundação, os sistemas estruturais de uma fundação se dividem em dois tipos:
 - a) Fixos, em que o aerogerador transfere as forças da fundação até o fundo oceânico;
 - b) Flutuantes, em que permite a mobilidade do aerogerador, pois a estrutura está somente ancorada.

⁵ É o compartimento instalado no alto da torre e que abriga todo o mecanismo do gerador, o qual pode incluir: caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico, sistema hidráulico, etc.



- 2) Relativo ao sistema estrutural fixo, os métodos de fixação ao leito se dividem em três:
 - a) Por gravidade, baseia-se na dimensão da base e no peso para garantir fixação e estabilidade.
 - b) Por estacas, utilizando a cravação de estacas que resistam os esforços transmitidos ao fundo oceânico;
 - c) Por sucção; utilizando uma subpressão no interior da fundação.
- 3) Os principais tipos de estrutura de suporte são:
 - a) Gravidade (*Gravity-based structure*);
 - b) Estaca Única (*Monopile structure*);
 - c) Tripé (*Tripod structure*);
 - d) Treliça (*Jacket / Lattice structure*);
 - e) Sucção (*Bucket-type foundation*);
 - f) Flutuantes (*Semi-submersible, Spar-buoy, Tension-leg platform*).

Os aerogeradores, a exemplo das plataformas de perfuração de petróleo, podem ser fixos ou flutuantes. A profundidade das águas do local de instalação da unidade produtora é o fator determinante para a decisão do tipo de fundação a ser empregado. Em outras palavras, quanto mais profundas as águas, mais impraticável a instalação de estruturas submarinas fixas – nesses casos, as turbinas flutuantes surgem como opção mais viável. A fundação pode ser decisiva para determinar se a construção de uma turbina é economicamente viável – pode custar até trinta por cento do custo total de construção da unidade produtora. (UNIVERSITY OF STRATHCLYDE, 2017)

As fundações fixas são, ainda hoje, o tipo predominante nos parques eólicos do mundo – sobretudo do tipo *monopile*. Geralmente, as fundações fixas são implementadas em águas de até sessenta metros de profundidade. Para cada nível de lâmina d'água e das cargas hidrodinâmicas inerentes existe um tipo adequado de fundação fixa para assegurar uma boa ancoragem de modo a garantir a estabilidade estrutural e prover condições ideais de funcionamento para o aerogerador.

Os aerogeradores flutuantes, devido aos sistemas de ancoragem, têm o potencial de ampliar a área de atuação das turbinas eólicas de forma substancial. Os sistemas de ancoragem, também usados pelas plataformas de produção de óleo e gás, permitem que as operações sejam conduzidas a distâncias cada vez maiores da costa, onde há ventos ainda mais constantes e de velocidades ainda mais altas. Aproximadamente dezoito por cento do custo gerado por plataformas flutuantes de suporte a aerogeradores vem dos guinchos necessários para controle de tensão dos cabos. (FULTON *et. al.*, 2005)



3.1.2. Torres

As torres suportam o rotor e a *nacelle*. São as torres que conferem aos aerogeradores a sua estatura e elevam o rotor e a *nacelle* à altura ideal para a produção de energia. No corpo da torre fica o elevador usado pelos profissionais de manutenção para facilitar o acesso à *nacelle*, aumentando a eficiência e segurança. (BARRETO, 2019)

3.1.3. *Nacelle*

Na *nacelle* fica a turbina de fato: elementos como o eixo principal, amortecedores, a caixa de multiplicação (*gearbox*) e o anemômetro, por exemplo, fazem parte da *nacelle*. Basicamente, é o casario para grande parte dos sistemas mecânicos de geração de energia em um aerogerador. Segundo Barreto (2019, *apud* Modesto e Freitas, 2020, adaptado), a *nacelle* abriga:

TABELA 1: Componentes da *nacelle*

<i>Nacelle</i>	Eixo principal	Recebe a energia mecânica da rotação das pás
	Eixos	Guia o movimento de rotação a uma parte ou um conjunto de peças
	Amortecedores	Diminuem os ruídos e vibrações transmitidos dos componentes para estrutura
	Sinais de luz externos	Sinalizam a presença da nacelle devido à altura
	<i>Gearbox</i> /Caixa multiplicadora	Transmite a energia mecânica do eixo do rotor ao eixo do gerador, modificando a velocidade de rotação
	Sistema de refrigeração	Mantém a temperatura
	Sistema de freio	Reduz o efeito de forças de arrasto em situações de ventos com velocidades superiores à nominal



	Anemômetro	Mede a velocidade do vento
	Biruta	Determina a direção do vento
	Carcaça	Serve de estrutura na qual são montados os componentes
	Sistema de orientação – <i>Yaw</i>	Posiciona o rotor da turbina para o vento
	Tomada de força/ <i>Power take-off</i>	Usado para transferir força mecânica a um implemento, permitindo que a força do motor acione outros dispositivos
	Rolamento principal	Capaz de suportar contínuas cargas dinâmicas por longo prazo
	Rolamento do <i>Yaw</i>	Peça central que liga a torre à nacela
	Sistema auxiliar da nacela	Ventila equipamentos do gerador e da nacela
	Parafusos	Elemento de fixação de duas ou mais superfícies
	Sistemas de monitoramento de condição	Permitem a detecção precoce de falhas

Fonte: Ribeiro (2019 *apud* Modesto e Freitas, 2020, adaptado)

O desenvolvimento tecnológico é o fator crucial para a queda no custo médio da energia produzida no caso das plantas *offshore* - sobretudo o design de turbinas, que podem contabilizar até 45% do custo total de instalação de uma unidade de produção. As turbinas vêm ganhando um poder de produção cada vez mais elevado nas últimas duas décadas, aumentando seu *output* em 5% no período entre 2010 e 2018. (IRENA, 2019)

A queda no custo das turbinas é um fator importante para o sucesso da indústria. Embora seu potencial de produção seja mais elevado que o de turbinas *onshore* devido à velocidade e constância dos ventos, a implantação de turbinas em alto-mar carrega custos inerentes aos desafios que as condições climáticas impõem. Em termos percentuais, as turbinas em si são uma



parcela menor dos custos totais de implantação de um parque eólico *offshore* em comparação a um parque *onshore*, mas o custo nominal é maior.

3.1.4 Rotor

Por rotor, para efeito de simplificação, este trabalho considera as pás da hélice e o *hub*/suporte das pás.

Grande parte dos avanços tecnológicos relacionados aos aerogeradores advém do design das pás, que podem gerar grandes ganhos de eficiência produtiva. Iniciativas de pesquisa para desenvolvimento de *smart blades* (pás inteligentes) como a ADAPWING, gerida pela organização dinamarquesa *Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy*, buscam novas formas de aumentar a eficiência e reduzir custos de produção e manutenção para os rotores. (BUHL *et. al.*, 2007)

O design com três pás é o mais amplamente utilizado em aerogeradores, por motivos comerciais, econômicos, estéticos e ambientais. A tendência é que aerogeradores com áreas de varredura⁶ cada vez maiores sejam adotados, a fim de possuir maior robustez para suportar os esforços sofridos pelo vento que aumenta de intensidade quanto maior a profundidade da água.

3.1.5 Conversores

Conversores condicionam a energia, ajustando a frequência do gerador e a voltagem para transmissão para a malha. São componentes grandes e pesados, que geram custos significantes para a construção da torre, instalação da turbina e de manutenção. O escopo de pesquisas recentes se baseia nas tecnologias de semicondutores e materiais magnéticos para diminuir as dimensões e peso dos componentes. (ISLAM *et. al.*, 2013)

3.2 Transmissão de energia

À medida que os parques eólicos vão sendo instalados mais longe da costa, os custos com a transmissão da energia gerada vão ficando mais pronunciados – afinal, a necessidade de cabos submarinos mais extensos se faz presente. De acordo com Tavares (2010), os sistemas de transmissão de energia podem ser HVAC (Sistema de Transmissão em Alta Tensão em Corrente Alternada), HVDC LCC (Sistemas de Transmissão em Alta Tensão em Corrente Contínua usando Conversores com Comutação Natural de Linha) e HVDC VSC (Sistemas de Transmissão

⁶ Área de varredura é a área circular preenchida pelas pás do aerogerador em funcionamento, “varrendo” o ar.



em Alta Tensão em Corrente Contínua Usando Conversores de Comutação Forçada – Conversores Fonte de Tensão).

O tipo mais implementado atualmente é o HVAC, por motivos simples. É o tipo de transmissão instalada em grande parte dos parques eólicos *offshore* pois é a mais antiga e, portanto, passou por uma série de evoluções que diminuiram seu custo e otimizaram o processo de transmissão quanto à perda de energia (para distâncias de até cinquenta quilômetros).

Os cabos submarinos de transmissão de energia geram a maior preocupação para os gestores dos parques eólicos por alguns motivos. Os cabos precisam ser cada vez mais robustos à medida que o parque eólico é instalado mais longe da costa, e embora a tecnologia tenha evoluído bastante nos últimos anos, oitenta por cento dos custos com seguradoras vem de acidentes com cabos submarinos. Além disso, é duplamente custoso no caso de avaria: manutenção e reparos são caros, complexos e a produção fica prejudicada, praticamente inviabilizando a transmissão de energia do parque eólico para a subestação *onshore*. (BURDOCK, 2020)

As subestações são cruciais para projetos de parques de alta produção de *megawatts*. Elas estabilizam e maximizam a voltagem da energia gerada e fazem a comunicação com a malha energética em terra.

3.3 Embarcações

Para todas as operações de construção, reparo e manutenção de parques eólicos *offshore*, é necessário o suporte de embarcações para transportar materiais, estruturas e pessoal. Algumas das embarcações são utilizadas em operações específicas para parques eólicos *offshore*, enquanto outras servem também a outras indústrias como a do petróleo, o que pode acarretar em aumento significativo no custo através dos *day rates*⁷ por motivos de disponibilidade ou simplesmente pelo fato de que o nível de preços praticado vem da indústria de óleo e gás, por exemplo.

Devido a essa carência de embarcações unicamente voltadas para a indústria eólica *offshore*, algumas restrições operacionais são observadas, o que atrasa a conclusão dos projetos e consequentemente aumenta seu custo. Fatores como precipitação, temperatura e visibilidade dificultam as condições de mar e são fatores que podem realmente causar sérios problemas à operação. Ondas com mais de um metro e meio de altura, ventos de velocidade acima de dez

⁷ *Day rate*, no contexto do presente trabalho, é o custo diário de emprego de uma embarcação.



metros por segundo até dez metros da superfície do mar (ou doze metros por segundo na altura do *hub*), correntes que prejudiquem a confiabilidade dos sistemas de posicionamento dinâmico e as variações de maré são os verdadeiros vilões e podem inviabilizar operações. (AHN, 2016)

3.3.1 *Wind Farm Support Vessels* (WFSV)

Wind Farm Support Vessels (WFSV) são embarcações especificamente projetadas para manutenção e reparo de turbinas/torres eólicas *offshore*, além de transporte de pessoal operativo entre instalações em terra e parques eólicos. A embarcação pode, ainda, transportar carga. (AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, 2018)

Uma operação com tantas particularidades requer embarcações que atendam a necessidades específicas. Nos primórdios da indústria, as embarcações eram pesqueiros adaptados e outros tipos variados de embarcações adaptadas para a operação com turbinas eólicas. Com o passar do tempo, critérios de classificação e construção foram sendo desenvolvidos com a finalidade de prover o mercado com embarcações capazes de lidar com as especificidades das operações, condições de mar e cobrir distâncias maiores.

A *American Bureau of Shipping* (ABS) diferencia os WFSV entre *offshore support vessels* (OSV) e *high-speed craft*, cada um com suas respectivas características e pré-requisitos operacionais. (AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, 2018)

As *high-speed craft* são embarcações de pouco deslocamento e que possuem alta velocidade, se comparadas a embarcações de apoio convencionais. O fator que as diferencia é o número de Froude⁸. (IMO, 2000) Geralmente operam com a finalidade de transportar pessoal operativo para as turbinas. São, na sua grande maioria, catamarãs.

Os *offshore support vessels* são embarcações de apoio *offshore* de construção convencional e operam na construção e descomissionamento de parques eólicos, transporte de cargas e pessoal para operação e manutenção de turbinas eólicas. Uma particularidade na operação de embarcações desse tipo é a transferência de pessoal por *gangways*⁹ entre a

⁸ Número de Froude é uma grandeza adimensional que, para fins de engenharia naval, consiste da relação entre a velocidade de escoamento da água do mar em relação ao casco do navio e a raiz quadrada do produto entre a aceleração da gravidade e o comprimento do navio à linha d'água. É usado sobretudo para a análise da resistência do navio às ondas. (NEWMAN, 1977)

⁹ passarela instalada entre as duas embarcações.



embarcação e a turbina ou um *flotel*¹⁰, o que exige um aparato estrutural especial e o uso de sistemas de posicionamento dinâmico.

3.3.2 Barcaças

As barcaças (*barges*) são utilizadas sobretudo na fase de construção do parque eólico *offshore* como um todo e podem ser de vários tipos. Os mais utilizados são as *jack-up barges*, *crane barges* e *cargo barges*.

Cargo barges são barcaças simples de carga, normalmente não possuem sistema de propulsão próprio e, portanto, necessitam do auxílio de rebocadores. Dos tipos supracitados, é o menos dispendioso, embora demandem o uso de rebocadores.

Crane barges são barcaças de grande porte que possuem guindastes e são mais adaptadas para construção de estruturas menores como subestações *offshore*.

Jack-up barges são barcaças mais robustas, com uma base mais sólida para operações de içamento de cargas. Possuem bom custo-benefício em áreas com ondas maiores, mas também tem suas limitações: a operação é demorada, pode acontecer apenas em profundidades de até no máximo cinquenta quilômetros e requer embarcações de apoio. (DALGIC; LAZAKIS; TURAN, 2013)

3.3.3 Heavy Lift Vessels (HLVs)

Heavy Lift Vessels são embarcações capazes de içar e transportar cargas muito pesadas, em grande quantidade, tem bom perfil de estabilidade e acomodam bem cargas inusitadas como um aerogerador, por exemplo. No entanto, seu custo (*day rate*) é mais alto e apresentam obstáculos como a disponibilidade comprometida pela indústria de óleo e gás e a dificuldade de demandar certos portos devido ao seu tamanho. Para a indústria eólica *offshore* duas subcategorias de *heavy lift* são empregadas: *semisubmersíveis* e *project cargo vessels*.

As embarcações *heavy lift semisubmersíveis*, como explicitado pelo seu nome, são capazes de submergir em parte. O convés submersível fica entre o passadiço (geralmente localizado na proa do navio) e um castelo de popa que geralmente abriga maquinário. Através de um sistema de lastro avançado, o navio é capaz de submergir seu convés principal, possibilitando

¹⁰ Alojamento no mar para as tripulações que trabalham na indústria de perfuração em alto mar é fornecido por meio de *flotels*, é uma aglutinação do termo "*floating hotel*".



a acomodação de cargas impossíveis de içar com o uso de guindastes. Cargas comuns para esse tipo de embarcação incluem plataformas de exploração e outros navios. O método de instalação do aerogerador determinará se vale a pena demandar esse tipo de embarcação, que tem um custo bastante elevado.

As embarcações *project cargo* são embarcações monocasco de grande porte que possuem em seu convés principal guindastes de alta capacidade, para içar cargas não rodantes e que não são flutuantes e, portanto, não poderiam ser acomodadas em uma semissubmersível. As cargas podem ser embarcadas em porões ou no convés principal, o que gera preocupações com a peça da carga a fim de evitar que role e, com seu grande peso, cause banda no navio. Reforços estruturais são feitos em seu costado lateral para suportar o peso dos grandes guindastes e evitar esforços de torção exagerados (MENON, 2020). Esse tipo de embarcação é comum para alguns métodos de construção de aerogeradores como *six lifts* (seis içamentos), *five lifts* (cinco içamentos) e *star assy* (três ou quatro içamentos). (AHN *et. al.*, 2016)

3.3.4 *Cable Laying Vessels (CSVs)*

Os CSVs, também conhecidos como *Cable Layers*, são embarcações projetadas para operações de lançamento de cabos submarinos. Devido a delicadeza da operação, os CSVs são navios que possuem equipamentos de ponta e podem ser empregados como navios de pesquisa científica, já que não são empregados todo o tempo para sua atividade primária.

CSVs possuem todo tipo de equipamento de controle de avarias aos cabos submarinos como, por exemplo, *Linear Cable Engines (LCEs)* que controlam a tensão dos cabos a serem lançados através sistemas de rodas aos pares, tanto hidráulica quanto eletricamente. O cabo é geralmente estivado no “carrossel” e CSVs modernos de grande porte podem estivar e operar mais de nove mil toneladas de cabos. Os sistemas de posicionamento dinâmico são importantes, tanto no momento de lançamento dos cabos submarino como no momento de manutenção de cabos avariados, para manter a embarcação em pontos ou rotas precisas.

3.3.5 *Flotel*

Flotéis são embarcações com a finalidade de abrigar o pessoal operativo de construção e manutenção a fim de reduzir a necessidade do emprego de WFSVs. É um tipo de embarcação muito empregado na indústria do petróleo.



3.3.6 *Air Range Diving Support Vessel (ARDSV)*

Os ARSDVs são embarcações de suporte a operações de mergulho. Certas condições de mar calmo devem ser respeitadas para que a operação de mergulho possa acontecer seguramente. É necessário borda livre suficiente e/ou *bulwark*¹¹ para que o *deck* não seja alagado devido ao risco de acidentes para os profissionais de convés que auxiliam na operação, ter atenção aos graus de liberdade que podem causar problemas nos momentos de imersão e emersão dos mergulhadores, entre outros fatores. Sistemas de posicionamento dinâmico são especialmente importantes para esse tipo de embarcação já que o suporte aos mergulhadores a bordo é essencial para sua segurança quando submersos e, portanto, é crucial que a embarcação se mantenha na posição correta – além do sistema de posicionamento dinâmico, a ancoragem bem-feita mostra-se uma aliada de peso para a segurança desse tipo de operação. (GILES, 1991)

Mergulhadores são empregados em atividades como soldagem e inspeções. No entanto, devido às limitações do corpo humano, essas tarefas são cumpridas com o auxílio de ROVs¹² nos casos em que o trabalho em questão seja feito em grandes profundidades – o reparo de cabos de transmissão é um bom exemplo.

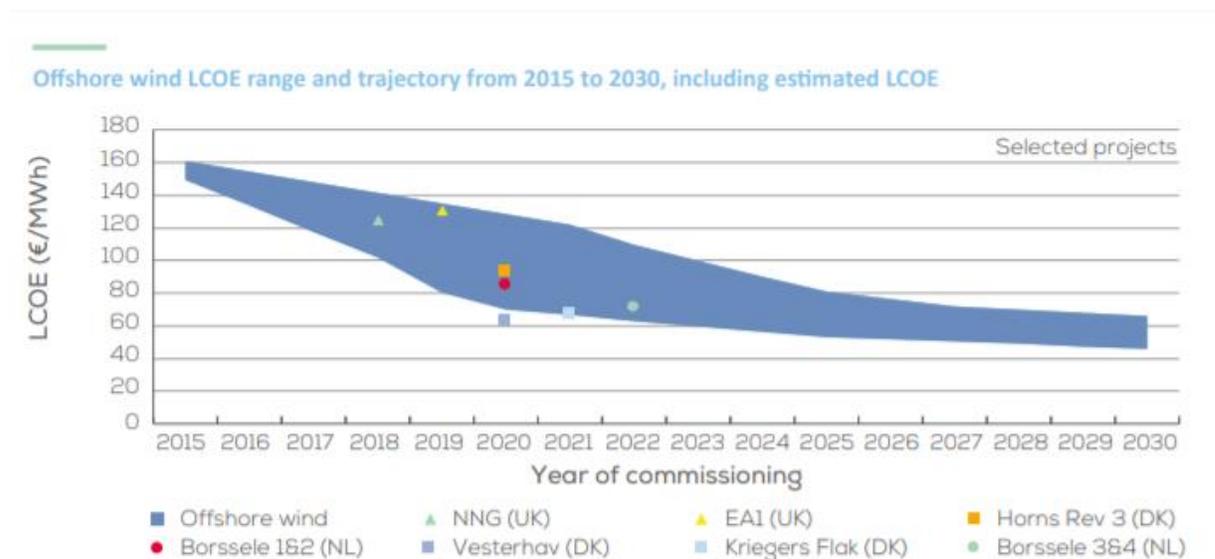
3.4 *Levelized Cost Of Energy (LCOE)*

O *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) é uma estimativa da receita média necessária por unidade de eletricidade para cobrir os custos de implantação e operação de uma planta de geração de energia durante seu ciclo de vida. (US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2019). Essa ferramenta é comumente usada para medir a competitividade dos métodos de produção de energia e influencia na tomada de decisões no momento de implementação ou não de um parque eólico por parte de empresas e governos. Na figura abaixo, fica ilustrado o decréscimo do LCOE projetado entre 2015 e 2030, um sinal de aumento da competitividade da energia eólica *offshore*.

¹¹ Parapeito que se ergue acima dos Conveses expostos ao tempo com a finalidade de dar proteção ao pessoal e ao material evitando que caiam ao mar.

¹² *Remotely Operated Vessels* (ROVs) são veículos submarinos operados remotamente que realizam trabalhos submarinos em grandes profundidades.



Figura 3: Tendência do LCOE entre 2015 e 2030 no contexto europeu

Fonte: HUNDLEBY; FREEMAN (2017)

A tendência é que os custos continuem a diminuir nos anos vindouros. Com o amadurecimento do mercado, o custo de financiamento de projetos dessa natureza tende a diminuir, sobretudo devido ao ajuste da percepção de risco e dos possíveis subsídios em mercados emergentes, o que pode ocasionar um aumento no número de *players* e, conseqüentemente, de competitividade. Um acréscimo de 7% no nível de investimento pode resultar em um aumento de 34% da capacidade até o fim de 2030. Conseqüentemente, esse acréscimo vai permitir o desenvolvimento de turbinas melhores e outras tecnologias até 2030 (HUNDLEBY; FREEMAN, 2017). É importante frisar que o LCOE adotará comportamentos distintos em função do contexto do mercado e das políticas de incentivo de cada país (HUNDLEBY; FREEMAN, 2017)

Os projetos existentes no momento da confecção deste trabalho estão em regime de subsídios em sua maioria. Os governos financiam uma parte da implantação e operação dos parques como forma de fomento à produção de energia limpa e comprometimento com acordos internacionais contra mudanças climáticas. No entanto, alguns países como Alemanha e Holanda já possuem parques leiloados sob o regime de subsídio zero. Os parques *Hollandse Kust 1&2* e *Hollandse Kust 3&4*, ambos na Holanda, são exemplos recentes de que já é possível implementar parques sob o regime de subsídio zero dadas as condições propícias.



Há controvérsias quanto a subsidiar ou não os projetos de eólica *offshore*. Por um lado, o caminho natural é a ocorrência de cada vez mais projetos sob o regime de subsídio zero, o que evidencia, em tese, uma proximidade cada vez maior da maturidade do mercado. Além disso, não subsidiar esses projetos significa uma redução importante de custo para o governo que se traduz, finalmente, numa potencial redução de custo para o consumidor final, já que parte dos encargos são refletidos no preço final do consumo de energia. Por outro lado, órgãos como o *Global Wind Energy Council* (GWEC) e a *International Renewable Energy Agency* (IRENA) pregam cautela com o regime. De acordo com a GWEC, as condições existentes dos parques leiloados a subsídio zero são muito particulares e não necessariamente transferíveis (GWEC, 2019) e, portanto, não devem ser tomadas como norma para os futuros leilões. A pena para este equívoco, em sua opinião, seria um desestímulo catastrófico para o mercado.

4 CENÁRIO NACIONAL

Esta seção tem como objetivo analisar diferentes aspectos do atual cenário para a energia eólica *offshore* no Brasil, como: o potencial produtivo do país, os projetos existentes em fase embrionária, a questão jurídica para a energia eólica *offshore* no Brasil, e a legislação sobre o tema em outros países. Além disso, abordar-se-á a relação com a Marinha Mercante brasileira, notadamente os armadores e as medidas que precisariam adotar para adequar a frota a essa nova demanda.

4.1 Potencial produtivo do Brasil

O trabalho mais importante a fim de estimar o potencial produtivo eólico do Brasil é o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE, 2001). Neste trabalho, estima-se que o potencial seja de 143 *gigawatts* (GW), e a produção seja em torno de 272,2 TWh/ano. Nordeste e Sul são as regiões com maiores potenciais, seguidas de Sudeste e Norte e por fim, o Centro-Oeste. A discrepância existente entre as potências deve-se a constância e a força dos ventos. Além disso, o potencial eólico *offshore* brasileiro seria de 600 GW a 80m; a uma profundidade de aproximadamente 100m do fundo do mar (AMARANTE, 2001).

Segundo o boletim anual de geração eólica (ABEEÓLICA, 2017), no ano de 2017, no Brasil, foram instalados setenta e nove novos parques eólicos, num total de dois mil e vinte e sete

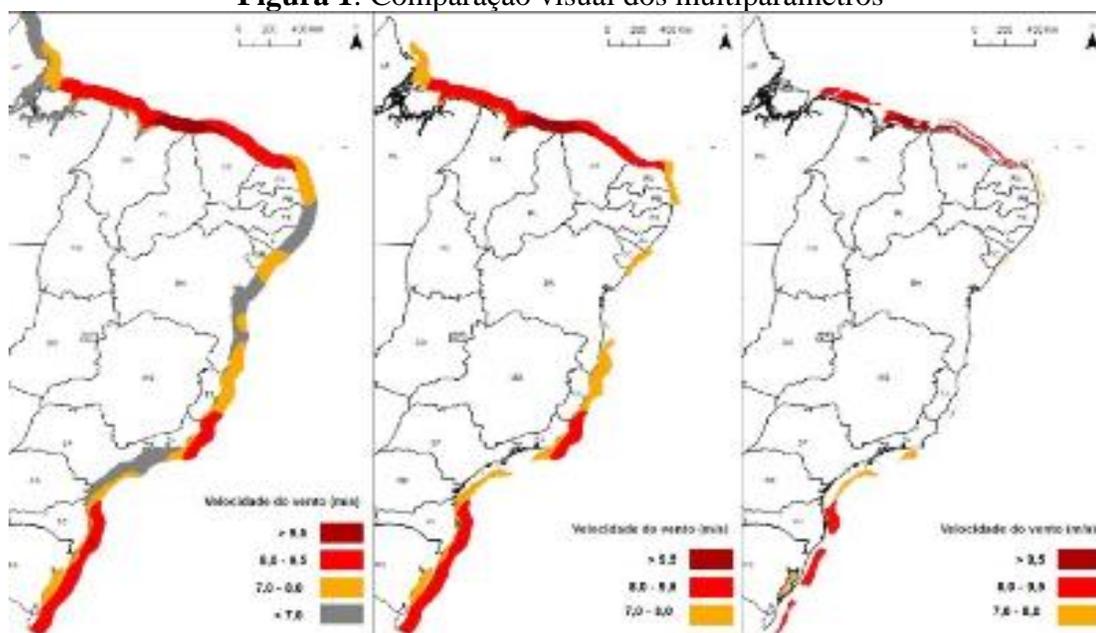


megawatts, valor correspondente a 8,1% de toda a energia gerada no país, com uma capacidade instalada de cerca de treze *gigawatts*.

Ainda segundo o boletim (ABEEÓLICA, 2017), o Brasil é o país com a oitava maior capacidade instalada acumulada de energia eólica, e o sexto país em maior capacidade instalada naquele ano. A capacidade está ligada a fatores como a extensa costa litorânea brasileira, velocidade média dos ventos e altura superior a cinquenta metros da superfície, prerrogativas que tornam os ventos do Brasil excelentes para a produção de energia elétrica.

O potencial eólico *offshore* no Brasil foi analisado em estudos por multiparâmetro tendo em vista os valores econômicos, sociais e ambientais vigentes no Brasil. Na Figura 14, a seguir, são ilustrados os diferentes potenciais estudados em Silva (2019) contabilizados como: potencial teórico, técnico, ambiental e social. O potencial teórico do Brasil é de cerca de mil e setecentos *gigawatts* considerando o aproveitamento máximo dos recursos. No entanto, considerando as limitações técnicas do país, estima-se o potencial técnico em pouco menos de mil e cem *gigawatts*. Em decorrência das leis ambientais e sociais vigentes no país, o potencial ambiental e social foi de trezentos e trinta *gigawatts*.

Figura 1: Comparação visual dos multiparâmetros



Fonte: Silva (2019)



Em outros estudos foram estimados os custos da produção da energia eólica em comparação às tradicionais fontes de energia. Em Müller (2019) e Dias (2018), os custos iniciais são extremamente elevados, mesmo em áreas com os melhores recursos eólicos, batimetrias baixas e com menores distâncias logísticas. Porém, a longo prazo, os custos operacionais tendem a diminuir com a melhoria da tecnologia empregada e o avanço da produção de suprimentos seja empregada na indústria nacional. Para indústrias de grande porte, os elevados custos são diluídos com a receita obtida pela diminuição da utilização das energias tradicionais. Na Tabela 2 é observada a emissão dos poluentes em 20 anos de acordo com cada fonte de energia. Este critério é muito utilizado no mercado externo para a taxação dos produtos – a utilização de energia renovável diminui as tarifas sobre a emissão de carbono, estimulando assim a competição das empresas nacionais frente aos padrões internacionais (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012).

Tabela 2: Emissão de cada solução em operação em 20 anos de uso

Poluente	Diesel	Eólica + Diesel	Hidrelétrica	Hidrelétrica + Eólica
CO2 (toneladas)	534.938,30	275.941,00	280.500,90	115.005,70
CO2 (kg/MWh)	732,41	929,50	375,01	375,01
Sox (toneladas)	654,70	337,72	8,67	3,55
Sox (kg/MWh)	0,90	1,14	0,01	0,01
Nox (toneladas)	479,05	247,11	331,50	135,92
Nox (kg/MWh)	0,66	0,83	0,44	0,44

Fonte: Dias (2018)

4.2 Legislação

A transição energética no Brasil surge a partir da necessidade de buscar novas rotas renováveis que diminuam a emissão dos gases do efeito estufa e que seja menos dependente das



crises nos setores tradicionais. Em 2019, o Governo Federal desenvolveu o mapeamento de modelos decisórios ambientais com base em países europeus a fim de desenvolver os empreendimentos em energia renovável, principalmente nos parques eólicos *offshore* (Vasconcelos, 2019). O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) fica responsável pela aplicação e averiguação das diretrizes no Brasil, e estas diretrizes auxiliam o país com o aprendizado advindo de países como a Alemanha e Dinamarca, os quais apresentam grande *expertise* no setor e são os maiores geradores de energia eólica na Europa, sem, entretanto, se afastar das premissas assentadas na Constituição da República Federativa do Brasil.

O primeiro item a ser analisado é a concessão de áreas de exploração pelo governo e, a partir disto, é realizado um concurso para que ocorra esta concessão. Com isto, é produzida uma consulta pública envolvendo todos os agentes, seja autoridade, associações ou indivíduos da área a ser explorada. A área explorada deve ser concedida pelo Estado para que assim possa se criar um planejamento e avaliação dos impactos ambientais; durante a construção, operação; e descomissionamento dos projetos eólicos *offshore*. Na Dinamarca, este estudo é fornecido pelo governo à empresa ganhadora, além de delimitar a capacidade de energia produzida pelo parque (FERREIRA, 2020).

As normas legais vigentes estão ligadas a diretrizes, nas quais o proponente deve avaliar os impactos do projeto sobre o meio ambiente, a geração de energia, os efeitos nocivos e a extração de minerais nestas áreas.

A avaliação de impacto ambiental é necessária para projetos de estabelecimento de parques de geração de energia elétrica no mar - em particular os impactos em peixes, aves, mamíferos marinhos, áreas e biótopos protegidos, que devem ter como base pesquisas científicas. Os estudos devem estar ligados também às consequências socioeconômicas causadas pela implantação destes parques. A partir dessa avaliação é possível identificar, descrever e avaliar adequadamente os efeitos diretos e indiretos de um projeto. Na Tabela 3 são apresentados os impactos mais comuns provenientes da criação de parques eólicos *offshore* na Alemanha e Dinamarca.



Tabela 3: Principais impactos ambientais dos parques eólicos *offshore* na Alemanha e Dinamarca

Alemanha	Dinamarca
<p>Ruído subaquático; Peixes; Comunidades bentônicas¹³; Aves locais e migratórias; Mamíferos marinhos; Paisagem natural; Bens culturais.</p>	<p>Sociais, fauna e flora; Solo, fundo do mar, água, ar, clima e paisagem; Bens materiais e patrimônio cultural; Interação entre os fatores citados anteriormente.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Perturbar, capturar, prejudicar e matar essas espécies, bem como capturar, danificar ou destruir seus ovos; ● Perturbação significativa, resultando em deterioração do estado de conservação da população local; ● Destruição ou tomada de lugares reprodutivos ou de repouso. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ambiente a ser afetado pelo projeto proposto, em particular: (a) população; (b) fauna; (c) flora; (d) solo e fundo do mar; (e) água; (f) ar; (g) condições climáticas; (h) bens materiais, incluindo o patrimônio arquitetônico e arqueológico; (i) segurança da paisagem e costa; (j) inter-relação dos fatores citados anteriormente; ● Impacto diretos, indiretos, secundários, cumulativos, em curto e longo prazo, definitivos ou temporários, bem como positivos ou negativos ao meio ambiente; ● As medidas previstas para evitar, reduzir e, sempre que possível, neutralizar os efeitos prejudiciais significativos no ambiente; ● As consequências socioeconômicas dos impactos ambientais do projeto;

Fonte: Adaptado de Vasconcelos, 2019

¹³ Comunidades de organismos que vivem no substrato de ambientes aquáticos.



O cronograma de funcionamento é analisado após essa validação da consulta pública. Ele deve conter os dados desde o momento da construção, com a extração de matérias primas, os resíduos advindos dessa indústria extrativista, os meios de transporte utilizados, os dutos e cabos submersos do parque, até o encerramento de uso por parte da empresa e ou Estado (VASCONCELOS, 2019; FERREIRA, 2020). Após isto, são analisadas, segundo as leis vigentes do Estado, as etapas entre a autorização e o licenciamento ambiental, este que, por sua vez está relacionado à presença ou não de competitividade entre áreas em poder do Estado ou por empresas particulares.

O arcabouço legal vigente no Brasil é idealizado com referências dos parques eólicos *onshore* mais desenvolvidos na indústria brasileira. O Projeto de Lei de Iniciativa nº 484/2017 promove o desenvolvimento da geração de energia elétrica no mar territorial e na zona econômica exclusiva, a partir da fonte eólica, promovendo o aproveitamento racional dos recursos energéticos do mar a partir da concessão destas zonas destinadas ao serviço público ou autoprodutor, para potências superiores a 5.000kW, sendo fiscalizadas pelo Ministério de Minas e Energia.

A possibilidade de avaliação dos impactos ambientais para empreendimentos de geração de energia elétrica considerados de baixo potencial poluidor, através da Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 279/2001, como é o caso *offshore*, pode ser feita por meio de estudos mais simplificados na etapa de licenciamento prévio, como é o caso do Relatório Ambiental Simplificado (RAS), através do órgão ambiental, o IBAMA. A resolução visa ter como base as informações e características técnicas do projeto declaradas pelo próprio empreendedor, e vistorias técnicas serão feitas pelos representantes dos órgãos ambientais licenciadores onde se pretende instalar o projeto. Outra forma de licenciamento pode ser obtida através do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (Rima), chamado de EIA/Rima. Este estudo apresenta maiores detalhes tanto sobre as características técnicas do empreendimento quanto dos temas estudados.

Além disso, outros órgãos federais devem aprovar o licenciamento ambiental, segundo a Portaria Interministerial nº 60/2015. Este é o caso da Fundação Nacional do Índio (Funai), da Fundação Cultural Palmares (FCP), do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional



(Iphan) e da Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde (SVS/MS). Estas entidades, estão relacionadas ao contexto socioeconômico dos possíveis impactos que justifiquem a viabilidade do projeto.

4.3 Projetos para o Brasil

Segundo Ferreira (2020) até janeiro deste ano, apenas seis projetos estão em fase de licenciamento ambiental e apenas um deles está sendo licenciado por meio do RAS. Os estudos ambientais requeridos para estes projetos levam como base a avaliação dos impactos gerados delimitando, assim, a viabilidade dos empreendimentos.

4.3.1 Parques eólicos em licenciamento no Brasil

O Parque Eólico *Offshore* Caucaia Parazinho em Iparana, no Estado do Ceará, foi o primeiro entre os licenciamentos concedidos pelo Governo Federal no ano de 2016. A estrutura do projeto terá capacidade produtiva de 310 MW, a partir da combinação de um parque eólico *offshore* (288MW) formado por 48 aerogeradores de 6 MW cada e um trecho *semi-offshore* (22MW) formado por 11 aerogeradores de 2 MW, cada um deles associados a 11 espigões fincados na linha da costa. A área total do projeto é de 6.700ha, onde as linhas de transmissão (LT) submarinas (230 kV) correspondem a 4,5 km, e a área da LT corresponde à 25,52km ou 19,89 km, contando com uma subestação marítima coletora. (FERREIRA, 2020)

O Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I, é mais um empreendimento no Estado do Ceará, e teve início de licenciamento em 2017. A estrutura do projeto terá capacidade de produzir 400 MW, a partir de 10 parques eólicos *offshore* (40MW) formado por 50 aerogeradores de 8 MW cada. A área total do projeto é de 7.224,33 ha, onde as linhas de transmissão (LT) submarinas (230 kV) correspondem a 6,54 km, e a área da LT corresponde à 116 km, contando com uma subestação marítima coletora. (FERREIRA, 2020)

O Complexo Eólico Marítimo Jangada, é o terceiro empreendimento no Estado do Ceará, e teve início de licenciamento em 2019. De acordo com o projeto, ele terá capacidade de produzir 3 GW, a partir de 4 parques eólicos *offshore* (750MW) com 200 aerogeradores de 15 MW cada. A área total do projeto é de 95.800 ha mais 4.980 ha destinados aos cabos submarinos, onde as linhas de transmissão (LT) submarinas (220 kV) varia entre 38,02 km e 51,62 km, e a área da LT



(500kV) corresponde a 91,4 km, contando com quatro subestações marítimas coletoras, sendo uma para cada parque e uma subestação elevadora *onshore* (FERREIRA, 2020).

O projeto do Complexo Eólico Maravilha, no Estado do Rio de Janeiro, teve início em 2019. Ele terá capacidade de produzir 3 GW, a partir de quatro parques eólicos *offshore* (750MW) formados por 200 aerogeradores de 15 MW cada. A área total do projeto é de 77.096 ha mais 5.800 ha, destinados aos cabos submarino, onde as linhas de transmissão (LT) submarinas (220 kV) varia entre 49,93 km e 67,13 km, e a área da LT (500kV) corresponde à 40,05 km, contando com quatro subestações marítimas coletoras e uma subestação elevada *onshore* (FERREIRA, 2020).

O Complexo Eólico Marítimo Águas Claras, no Estado do Rio Grande do Sul, teve início em 2019 e terá capacidade de produzir 3 GW, a partir de quatro parques eólicos *offshore* (750MW) formado por 200 aerogeradores de 15 MW cada. A área total do projeto é de 84.220 ha, mais 4.560 ha destinados aos cabos submarinos, onde as linhas de transmissão (LT) submarinas (220 kV) varia entre 13,85 km e 39,96 km, e a área da LT (500kV) corresponde à 58,9 km, contando com quatro subestação marítima coletora e uma subestações elevadas *onshore*. (FERREIRA, 2020)

Os parques eólicos descritos anteriormente foram licenciados previamente, pelo estudo ambiental EIA/Rima. O único que obteve a licença pelo estudo RAS foi a Planta Piloto de Geração Eólica Offshore. Este piloto será situado no Estado do Rio Grande do Norte e teve início em 2018. O projeto terá capacidade de produzir 5 MW a partir de um parque eólico *offshore* formado por conexão via cabos submarinos até a plataforma de exploração de petróleo. A área total do projeto é de 84.220ha mais 4.560ha, destinados aos cabos submarinos, onde as linhas de transmissão (LT) submarinas (34,5 kV) é de 1 km, contando com a instalação de uma torre anemométrica a 350m do aerogerador (FERREIRA, 2020). Neste ano, o projeto foi suspenso pela Petrobras, a fim de esperar melhores parcerias e oportunidades nos projetos eólicos *offshore* no Brasil (MACIEL *et. al.*, 2020)



4.4 Armadores e as mudanças na frota mercante brasileira

Devido às grandes mudanças que essa nova fonte de energia renovável invariavelmente trará para que seja possível a operação e produção em comparação com as energias terrestres, diversos pontos a seguir serão esclarecidos tomando como base as frotas de países mais avançados nesta fonte de energia. O primeiro ponto, refere-se à escassez de armadores especializados para suportar as cargas dos navios. Segundo Paulsson, Hodges e Martin (2019), para instalar estas turbinas são necessárias fundações que suportem centenas de toneladas e possam ser ancoradas em profundidades acima de 50m. As fundações precisam suportar guindastes e içar torres gigantescas espaçadas uma das outras. Por fim, é posicionada a carcaça do gerador, também chamada de *nacelle*, para a instalação das lâminas para a geração de energia. Apenas com esta descrição da operação, de um ponto de vista técnico, é possível perceber a especificação necessária para a sua implantação. Mesmo utilizando-se navios petroleiros ou de gás natural – que possuem certa vocação para o reaproveitamento – ainda é necessário adequá-los para o uso de geração e processamento de energia.

Além do parâmetro descrito anteriormente, é necessário salientar que a instalação e serviços prestados a esta fonte de energia devem ser altamente especializados. Segundo Pachot (2012), estes fatores devem ser unidos à cadeia de suprimentos o mais próximo possível dessas embarcações, seja no setor de transporte marítimo, projetistas ou operadores a fim de diminuir os custos. Lembrando que as distâncias destes navios estão cada vez maiores em relação à costa, solicitando, assim, conexões mais longas e, conseqüentemente, maiores investimentos na área.

Conforme descrito anteriormente, o aumento das distâncias entre o armador e o setor de suprimento, é um dos fatores de risco à navegação quando novos parques eólicos são expandidos ou construídos em áreas onde a atividade marítima é intensa. Segundo a *European MSP Platform* (2019), o aumento do risco de acidentes nestas localidades devido ao tráfego intenso de embarcações e a redução de espaços marítimos podem levar a perdas financeiras, causar vítimas humanas e graves danos ambientais. Além disso, pode aumentar a rota de outras embarcações, causando custos adicionais à indústria marítima. Por isso, é necessário criar avaliações de risco de navegação para equilibrar os requisitos de segurança e eficiência e para tomar decisões ideais sobre o uso do espaço para cada Nação (MEHDI *et al*, 2018).



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A decisão de investir na produção de energia eólica em águas jurisdicionais brasileiras é complexa. Seria necessário um trabalho minucioso por parte dos governos e dos órgãos regulamentadores em todos os fronts – técnico, legal, estratégico etc.

A experiência internacional mostra que é possível e vantajoso, dadas as devidas condições, implantar a modalidade. As motivações por trás do impulso dado por alguns países europeus são diversas – a diminuição da produção de hidrocarbonetos em território e águas europeias e o compromisso público global com a preservação do meio ambiente, por exemplo –, mas é fato que a energia eólica *offshore* é uma realidade para muitos países do mundo, incluindo grandes potências como os Estados Unidos e a China. Dos avanços obtidos quanto à produção e regulamentação de energia eólica *offshore* é importante tirar lições para que não se cometam os mesmos erros caso seja de interesse do Brasil incorporá-la à sua matriz energética e acompanhar o desenvolvimento tecnológico, não apenas de forma passiva, como um mero consumidor, mas também como contribuidor ativo, investindo em tecnologia para criar novas soluções.

É possível ter energia eólica *offshore* no Brasil. Os estudos comprovam a viabilidade física e o potencial produtivo nacional. É importante a contribuição do Brasil para a conservação do meio ambiente no cenário global por vários aspectos estratégicos, e o Brasil já o faz, sendo sua produção energética uma das mais limpas do mundo em termos gerais. O Brasil possui vastas reservas de petróleo e gás natural, que podem concentrar muita atenção do governo, indo na contramão da tendência internacional de investimentos cada vez mais pesados na produção de energia renovável – o que não é necessariamente algo ruim. No entanto, a energia eólica *offshore* tem potencial para ser uma grande indústria no Brasil, trazendo avanços tecnológicos e geração de riquezas para o país em diversos aspectos, como o aumento da segurança energética nacional, a consolidação do Brasil como um ator importante no mercado internacional de produção de energia renovável e criação de empregos no mercado de trabalho interno.



6 REFERÊNCIAS

- ABEEÓLICA. **Boletim anual de geração eólica 2017**. [s.l.]:[s.n.]. 2017. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/04/Boletim-Anual-de-Geracao-2017.pdf>. Acesso em: 05 ago.2020.
- AHN, D. *et. al.* Comparative evaluation of different offshore wind turbine installation vessels for Korean west-south wind farm. **International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering**, [s.l.]: Elsevier. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209267821630437X?via%3Dihub>. Acesso em: 16 jul. 2020.
- AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. **Guide for building and classing Wind Farm Support Vessels**. [S.I]: [s.n.]. 2018. Disponível em: <<https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/offshore/200-wind-farm-support-vessels-2018/wind-farm-support-vessel-guide-oct18.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2020.
- BARRETO, Fernanda de Melo. **Mapeamento tecnológico da geração de energia eólica offshore**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2019.
- BLYTH offshore demonstrator wind farm. **EDF Renewables**, [S.I.], 2019. Disponível em: <https://www.edf-re.uk/our-sites/blyth>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Ministério da Justiça. Ministério da Cultura. Ministério da Saúde. **Portaria Interministerial nº 60/2015, de 24 de Março de 2015**. Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 25 mar. 2015.
- BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei do Senado nº 484, de 2017**. Dispõe sobre a ampliação das atribuições institucionais relacionadas à Política Energética Nacional com o objetivo de promover o desenvolvimento da geração de energia elétrica localizada no mar territorial e zona econômica exclusiva a partir de fonte eólica; e dá outras providências. Brasília, DF: Senado Federal. 2017.
- BUHL, T. *et al.* **Load alleviation through adaptive trailing edge control surfaces: ADAPWING overview**. In Scientific proceedings. Bruxelas: European Wind Energy Association (EWEA). 2007. p. 20-23.
- BURDOCK, Liz. Offshore Wind Subsea Cable: Insights From The Experts. **Business Network for Offshore Wind**, [s.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.offshorewindus.org/2020/01/16/osw-cable-insights/>>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 279, de 27 de junho de 2001**. O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada



pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 27 jun. 2001.

DALGIC, Y.; LAZAKIS, I.; TURAN, O. Vessel charter rate estimation for offshore wind O&M activities. *In: 15th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean IMAM 2013 - Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*, 2013, La Coruña. **Anais** [...] La Coruña: International Maritime Association of the Mediterranean, 2013.

DIAS, R. **Análise da viabilidade de utilização de geração eólica offshore para eletrificação de plataformas de petróleo**. Belo Horizonte: UFMG. 2018.

ENERDATA. **Global Energy Statistical Yearbook 2019**. [S.I.], 2019.

ESTAMOS desenvolvendo o primeiro projeto piloto de energia eólica offshore do Brasil. **Petrobras**, 22 ago. 2018. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/estamos-desenvolvendo-o-primeiro-projeto-piloto-de-energia-eolica-offshore-do-brasil.htm#:~:text=Estamos%20desenvolvendo%20o%20primeiro%20projeto%20piloto%20de%20energia%20e%C3%B3lica%20offshore%20do%20Brasil,-22.ago.2018&text=A%20energia%20e%C3%B3lica%2C%20que%20utiliza,pela%20hidroeletricidade%20e%20pela%20biomassa>. Acesso em: 09 ago. 2020.

EUROPEAN MSP PLATFORM. Maritime transport and offshore wind: **Transport and offshore wind**. Cap. 7, pág 1-19. [s.l.]: [s.n.]. 2019.

FERREIRA, T. V. B. **Roadmap Eólica Offshore Brasil**. Brasília: [s.n.] 2020.

FULTON, G.R. *et. al.* **Semi-Submersible Platform and Anchor Foundation Systems for Wind Turbine Support**. California: [s.n.]. 2005. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/40282.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

GILES, R. **Air Range Diving Support Vessel Guidance**. Londres: HMSO. 1991. Disponível em: <https://www.hse.gov.uk/research/othpdf/200-399/oth336.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

GWEC. **Global Wind Report 2019**. Bruxelas: [s.n.]. 2019. Disponível em: <<https://gwec.net/global-wind-report-2019/>>. Acesso em: 21 abr. 2020.

GWEC: Over 60GW of wind energy capacity installed in 2019, the second-biggest year in history. **GWEC**, Bruxelas. 2019.

HUNDLEBY, G.; FREEMAN, K. **Unleashing Europe's offshore wind potential**. [S.I.]: Wind Europe e BVG Associates. 2017.

IMO. **HSC Code**. Londres: IMO Publishing. 2000. Disponível em: <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/282657/msis34_hsc_code_2000_2008_itos_rev1.01-full-2.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2020.

IRENA. **Future of wind**: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper), Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. 2019. Disponível em: <https://irena.org/>



/media/Files/IRENA/Agency/%20Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf.

Acesso em: 21 ago. 2020.

ISLAM *et. al.* **Power converters for wind turbines: Current and future development.** [s.l.]:[s.n.]. 2013.

LARSEN, Jens H. **The world's largest off-shore windfarm, Middelgrunden 40 MW.** Wels: Copanhangen Environment and Energy Office. 2001.

MACIEL, F.; SERODIO, G.; FAFÁ, L.; GAUDARDE, G *et. al.*. Eólicas offshore: novos projetos somam 9 GW de capacidade instalada. **EPBR**, Newsletter Diálogos da Transição, 6 jan. 2020. Disponível em:<https://epbr.com.br/eolicas-offshore-novos-projetos-somam-9-gw-de-capacidade-instalada/>. Acesso em: 09 ago. /08/2020].

MACIEL, F.; SERODIO, G.; FAFÁ, L.; GAUDARDE, G. *et. al.* Petrobras suspende projeto de eólica offshore. **EPBR**, Newsletter Diálogos da Transição, 3 mar. 2020. Disponível em:<https://epbr.com.br/petrobras-suspende-projeto-de-eolica-offshore/>. Acesso em: 09 /08/ago. 2020].

MEHDI, R. A.; SCHRÖDER-HINRICHS, J. U.; OVERLOOP, J. V.; NILSSON, H.; PÅLSSON, J. **Improving the coexistence of offshore wind farms and shipping: an international comparison of navigational risk assessment processes.** WMU Journal of Maritime Affairs, [s.l.], v.17, p. 397–434. 2018.

MENON, Ajay. **Understanding Heavy Lift Vessels (HLVs): Design, Operation And Types.** Marine Insight, [s.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.marineinsight.com/types-of-ships/heavy-lift-vessels-design-operation-and-types/>>. Acesso em: 16 jul. 2020.

MODESTO, Laura I.; FREITAS, Pedro L. de Paiva. **Energia Eólica Offshore.** Rio de Janeiro: CIAGA. 2020.

MÜLLER, M. do N. **Análise de tecnologias e custos para inserção da energia eólica offshore na costa brasileira.** Rio de Janeiro: UFRJ. 2019.

NASCIMENTO, Thiago Cavalcante; MENDONÇA, Andréa Torres Barros Batinga de; CUNHA, Sieglinde Kindl da. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. **Cad. EBAPE.BR**, v.10, n.3, artigo 9, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/cadernosebape/article/view/5488/4208>. Acesso em: 10 mar 2020.

NEWMAN, JOHN N. **Marine hydrodynamics.** Massachussets: MIT Press. 1977. ISBN 978-0-262-14026-3



PACHOT, M. Shipping rules in favour of offshore wind sector. **Windpower Monthly**, [s.l.], 7 dez. 2012. Disponível em: <https://www.windpowermonthly.com/article/1190754/shipping-rules-favour-offshore-wind-sector>. Acesso em: 09 ago. 2020.

RIBEIRO, C. M. S., **Construção de parques eólicos marítimos: processos e direção de obra**. Porto: Universidade do Porto. 2015.

SILVA, A. J. V. de C. **Potencial eólico offshore no Brasil**: localização de áreas nobres através de análise multicritério. Rio de Janeiro: UFRJ. 2019.

SILVA, E. C. M. Experiência e expectativas da petrobras para eólica offshore. In: BRAZIL WINDPOWER: CONFERENCE AND EXHIBITION, Rio de Janeiro, 2018. **Anais**. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2018.

SILVA, E. W. **Licenciamento ambiental federal de complexos eólicos offshore**: Avaliação de Impacto Ambiental de Complexos Eólicos Offshore. [s.l.]: IBAMA, 2019.

STRUCTURAL analysis. In: **University of Strathclyde**, Glasgow, 2017. Disponível em: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/16-17/WindAndTidal/structuralAnalysis.html#intro Acesso em: 02 ago. 2020.

TAVARES, B. J. L., **Parques Eólicos Offshore: Estudo de soluções de interligação do tipo HVAC e HVDC**. Porto: Universidade do Porto. 92f. 2010.

THE risks of zero-subsidy offshore wind. **GWEC**. Bruxelas, 2019. Disponível em: <https://gwec.net/the-risks-of-zero-subsidy-offshore-wind/>. Acesso em: 16 mai. 2020.

US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2020**. Washington: [s.n.]. 2019. Disponível em: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf. Acesso em: 23 abr. 2020.

VASCONCELOS, R. de M. **Complexos eólicos offshore estudo sobre avaliação de impacto**. Brasília: [s.n.]. 2019.

WORLD'S First Offshore Wind Farm Disappears From Horizon. **Offshore Wind**, [s.l.]. 2017. Disponível em: <https://www.offshorewind.biz/2017/09/06/worlds-first-offshore-wind-farm-disappears-from-horizon-video/>. Acesso em: 21 abr. 2020.

