

PANORAMA E ABORDAGEM CONCEITUAL SOBRE SISTEMAS EÓLICOS *OFFSHORE*

Cláudson de Oliveira Câmara*
Humberto Dionísio de Andrade**
Herick Talles Queiroz Lemos***

RESUMO

Nas últimas décadas, todos os países do mundo têm procurado maneiras de usar os recursos naturais com o menor impacto ambiental possível, no setor elétrico não é diferente. Neste cenário, a energia eólica tem desempenhado um papel proeminente à medida que seu desenvolvimento de mercado vem crescendo a cada ano e agora temos uma nova etapa com o ramo *offshore*. A energia eólica *offshore* já é uma realidade na rede elétrica de muitos países, mas, apesar de seus altos preços, em poucos anos será tão competitiva quanto em terra. O presente trabalho tem como função o levantamento de todos os aspectos que compõem este ramo da geração eólica *offshore*, desde o seu início até o seu desenvolvimento nos dias atuais. Para isso, será feito um levantamento histórico, mostrando os avanços nas tecnologias utilizadas, o cenário mundial e, por fim, a situação do Brasil.

Palavras-chave: energia eólica *offshore*, energia eólica *onshore*, potência instalada, custos, potência total instalada, energia limpa.

1 INTRODUÇÃO

Após a crise do petróleo na década de 70, o mundo percebeu que não poderia mais utilizar os recursos naturais sem preocupações com o desenvolvimento sustentável. Com isso, se iniciou uma corrida global para se utilizar de maneira mais eficiente os recursos naturais. O setor elétrico também foi atingido por esses fatos, e, nas últimas décadas, vem-se desenvolvendo novas tecnologias buscando gerar energia de maneira mais limpa e com o menor impacto ambiental. Um exemplo disso é a grande expansão da energia eólica e solar fotovoltaica (NASCIMENTO, 2018).

Segundo Christófaru (2010), desde muito tempo atrás, a humanidade utiliza o vento para realizar algumas de suas atividades, impulsionar as velas das suas embarcações para o transporte, como também a moagem de grão por meio de moinhos de vento. Nos últimos anos, esse mecanismo é utilizado para gerar energia elétrica, uma energia limpa e de baixo impacto ambiental, que inicialmente se concentrou na área terrestre (*onshore*) e, atualmente, ganha os mares (*offshore*) do planeta. A geração eólica *offshore* iniciou-se em países que não possuíam uma grande extensão de terra, como a Dinamarca, Reino Unido e Alemanha, mas essa tecnologia está se espalhado para o resto do mundo.

Este estudo se utiliza do modelo de revisão bibliográfica com a intensão de se realizar um levantamento de todos os aspectos referentes ao sistema eólico *offshore* e suas características específicas.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: a Seção II apresenta o Referencial Teórico, no qual é abordado de forma breve a história da energia eólica, sua tecnologia, a geração eólica *offshore*, as diferenças entre a geração *onshore* e *offshore*, o cenário mundial, o potencial na

*Aluno de Engenharia Elétrica – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. E-mail: claudson012@hotmail.com

** Professor do Magistério Superior – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. E-mail: humbertodionisio@ufersa.edu.br

*** Professor do Magistério Superior – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. E-mail: hericktalles@gmail.com

costa brasileira, os desafios da sua exploração e as conquistas na área; na Seção III, Resultados e Discursões, são analisados os dados de geração mundial e nacional, a viabilidade dos investimentos no setor, seus prós e contras e os motivos da inexistência de parques *offshore* no Brasil; na Seção IV, Conclusão, são feitas as considerações finais do trabalho evidenciando os resultados mais relevantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA EÓLICA

De acordo com Cresesb (2017) e nascimento (2018), os ventos são gerados a partir do movimento de rotação da Terra e o aquecimento desigual da mesma pelo Sol. Essas massas de ar circulam pelo planeta a milhares de anos, por isso são consideradas uma forma de energia renovável. A energia eólica consiste em transformar a energia cinética dos ventos em eletricidade, uma vez que os ventos batem nas pás dos aerogeradores, que transformam a energia cinética dos ventos em energia mecânica, que por sua vez aciona um gerador que a transforma em eletricidade.

Segundo Christófaros (2010) e Cresesb (2017), os primeiros registros da utilização de moinhos de ventos datam de 644 A.C., pelo império Persa, sendo utilizado para a moagem de grãos e para a irrigação. Em meados de 1100, os moinhos chegaram na Europa, no qual, logo se popularizou. Na Figura 1 é mostrado um cata-vento de eixo horizontal do tipo holandês, que devido a sua alta variedade de utilização, se propagou por todo o continente. Em 1888, Charles F. Brush construiu a primeira turbina eólica, que continha 114 pás de madeira, um diâmetro de 17 metros, uma torre de 18 m de altura, no qual fornecia 12 kW em corrente contínua, que eram armazenadas em baterias. Esse sistema operou por 20 anos, sendo um marco para o setor elétrico, pois apresentava uma nova forma de geração de eletricidade.

Figura 1: Moinho de vento holandês.



Fonte: Cresesb (2017).

O próximo grande avanço desta tecnologia só ocorreu em 1931, na Rússia, com a ligação do aerogerador Balaclava com uma usina termelétrica através de uma linha de transmissão de

30 km. Esse modelo gerava 100 kW e foi a primeira tentativa no qual se conseguiu conectar um aerogerador a uma termelétrica. Durante a segunda guerra mundial, para economizar os combustíveis fósseis, foi desenvolvida a tecnologia de aerogeradores de médio e grande porte. Neste período, vale destacar o modelo estadunidense Smith-Putman que contava com um diâmetro de 53,3 m, 33,5 m de altura de torre, duas pás de aço de 16 toneladas e com um gerador síncrono de 1250 kW com rotação constante de 28 rpm. Após a segunda guerra, essa tecnologia ficou em segundo plano até a crise do petróleo da década de 70, no qual ganhou grande força e é uma das formas de geração de energia que mais cresce atualmente (CHRISTÓFARO, 2010).

De acordo com Nascimento (2018) e Pinto (2017), os conceitos primários sobre os aerogeradores *offshore* foram desenvolvidos por Hermann Honnef em 1930. Já na década de 70, iniciou-se os primeiros estudos sobre a implantação de parques eólicos *offshore* pelo prof. Willian Heranemus do MIT. Em 1990, na Suécia, foi instalado o primeiro aerogerador do mundo, tendo a capacidade de geração de 220 quilowatts (kW) com uma profundidade de 7 metros. Em 1991, foi instalado o primeiro parque eólico do mundo na costa da Dinamarca, em Vindeby, contando com 11 turbinas com 4,95 megawatts (MW) em potência instalada. O parque foi desmontado em 2017, e durante seus 26 anos de operação gerou 243 GW/h, o que equivale a geração de seis das maiores turbinas eólicas *offshore* da atualidade em um ano. Segundo Reis (2018) o maior parque eólico *offshore* do mundo é o Walney Extension, localizado no mar da Irlanda, tendo a capacidade de gerar 659 MW e alimentar 600 mil residências. A Figura 2 mostra algumas de suas 87 turbinas da MHI Vestas, de 195 m de altura e que ocupam uma área de 145 km², o que equivale a 20 mil campos de futebol. A empresa Ørsted está construindo na costa do Reino Unido o parque eólico Hornsea Project Two, que fornecerá cerca de 1.386 MW e abastecerá 1,3 milhões de residências. Com uma previsão de término de sua construção em 2022, será instalado a 89 km da costa de Yorkshire e gerará 2.000 empregos direto durante a sua construção (GALDINO, 2017).

Figura 2: Parque eólico Walney Extension.



Fonte: Reis (2018).

2.2 ESTRUTURA DE UM PARQUE EÓLICO OFFSHORE

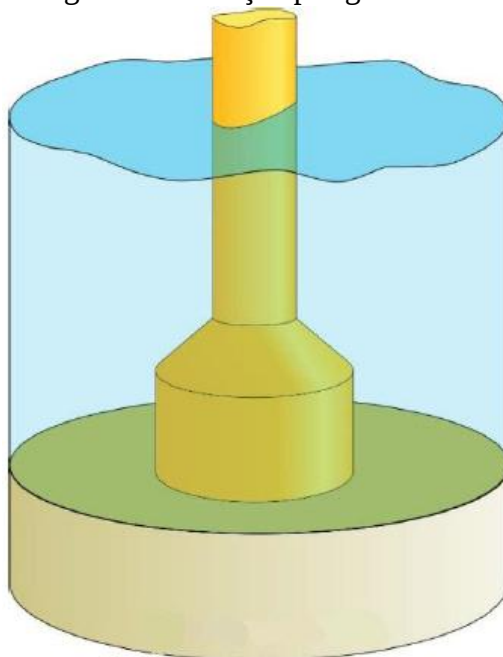
A configuração das turbinas eólicas *offshore* são as mesmas das *onshore*, sendo por diferenciá-las o tratamento contra corrosão e umidade que os materiais e equipamentos *offshores* recebem. O tipo de rotor utilizado mais comumente é o de eixo horizontal, no qual podem ser

constituídos de uma pá e um contrapeso, duas pás, três pás ou de múltiplas pás. Hoje o diâmetro do rotor passa dos 150 metros e até 2020 esse valor vai passar dos 200. As pás podem ter vários formatos e serem constituídas de diferentes tipos de materiais, como as de madeiras rígidas, alumínio, fibra de vidro reforçada e as de fibra de carbono, sendo a mais comum a de fibra de vidro reforçada. Dependendo da potência do aerogerador, as pás variam de 50 a 88 metros de comprimento, quanto maior as pás maior será a captação de vento e a geração de energia. As pás são conectadas ao cubo (hub), que pode ser construída em aço ou de uma liga de alta resistência. Na Nacele, que é a cabine montada sobre a torre, temos o gerador, o sistema de controle, os instrumentos de medição do vento e os motores responsáveis por girar o sistema para a melhor captação de vento. As torres podem ser do tipo tubulares de aço, concreto ou de estruturas metálicas treliçadas, sendo a mais comum a do tipo tubular de aço. As torres têm a função de sustentar a Nacele, por isso são itens de grande porte que trazem um elevado custo inicial (PINHO, 2017).

Segundo nascimento (2018), as fundações são estruturas de suporte que dão sustentação as torres, dessa forma, no seu projeto tem que ser levadas em consideração a área que serão implantadas, bem como as vantagens e desvantagens de cada tipo de fundação. As fundações dos aerogeradores são projetadas para suportar as cargas estáticas, isto é, o peso das estruturas e equipamentos, e cargas dinâmicas, que são as forças horizontais causadas pelos ventos. Os tipos de fundações utilizadas nos aerogeradores *offshore* são:

a) Fundação por gravidade – trata-se de um caixão oco feito de concreto e/ou aço, que é preenchido por algum tipo de material de lastro, como areia. Este tipo de fundação se estabiliza no mar através da atuação do peso e do tamanho da estrutura que será montada acima dele. Na Figura 3 é representado esse tipo de estrutura, no qual tem como desvantagens os impactos causados a fauna e a flora marinha, a profundidade máxima de instalação de 27 metros e a complexidade de instalação. Como vantagens pode ser citado a fácil remoção da estrutura em caso de falha durante a instalação ou funcionamento, durabilidade e o baixo preço, comparado com as outras fundações;

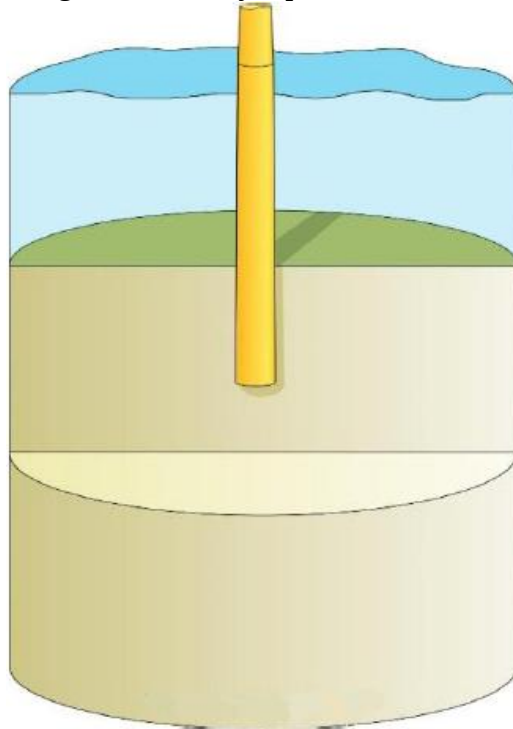
Figura 3: Fundação por gravidade.



Fonte: Nascimento (2018).

b) Fundação por estaca única – na Figura 4 é apresentado esse tipo de fundação que é atualmente a mais utilizada, na qual consiste na perfuração do solo e à fixação de uma estaca. A perfuração é realizada por meio de martelo hidráulico e em casos de solo com muitas camadas rochosas são usados explosivos. A sua estabilidade é garantida pelo atrito entre a estaca e as paredes escavadas. As suas desvantagens são que a sua profundidade máxima de instalação é de 25 metros, os impactos ambientais causados pela explosão e o barulho subaquático causado pelo martelo hidráulico durante a sua operação. Tem como vantagens o seu custo operacional, que é o mais baixo, e a ausência de preparação do local a receber a infraestrutura;

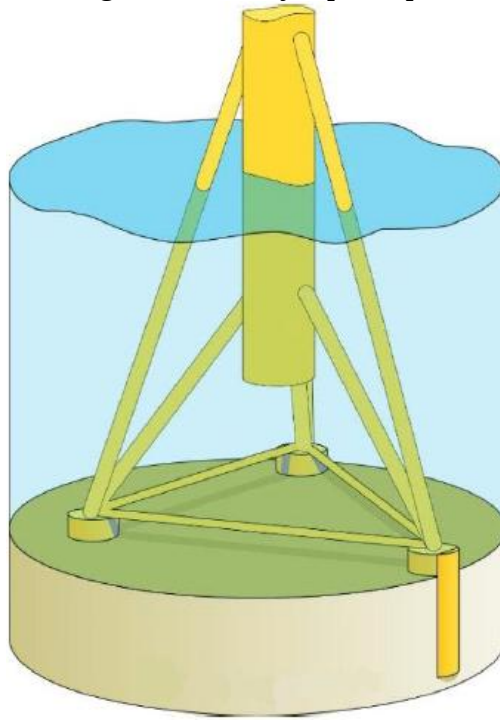
Figura 4: Fundação por estaca única.



Fonte: Nascimento (2018).

c) Fundação por tripé – esse tipo de estrutura baseia-se no tipo de construção e instalação realizadas em plataformas marítimas das empresas petrolíferas. Sua forma de instalação é a mesma que a utilizada na fundação por estaca única, com a diferença de que é necessário realizar três perfurações ao invés de uma, como mostrado na Figura 5. Diferentemente das duas fundações anteriores, essa estrutura é utilizada em grandes profundidades e suporta aerogeradores mais potentes e robustos. Como desvantagens apresenta as mesmas que na fundação por estaca única, mas com ainda mais impacto devido ser necessário fixar as suas três estacas, o que gera uma maior poluição sonora, destruição e perturbação do meio. Como vantagens pode ser citado a maior estabilidade em comparação a estrutura de estaca única, maior durabilidade, a utilização em altas profundidades e a capacidade de sustentar aerogeradores mais potentes;

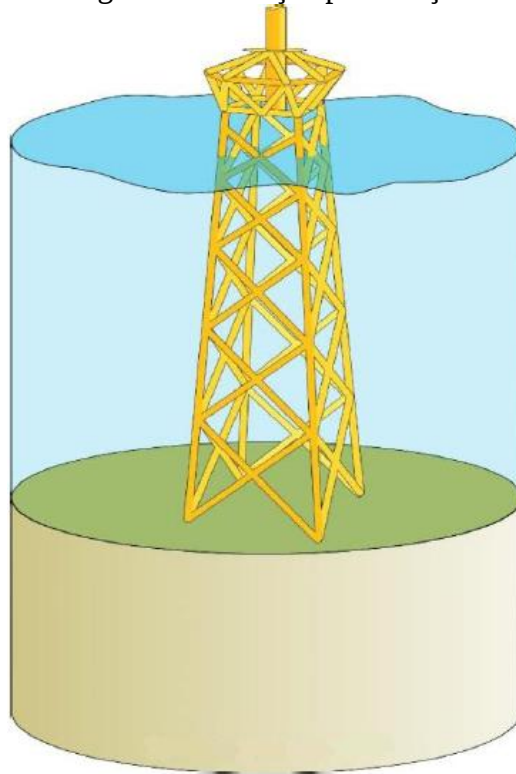
Figura 5: Fundação por tripé.



Fonte: Nascimento (2018).

d) Fundação por treliça – trata-se de uma estrutura feita de bastões de aço cruzadas em forma de pedestal vertical. A sua forma de fixação é a mesma que a empregada na fundação por estaca única, só que com um maior grau de complexidade devido a fixação de quatro hastes, como pode ser visto na Figura 6. São utilizadas para a fixação de aerogeradores de grandes potências e em grandes profundidades, podendo ser instalados em profundidades que a do tipo tripé não possa ser empregada. Tem com desvantagens os custos na sua fabricação e os altos impactos causados a fauna e flora da região, devido a fixação das suas quatro estacas. Suas vantagens são devido a sua alta resistência a corrosão, aplicação em grandes profundidades e a capacidade de sustentar grandes volumes;

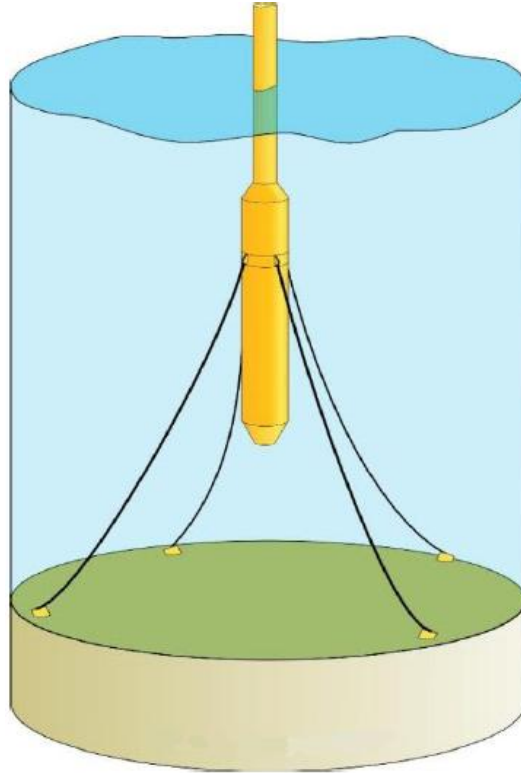
Figura 6: Fundação por treliça.



Fonte: Nascimento (2018).

e) Fundação por sucção – da mesma forma que na fundação por tripé, esse tipo de estrutura se derivou do setor petrolífero. Como mostrado na Figura 7, essa estrutura fica presa ao fundo do mar por meio de ancoras fixas, que impedem que a mesma se desloque para outras áreas. Como desvantagens pode ser citado que esse tipo de fundação não pode ser colocado em qualquer tipo de solo, como por exemplo solos muito sedimentares, devido a necessidade de ancoragem. Outra desvantagem é há necessidade de se realizar um estudo e uma análise do solo para identificar a suas características e se é propício para a instalação deste tipo de fundação. Como vantagens, pode-se destacar seu menor impacto ambiental se comparado as outras formas de estrutura já apresentadas, sua rápida instalação e desinstalação, isto pois a sua forma de fixação ao solo se dá por meio de ancoras fixas;

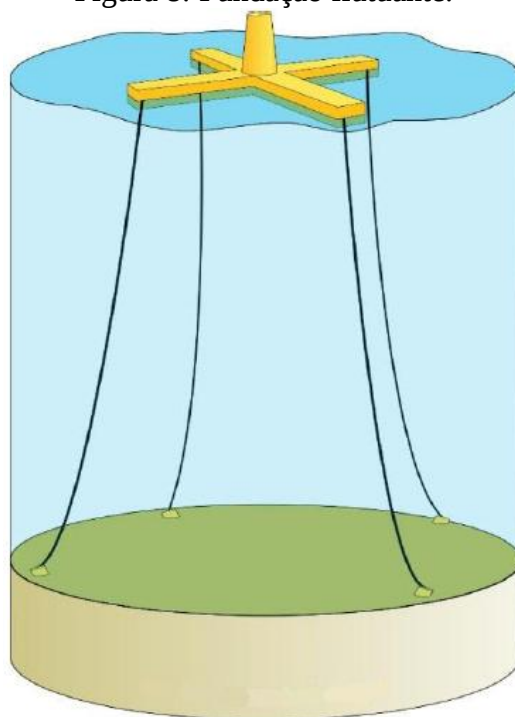
Figura 7: Fundação por sucção.



Fonte: Nascimento (2018).

f) Fundação flutuante – Esse é o tipo de estrutura mais recente e se assemelha muito a fundação por sucção. Como a anterior, ela necessita de ancoras para ser mantida em sua área de atuação. A sua única diferença para a do tipo sucção é a sua forma, como mostrado na Figura 8, pois a flutuante age com uma boia ficando acima da lâmina d'água. Tem como a sua principal desvantagem o fato do movimento realizado pelo conjunto, fazendo necessário que haja uma grande área de restrição, impedindo a realização de quaisquer outras práticas nesta região, como por exemplos a pesca em alto mar e o transporte marítimo. Suas vantagens são: rápida e fácil instalação e desinstalação, pode ser empregado em mares ainda mais profundo e com relevo de alta rugosidade e sua montagem pode ser totalmente realizada em terra e, posteriormente, levado ao local de instalação.

Figura 8: Fundação flutuante.



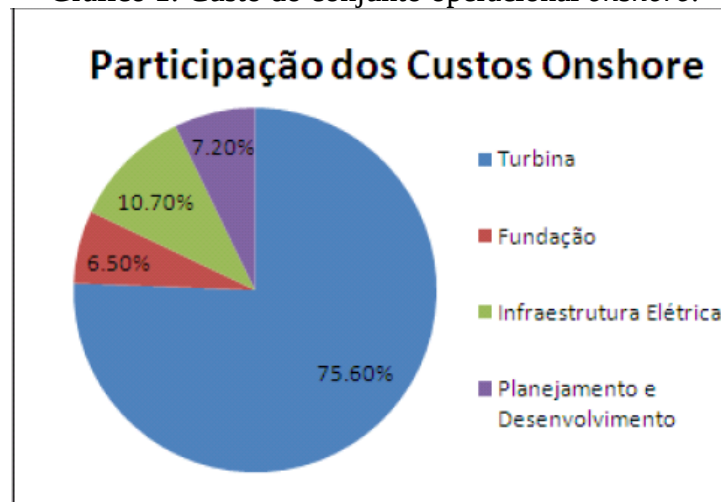
Fonte: Nascimento (2018).

2.3 ESTRUTURA DE UM PARQUE EÓLICO OFFSHORE

Para Pinho (2017), tanto na geração *onshore* quanto na *offshore*, as formas de captação dos ventos são as mesmas. Em sua maioria, as turbinas são do tipo de rotor de eixo horizontal, com pás ligadas a um cubo, que, por sua vez, estão conectadas a nacele, todo esse sistema montado em uma torre. Apesar de serem baseadas no mesmo princípio de captação e geração de energia, existem algumas diferenças entre esses dois ramos da energia eólica. Na perspectiva de Trapp (2009) e Tavares (2010), dentre essas diferenças estão o custo de montagem, transporte, instalação, manutenção, proteção e o tipo de material utilizado em sua composição, sendo que os sistemas *offshore* são mais caros devido ao ambiente em que serão instalados.

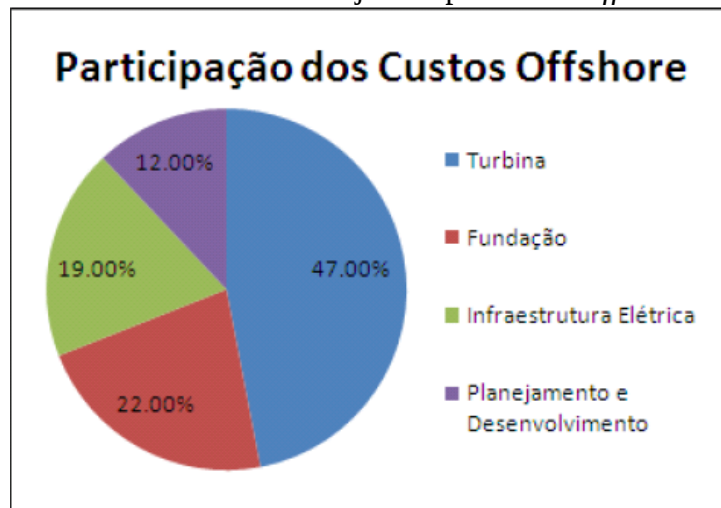
Todo o sistema *offshore* recebe um tratamento especial contra a alta corrosão, abrasão e umidade causadas pelo mar. As torres são mais elevadas, pois uma parte dela fica submersa, e as fundações são mais complexas na sua construção e instalação. Nos Gráficos 1 e 2 são apresentados os custos das etapas de instalação das turbinas *onshore* e *offshore*, no qual nota-se que na *offshore* há um maior gasto com a fundação, cerca de 22% do total. Sua manutenção e reparos são dificultados devido à forma de acesso, sendo necessário que as equipes sejam transportadas por barcos ou helicópteros, bem como o alto custo na manutenção devido ao ambiente corrosivo. Outro fator que encarece o sistema ocorre devido a sua forma de transmissão, os cabos percorrem quilômetros embaixo do fundo dos oceanos até serem conectados a uma subestação em terra. Há ainda um impacto na fauna e flora marítima da área (TRAPP, 2009; TAVARES, 2010; RAPOSO, 2014).

Gráfico 1: Custo do conjunto operacional *onshore*.



Fonte: Trapp (2009).

Gráfico 2: Custo do conjunto operacional *offshore*.



Fonte: Trapp (2009).

As vantagens do sistema *offshore* para o *onshore* são o baixo impacto visual, pois os mesmos podem ser implantados em alto mar; maior geração de eletricidade, visto que no mar as velocidades dos ventos são maiores, devido a baixa rugosidade e falta de obstáculos na superfície do oceano. Essa maior geração ocorre também pelo fato de ser utilizado aerogeradores mais potentes do que os utilizados no *onshore*; no mar, os ventos são mais perenes e uniformes que em terra, resultando uma menor turbulência e perdas na geração; a não utilização de terras habitáveis e de uso agroeconômico, como em países com pouca extensão territorial ou que já não possuem terras com um bom potencial eólico; a emissão de ruídos que tanto gera reclamações de moradores próximos às usinas *onshore*, que é irrelevante quando se trata das *offshore*, devido as suas distantes localizações em relação à terra (RAPOSO, 2014; SILVA, 2015; FERREIRA, 2008).

Segundo Raposo (2014) e Silva (2015), outra vantagem que pode ser citada do *offshore*, é quanto ao transporte e instalação dos seus componentes. Muitas vezes é necessário a construção de estradas para o acesso do local onde será implantado um parque *onshore*, para isso pode ser necessário a utilização de explosivos e de maquinário pesado. Outro ponto, é que durante o transporte os componentes dos aerogeradores são desmontados e só ocorre a sua montagem nos locais de instalações das turbinas, isso ocorre, pois os componentes são

transportados por dentro dos centros urbanos. Já no *offshore* a torre e a nacele são montados em terra e transportados em plataformas elevadoras até o local de instalação, como mostra a Figura 9. Desta forma, há um barateamento dos custos de transporte dos equipamentos dos aerogeradores *offshore*, além de um menor tempo para a instalação e uma logística de transporte mais simplificada.

Figura 9: Montagem de um aerogerador *offshore*.



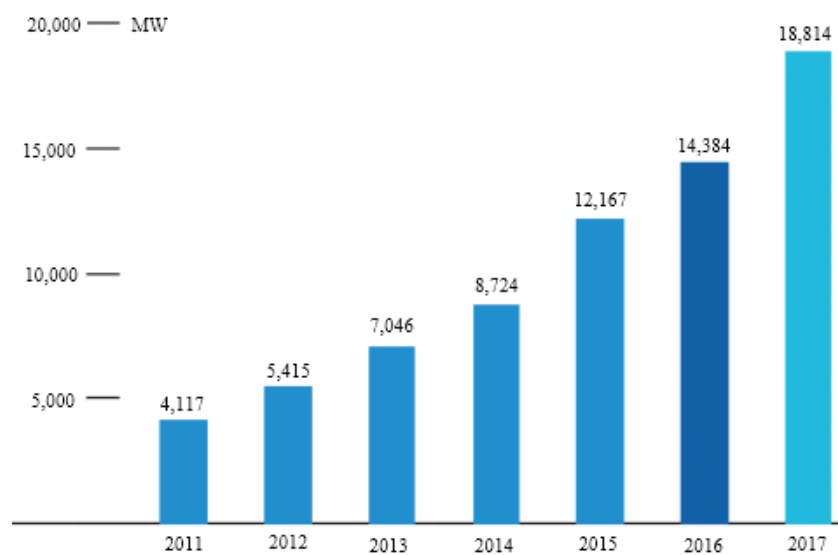
Fonte: Silva (2015).

2.4 CENÁRIO MUNDIAL

De acordo com GWEC (2018), os primeiros países que buscaram a utilização de energia eólica *offshore* em sua matriz energética foram aqueles de pequena extensão territorial, ou porque suas terras com potencial *onshore* tinham se extinguido ou pela necessidade da utilização dessas terras para outros setores de sua economia. Hoje em dia, essa realidade está mudando: Estados Unidos, China e Austrália são exemplos de países que estão investindo nessa forma de energia.

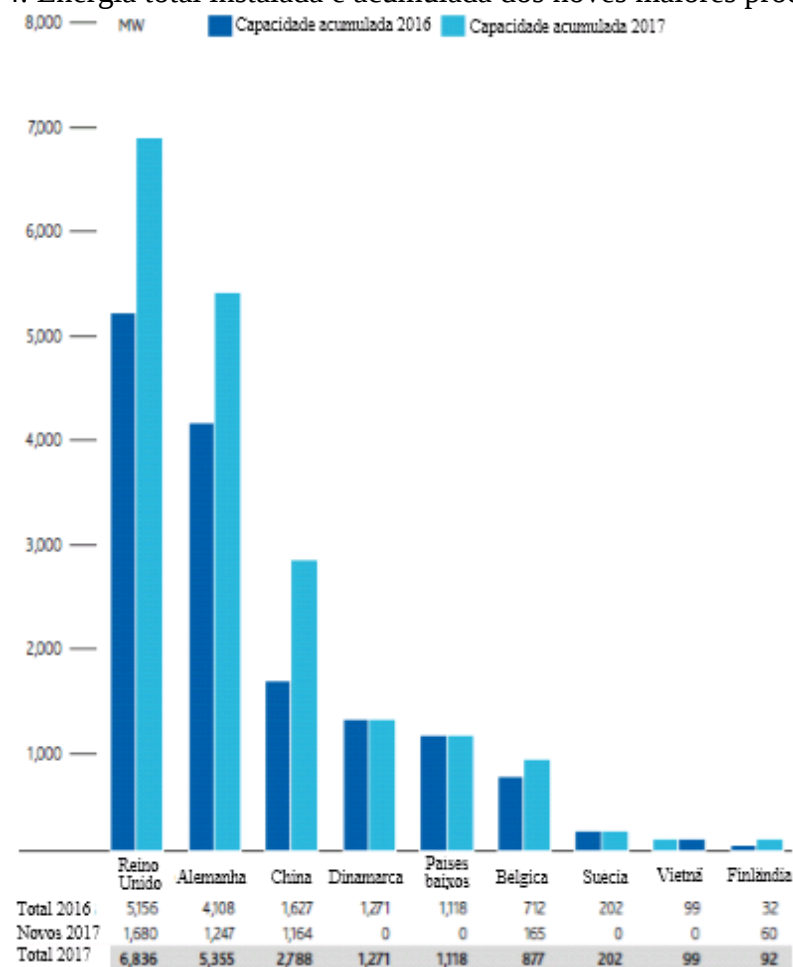
Em 2017, houve um recorde de instalação no setor de 4,3 gigawatts (GW) em nove mercados, o que representou um aumento de 50% em comparação a 2016. Na Gráfico 3 é apresentado o crescimento do setor de 2011 a 2017. Como mostrado nas Gráficos 4 e 5, o total instalado foi de 18,81 GW em 17 países, sendo que quase 84% (15,78 GW) se encontra em águas de onze países europeus, 16% se encontra divididos entre China, Vietnã, Japão, Coreia do Sul, Estados Unidos e Taiwan. Neste ano, o Reino Unido liderava o mercado da energia eólica *offshore* instalada de 6,8 GW, seguido da Alemanha com 5,4 GW, China com 2,8 GW, Dinamarca com 1,3 GW e em quinto lugar a Holanda com 1,1 GW (GWEC, 2018).

Gráfico 3: Energia eólica *offshore* instalada de 2011 a 2017.



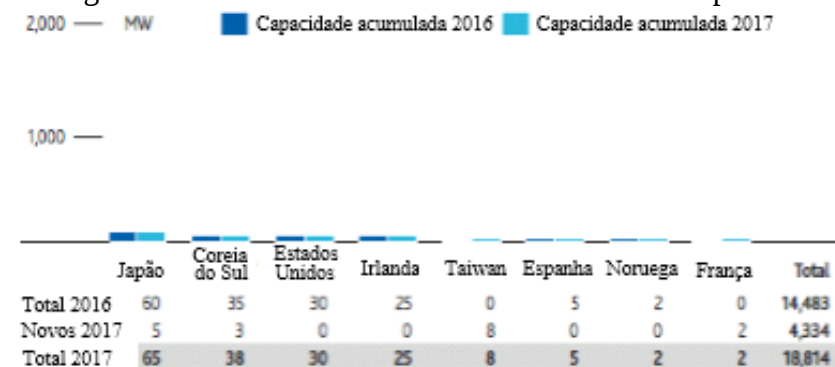
Fonte: GWEC (2018).

Gráfico 4: Energia total instalada e acumulada dos nove maiores produtores até 2017.



Fonte: GWEC (2018).

Gráfico 5: Energia total instalada e acumulada dos oito menores produtores até 2017.



Fonte: GWEC (2018).

Relatórios preliminares da GWEC de 2018, apontam um crescimento de 0,5% no setor, que instalou 4,49 GW e com a capacidade instalada total de 23 GW. Esses relatórios apresentam apenas os dados dos três maiores instaladores dessa fonte de energia deste ano, que somados chegaram ao valor de 4 GW de potência instalada. Os 0,49 GW restantes estão divididos entre os demais países produtores. Pela primeira vez, a China lidera o ranking com a instalação de 1,8 GW, seguido pela Reino Unido que caiu para a segunda colocação com 1,3 GW e a Alemanha em terceiro lugar com 0,9 GW. Mesmo caindo para o segundo lugar de potência instalada em 2018, o Reino Unido ainda está em primeiro em capacidade total instalada com 7,9 GW, seguido pela Alemanha com 6,4 GW e a China com um total acumulado de 4,58 GW (TEXEIRA; GWEC, 2019).

A perspectiva apresentada pela GWEC (2018), é que em 2030 a energia eólica *offshore* atingirá um valor de 120 GW de capacidade instalada em todo o mundo. Essa conclusão se baseia no crescimento do mercado ao longo dos anos, devido a consolidação desta tecnologia, a redução dos preços de investimento do setor, o interesse de novos investidores e a busca realizada por países em inserir esta forma de geração em suas matrizes elétricas. Iniciando em 2020, com um crescimento previsto de 10 GW por ano, os prováveis maiores produtores dessa modalidade de energia serão a China, Reino Unido, Alemanha, Dinamarca, Estados Unidos, Japão, Taiwan e a Coreia do Sul.

Segundo Gaudarde (2018), as empresas do ramo petrolífero como a norueguesa Equinor (ex-Statoil), a francesa Total e a anglo-holandesa Shell tem investido cada vez mais em fontes de energias renováveis, o que também inclui a geração eólica *offshore*. Os motivos para esse investimento são que essas empresas já atuam no ramo *offshore* de extração de petróleo e gás natural, então já tem experiência com esse tipo de ambiente severo e com as estruturas necessárias para esse tipo de local; o compromisso de gerar energia limpa para contribuir com as metas de combate às mudanças climática, compensando, assim, a poluição gerada pela extração e exploração dos combustíveis fósseis realizadas por essas empresas; e pela utilização da sinergia com a exploração de petróleo, isto é, utilizar a energia gerada pelos aerogeradores para o abastecimento das plataformas de petróleo e para a injeção de água utilizada na recuperação secundária de petróleo e gás.

De acordo com Gaudarde (2018) e Hirtenstein (2017), um avanço no setor eólico *offshore* ocorreu em outubro de 2017, com o início das operações do primeiro parque eólico flutuante do mundo, o Hywind Scotland. Construído pelas empresas Equinor e Masdar Abu Dhabi Future Energy, o parque conta com cinco turbinas com capacidade de geração de 30 MW, a 25 quilômetros da costa de Peterhead, ao norte da Escócia. O projeto utiliza boias

flutuantes spar (floating spar buoy) como fundações para as suas torres, que é o mesmo conceito utilizado pelas plataformas petrolíferas da região. Essa tecnologia permite a instalação de aerogeradores em águas muito profundas, com até 800 metros, em contra posição aos 60 metros de profundidade dos tipos de estruturas que são fixa no solo oceânico. Essa tecnologia permite a implementação de parques eólicos em regiões oceânicas de grande profundidade, abrindo novos mercados com o Japão, a costa oeste dos Estados Unidos e o Mediterrâneo. A média de profundidade dos projetos em 2017 foi de 27,5 m, com uma distância da costa de 41 km. Espera-se que nos próximos anos esses valores mudem e a modalidade alcance águas cada vez mais profundas e distantes das costas.

Uma grande notícia é a parceria entre o Conselho Global de Energia Eólica (GWEC), o Grupo Banco Mundial (WBG) e a Corporação Financeira Internacional (IFC) para incentivar aos países a utilizar em sua matriz energética a modalidade de geração energia eólica *offshore*. Através do Programa de Assistência à Gestão do Setor Energético (ESMAP), criado pelo WBG, e a Força-Tarefa de Energia Eólica da GWEC, serão oferecidos a esses novos mercados a avaliação do seu potencial eólico *offshore*, a introdução dessa modalidade de energia, apoio técnico, acesso aos principais desenvolvedores dessa tecnologia, fabricantes de equipamentos e o financiamento por parte IFC. Esse projeto beneficiará países com alto potencial eólico *offshore*, como Brasil, Indonésia, Índia, Filipinas, África do Sul, Sri Lanka e Vietnã, incentivando a iniciarem ou ampliarem a utilização deste recurso energético em seu território (GWEC, 2019).

2.5 PERSPECTIVA BRASILEIRA

Segundo Ortiz e Kampel (2011), nas últimas décadas, o Brasil vem investindo fortemente em energias renováveis, como por exemplo, a energia eólica e solar. Em 2005, o país começou a gerar energia eólica *onshore*, menos de 30 MW, e com o primeiro leilão realizado em 2009, esse valor subiu para 600 MW. Hoje a geração já ultrapassa 13 GW e abastece 10% da população, ou seja, 22 milhões de residências por mês. Mas esses valores correspondem apenas ao sistema *onshore*, pois o Brasil não possui, até o momento, empreendimentos no ramo *offshore*, apesar de estudos mostrarem que o potencial em mar é muito maior do que o em terra.

De acordo com Ortiz e Kampel (2011), um estudo feito entre agosto de 1999 a dezembro de 2009, utilizando o satélite QuikSCAT, estimou que o potencial energético *offshore* brasileiro na zona econômica exclusiva (ZEE) é 12 vezes maior que em terra. A uma profundidade de até 100 m, o potencial eólico é de 606 GW e em sua ZEE chega ao valor de 1,78 terawatts (TW), sendo valores impressionantes que demonstram o grande potencial do setor para o país. O estudo também aponta três regiões com grande potencial de geração: as margens de Sergipe e Alagoas, Rio Grande do Norte e Ceará e o Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Para Silva (2015) e Feldmann (2018), os principais motivos que vêm dificultando o investimento nessa modalidade de geração aqui no país são:

- a) O alto potencial eólico *onshore*: ainda existe muito potencial eólico em terra que pode ser explorado no Brasil;
- b) Alto custo: como ainda há muita energia a ser gerada em terra e os custos da implementação de energia *offshore* são muito altos se comparados com *onshore*, acaba-se tornando pouco atrativo;
- c) Incentivo governamental: como os custos para a implementação de parques *offshore* são caros é necessário um incentivo do governo para motivar o setor, assim como no início foi incentivado a geração *onshore*;
- d) Falta de uma legislação: outro problema é a falta de uma regulamentação específica para o setor, apesar de que os políticos já iniciaram os processos para criá-la;

e) A burocracia do Brasil: a burocracia faz com que possíveis investidores desistam de investir no país, sendo necessário agilizar todo o processo para que a área possa avançar.

Mesmo com essas dificuldades para a implantação do setor, o Brasil começa a dar os seus primeiros passos. A Petrobrás está interessada nessa área, a estatal está com um projeto piloto no Rio Grande do Norte, esperando o licenciamento pelo Ibama. A empresa fechou acordos com as empresas francesas Total e a norueguesa Equinor que já tem experiência no ramo, para implementarem projetos juntos em águas brasileiras (PETROBRÁS, 2018). Em dezembro de 2018, o senado aprovou a Projeto de Lei (PL) 484/2017, que visa a criação de leilões de energia eólica e solar *offshore* no país. O texto autoriza a criação de parques eólicos *offshore* com potências acima de 5 MW a serem instalados até 22 km da costa e na ZEE de até 370 km. Além da exploração marítima, foram inclusos as chamadas águas interiores, que compreendem mares fechados, lagos e rios. Serão leiloados as áreas denominadas prismas, que são regiões marítimas destinadas a exploração energética, assim como ocorre nas concessões feitas para a exploração do petróleo marítimo. O texto dá direito ao explorador do prisma concedido a implantação de estruturas no leito do mar e o obriga a comunicar a Agência Nacional do Petróleo (ANP) em caso de descoberta de jazida de óleo, gás ou qualquer outro tipo de hidrocarbonetos. A PL impede a concessão de áreas que hajam jazidas de petróleo e gás natural, com exceção de projetos eólicos ou solares que geram eletricidade para o consumo interno das plataformas petrolíferas (CANAL ENERGIA, 2019).

O Ibama está se preparando para criar as normas para o licenciamento da geração de energia eólica *offshore* no país, vendo o crescimento do interesse tanto nacional quanto internacional neste ramo. Para isso, é necessário a capacitação dos seus técnicos, que em março de 2019, farão um tour por países da Europa que já investiram neste setor. Esses técnicos irão passar por países como Portugal, Itália, Holanda e Bélgica, buscando avaliar os impactos que esse tipo de modalidade apresenta e os acertos e erros das legislações dos mesmos. Atualmente, existem três projetos de geração eólica *offshore* que esperam a aprovação do Ibama para a sua construção. Além do projeto da Petrobrás, os outros dois são (MARCIEL; EPBR, 2018):

a) Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I: contará com dez parques eólicos *offshore* com um total de 50 aerogeradores, que serão instalados a uma profundidade de sete a doze metros e com potência instalada de 400 MW. Localizado no litoral do município de Amontada, no Ceará, no qual ocuparão uma área total de 7.224,33 hectares, estarão de três a oito quilômetros de distância da costa;

b) Complexo Eólico Caju: Será Instalado entre a terra e o mar dos municípios Tutoia e Araisos no Maranhão e contará com 15 turbinas, com um potencial total instalado de 30 MW.

3 RESULTADOS E DISCURSÕES

Nos últimos anos, a energia eólica *offshore* vem crescendo em um ritmo acelerado, desde a instalação do primeiro parque na Dinamarca em 1991 com potência de 4,95 MW, o setor vem se tornando cada vez maior e mais competitivo. Hoje, o maior parque eólico *offshore* Walney Extension, localizado no mar da Irlanda, tem a capacidade de geração de 659 MW e há projetos em construção ainda mais ambiciosos, no qual a sua capacidade instalada passará de 1 GW após o termino de sua construção.

A pesar dos custos da energia *offshore* serem maiores do que a da *onshore*, ela ganha quando se trata de capacidade de geração. A cada ano há grandes avanços em matérias e equipamentos para a utilização marítima, isto faz com que os preços dessa forma de geração de energia caiam. A perspectiva é que daqui a alguns anos os custos de instalação e manutenção da *offshore* e *onshore* sejam praticamente iguais. Dados mostram que a velocidade do vento, a sua perenidade e uniformidade são maiores no mar do que em terra, isto ocorre devido à baixa

rugosidade e falta de obstáculos na superfície do oceano. Além de que em muitos lugares do mundo esse recurso marítimo está inexplorado, enquanto os melhores locais em terra estão cada vez mais raros.

A geração *offshore* iniciou-se em países com pouca extensão territorial, mas a realidade hoje vem mudando, países como Estados Unidos e China vem investindo nessa forma de energia. Em 2018, pela primeira vez a China chegou ao primeiro lugar em potencial instalado, ultrapassando países como o Reino Unido e Alemanha. Mesmo assim, o Reino Unido ainda ocupa a primeira posição na capacidade total instalada com 7,9 GW, seguido por Alemanha, 6,4 GW, e a China em terceiro com 4,58 GW, mas essa realidade pode mudar em poucos anos. Especialistas afirmam que até 2030 a China irá liderar o ranking com base nos seus projetos em construção e em planejamento.

Apesar do Brasil ter em 2017 um potencial total instalado de 12,763 GW em energia eólica, o país não tem nenhum empreendimento *offshore*, isto se dá a alguns fatores como o alto custo de instalação no mar, uma grande quantidade de áreas inexploradas em terra, a falta de legislação específicas e de incentivo governamental e a burocracia do país. Mas apesar de todos esses empecilhos, existe um interesse tanto nacional quanto internacional para se iniciar os investimentos nos mares do país. A Petrobrás já vem tentando há algum tempo iniciar um projeto piloto no polo de Guamaré, no Rio Grande do Norte, faltando apenas a aprovação dos órgãos regulatórios. A Petrobrás vem buscando parceiros que já tenham experiência na área e já conseguiu fechar acordos com a francesa Total e a norueguesa Equinor (ex-Statoil). A própria Equinor já vinha de olho no potencial dos mares do país. A empresa já conta com alguns projetos em águas do Reino Unido, Escócia e Alemanha. Os três projetos que esperam aprovação do Ibama estão localizados em águas rasas e o tipo de fundação escolhida por eles são a do tipo estaca única, isto ocorre devido à baixa profundidade das regiões que esses projetos serão instalados, o impacto ambiental reduzido se comparada a outras fundações e o seu baixo custo operacional. O tipo de fundação a ser utilizada em cada projeto futuro *offshore* no Brasil, vai requerer estudo da área de instalação, isto ocorre devido à variedade de profundidades encontradas em toda extensão do território marítimo brasileiro.

4 CONCLUSÃO

Mesmo sendo uma fonte de energia de custo mais elevado que a sua modalidade em terra, a geração de energia *offshore* tem crescido e amadurecido ao longo dos anos. A tecnologia tem evoluído a cada ano com o desenvolvimento e aprimoramento de novos materiais, aerogeradores maiores e mais potentes e equipamentos que suportam cada vez mais os efeitos da salinidade e abrasão do mar, os quais constituem pontos chave para redução de custos de instalação, manutenção e reparos. Diante disso, não há dúvidas que o setor só tende a continuar crescer e que nos próximos anos haverá mais países buscando entrar nesse mercado que tem um grande potencial. Só é questão de tempo para que o Brasil entre nesse ramo de geração, visto o grande potencial que o mar brasileiro apresenta. Os primeiros passos já foram dados, empresas já se interessam pelo potencial do país, restando apenas o incentivo do governo e a aceleração das questões burocráticas.

REFERÊNCIAS

NASCIMENTO, Wallison da Silva. **Tipificação de Fundações de Turbinas Eólicas de Parques Eólicos Off-shore**. 2018. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2018.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **História da Energia Eólica e suas utilizações**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=3>. Acesso em: 19 fev. 2019.

PINHO, João Tavares; BARBOSA, Claudomiro Fábio Oliveira; PEREIRA, Edinaldo José da Silva. **Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. 398 p. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hibrido.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2019.

CHRISTÓFARO, Bruno Ramos. **Estudo do Potencial eólico em Offshore para a Geração de Energia Elétrica no Litoral do Paraná**. 2010. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2010. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/36751/2010%20Monografia%20Bruno%20Cristofaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

PINTO, Milton et al. **Energia Eólica Offshore**: Natal, 2017. 25 slides, color. Disponível em: <<http://viex-americas.com/2016/wp-content/uploads/2017/07/Milton-Pinto-CERNE.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

REIS, Pedro et al. **Inaugurado o maior parque eólico offshore do mundo, o Walney Extension**. 2018. Disponível em: <<https://www.fundaj.gov.br/index.php/ultimas-noticias/202-observafundaj/a-questao-energetica/6001-inaugurado-o-maior-parque-eolico-offshore-do-mundo-o-walney-extension>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

GALDINO, Any Karolyne et al. **O maior parque eólico offshore do mundo estará pronto até 2022 e vai abastecer 1,3 milhões de casas**. 2017. Disponível em: <<https://engenhariae.com.br/meio-ambiente/o-maior-parque-eolico-offshore-do-mundo-estara-pronto-ate-2022-e-vai-abastecer-13-milhoes-de-casas>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

TRAPP, Beatriz Cristina. **Análise de Viabilidade de uma Fazenda Eólica Offshore no Rio Grande do Sul**. 2009. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24094/000742647.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

TAVARES, Bruno José Lopes. **Parques Eólicos Offshore: Estudo de Solução de Interligação do Tipo HVAC e HVDC**. 2010. 113 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~ee08083/Tese_provisoria5.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2019.

RAPOSO, Davide Miguel Marques. **Estudo da solução da Eólica Offshore**. 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2014. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090412845/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

SILVA, Allan Rodrigues. **Energia eólica em alto mar: distribuição dos recursos e complementariedade hídrica**. 2015. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

FERREIRA, Henrique Tavares et al. **Energia Eólica: Barreiras a sua Participação no Setor Elétrico Brasileiro**. 2008. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/producao/2008/Teses/HenriqueTavares.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

GWEC et al. **Offshore Wind: Offshore wind power. Offshore wind power**. 2018. Disponível em: <<https://gwec.net/global-figures/global-offshore/>>. Acesso em: 06 fev. 2019.

GWEC et al. **Global Wind Report: Annual Market Update 2017**. Bruxelas, 25 abr. 2018. Disponível em: <<https://gwec.net/policy-research/reports/>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

TEIXEIRA, Pedro Aurélio et al. **GWEC: fonte eólica instalou 51,3 GW em 2018: Brasil aparece com quinto maior instalador. Eólica offshore caminha para se tornar mercado global**. 2019. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53091601/gwec-fonte-eolica-instalou-513-gw-em-2018>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

GWEC et al. **GWEC and World Bank Group announce plans to cooperate on development of global offshore wind markets**. 2019. Disponível em: <<https://gwec.net/gwec-and-world-bank-group-announce-plans-to-cooperate-on-development-of-global-offshore-wind-markets/>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

GAUDARDE, Gustavo et al. **Eólica offshore: Qual o estágio de desenvolvimento ao redor do mundo?** 2018. Disponível em: <<https://epbr.com.br/qual-o-estagio-de-desenvolvimento-de-eolicas-offshore-ao-redor-do-mundo/>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

HIRTENSTEIN, Anna et al. **Escócia inaugura primeira parque eólica flutuante do mundo**. 2017. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/bloomberg/2017/10/18/primeiro-parque-eolico-offshore-flutuante-entra-em-operacao.htm>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M.. **Potencial de Energia Eólica Offshore na Margem do Brasil**. Santos: V Simposio Brasileiro de Oceanografia, 2011. 4 p. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/07.06.17.10/doc/Ortiz_Potencial.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2019.

FELDMANN, Paula Mariotti et al. **OS Desafios da Instalação de Eólicas Offshore no Brasil**. 2018. Disponível em: <<https://www.machadomeyer.com.br/pt/inteligencia-juridica/publicacoes-ij/ambiental/os-desafios-da-instalacao-de-eolicas-offshore-no-brasil>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

PETROBRÁS et al. **Fatos e Dados home busca Estamos desenvolvendo o primeiro projeto piloto de energia eólica offshore do Brasil.** 2018. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/estamos-desenvolvendo-o-primeiro-projeto-piloto-de-energia-eolica-offshore-do-brasil.htm>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

ACCIOLY, Dante. **Senado aprova criação de usinas eólicas e solares no mar.** 2018. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2018/12/18/senado-aprova-criacao-de-usinas-eolicas-e-solares-no-mar>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

MACIEL, Felipe et al. **Ibama prepara agenda regulatória para eólica offshore:** Técnicos do órgão ambiental vão visitar projetos em Portugal, Itália, Holanda e Bélgica em 2019. 2018. Disponível em: <<https://epbr.com.br/ibama-prepara-agenda-regulatoria-para-eolica-offshore/>>. Acesso em: 08 mar. 2019.

EPBR et al. **Três eólicas offshore em licenciamento no Ibama.** 2018. Disponível em: <<https://epbr.com.br/tres-eolicas-offshore-em-licenciamento-no-ibama/>>. Acesso em: 08 mar. 2019.

