



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FRANCISCO ELIEZER DO NASCIMENTO PEREIRA JÚNIOR

**PERSPECTIVAS DA ENERGIA EÓLICA OFFSHORE NO ESTADO DO
CEARÁ**

FORTALEZA

2021

FRANCISCO ELIEZER DO NASCIMENTO PEREIRA JÚNIOR

PERSPECTIVAS DA ENERGIA EÓLICA OFFSHORE NO ESTADO DO
CEARÁ

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário FAMETRO - UNIFAMETRO - como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação da Prof.^a Dra. Danielle Kely Saraiva de Lima.

FORTALEZA

2021

P436p Pereira Júnior, Francisco Eliezer do Nascimento.
Perspectivas da energia eólica offshore no estado do Ceará. / Francisco Eliezer do
Nascimento Pereira Júnior. – Fortaleza, 2021.
28 f.; 30 cm.

Monografia - Curso de Graduação em Engenharia Civil, Unifametro, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof.a Dra. Danielle Kely Saraiva de Lima.

1. Energia elétrica. 2. Energia renovável - Sustentabilidade. 3. Energia eólica offshore. I.
Título.

CDD 344.046

FRANCISCO ELIEZER DO NASCIMENTO PEREIRA JÚNIOR

PERSPECTIVAS DA ENERGIA EÓLICA OFFSHORE NO ESTADO DO
CEARÁ

Esta monografia apresentada no dia 10 de dezembro de 2021 como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil do Centro Universitário FAMETRO - UNIFAMETRO – tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Danielle Kely Saraiva de Lima
Orientador - Centro Universitário FAMETRO - UNIFAMETRO

Prof.^o Dr. Jefferson Pereira Ribeiro.
Membro - Centro Universitário FAMETRO - UNIFAMETRO

Prof.^a Ms. Camylla Maria Narciso de Melo Chaves
Membro – Universidade de Fortaleza - UNIFOR

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, pela saúde que me foi concedida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos com determinação para atingir meus objetivos.

Agradeço aos meus pais, Valdenia e Eliezer, por serem os melhores pais que uma pessoa pode merecer, por toda a dedicação incondicional na minha criação, além de todo amor e carinho, sempre me guiando para o caminho certo, sendo exemplos de humildade e integridade, agradeço também por todo apoio que me foi dado durante esta caminhada, estando sempre ao meu lado me incentivando a crescer como homem e profissional.

Agradeço a minha esposa, Janaina, por toda a dedicação a mim, me apoiando em todas as fases da minha formação, por ter ficado ao meu lado nos momentos difíceis, me incentivando a nunca desistir dos meus sonhos e se sacrificando junto comigo durante todos os obstáculos pelo qual passei até hoje, sendo meu alicerce do começo ao fim. Dedico este trabalho aos meus filhos Pedro e Pedro Lucas, é tudo por vocês.

Sou muito grato aos meus irmãos, Ray e Raimundo, por me apoiarem nos momentos difíceis, estando sempre a disposição para me ajudar, sendo meus verdadeiros amigos nos momentos bons e ruins dessa longa caminhada.

Agradeço a professora Danielle, por ter sido minha orientadora, me guiando com muita dedicação e presteza na elaboração deste trabalho, além de todos os ensinamentos que a mesma me passou durante minha formação como professora e posteriormente orientadora.

Agradeço também aos professores participantes da banca examinadora, por dedicarem parte do seu tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões. Aos meus colegas de universidade, em especial, ao meu amigo e irmão Francisco Edson, por todo o companheirismo ao longo desses anos, sempre me apoiando e incentivando a continuar.

Aos meus professores por toda dedicação, por todo o aprendizado, vocês são responsáveis pelo meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

A energia elétrica é um bem fundamental e indispensável, com isso a necessidade de reduzir os impactos ambientais e custos com a geração de energia se tornou inadiável, pois além da tentativa de prevenir sua escassez, através de novas tecnologias, são necessárias melhorias para potencializar tecnologias já existentes, a fim de diversificar os métodos de geração de energia, trazendo benefícios financeiros e sustentáveis. Diante disso, a energia eólica offshore, que já é realidade no mundo, chega ao estado do Ceará, e passa por fase de licenciamento ambiental para início da instalação dos parques eólicos. De forma simplória podemos definir a energia eólica offshore como a geração de energia a partir do vento em parques eólicos instalados no mar. A energia eólica offshore utiliza toda a tecnologia da energia eólica onshore já dominada e muito utilizada na região nordeste, porém, com grandes vantagens e melhorias que buscam viabilizar e potencializar a geração de energia. O Brasil ainda não possui usinas offshore implantadas, mas existem várias iniciativas e projetos em desenvolvimento. Pesquisas apontam diversas características que tornam o litoral cearense uma zona de grande potencial eólico offshore, e o objetivo deste trabalho é fazer um levantamento sobre a implantação dos parques eólicos offshore na costa marítima do Ceará, com ênfase nas principais vantagens, tornando possível uma observação mais a fundo das perspectivas futuras para este tipo de empreendimento no litoral cearense.

Palavras-chave: Energia elétrica, Energia eólica offshore, energia eólica onshore, energias renováveis, sustentabilidade, impactos ambientais.

ABSTRACT

lectric energy is a fundamental and indispensable good. Therefore, the need to reduce environmental impacts and costs on energy generation has become unavoidable. In addition to the attempt to prevent its shortage through new technologies, improvements are needed to leverage the available ones, in order to diversify energy generation methods, bringing not only financial benefits, but also sustainability. All things considered, offshore wind energy, which is already a reality worldwide, has arrived in the state of Ceará and runs through the environmental licensing phase to start wind farms installation. To sum up, we can define offshore wind energy as the generation of energy from wind force at wind farms installed at sea. Offshore wind energy uses all the onshore wind energy technology already mastered and widely available in the northeast region with great advantages on enabling and enhancing energy generation. Brazil still does not have offshore plants implemented, but there are several initiatives and projects under development. Researches have pointed out several characteristics that make Ceará's coast a zone of great offshore wind potential and the main goal of this work is to carry out a survey on the implantation of offshore wind farms on the coast of Ceará with emphasis on the main advantages, allowing a deeper observation into the future perspectives for this type of project on the region.

Keywords: Electric energy, Offshore Wind energy, Onshore Wind energy, Renewable energy, sustainability, environmental impacts.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	09
1.1	Problematização e justificativa	11
1.2	Hipótese	11
2	OBJETIVOS.....	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1	Estrutura de um parque eólico offshore	18
4	METODOLOGIA	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
	REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

É cada vez mais perceptível o aumento da necessidade de obter novos métodos de geração de energia, além de melhorias para potencializar as tecnologias já existentes, pois a energia elétrica é um bem fundamental e indispensável.

Para tanto, além da busca contínua por geradores de energia limpa, exige-se cada vez mais investimentos em inovações que impactem diretamente na economia do processo de geração de energia reduzindo custos de logística e construção de toda a estrutura dos projetos para tal finalidade, assim como também, é preciso que esta busca por melhorias seja acompanhada de investimentos em novas tecnologias que reduzam os impactos ambientais consequentes do setor. Assim, minimizando as problemáticas existentes nos meios convencionais, sendo indispensável que todo o processo se mantenha economicamente viável e sustentável, as energias renováveis são uma boa solução para a problemática.

As energias renováveis são aquelas advindas de recursos que não se esgotam, de origem natural, sempre se renovando, como o sol, ventos, chuvas e rios (Giz, 2016).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, no Brasil a energia predominantemente utilizada é a gerada através de energias renováveis, com maior foco na hidráulica, responsável por 65,2% da oferta interna, isso porque a maior parte da energia fornecida no país vem das hidrelétricas.

Com a escassez de chuvas, os níveis dos principais reservatórios estão ficando muito baixos, isso reduz a capacidade de energia gerada, não atendendo a necessidade mínima (Diniz, 2021), isso causa o acionamento de outros geradores, como a usina termelétrica, o que leva a outro problema: o alto custo de geração de energia elétrica, impactando diretamente no bolso do consumidor, além dos impactos ambientais provenientes da geração de energia através desta usina.

A busca por novas tecnologias é inadiável, a utilização da energia eólica onshore no Brasil, está cada vez mais presente, fonte que cresceu bastante com aumento de 1,9% na produção em 2020 em comparação ao ano anterior (BEN, 2021).

A energia eólica onshore é um exemplo de energia renovável, que utiliza a força dos ventos para provocar uma rotação em aerogeradores instalados em terra para geração de energia elétrica (GIZ, 2016). Um dos motivos para utilização de tal

modal no Brasil é a grande incidência de ventos, em termos de qualidade e disponibilidade, principalmente no litoral nordestino, tornando a região potencialmente favorável.

A energia eólica offshore é a geração de energia a partir do vento em parques eólicos instalados no mar. Utiliza toda a tecnologia da energia eólica onshore já dominada e muito utilizada na região nordeste, porém, com grandes vantagens e melhorias que buscam viabilizar e potencializar a geração de energia, tais como: as melhores condições dos ventos consequentes da ausência de obstáculos no mar, menor impacto visual e sonoro, ampla disponibilidade de área sem necessidade de compra ou arrendamento de terrenos para construção dos parques, além da menor resistência das populações (Carvalho, 2017; Estanqueiro, 2020).

A partir da força motriz as turbinas eólicas aproveitam a energia cinética do vento fazendo as pás girarem desenvolvendo energia mecânica para gerar a eletricidade (ARSHAD & O'KELLY, 2013).

A União Europeia produz energia através de empreendimentos offshore desde 1991, e as estimativas são de crescimento para os próximos anos. No cenário mundial, o mercado offshore, particularmente, deverá crescer significativamente nas próximas três décadas com o total de capacidade eólica offshore instalada crescendo aproximadamente dez vezes de 23 GW em 2018 para 228 GW em 2030 e aproximadamente 1000 GW em 2050 (IRENA, 2019). Porém o Brasil ainda não possui usinas offshore implantadas, mas existem várias iniciativas e projetos em desenvolvimento.

Ainda existem poucos estudos para estimar o potencial eólico offshore no estado do Ceará. Lima *et al.* (2015) realizaram um estudo para avaliar o potencial eólico offshore do litoral cearense. Neste estudo foram estimadas a velocidade média do vento, a direção média do vento, a densidade de potência e a turbulência, além da avaliação dos dados de batimetria e rotas de navegação ao longo do litoral cearense. Os resultados deste estudo indicaram que o litoral do Ceará tem um bom potencial para a instalação de parques eólicos offshore porque a velocidade do vento é satisfatória, a batimetria do estado da costa é rasa e grandes navios viajam a uma distância considerável da costa não transitando em áreas favoráveis a instalação de parques.

Portanto, neste trabalho poderemos analisar as vantagens consequentes da energia eólica offshore, e suas principais perspectivas no que diz respeito a implantação na costa marítima do estado do Ceará.

1.1 Problematização e justificativa

A sociedade necessita de energia limpa, renovável e barata. Sendo assim, no estado do Ceará espera-se que a geração de energia eólica offshore seja possível e viável economicamente e tecnicamente, pontuando para as características necessárias para a geração de energia offshore que esta região possui, como ventos densos, grande faixa de litoral, domínio da tecnologia eólica onshore, dentre outros.

1.2 Hipóteses

Baseado no potencial eólico já estimado e no avanço da energia eólica onshore no Brasil, acredita-se que o desenvolvimento da energia eólica offshore seja viável e possa contribuir positivamente para o aumento da geração de energia e consequentemente para a redução da necessidade do acionamento das termelétricas.

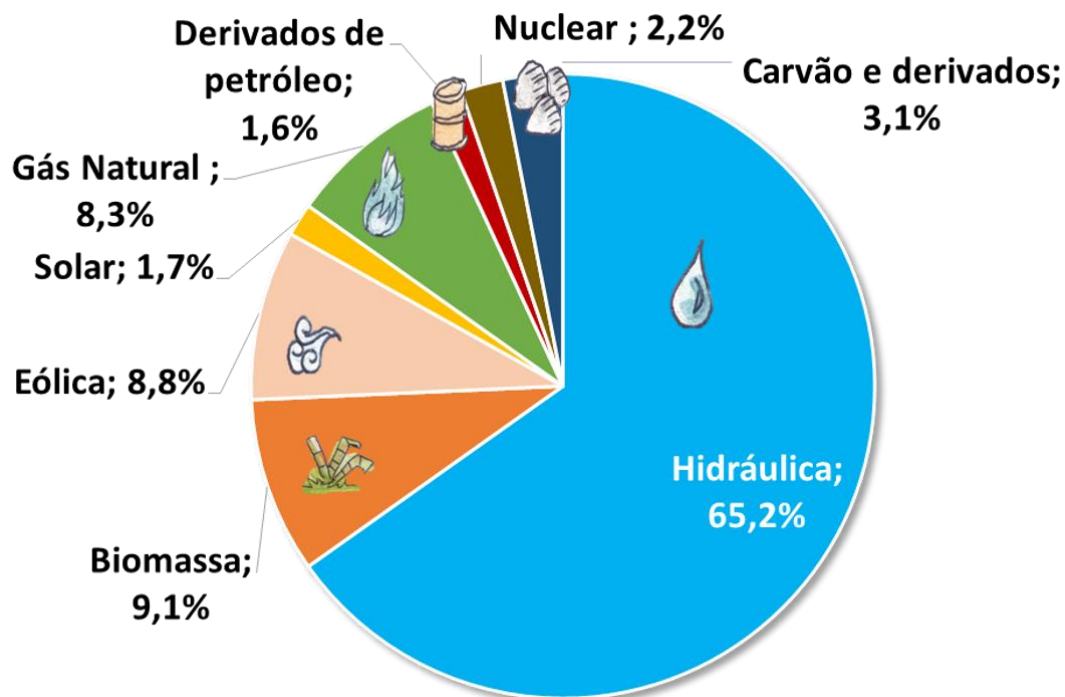
2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é fazer um levantamento sobre a implantação dos parques eólicos offshore na costa marítima do estado do Ceará, com ênfase nas principais vantagens deste método de geração de energia, somada ao principal gerador de energia do qual vem a energia elétrica consumida pelo nordeste, a hidrelétrica, tornando possível uma observação mais a fundo das perspectivas futuras para este método no estado do Ceará, ainda novo no Brasil, em fase de projetos e licenciamento ambiental, mas que já é muito utilizado em outros países com resultados bastante expressivos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A matriz elétrica brasileira é predominantemente composta por energias renováveis, com 84,8% da oferta interna, tendo como destaque a hídrica, com 65,2% de participação em 2020, porém, teve uma queda de 0,4% na produção em relação a 2019 (BEN, 2021).

Gráfico 1- Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: Balanço Energético Nacional (2021).

Ainda de acordo com BEN (2021), houve uma queda no percentual de geração de energia elétrica através de fontes não renováveis em 2020 que ficou em 15,8% do total, se comparado a 2019 que era de 17,7%.

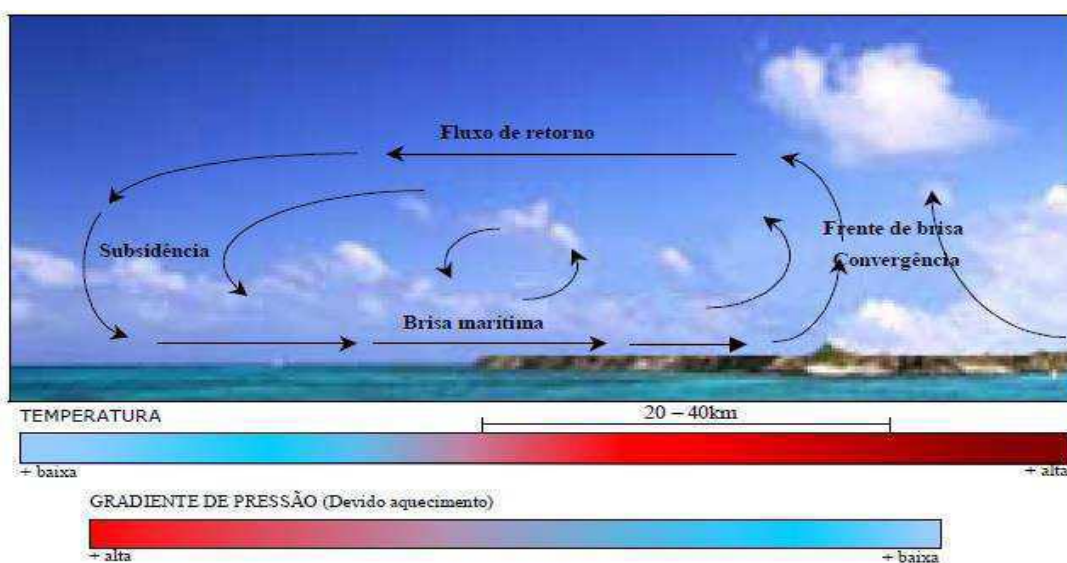
Com a escassez de chuvas, a disponibilidade de energia hidrelétrica vem diminuindo, já que os níveis dos reservatórios estão cada vez mais baixos com o passar dos dias, destaque para bacias hidrográficas brasileiras importantes das regiões sul, sudeste e centro-oeste que estão com os níveis bem baixos. A bacia mais afetada é a do rio da Prata, bacia esta que é responsável por 64% da geração de energia elétrica por meio do modal de geração hidrelétrica do Brasil através de 84 usinas hidrelétricas de grande porte como a usina de Itaipú (Diniz, 2021). A alternativa

acaba sendo a ativação de usinas termelétricas, que produzem energia elétrica com muitos impactos ambientais devido a maior produção de gases poluentes, além de mais cara ao consumidor final. Usinas termelétricas utilizam tanto combustíveis renováveis como não renováveis para geração de energia (Giz, 2016).

Para diminuir a dependência das fontes predominantes da matriz energética brasileira, dando folego para que os reservatórios das hidrelétricas atravessem crises hídricas como essa sem prejudicar a população, além de diversificar as fontes produtivas de energia, mantendo o maior percentual da matriz energética do país como renovável, a energia eólica é uma ótima opção por se tratar de energia limpa e sustentável, além do seu potencial energético já que o Brasil dispõe de elementos fundamentais como ventos de qualidade, mas que ainda é pouco explorada se comparar o que é gerado ao potencial eólico disponível. A energia eólica gera energia através da força dos ventos que provocam uma rotação em aerogeradores, equipamento capaz de gerar energia elétrica através desta rotação (Giz, 2016).

No nordeste brasileiro, a intensidade, continuidade e constância nos ventos alísios é evidente e garantida devido a localização geográfica privilegiada desta região (Silva, 2015). Na figura 1 podemos ver como ocorre a circulação da brisa marítima no nordeste.

Figura 1 - características de circulação da brisa marítima no litoral do nordeste brasileiro



Fonte: Silva, 2015.

Ainda segundo Silva (2015), o vento penetra até 40 km no continente, contribuindo para intensificação dos ventos na região.

Neste contexto, a energia eólica é uma ótima opção para diversificar as fontes de energia nacional, além disso, vem as expectativas sobre o modal, novo ainda no Brasil, mas já muito utilizado no mundo, que é a energia eólico offshore, ainda sem instalações no Brasil, este modal vem ganhando força no país e passa por processo de licenciamento ambiental.

A energia eólica offshore é a eletricidade gerada através de estruturas no mar que contém aerogeradores que se utilizam da força dos ventos para geração de energia elétrica, método parecido com a tecnologia onshore, com turbinas eólicas mais potentes, uma ótima opção, por exemplo, para regiões com pequenas extensões territoriais, mas que dispõe de costas marítimas maiores (Giz, 2016).

As vantagens desse modal são bem expressivos, segundo Carvalho (2017), são vantagens: as melhores condições dos ventos consequentes da ausência de obstáculos no mar, o que aumenta o potencial eólico, e o menor impacto visual e sonoro já que os parques eólicos ficam afastados da costa. Ainda de acordo com Carvalho (2017), uma grande vantagem é a ampla disponibilidade de área sem necessidade de compra ou arrendamento de terrenos para construção dos parques eólicos onshore que deixam os projetos mais caros. Outra vantagem, segundo Estanqueiro (2020), é a menor resistência das populações.

De maneira geral, os ventos marítimos são 20% mais velozes em média do que em terra, o que resulta em maior produção de energia, a offshore produz 70% mais do que os parques onshore (Carvalho, 2017).

Para Ribeiro (2015), utilizar o método de geração de energia eólica offshore apresentando diversos benefícios como: não emite gases poluentes e não produz resíduos radioativos, gerando energia limpa explorando um recurso ilimitado e gratuito, além da possibilidade de recorrer a financiamentos que incentivam geração de energia “verde” vindas de fundos europeus. Ainda de acordo com Ribeiro (2015), é possível reduzir a dependência energética originada de outros métodos mais custosos, reduzindo custo de produção por kWh já que o parque eólico offshore explora um recurso endógeno, natural e abundante.

Dutton *et al* (2019), considera regiões tecnicamente viáveis como potencial de geração de energia eólica offshore, as que possuem velocidade média anual de

ventos a 7 metros/segundo a 100 metros de altura e para parques eólicos flutuantes, a profundidade de água deve ser entre 50 e 1000 m, e para os fixos, a profundidade deve ser até 50 m.

De acordo com Ortiz e Kampel (2011), utilizando dados do satélite Quikscat, coletados entre agosto de 1999 e dezembro de 2009, foi avaliado o potencial eólico offshore de toda a costa marítima do Brasil, e foi estimado que o potencial energético offshore é 12 vezes maior que em solo brasileiro, sendo potencialmente possível alavancar o desenvolvimento sustentável do Brasil.

Ainda de acordo com Ortiz e Kampel (2011), a média de magnitude do vento offshore do Brasil apresentou variação de 7 a 12 m/s, com destaque para o potencial energético até 10 km da costa que é de 57 GW, uma grande quantidade de energia que pode ser gerada próximo a costa, o que significa que haverá redução na complexidade na implantação de estruturas operacionais, e por consequência diminuir custos.

Para Ortiz e Kampel (2011), o potencial eólico offshore é 4 vezes maior que a geração de energia total do Brasil em 2011, além de superar o potencial estimado para a área continental do país, mostrando que a energia eólica offshore é potencialmente viável no Brasil, podendo não só complementar como também substituir a geração de energia não renovável por exemplo. Além disso, a avaliação do impacto ambiental resultante da implementação de parques eólicos também é um aspecto importante que deve ser considerado para implementação de projetos de aerogeradores. Fatores como ruído ou impacto visual podem ser investigados durante o planejamento de parques eólicos offshore, a fim de diminuir os impactos dos projetos eólicos no meio ambiente (González *et al.*, 2014).

Em Arent *et al.* (2012) os autores estimaram a potência eólica global, utilizando o aerogerador com potência de 3,5 MW, considerando uma taxa de ocupação de 5 MW/km² para a conversão da área marítima disponível para instalação dos aerogeradores em capacidade instalada, além de excluir áreas com algum tipo de restrição para instalação como tráfego intenso e zonas de preservação ambiental. Com base nesses parâmetros, os estudos indicaram um potencial eólico offshore superior a 74.000 GW, com estimativa de geração de energia anual de 285 TWh, 5 vezes mais que o consumo global previsto para o ano de 2050 (IRENA, 2018).

Pimenta, Kempton e Garvine (2008), realizaram um trabalho com objetivo de avaliar os recursos de energia eólica offshore no sudeste do Brasil. Os resultados indicaram que os recursos offshore do Brasil são promissores, situado perto do litoral de cidades densamente povoadas, e têm grande potencial para complementar o sistema hidrelétrico. Uma vez que a maioria das usinas hidrelétricas podem ser usadas para armazenamento de energia, e que uma maior produtividade de energia eólica offshore pode ser usada para expandir a produção elétrica nacional, economizar água de barragens e reduzir as emissões atmosféricas do país.

Utilizando dados batimétricos e modelos atmosféricos, Lima *et al.* (2015), concluíram que a profundidade relativamente baixa (~40 m) a distâncias de aproximadamente 24km da costa cearense torna o litoral do estado adequado para parques eólicos offshore, o que facilita a implantação dos parques e reduz o custo das fundações. Além disso, as rotas dos grandes navios ficam muito além da costa do Ceará não oferecendo riscos de incompatibilidade entre as rotas dos navios e a área para instalação dos parques offshore no futuro.

Em “Atlas Eólico e Solar do Ceará” (Camargo Shubert Engenheiros Associados *et al.*, 2019), o potencial de geração eólica offshore do Estado é de aproximadamente 117 GW, o que corresponde a praticamente um terço da capacidade de toda a região Nordeste para áreas com profundidade de até 50 metros, estimada em 360 GW pelo roadmap da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Com um total de 19.540 km² de área apta para instalação dos parques eólicos offshore, áreas estas com profundidades que variam entre 5 e 50 metros, com valores calculados para a altura de 100 metros em localizações com velocidade média do vento maior que 7 m/s. Este modelo levou em consideração também pontos importantes como locais que não seriam adequados para instalação dos parques offshore, como por exemplo: áreas de proteção integral do mar, áreas de exploração de óleo e gás, assim como áreas de pescas e de cabos submarinos. Ainda em “Atlas Eólico e Solar do Ceará” (Camargo Shubert Engenheiros associados *et al.*, 2019), estima-se que seria possível gerar 506 TWh/ano de energia possibilitando abastecer cerca de 265 mil residências ao longo do ano se este valor for atingido.

Lima *et al.* (2020) apresentaram um estudo de caso avaliando a geração eólica offshore em quatro localidades do litoral do Ceará (Lagoinha, Camocim, Icapuí e Flecheiras), para tanto os autores utilizaram um modelo em microescala, foram estimadas velocidades médias acima de 8 m/s e densidade de potência acima de 720 W /m². Foram projetados doze parques eólicos offshore classificados em 40 MW, 72 MW e 90 MW, cada parque com 20 aerogeradores, de diferentes fabricantes e potências individuais de 2 MW, 3,6 MW e 4,5 MW. Para a avaliação do potencial eólico offshore do Ceará, foi utilizado o modelo de mesoescala RAMS, com resolução de 2 km, para identificar as velocidades máximas e médias do vento no litoral do Estado. Em geral, o modelo de mesoescala RAMS foi capaz de fornecer uma boa estimativa a baixo custo do recurso eólico offshore do litoral do Ceará, e o desenvolvimento de parques eólicos offshore mostrou-se atraente em termos de geração de energia e fator de capacidade.

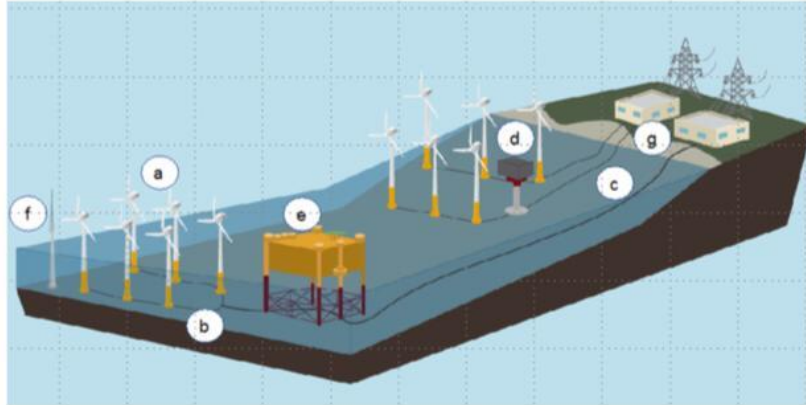
Diante do exposto, ainda são necessários mais estudos sobre parques eólicos offshore no Brasil e no estado do Ceará, tanto sobre as estimativas dos recursos eólicos offshore, como também sobre questões ambientais, sociais e econômicos decorrentes deste tipo de empreendimento.

3.1 Estrutura de um parque eólico offshore

A estrutura de um parque eólico offshore é composta principalmente por fundações (também conhecidas como sistema de transição ou estrutura de suporte), turbinas, sistema de coleta e transmissão de eletricidade, subestação offshore, subestação onshore e torre meteorológica (KAISER; SNYDER, 2012).

Figura 2 - Componentes de um parque eólico offshore

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| a) aerogeradores | e) subestação <i>offshore</i> |
| b) cabos submarinos coletores | f) torre meteorológica |
| c) cabos de exportação | g) subestação <i>onshore</i> |
| d) transformador | |

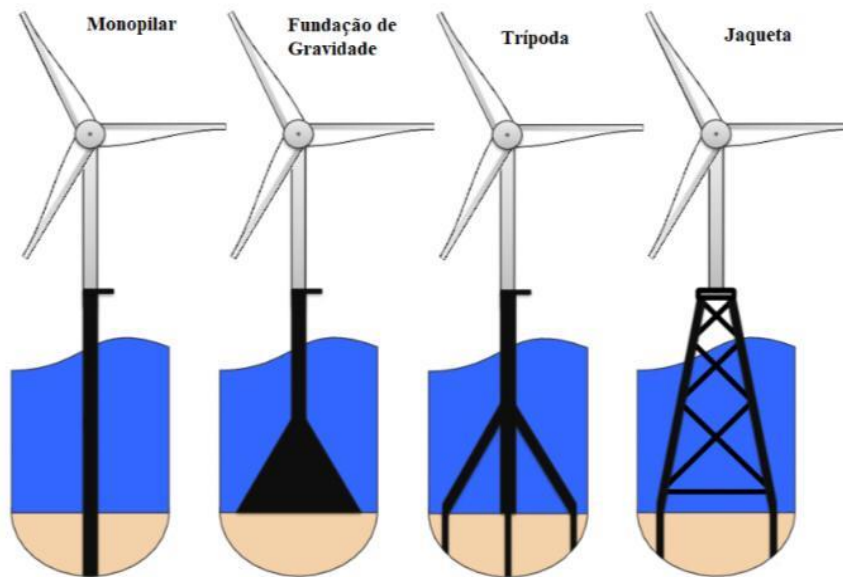


Fonte: Nunes, 2020.

Quanto a construção dos parques eólicos offshore, segundo Carvalho (2017), a maioria dos componentes são fabricados em terra e devem ser considerados aspectos como os efeitos recorrentes pela instalação no mar, devendo todos os materiais serem projetados contendo proteção contra corrosão e sistemas de apoio a desumidificação. Ainda de acordo com Carvalho (2017), as instalações de captação de energia eólicas offshore necessitam de diferentes tipos de estruturas de fundações que irão variar de acordo com a profundidade e as características do fundo do mar onde serão instaladas.

As fundações, também conhecidas como estrutura de suporte, se dividem em dois grupos: estruturas fixas, onde a estrutura é responsável por transferir as forças do aerogerador ao fundo do mar, e as estruturas flutuantes, onde o conjunto não está ligada de forma rígida ao fundo do mar, ficando apenas ancorada para evitar que o aerogerador derive Ribeiro (2015). As fundações fixas se dividem em três métodos de fixação: gravidade, estacas e sucção. As fundações flutuantes são muito indicadas para utilização em zonas de maior profundidade, já que dependendo da profundidade, uma fundação fixa, por exemplo, pode se tornar economicamente inviável (Ribeiro,2015).

Figura 3 - Exemplos de fundações offshore



Fonte: Nunes, 2020.

A fundação por tripé, um tipo de fundação fixa, é uma estrutura de suporte muito utilizada em profundidades maiores onde a fundação por gravidade ou por estaca não são viáveis, ideal também para receber maiores cargas devido a maior estabilidade, além de possuir baixos problemas com erosão (Ribeiro, 2015).

De acordo com Ribeiro (2015), o tipo de fundação mais comum a ser utilizada é a fundação por estaca única, este tipo de fundação garante a estabilidade da estrutura através do atrito das paredes laterais com o solo, e não requer, na maioria dos casos, preparação previa do local de instalação, tornando essa opção mais viável e competitiva, uma vez que há uma baixa nos custos pois reduz o volume de mão de obra abaixo da linha da água e torna o processo de instalação mais rápido. Ainda de acordo com Ribeiro (2015), a instalação da fundação por estaca única, necessita de embarcação que contenha equipamentos especializados para cravação, pois dependendo das condições geotécnicas do local, serão encontradas duas situações: no caso do local haver apenas solo, será utilizado um martelo hidráulico para perfuração, e no caso de fundos rochosos, será realizado uma perfuração previa ou recorrer a explosivos, em seguida, a será injetada uma calda de cimento para realizar a ligação entre o furo e a fundação. Depois de concluída a cravação é aplicada a proteção contra corrosão causada pelas correntes marinhas. As vantagens desse tipo

de fundação são: facilidade de fabricação e transporte, custo inferior a outras alternativas, não necessita de preparação do fundo marinho.

As turbinas utilizam a força dos ventos para girar as pás que propulsionam um rotor que está conectado a um eixo principal que move o gerador de energia, utilizando um multiplicador de velocidade que há dentro da turbina girando o rotor a 1500 giros por minuto permitindo que o gerador transforme a energia cinética em energia elétrica. A energia produzida pelo gerador é transmitida através dos cabos de coleta e transmissão para a subestação GIZ (2016). Os principais componentes de aerogerador com turbina são: torre, pás, cubo, eixo de transmissão, nacele, caixa de engrenagens e gerador.

Necessária para sustentação e posicionamento do rotor, a torre tem a função de interligar o aerogerador a fundação, em formato tubular, o material mais utilizado para fabricação da torre para aerogerador offshore é o aço, mas também pode ser encontrado em concreto, (KAISER; SNYDER, 2012).

De acordo com ANAYA-LARA, O. *et al.* (2018), a subestação offshore tem como principal objetivo, no intuito de reduzir perdas durante a transmissão, elevar a tensão da eletricidade gerada a partir das turbinas eólicas.

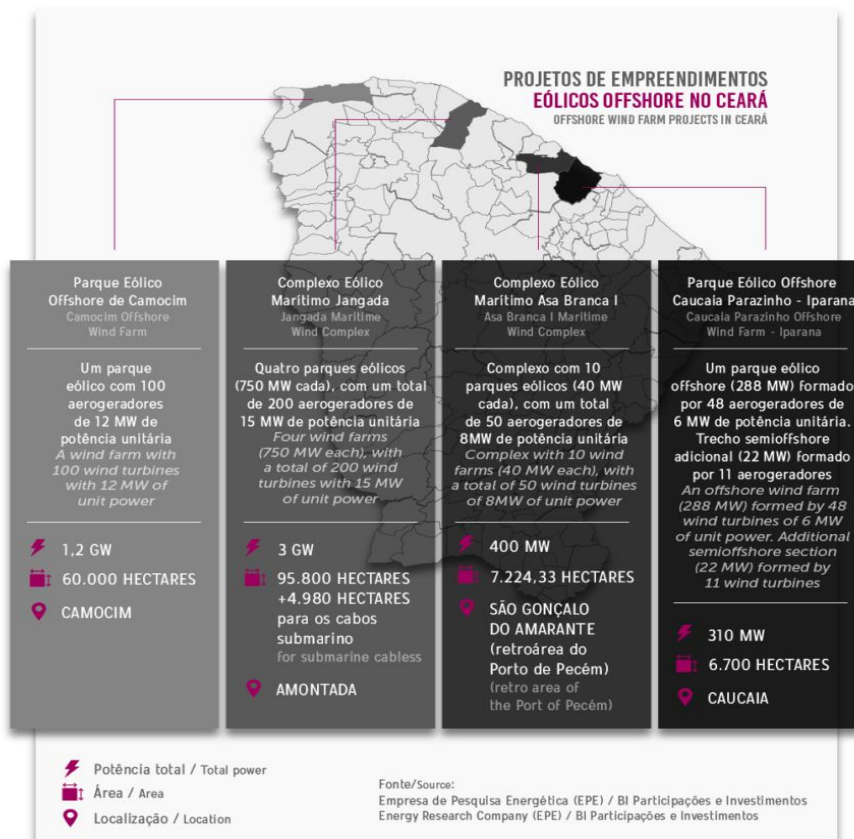
4 METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho foi realizada uma revisão de literatura por meio das bases de dados Scielo, Science e Google acadêmico, utilizando para a busca os descritores: “energia eólica”, “energia eólica offshore”, “Offshore wind energy”, “Brazilian offshore Wind”. Onde foram encontrados cerca de 200 trabalhos relacionados ao tema, tendo sido selecionados 23 trabalhos entre 2008 e 2021, escritos em inglês e português.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através das leituras já realizadas é possível identificar que o Brasil, principalmente o estado do Ceará, possui condições favoráveis para a implantação de usinas eólicas offshore pois possui um excelente potencial de geração de energia. Com 42 giga watts de potência, os parques eólicos offshore em licenciamento no Brasil ultrapassam a capacidade instalada nos parques em terra que alcançou 18 GW no início deste ano e dão o tom do potencial desse novo setor no país. Dos 20 empreendimentos eólicos offshore em desenvolvimento no Brasil 11 estão na Região Nordeste: um na Bahia, dois no Piauí, quatro no Rio Grande do Norte e quatro no Ceará, que incluem os municípios de Caucaia, São Gonçalo do Amarante, Amontada e Camocim. Juntos, os equipamentos projetam uma potência total de quase 5 GW, oriundas de aproximadamente 400 aerogeradores a serem instalados na costa cearense (EPE, 2019).

Figura 4 – Projetos de empreendimentos eólicos offshore no Ceará



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2019.

O estado do Ceará possui uma costa com aproximadamente 543 km de comprimento, e um potencial eólico offshore já estimado de 117 GW, favorecido pelos ventos alísios, e possui batimetria de águas rasas, características importantes para aumentar o potencial eólico offshore, pois a velocidade dos ventos em alto mar são relativamente mais altas, atingindo na costa marítima cearense velocidade superior a 7 m/s a 100 m de altura, dados estes que dão ótimas previsões de potencial de geração de energia, estimado em 506 TWh/ano segundo “Atlas Eólico e Solar do Ceará” (Camargo Shubert Engenheiros associados *et al.*, 2019), o suficiente para bastecer em torno de 265 mil residências ao longo do ano ainda de acordo com eles.

Além disso, a rota marítima dos grandes navios fica muito além da costa cearense não trazendo riscos a incompatibilidade entre as rotas e as áreas aptas a instalação dos parques eólicos offshore no futuro. Somado aos dados batimétricos que identificam as águas da costa marítima cearense como sendo de águas rasas, a distância destas regiões para a costa cearense é também considerada pequena, o que impacta diretamente na diminuição expressiva de custos com transporte de materiais e equipamentos para construção, manutenção e operação dos parques eólicos offshore.

A implantação dos parques eólicos offshore no estado do Ceará, com os projetos ainda em fase de licenciamento ambiental em todo o Brasil, vem alimentado de grandes melhorias na economia com estimativa de redução na conta de luz para o consumidor final já que é uma energia gerada de forma limpa e em maior abundância, além de trazer investimentos para as regiões próximas e/ou ligadas aos parques eólicos, com expectativas de geração de empregos diretos e indiretos para a população.

A redução do impacto ambiental ao utilizar a energia gerada a partir dos parques eólicos offshore em conjunto com os outros métodos de geração de energia utilizados atualmente, ou até mesmo substituindo-os integralmente, já que por consequência acaba reduzindo a necessidade de acionamento de termelétricas, além da redução dos impactos visuais e sonoros, é um benefício importante a se pontuar na lista de melhorias que virão junto da implantação dos parques eólicos offshore, com destaque para a expectativa da redução da utilização das hidrelétricas em momentos específicos do ano como períodos de escassez de chuvas dando um folego para que os níveis de água dos reservatórios sejam recuperados.

Embora o foco no setor de energia eólica no Brasil seja onshore, devido ao menor custo e disponibilidade de terra, a exploração eólica offshore tem demonstrado interesse pois, apesar do custo de instalação de um empreendimento de geração eólica offshore ser mais elevado, existe uma enorme capacidade de geração de energia, compensando essa diferença.

Ainda que existam resultados de estudos mostrando o potencial eólico offshore no estado do Ceará, são necessários mais estudos sobre geração de energia offshore, principalmente no que diz respeito aos custos e aos impactos ambientais, favorecendo na agilidade de licenciamentos e desenvolvimentos dos projetos, despertando maiores interesses em investimentos neste tipo de geração de energia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que em breve teremos a efetivação de empreendimentos eólicos offshore no estado do Ceará, que possui características marítimas que tornam as estimativas de potencial de geração de energia eólica offshore cada vez mais promissoras. O que irá promover a geração de energia limpa e renovável, favorecerá a atração de investimentos no setor de energia e uma conseqüente diminuição da dependência das Termelétricas, com isso possivelmente reduzindo o custo da conta de energia elétrica para o consumidor final, além da grande redução do impacto ambiental causado pelas termelétricas quando acionadas. Espera-se também o desenvolvimento da cadeia produtiva com o surgimento de diversos postos de trabalho de forma direta e indireta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENT, D. *et al.* Improved Offshore Wind Resource Assessment in Global Climate Stabilization Scenarios. National Renewable Energy Laboratory, 2012.

ARSHAD, M.; O'KELLY, B. C. Offshore wind-turbine structure: a review. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Energy, 166, p. 139-152, 2013.

ANAYA-LARA, O. *et al.* Offshore Wind Energy Technology. [s. L.]: Wiley, 2018. 423 p.

Balanço Energético Nacional (BEN) 2021: Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2021.

CARVALHO, Itaiara Felix. Energia eólica offshore: potencial e desafios de implantação. 2017. 47f. (TCC) – Curso de Engenharia Elétrica, Centro de engenharia elétrica e informática, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2017.

CAMARGO SHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.*, Atlas Eólico e Solar: Ceará. Curitiba: Camargo Schubert; Fortaleza: ADECE, FIEC, SEBRA, 2019.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) GMBH. GIZ: Guia de Referência para a Cobertura Jornalística de Energias Renováveis. Brasília – DF: 2016

DINIZ, João Alberto Oliveira, *et al.* Crise hídrica no Brasil: o uso das águas subterrâneas como reforço no abastecimento público – Rio de Janeiro : CPRM, 2021.

DUTTON ASP, *et al.* Going Global : Expanding Offshore Wind To Emerging Markets. Washington, D.C. : World Bank Group. 2019. Disponível em <<http://documents.worldbank.org/curated/en/716891572457609829/Going-Global-Expanding-Offshore-Wind-To-Emerging-Markets>>. Acesso em 29 de setembro de 2021.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019: ano base 2018**. Brasília: EPE, 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 03 de nov. 2021.

ESTANQUEIRO A. Levantamento do potencial do país, limitações e soluções tecnológicas. Conferência Energia 2020.

González, J. S., Payána, M. B., Santosa, J. M. R., & Longatt, F. G. A review and recent developments in the optimal wind-turbine micro-siting problem. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 30, p. 133-144. 2014.

KAISER, M. J.; SNYDER, B. F. Offshore Wind Energy Cost Modeling – Installation and Decommissioning. 1.ed. Londres: Springer-Verlag, 2012. 235 p.

IRENA (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY). **Offshore innovation widens renewable energy options**: Opportunities, challenges and the vital role of international co-operation to spur the global energy transformation. 2018.

IRENA (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY). **Wind Energy**. Disponível em: <<https://www.irena.org/wind>>. Acesso em: 22 ago. 2019.

LIMA, D. K. S. *et al.* Estimating the offshore wind resources of the State of Ceará in Brazil. *Renewable Energy*, v. 83, 2015.

LIMA, Danielle Kely Saraiva et al. Recurso eólico offshore - estudos de caso no Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, VIII, 01 a 05 jun. 2020, Fortaleza, Ceará, Brasil. Disponível em <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/56926>>. Acesso em: 16 de novembro de 2021.

NUNES, J. P. C. S. Energia Eólica Offshore: um estudo de caso para análise da viabilidade técnico-econômica de uma usina próxima a costa do Rio Grande do Norte. 219f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2020.

ORTIZ, GP; KAMPEL, M., Potencial de energia eólica offshore na margem do Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) 2011. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/07.06.17.10/doc/Ortiz_Potencial.pdf> Acesso em: 29 de setembro de 2021.

PIMENTA, F.; KEMPTON, W.; GARVINE, R. Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil. *Renewable Energy*, v. 33, n. 11, p. 2375-2387, 2008.

RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2021.

RIBEIRO, C. M. S. Construção de Parques Eólicos Marítimos: Processos e Direção de Obra, 2015.

SILVA, Felipe Fernandes. Potencial eólico do nordeste brasileiro. 80f. (Monografia) – Curso de Engenharia Elétrica, Centro de engenharia elétrica e informática, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2015.