



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

MARINA MULE TABASNIK

**ESTUDO ENERGÉTICO E AMBIENTAL DE PARQUE EÓLICO
OFFSHORE COMO SUPLEMENTO À TURBINA A GÁS PARA
FORNECIMENTO DE ENERGIA A PLATAFORMAS DE PETRÓLEO**

Porto Alegre

Novembro 2020

MARINA MULE TABASNIK

**ESTUDO ENERGÉTICO E AMBIENTAL DE PARQUE EÓLICO *OFFSHORE* COMO
SUPLEMENTO À TURBINA A GÁS PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA A
PLATAFORMAS DE PETRÓLEO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA
AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Adriane Prisco Petry

Porto Alegre

Novembro 2020

CIP - Catalogação na Publicação

Tabasnik, Marina Mule
ESTUDO ENERGÉTICO E AMBIENTAL DE PARQUE EÓLICO
OFFSHORE COMO SUPLEMENTO À TURBINA A GÁS PARA
FORNECIMENTO DE ENERGIA A PLATAFORMAS DE PETRÓLEO /
Marina Mule Tabasnik. -- 2020.
63 f.
Orientadora: Adriane Prisco Petry.

Coorientador: Matheus Lara Rippel.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

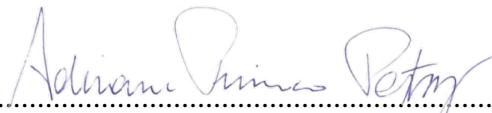
1. Energia eólica offshore. 2. Plataforma de
petróleo. 3. Gases do Efeito Estufa (GEE). 4. Turbinas
a gás. 5. Eficiência Energético-Ambiental. I. Petry,
Adriane Prisco, orient. II. Rippel, Matheus Lara,
coorient. III. Título.

MARINA MULE TABASNIK

ESTUDO ENERGÉTICO E AMBIENTAL DE PARQUE EÓLICO *OFFSHORE*
COMO SUPLEMENTO À TURBINA A GÁS PARA FORNECIMENTO DE
ENERGIA A PLATAFORMAS DE PETRÓLEO

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **30/11/2020** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

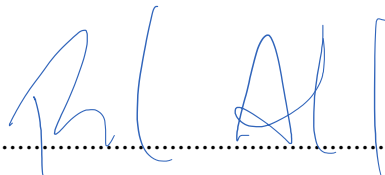
Banca Examinadora:



.....
Prof.^a Dr.^a Adriane Prisco Petry – Orientadora – Departamento de Engenharia Mecânica



.....
Prof. Dr. Gean Paulo Michel – Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH)



.....
Eng. Ricardo Andrade – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR)

Conceito: A

Dedico esse trabalho à minha família, em especial ao meu avô, David Tabasnik.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha família por seu incansável apoio, desde sempre e em toda a minha trajetória na UFRGS.

Ao meu pai Efraim e ao meu irmão Rafael, que me incentivaram a ser engenheira e me guiaram em todas as minhas escolhas importantes.

À minha mãe e melhor amiga Viviane, que me deu todo o apoio emocional que eu precisei e que sempre esteve ao meu lado.

Aos meus avós, David e Dora, que sempre tiveram tanto orgulho de mim e foram tão presentes na minha vida pessoal e acadêmica. Esse trabalho é dedicado ao meu vô David, que sei que está comigo em pensamento.

Ao meu coorientador e amigo Matheus, que mesmo do outro lado do mundo, se mostrou tão disponível e não mediu esforços para me auxiliar, sendo imprescindível para a realização desse trabalho.

À professora Adriane Petry, pela grande oportunidade em me aceitar como orientanda.

À toda equipe da empresa DGE, que tenho orgulho em fazer parte. Agradeço pelo acolhimento e aprendizado - que me fizeram uma apaixonada pela energia eólica - além de todo apoio técnico para a realização desse trabalho.

A todos os meus amigos que participaram dessa fase importante da minha vida.

Eu tenho duas opções: assistir a tudo isso
acontecendo ou fazer parte disso.

Elon Musk

RESUMO

TABASNIK, M. M. Estudo Energético e Ambiental de Parque Eólico *Offshore* como Suplemento à Turbina a Gás para Fornecimento de Energia a Plataformas de Petróleo. 2020. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

A crescente preocupação com o meio ambiente fez com que as indústrias petrolíferas começassem a estudar formas de reduzir os impactos ambientais da atividade de exploração de petróleo. Com a pressão mundial para diminuição da emissão de gases poluentes, o presente estudo propõe analisar a implementação de um parque eólico *offshore* como complemento a turbinas a gás para eletrificação de uma plataforma marítima de exploração de petróleo. A plataforma escolhida foi a plataforma de PESCADA 1B, localizada no Rio Grande do Norte, com lâmina d'água de 20 metros e distância de aproximadamente 31 km da costa. Foi utilizada a base de dados de reanálise a longo prazo ERA-5 para a verificação do potencial eólico na região, realizando uma simulação de produção de energia com dois aerogeradores GE Haliade-X de 12 MW. Desta forma, analisando o comportamento do vento durante um ano típico, foi possível calcular a quantidade de CO₂, SO_x e NO_x que poderia ser economizado caso a plataforma operasse com os aerogeradores juntamente com duas turbinas a gás e uma terceira como backup. Assim, é visto que a introdução do parque eólico é em geral significativamente positiva em termos de diminuição de emissões de GEE na atmosfera.

Palavras-chave: plataforma de petróleo, parque eólico *offshore*, gases de efeito estufa.

ABSTRACT

TABASNIK, M. M. Energy and Environmental Study of Offshore Wind Farm as a Supplement to Gas Turbine to Supply Energy to Oil Rigs. 2020. 62 f. Course Conclusion Paper (Environmental Engineering Course). Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

The growing concern with the environment has encouraged the oil industries to start looking at ways to reduce the negative impacts of oil exploration activity. With the global pressure to reduce the emission of polluting gases, the present study investigated the implementation of an offshore wind farm as a complement to gas turbines to provide power to a marine oil exploration platform. The chosen oil rig is called PESCADA 1B, located in Rio Grande do Norte, with a water depth of 20 meters and about 31 km away from the coast. The ERA-5 long-term reanalysis database was used to verify wind potential in the region, performing an energy production simulation with two GE Haliade-X wind turbines of 12 MW. Thus, analyzing the wind behavior during a typical year, it was possible to calculate the amount of CO₂, SO_x e NO_x that could be reduced if the oil rig operated with the wind turbines together with two gas turbines and a third as backup. So, it is seen that the addition of the wind farm is generally significantly positive in terms of reducing GHG emissions in the atmosphere.

Keywords: oil rig, offshore wind farm, greenhouse gases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Potência instalada de energia eólica no mundo.	20
Figura 2: Matriz elétrica brasileira.	21
Figura 3: Potência instalada de energia eólica <i>offshore</i> por país.	22
Figura 4: Campo de vento médio anual calculado no período de 1999 a 2009, a 80 metros de altura.	24
Figura 5: Plataforma fixa de Mexilhão na Bacia de Santos.	31
Figura 6: Bacias sedimentares exploradas pela Petrobras.	32
Figura 7: Emissões de GEE na indústria do Petróleo e Gás.	34
Figura 8: Mapa de localização do campo Pescada.	39
Figura 9: Fotografia das plataformas PESCADA 1A e 1B.	40
Figura 10: Localização da torre de medição em relação a plataforma Pescada 1B.	42
Figura 11: Protótipo da turbina GE Haliade-X 12 MW.	44
Figura 12: Velocidades médias mensais dos dados de reanálise ERA5 no período de 1989-2020.	47
Figura 13: Rosa dos ventos da torre ERA5.	48
Figura 14: Gráfico “ <i>Wind Shear</i> ” do vento medido nas alturas de 10 e 100 metros.	49
Figura 15: Gráfico de distribuição anual de <i>Weibull</i> para a série temporal inserida.	50
Figura 16: Mapa do recurso eólico da região na altura de 150 metros.	51
Figura 17: Layout do parque eólico.	52
Figura 18: Gráfico de geração de energia mensal do parque eólico.	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Unidades estacionárias de produção selecionadas.	37
Quadro 2: Dados de reanálise da Torre ERA5.	42
Quadro 3: Especificações técnicas do aerogerador selecionado.	43
Quadro 4: Coeficientes de emissão de GEE.	45
Quadro 5: Emissões atmosféricas pelas turbinas a gás na configuração atual da plataforma.	46
Quadro 6: Descrição do layout do parque eólico.	52
Quadro 7: Resultados do relatório de produção de energia eólica.	53
Quadro 8: Análise dos resultados de produção por fonte de energia da nova configuração da plataforma.	55
Quadro 9: Quantidade de emissões de GEE economizadas.	56

LISTA DE SIGLAS

CE: Ceará

COMGRAD-AMB: Comissão de Graduação da Engenharia Ambiental

ECMWF: *European Center for Medium Range Weather Forecasting*

EIA: Estudo de Impacto Ambiental

ES: Espírito Santo

FPSO: *Floating, Production, Storage and Offloading*

GEBCO: *General Bathymetric Chart of the Oceans*

GEE: Gases do Efeito Estufa

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

RAS: Relatório Ambiental Simplificado

RIMA: Relatório de Impacto Ambiental

RJ: Rio de Janeiro

RN: Rio Grande do Norte

RS: Rio Grande do Sul

TG: Turbina a gás

TLWP: *Tension Leg Wellhead Platform*

TR: Termo de Referência

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

WAsP: *Wind Atlas Analysis and Application Program*

LISTA DE SIGLAS

bb1: barril

CH₄: gás metano

CO₂: gás carbônico

GW: gigawatt

GWh: gigawatt-hora

kg: quilograma

km: quilômetro

km²: quilômetro quadrado

kW: quilowatt

m: metros

m³: metro cúbico

MW: megawatt

MWh: megawatt-hora

N₂O: óxido nitroso

NO_x: óxidos de nitrogênio

SO_x: óxidos de enxofre

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	REVISÃO BILIOGRÁFICA.....	18
3.1	A Energia Eólica – Panorama Geral.....	18
3.2	A Energia Eólica <i>Offshore</i>	21
3.2.1	O Potencial <i>Offshore</i> Brasileiro.....	23
3.2.2	Aspectos Ambientais	25
3.2.2.1	Avaliação dos Impactos Ambientais.....	25
3.2.2.2	Impactos Ambientais	28
3.3	Plataformas de Petróleo <i>Offshore</i>	30
3.3.1	Panorama Geral	31
3.3.2	As Turbinas a Gás e a Emissão de GEE.....	33
3.3.3	A Relação com a Energia Eólica <i>Offshore</i>	35
4	METODOLOGIA.....	37
4.1	Seleção do Local.....	37
4.1.1	Campo de Pesca.....	38
4.1.2	Análise do Vento	41
4.2	Seleção da Turbina Eólica	43
4.3	Potencial Eólico.....	44
4.4	Emissões atmosféricas	45
5	RESULTADOS	46
5.1	Cenário Atual da Plataforma	46
5.2	Implementação do Parque Eólico	46

5.2.1	Análise do Vento Medido.....	47
5.2.2	Recurso Eólico.....	50
5.2.3	<i>Micrositing</i>	51
5.2.4	Produção de Energia.....	53
5.3	Cenário Integrado	54
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1 INTRODUÇÃO

A demanda energética no mundo vem aumentando rapidamente devido ao crescimento demográfico e consequente consumo *per capita*. A vida da sociedade que conhecemos é absolutamente dependente de fontes de energia derivadas de combustíveis fósseis. Para suprir essa demanda, a indústria petrolífera encontra-se em crescente expansão, ameaçando o meio ambiente por conta de sua emissão de gases poluentes.

Recentemente, o desenvolvimento energético sustentável por parte dos governos e do setor privado vem crescendo exponencialmente. A indústria petrolífera, que é uma das maiores emissoras de gases de efeito estufa (GEE), ao mesmo tempo que precisa expandir sua atividade para atender a demanda energética mundial, deve estudar maneiras de diminuir o impacto ambiental gerado por ela sobre o planeta.

As plataformas marítimas de petróleo necessitam de energia elétrica para seu próprio funcionamento. Visto o gradual aumento do porte dessas instalações, a indústria de óleo e gás tem pensado em maneiras de minimizar as emissões atmosféricas geradas por meio de soluções envolvendo energias renováveis.

Em geral, para eletrificação das plataformas *offshore* são utilizadas turbinas a gás (TG), que apesar de serem consideradas as máquinas mais eficientes para esse serviço devido às suas características específicas, emitem CO₂ e outros gases poluentes, sendo um desafio para o setor.

Assim, surge a ideia da energia eólica *offshore* como alternativa, pois tem se tornado uma opção cada vez mais viável no mundo. Além de ser uma opção de baixo carbono, apresenta um potencial eólico que ainda é pouco explorado. A tecnologia dos aerogeradores vem sendo aprimorada com força juntamente com políticas governamentais de incentivo, causando o avanço dessa fonte, a fim de torná-la competitiva.

Visto isso, agentes dos setores elétrico e de petróleo e gás tem incentivado a pesquisa específica sobre a energia eólica *offshore*, pois a integração desses setores tem se mostrado uma relação de ganho mútuo e é justificativa para o presente estudo.

2 OBJETIVOS

São apresentados, a seguir, o objetivo geral e os objetivos específicos do estudo.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é analisar o efeito da integração da fonte eólica *offshore* na eletrificação de plataformas de petróleo que utilizam apenas turbinas a gás para atender a sua demanda energética, a fim de incentivar o processo de descarbonificação do setor.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos podem ser organizados da seguinte forma:

- Apresentar o funcionamento, panorama geral e aspectos ambientais da energia eólica *offshore*, assim como sua relação com as plataformas petrolíferas, através de uma revisão bibliográfica;
- Analisar os efeitos ambientais das turbinas a gás no que diz respeito a emissão de gases do efeito estufa e o quanto pode ser reduzido;
- Realizar estudo de eficiência energética da integração da fonte eólica com a fonte térmica, através de *micrositing*, para atender a demanda energética da plataforma.

Desta maneira, o objetivo é alcançar um cenário de melhoria do ponto de vista ambiental e energético para as plataformas de petróleo, utilizando um balanço de ambas as formas de fornecimento de energia elétrica e contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais gerados pela emissão de gases poluentes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será apresentada uma revisão bibliográfica sobre energia eólica em geral e seu avanço histórico até os dias atuais. Será abordado os casos específicos de parques *offshore* e a geração de energia por turbinas a gás em plataformas marítimas de petróleo, assim como a emissão de GEE causada por elas. Além disso, será apresentada a relação entre os setores eólico e petrolífero no mar.

3.1 A Energia Eólica – Panorama Geral

O vento é proveniente da radiação solar juntamente com os movimentos do planeta e o fato de seu aquecimento não ser realizado de maneira uniforme. Assim, as regiões que recebem incidência solar praticamente perpendicular (zonas tropicais), tem massa de ar mais aquecido, que sobe e toma o lugar das regiões mais frias (zonas polares). Esse deslocamento é o mecanismo básico de formação dos ventos (DUTRA, 2008).

A energia eólica é a energia cinética presente nos ventos, e para aproveitá-la, é necessário convertê-la de translação em rotação, utilizando aerogeradores para produzir energia elétrica. Outra forma de utilização da fonte eólica pode ser a utilização de moinhos, gerando energia mecânica (bombeamento de água ou moagem de grãos, por exemplo) (ANEEL, 2005).

No entanto, como destaca Dutra (2008), alguns fatores apresentam forte influência no comportamento dos ventos, como:

- A rugosidade do terreno;
- O relevo do local;
- A presença de obstáculos;
- A diferença de velocidade conforme a altura.

As características do local de interesse podem ser encontradas em campo, por imagens de satélite, mapas topográficos, drones, entre outros. Quanto maior a riqueza dessas informações, maior será a precisão sobre a previsão do comportamento do vento na região.

Antigamente, conforme a agricultura avançava, o ser humano cada vez mais necessitava de auxílio para facilitar seu trabalho. Mesmo não tendo sido tão eficientes, as primeiras turbinas eólicas foram úteis para a substituição de parte do trabalho manual agrícola. Em 200 A.C., na Pérsia, foi registrada a primeira utilização dessa forma de energia para bombear água e moer grãos. Foi por volta do século XII que as turbinas eólicas começaram a ser substituídos por moinhos de eixo horizontal, na Europa, principalmente na Holanda. Com a Revolução Industrial e o aparecimento das máquinas a vapor, iniciou o declínio dos moinhos de vento (DUTRA, 2008).

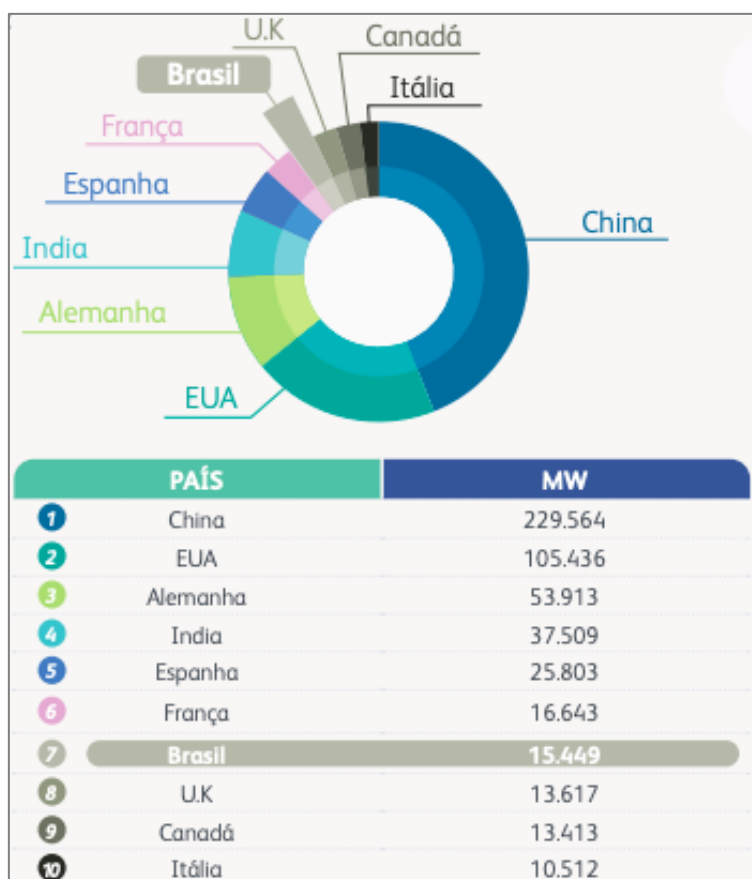
Segundo o mesmo autor, no final do século XIX, mais precisamente em 1888, foi criado o primeiro aerogerador para geração de energia elétrica, fornecendo 12 kW para a eletrificação de lâmpadas incandescentes, por Charles F. Brush. Em 1931, na Rússia, foi criado outro aerogerador, mais potente e conectado a uma usina termelétrica. A Segunda Guerra Mundial retirou um pouco a atenção dos combustíveis fósseis e isso propiciou o desenvolvimento de aerogeradores de médio e grande porte, sendo o principal projeto nos Estados Unidos. No período inicial da Segunda Guerra, a Dinamarca liderou grande crescimento eólico em todo continente europeu.

Após a Segunda Guerra, com a volta da abundância de combustíveis fósseis, os aerogeradores foram construídos com foco em pesquisa, com destaque para a Inglaterra com um estudo nas Ilhas Britânicas. Já em torno dos anos 60, a França era o país que encabeçava as pesquisas de aerogeradores conectados na rede elétrica. Até 1966 foram construídas turbinas de grande porte (eixo horizontal e três pás), alguns chegando até 800 kW. Enquanto isso, a Alemanha liderava as inovações tecnológicas de pesquisas eólicas, criando pás mais eficientes. Apenas na década de 1970 os investimentos começaram a ser suficientes para a aplicação comercial de turbinas eólicas, concomitantemente com a crise do petróleo. Em 1976, na Dinamarca, a primeira turbina foi instalada na rede elétrica pública (ANEEL, 2005).

Com o avanço da tecnologia dos aerogeradores e desenvolvimento dos sistemas de conexão, os custos - que inicialmente eram o maior problema – têm reduzido e se tornado mais viáveis e competitivos (ANEEL, 2005). O comércio de turbinas eólicas, então, se desenvolveu muito rapidamente nos últimos anos, tanto por tamanho de máquinas, quanto por potência (DUTRA, 2008).

Em 2019 a capacidade total instalada no mundo de energia eólica chegou aos 650 GW, tendo um acréscimo de 10% em relação ao ano anterior (Figura 1). Foram 60 GW de novas instalações só em 2019, sendo torno de 54 GW em terra e 6 GW em água. Atualmente o país líder em capacidade eólica instalada no mundo é a China, com cerca de 230 GW, seguido pelos EUA, com mais de 105 GW. Os cinco primeiros colocados representam 72% do total instalado. O Brasil ocupa o sétimo lugar, com mais de 15 GW instalados (ABEEÓLICA, 2020).

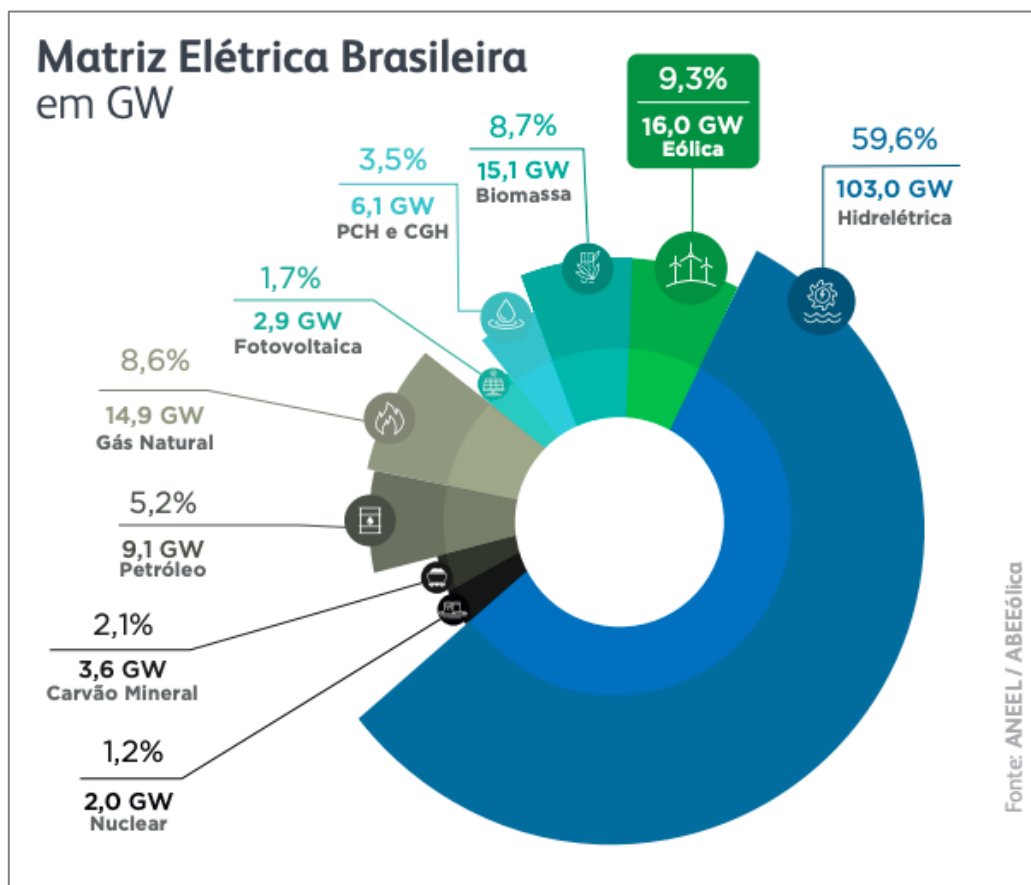
Figura 1: Potência instalada de energia eólica no mundo.



Fonte: GWEC/ABEEólica (2020).

O Brasil conta com 637 usinas eólicas até junho de 2020, totalizando 16 GW de capacidade instalada, 7.738 aerogeradores em operação envolvendo 12 estados brasileiros. Isso representa 9,3% da matriz elétrica brasileira, ficando atrás apenas da fonte hidrelétrica, que representa 59,6% (Figura 2). Considerando leilões de energia já realizados e contratos firmados no mercado livre, é previsto que em 2024 o Brasil terá 24,2 GW de potência instalada (ABEEÓLICA, 2020).

Figura 2: Matriz elétrica brasileira.



Fonte: ANEEL/ABEEólica (2020).

3.2 A Energia Eólica *Offshore*

Nos oceanos os ventos não encontram barreiras naturais e a rugosidade é muito próxima de zero, ou seja, os ventos são mais regulares e o potencial eólico tende a ser naturalmente maior que em terra, como apresentou Ortiz e Kampel (2011).

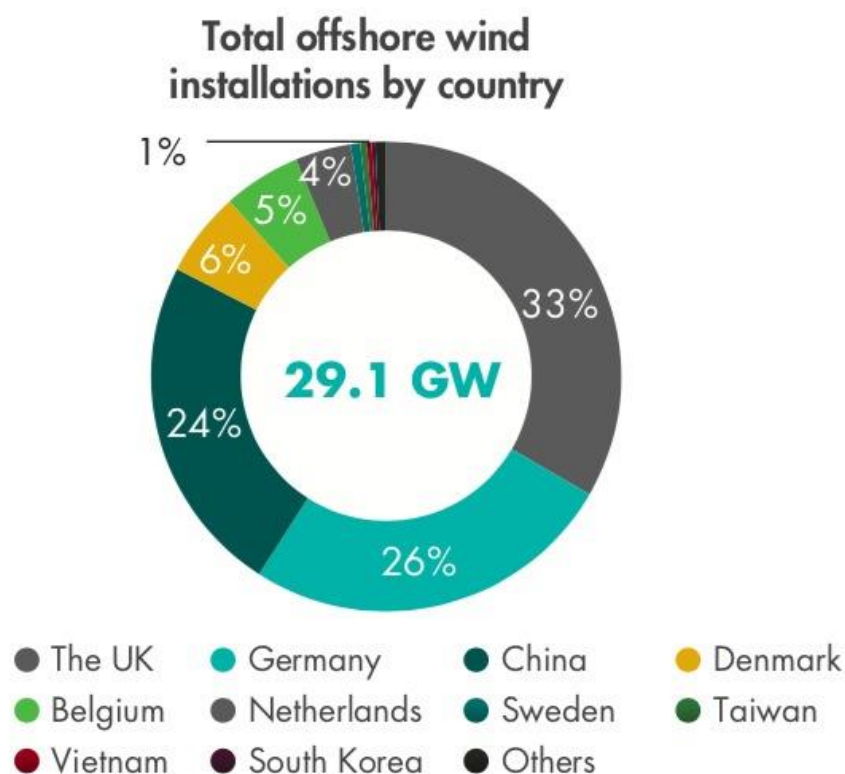
Percebido isso, em 1991, na Dinamarca, foi instalado o primeiro parque eólico *offshore*, contendo um total de 11 aerogeradores de 450 kW, projeto que serviu de modelo para o mundo (ORSTED, 2019).

Os primeiros parques eram relativamente simples, em águas rasas. No início dos anos 2000, com o avanço da tecnologia, o Reino Unido se destacou e instalou as primeiras turbinas em mar aberto, na cidade de Blyth, na Inglaterra (TRAPP, 2009).

No mundo, o crescimento dessa indústria tem sido extremamente acelerado. Atualmente é considerada uma indústria mundial madura e em expansão. Mesmo que a exploração do vento ainda não seja viável em grandes profundidades, 70% do planeta é coberto por água, tendo maior potencial em comparação ao *onshore* (GWEC, 2020).

Segundo o *Global Offshore Wind Report 2020*, o ano de 2019 foi recorde de crescimento da história para o mercado de energia eólica *offshore*. Foram adicionados 6,1 GW de capacidade instalada no ano, sendo 2,4 GW da China. Desde 2013, o mercado *offshore* cresceu em média 24% ao ano, totalizando 29,1 GW totais instalados, o que significa 5% da capacidade de energia eólica total no mundo. Os líderes em capacidade total instalada são o Reino Unido e Alemanha, como visto na Figura 3. Até 2030 está previsto mais de 205 GW de nova capacidade instalada para eólica *offshore* no mundo.

Figura 3: Potência instalada de energia eólica *offshore* por país.



Fonte: GWEC (2020).

Segundo Silva (2019), os principais motivos desta migração de interesse de projetos terrestres para aquáticos se devem ao fato da disponibilidade de espaço, sendo possível a geração de mais energia. É levado em conta também os menores impactos ambientais em comparação aos parques *onshore*. No caso do Brasil, o litoral é interessante também por estar próximo aos centros populacionais, ou seja, há infraestrutura de transmissão, reduzindo assim as perdas e os custos relacionados à conexão.

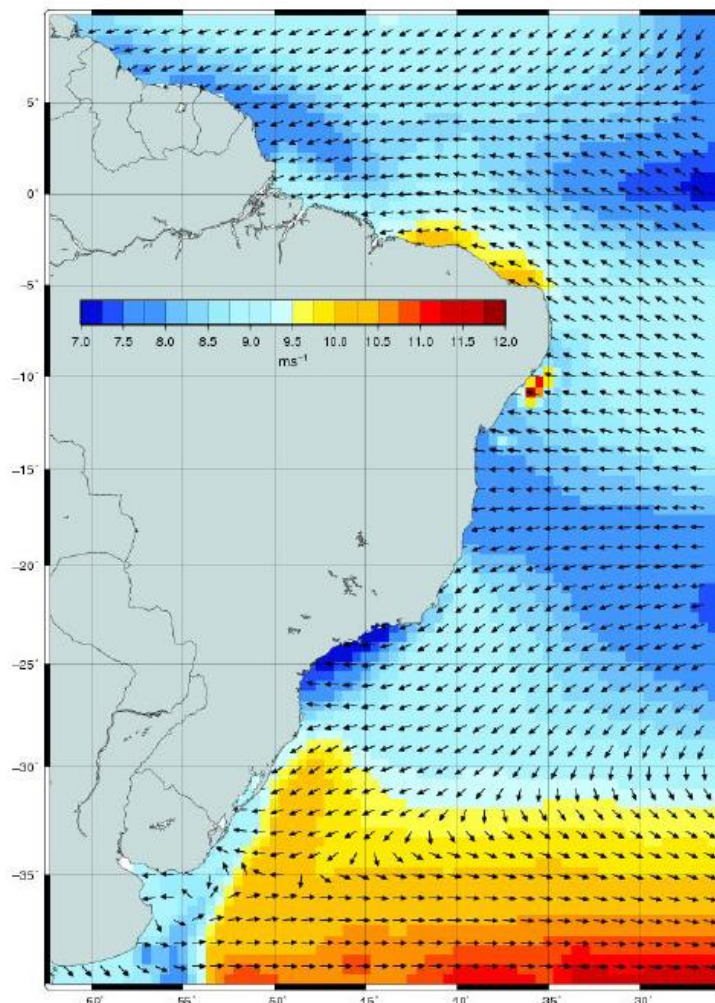
O maior entrave sobre instalações *offshore* ainda são os custos e a falta de políticas de incentivo. O investimento nessa forma é logicamente mais oneroso principalmente em razão da sua complexidade técnica (CARVALHO, 2019). A distância da costa e a profundidade da instalação dos aerogeradores estão diretamente relacionados com os custos. A logística de construção e manutenção é outro fator que encarece o projeto. No entanto, se projetado adequadamente, há imensa produção de energia devido ao melhor aproveitamento do vento marítimo, e logo se torna um projeto viável (EPE, 2020).

O aumento exponencial global na última década foi devido aos avanços tecnológicos, redução de custos, políticas de suporte e desenvolvimento do sistema de conexão. As turbinas tendem a aumentar sua resiliência aos ambientes marinhos e sua capacidade será em torno de 10-12 MW até 2025. Com a intenção de descarbonização dos setores dependentes de combustíveis fósseis e políticas de suporte adequadas, a energia eólica *offshore* será um pilar da transição energética global (GWEC, 2020).

3.2.1 O Potencial *Offshore* Brasileiro

Segundo análise preliminar por Ortiz e Kampel (2011), no Brasil, a média anual da magnitude do vento a 80 metros de altura no ambiente *offshore* apresenta variação entre 7 e 12 m/s, com os menores valores na costa de São Paulo e os maiores na região nordeste, destacando Sergipe, Alagoas, Rio Grande do Norte e Ceará. A região sul – Rio Grande do Sul e Santa Catarina – também chama a atenção. O campo de vento médio é mostrado na Figura 4. Segundo estudos básicos de recurso eólico *offshore* realizados pela EPE (2020), para profundidades de até 50 metros, o Brasil tem potencial para aproximadamente 700 GW.

Figura 4: Campo de vento médio anual calculado no período de 1999 a 2009, a 80 metros de altura.



Fonte: Ortiz e Kampel (2011).

Ao comparar o estudo de Ortiz e Kampel (2011) com o estudo desenvolvido por Pimenta *et al.* (2008), que analisa a região sul e sudeste, é conclusivo que a região norte e nordeste tem maior produtividade energética. O potencial de geração de energia eólica até 10 km da costa é de aproximadamente 57 GW e é muito promissor, pelo fato de não ser tão distante da costa, o que reduz a complexidade e custos das estruturas operacionais e de conexão.

No Brasil, sete projetos eólicos *offshore* estão com pedido de licenciamento ambiental junto ao IBAMA: Complexos Asa Branca (CE), Caucaia (CE), Maravilha (RJ/ES), Jangada (CE), Aracatu (RJ), Camocim (CE) e Águas Claras (RS), totalizando mais de 15 GW de potência instalada. O complexo eólico Águas Claras se localiza na região litorânea dos municípios de Capão da Canoa e Xangri-lá, subdividido em quatro parques de 750 MW cada (GABRIEL CHIAPPINI, 2020).

3.2.2 Aspectos Ambientais

Mesmo que reduzidos em comparação a maioria das outras fontes, existem impactos ambientais em parques eólicos *offshore* que devem ser levados em conta desde o início do projeto até o seu descomissionamento. Seu diferencial positivo é que não emitem gases poluentes em fase de operação. No entanto, apesar de ser considerada uma fonte de energia limpa e renovável, os impactos causados pela implementação de parques *offshore* devem ser identificados, monitorados e mitigados conforme possível (EPE, 2020).

3.2.2.1 Avaliação dos Impactos Ambientais

No Brasil, o licenciamento ambiental de empreendimentos eólicos *offshore* é de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), seguindo o Decreto n.8437/2015. A análise dos impactos ambientais deve ser feita na forma de Estudo de Impacto Ambiental (EIA), juntamente com o Relatório de Impacto Ambiental (Rima). Existe a possibilidade do EIA/Rima ser substituído pelo Relatório Ambiental Simplificado (RAS), no caso de ser considerado de baixo potencial poluidor pelo órgão ambiental. (EPE, 2020).

Os Termos de Referência (TR) são documentos emitidos pelo órgão ambiental responsável na fase inicial dos processos de licenciamento ambiental, a fim de fornecer diretrizes para o Estudo de Impacto Ambiental realizado pela consultoria ambiental contratada pelo empreendedor (IBAMA, 2020).

Visto ainda não existirem parques eólicos *offshore* no Brasil, foi aberto de janeiro até abril de 2020 uma Consulta Pública pelo Ibama, com objetivo de receber contribuições para elaboração do Termo de Referência padrão para complexos eólicos marítimos. Um modelo inicial de TR foi publicado e disponibilizado durante esse período, a fim de ser aprimorado. A Consulta Pública é um instrumento que confere transparência e estimula a participação social para o processo de licenciamento ambiental. As contribuições são feitas através de formulários e pode ser feita por qualquer pessoa ou instituição (IBAMA, 2020).

Segundo a mesma instituição, o TR provisório foi baseado em referências como: experiência da equipe técnica com empreendimentos marítimos de exploração de petróleo e gás; discussões ocorridas em workshop realizado pelo Ibama em parceria com a União Europeia e experiência internacional e literatura científica sobre o tema.

Dessa forma, em novembro de 2020 foi realizado um evento com transmissão ao vivo para lançamento do TR oficial para empreendimentos eólicos *offshore* no Brasil. O documento é produto do TR provisório com a Consulta Pública, e será disponibilizado em breve. Assim, as informações abaixo são baseadas nas colocações do Ibama nesse evento.

Um TR padrão com regras claras e transparentes para o tema é atrativo para investidores. Além disso, o investimento em parques eólicos *offshore* está diretamente ligado a necessidade de infraestrutura portuária que dê suporte para as instalações, portanto a autorização desse tipo de empreendimento garante o investimento no setor portuário também, o que gera empregos e cria uma cadeia sustentável.

O documento segue o padrão e experiência internacional, porém adaptado a realidade brasileira, que difere da europeia em suas características e extensão marinhas. O foco do diagnóstico ambiental deve ser voltado para os grupos com maior probabilidade de serem atingidos, que são as tartarugas, mamíferos marinhos e aves, assim como na preocupação com ambientes recifais, pesca artesanal, navegação e turismo.

Foi adiantado que projetos com até dois aerogeradores e conectados a plataformas marítimas já existentes serão considerados de baixo impacto ambiental, ou seja, podem ser avaliados através de RAS. No Brasil não há planejamento espacial marinho, portanto o diagnóstico do espaço será realizado no próprio EIA. Isso difere do caso da Europa, que

por já possuir esse instrumento, tem seus projetos eólicos localizados conforme o zoneamento - diminuindo os possíveis impactos ambientais.

A estrutura do TR segue basicamente o mesmo padrão exigido aos complexos *onshore*, mas são destacados alguns pontos:

- No capítulo de caracterização do empreendimento deve constar, além do mapeamento da localização dos aerogeradores, linha de transmissão e subestações (com necessidade ou não de ampliação), a análise da infraestrutura portuária e seus acessos.
- Devem ser identificados os usos múltiplos da água da região e realizado o diagnóstico ambiental da fauna e flora, para realizar a sobreposição das áreas e as classificar conforme grau de restrição ambiental, gerando alternativas locais. Por exemplo: mapeamento de regiões de pesca artesanal, rotas marítimas, unidades de conservação, impacto visual, áreas portuárias, aves migratórias, regiões de exploração de óleo e gás, entre outras.
- Deve haver avaliação criteriosa do distanciamento necessário da costa, pois ele não será definido de forma objetiva. Isso se deve ao fato de que apesar de haver muitas informações sobre isso aplicado ao Mar do Norte e Báltico, o ecossistema europeu difere do brasileiro. O empreendedor deve ter argumentos técnicos e científicos para justificar o afastamento de regiões sensíveis, como pesca artesanal, por exemplo. O TR fornecerá exemplos de estudos científicos como sugestão. Em áreas de turismo, por exemplo, pode ser proposto um maior distanciamento da costa para diminuir o impacto visual.
- A área de influência, que normalmente é definida no início do EIA, será movida para o final. Primeiramente, será determinada a região de estudo e o seu diagnóstico, para que sejam avaliados os impactos ambientais e assim a área de alcance desses impactos, onde serão aplicados os programas de gestão ambiental.

3.2.2.2 Impactos Ambientais

Luz *et al.* (2020) confirma que a modalidade eólica *offshore* é menos impactante ao meio ambiente do que a *onshore*. Isso se dá principalmente pelo fato de os parques em água impactarem na maioria dos casos de forma temporária e/ou reversíveis, deixando de atuar na conclusão das atividades que os desencadearam. Por serem instalados na água, não necessitam de obras de infraestrutura de acesso e tráfego de maquinários.

Existem impactos ambientais nos meios físico, biótico e socioeconômico, tanto no planejamento, instalação, operação e desmontagem das usinas. A seguir serão descritos de forma breve os principais deles, divididos por tema.

Ruído

Firestone *et al.* (2006) afirmam que há impactos causados pelo ruído sobre as espécies aquáticas, tanto locais quanto migratórias, em toda a vida das usinas. O ruído subaquático e as vibrações das estruturas podem causar deslocamento dos habitats, podendo afetar mamíferos, aves, peixes e espécies bentônicas.

As fases mais críticas para a fauna local são o momento da colocação das turbinas e dos cabos no meio aquático. O uso de bate-estacas causa ruído subaquático, fazendo com que o som seja dispersado atrapalhando e afugentando a fauna marinha. As turbinas também geram ruído subaquático na fase de operação, porém com menor significância. (EPE, 2020).

Presença física da turbina

Luz *et al.* (2020) conclui que a presença física das estruturas cria sombra na água e que isso pode interferir na concentração de oxigênio e clorofila, impactando na quantidade de plâncton e matéria orgânica. Além disso, as turbinas causam impacto visual devido a alteração da paisagem, interferem na navegação e, principalmente, podem causar morte ou desvio de rota de aves e morcegos, tanto migratórios quanto residentes.

Ressuspensão de sedimentos e erosão

EPE (2020) afirma que na fase de implantação das fundações ocorre dos sedimentos ressuspenderem, alterações na qualidade da água e desestabilização do subsolo marinho são verificados temporariamente. Com as correntes e marés, pode haver erosão do entorno das fundações para a superfície. Como solução é indicado a colocação de rochas nas bases das fundações, o que pode gerar inclusive um efeito de aumento de riqueza da fauna marinha da região, pois forma recifes artificiais no local.

Impactos do cabeamento

A estrutura de cabeamento gera poluição química e ruídos, em todas as fases do projeto eólico. A longo prazo, na operação, são percebidas alterações no campo eletromagnético, emissão de calor, poluição química e possibilidade de formação de emaranhamento. Assim como no caso da implantação das turbinas, a área fica restrita para pesca e pode haver o surgimento de recifes artificiais. Deve haver o planejamento prévio dos cabos para evitar habitat mais sensíveis e espécies bentônicas (EPE, 2020).

Derramamento

Luz *et al.* (2020) conclui que podem ocorrer incidentes que levam a derrames de óleo ou produtos químicos, prejudicando a fauna e a qualidade da água do local, além de possíveis outros usuários do mar.

Conflito de uso do espaço marítimo

Apesar de haver desenvolvimento econômico da região por conta do parque eólico, a proibição de navegação e pesca é visto como impacto socioeconômico negativo, pois geralmente restringe regiões extensas, fator que muitas vezes inviabiliza um projeto eólico *offshore*. O conhecimento de áreas típicas de pesca é fundamental para que sejam evitados tais conflitos sociais. No entanto, a proibição da pesca preserva a biodiversidade da região (EPE, 2020). Há aumento do potencial risco de navegação para

outros usuários do mar devido à presença física de equipamentos e perturbação do fundo do mar pelas fundações (LUZ *et al.*, 2020).

A EPE (2020) indica que a principal estratégia a ser adotada para a mitigação dos impactos ambientais de parques eólicos *offshore* é que sejam evitadas as construções nas seguintes localidades:

- Áreas ambientalmente sensíveis em relação a espécies marinhas;
- Áreas protegidas por lei, como unidades de conservação;
- Áreas militares;
- Áreas de navegação;
- Áreas de pesca;
- Áreas com interesse arqueológico ou patrimônio cultural.

3.3 Plataformas de Petróleo *Offshore*

Para atender à crescente demanda de energia, é necessário o investimento de recurso e tecnologia nos campos concedidos para exploração de petróleo. Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (ANP, 2018), a etapa de exploração e produção constitui a base da indústria petrolífera. A maioria das plataformas de petróleo estão em campos marítimos e diferem em sua distância da costa, lâmina d'água e forma de exploração.

As plataformas possuem diferentes tecnologias de perfuração e/ou produção. São analisadas as condições de cada campo para assim escolher o tipo de plataforma adequado. A PETROBRAS trabalha com plataformas dos tipos fixas, autoeleváveis, semisubmersíveis, Unidades Flutuantes de Produção, Armazenamento e Transferência (FPSO), FPSO Monocoluna, “*Tension Leg Wellhead Platform*” (TLWP) e Navio-Sonda. No Brasil, a maioria das plataformas de produção são fixas, como é apresentada, na Figura 5, a plataforma de Mexilhão na Bacia de Santos (PETROBRAS, 2014).

Figura 5: Plataforma fixa de Mexilhão na Bacia de Santos.



Fonte: Petrobras (2014).

3.3.1 Panorama Geral

No fim do século XIX ocorreram as primeiras explorações de petróleo no mar, na Califórnia (MORAIS, 2013). Em 1930, na Venezuela, e em 1950, no Golfo do México, surgiu a indústria *offshore* de petróleo. A partir disso, algumas empresas grandes como Shell e Texaco começaram a se especializar no assunto (FURTADO, 1996).

No Brasil, em 1950, já havia conhecimento de reservas de petróleo em mar profundo. Em 1954 a PETROBRAS foi determinada como executora do monopólio do petróleo. Em 1968 a empresa descobriu o primeiro poço *offshore*, no Campo de Guaricema, em Sergipe. No mesmo ano foi perfurado o campo de Garoupa, na Bacia de Campos, e assim iniciou de fato a exploração do petróleo e gás natural brasileiro (ORTIZ NETO; COSTA, 2007).

O avanço das explorações brasileiras em águas cada vez mais profundas e o investimento em pesquisa e capacitação tecnológica permitiu que em 2006 fosse iniciada a era do Pré-Sal, com a divulgação da descoberta de reservatórios imensos de petróleo de alta qualidade e valor comercial nas bacias de Campos e Santos (MORAIS, 2013).

Hoje em dia, a PETROBRAS produz 2,77 milhões de barris de óleo equivalente por dia, com 6.587 poços produtores de óleo e gás natural e 107 plataformas em produção. Segundo a ANP (2019), até março de 2019 existiam 143 Unidades Estacionárias de Produção, sendo 132 operadas pela PETROBRAS. As bacias sedimentares produtoras marítimas e terrestres exploradas são apresentadas na Figura 6 (PETROBRAS, 2020).

Figura 6: Bacias sedimentares exploradas pela Petrobras.



Fonte: PETROBRAS (2020).

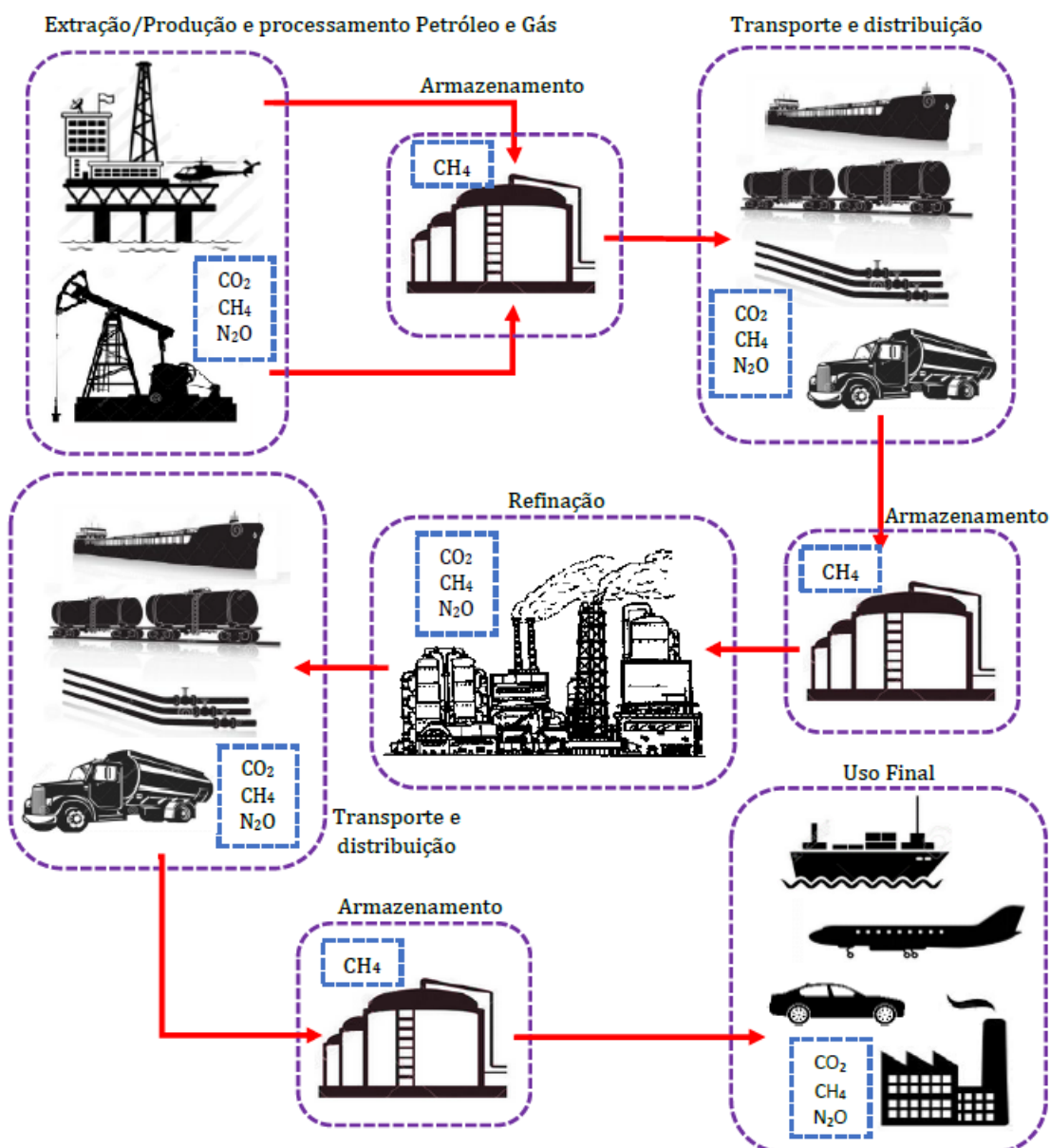
3.3.2 As Turbinas a Gás e a Emissão de GEE

Por funcionarem em alto mar, como uma espécie de ilha artificial, as plataformas de petróleo dependem de energia elétrica. O fornecimento de energia serve não só para operações de exploração, mas também para garantir a habitabilidade de seus funcionários (BRAGA, 2013). O sistema elétrico deve atender diversas necessidades como motores, acomodações, cozinha, produção de água potável, aquecimento, ventilação, ar-condicionado, sanitários, iluminação, bombeamento, e sobretudo, os sistemas de produção de petróleo (MENESES, 2011).

A demanda energética é atendida com a utilização de combustíveis fósseis. Geralmente, são utilizadas turbinas a gás, por serem mais leves e compactas em relação à outras máquinas térmicas. As TG são consideradas as mais eficientes máquinas primárias utilizadas no setor, tendo alta confiabilidade e versatilidade, além de fácil manutenção. Além disso, há disponibilidade de gás natural proveniente da produção do petróleo (MENESES, 2011). Existe oportunidade da utilização conjunta de turbinas a vapor ou caldeiras de recuperação para que a eficiência do sistema seja ainda maior (BRAGA, 2013).

Apesar de sua eficiência, as TG contribuem fortemente para a emissão de Gases de Efeito Estufa. A indústria energética representa 90% das emissões antropogênicas de CO₂, influenciando agressivamente a mudança climática mundial. A etapa específica de extração, produção e processamento de óleo e gás gera emissão de CO₂, CH₄ e N₂O, como mostra a Figura 7 (BLANCO, 2016). Além do problema ambiental, em alguns países europeus, como a Noruega, há cobrança significativa sob emissões de poluentes, o que encarece ainda mais o processo (DIAS, 2018).

Figura 7: Emissões de GEE na indústria do Petróleo e Gás.



Fonte: Blanco (2016).

De acordo com Blanco (2016), a quantidade de energia utilizada por cada plataforma depende de parâmetros específicos de cada poço e a interação entre eles. São elas: idade do campo, quantidade de volume de gás no óleo produzido, profundidade do reservatório, pressão, viscosidade, densidade o tipo de desenvolvimento. O consumo de energia varia conforme as circunstâncias locais e condições de operação de cada plataforma. As TG utilizam o gás combustível gerado na plataforma e o ar atmosférico, fornecendo energia. A quantidade de emissão de CO₂ depende do fator de carga no sistema e consequente consumo de combustível, pois alteram a quantidade de gases de exaustão.

3.3.3 A Relação com a Energia Eólica *Offshore*

Em 2007, no litoral da Escócia, foi feita a primeira integração da energia eólica com a exploração de petróleo. Foram instalados dois aerogeradores *offshore* para conectar a uma plataforma de petróleo em desinvestimento. O objetivo era manter a operação economicamente viável, pois a produção da plataforma estava diminuindo. Em 2015 a plataforma foi descomissionada e atualmente existe um parque eólico construído no local. No mesmo ano, na China, houve a combinação de uma turbina eólica no mar para eletrificar uma região de exploração de gás natural, sem conexão com a terra. Desde o início do século, empresas petrolíferas como a Statoil - estatal norueguesa -, Shell, Eni e Total começaram a investir na fonte eólica (VITERBO, 2008).

No Brasil, a Petrobras segue o mesmo caminho. Em 2004 foi inaugurada a Usina de Macau, no Rio Grande do Norte, um pequeno parque eólico em terra que se conecta por cabos submarinos as plataformas de produção Aratum 1 e 2. A Petrobras detinha ações do Parque Eólico Mangue Seco, no mesmo estado brasileiro, mas está em fase de desinvestimento (AGÊNCIA PETROBRAS, 2020). Em 2018 a empresa pretendia implantar a primeira planta eólica piloto em alto-mar, no campo de Ubarana, na baía Potiguar - Rio Grande do Norte. No entanto, comunicou a suspensão do plano no início de 2020, mas ainda com intenção de outras parcerias comerciais de geração eólica *offshore* (GABRIEL CHIAPPINI, 2020).

O desafio é que a fonte eólica é intermitente e não pode operar isoladamente, por isso deve ser utilizada em sinergia com outra fonte permanente, que no caso da maioria das plataformas brasileiras são as TG. Além disso, não há regulação específica sobre o tema e deve haver o cuidado de o parque não interferir no processo de exploração e produção de óleo e gás. No entanto, tem grande vantagem no que diz respeito a conexão, pois os cabos não precisam ir até a costa e sim apenas até a plataforma, portanto reduz significativamente o custo do parque eólico (DIAS, 2018).

A maior parte dos custos envolvidos na implementação de um parque eólico *offshore* está nos sistemas abaixo da água que envolvem fundações mais robustas e maiores distância da costa para conexão. Sistemas de geotecnia, transporte e instalações já existem na região das plataformas, o que facilita o processo de sinergia (VITERBO, 2008). Além disso, a principal dificuldade na avaliação de impactos ambientais em parques eólicos é oriunda

da definição de linha de base para monitoramento de espécies existentes e rotas de aves. Dessa maneira, a reutilização dos dados coletados pela operação petrolífera é outro facilitador para mitigar os danos ambientais (CARVALHO, 2019).

Dessa forma, segundo a mesma autora, a integração entre os setores pode representar ganhos mútuos para os envolvidos: menor distância e conseqüente custo para conexão entre ambos, maior eficiência energética e menos emissões de CO₂, sendo o problema de intermitência do vento solucionado por sistemas de *backup*.

4 METODOLOGIA

Para a análise da possibilidade de implantação de um parque *offshore* em um campo petrolífero foi necessário o estudo de diversos fatores que determinam a garantia de viabilidade do processo.

4.1 Seleção do Local

O local de estudo foi mapeado conforme o cruzamento de dois critérios básicos: áreas de exploração de petróleo e áreas de potencial eólico.

Primeiramente, foram analisadas as plataformas possíveis para estudo, atendendo aos seguintes pré-requisitos:

- Estar em operação, para que possa ser cogitada a aplicação futura real;
- Apresentar lâmina d'água viável diante da tecnologia disponível comercialmente (foi considerado abaixo de 50 metros);
- Estar situada em região com potencial eólico.

As plataformas da PETROBRAS em operação até agosto de 2020, com lâmina d'água abaixo de 50 metros estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Unidades estacionárias de produção selecionadas.

Agência Nacional do Petróleo – ANP			Data de Atualização: 02/10/2020		
SIGEP Produção			Mês de Referência: Agosto/2020		
Unidade Estacionária de Produção - UEP					
Sigla	Nome	Bacia	Tipo	Operador	Lâmina D'água (m)
PMNT	PLATAFORMA DE MANATI 1	Camamu	FIXA	Petrobras	36
PPE1B	PLATAFORMA DE PESCADA 1B	Potiguar	FIXA	Petrobras	20
PPE02	PLATAFORMA DE PESCADA 2	Potiguar	FIXA	Petrobras	25
PARB1	PLATAFORMA DE ARABAIANA 1	Potiguar	FIXA	Petrobras	30

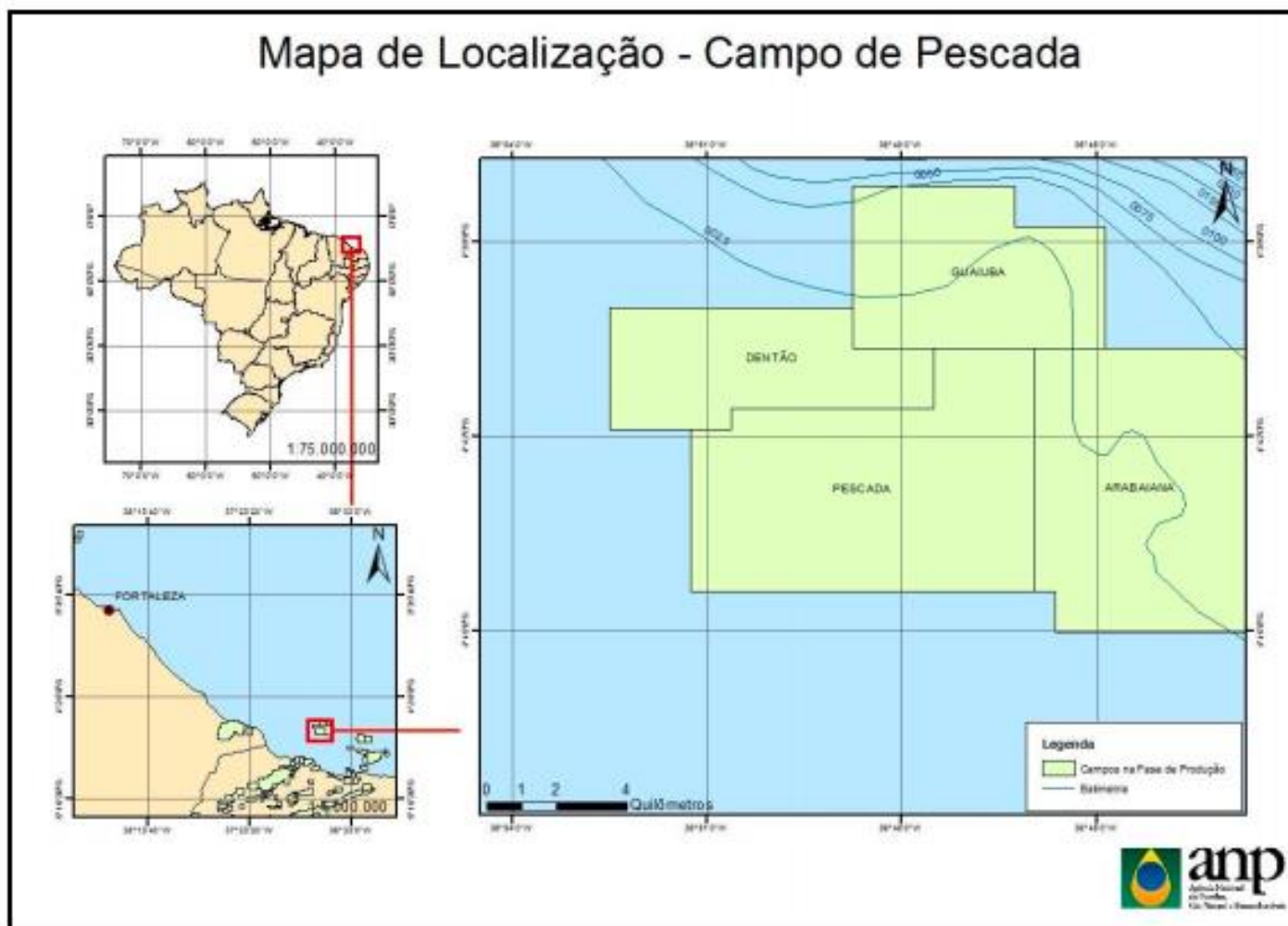
Fonte: Adaptado de ANP (2019).

Visto que o potencial eólico da Bahia é inferior ao do Rio Grande do Norte, a plataforma de MANATI 1 foi imediatamente descartada. A plataforma de ARABAIANA 1 apresentou dados nulos de capacidade processamento de gás natural e petróleo, segundo o boletim de agosto de 2020 da ANP (2020). Portanto, as plataformas remanescentes foram a do campo de PESCADA. Visto que a plataforma PESCADA 1B possui menor lâmina d'água e maior capacidade de processamento, ela foi a selecionada para o estudo.

4.1.1 Campo de Pescada

O Campo de Pescada fica localizado na Bacia Potiguar, na plataforma continental do Rio Grande do Norte (Figura 8). Tem área de desenvolvimento de 55,25 km² e fica a aproximadamente 31 km da costa do município Areia Branca. Sua lâmina d'água é de 19 metros e seu fluído principal é o gás. É operado pela PETROBRAS e pela OP Pescada Óleo e Gás Ltda. Iniciou a produção em maio de 1999, sendo considerado um campo maduro. Suas coordenadas geográficas são: latitude 4:42:53,946 e longitude - 36:50:17,333, zona 24 S. As plataformas PESCADA 1A e 1B são apresentadas na Figura 9, juntamente com coordenadas geográficas aproximadas.

Figura 8: Mapa de localização do campo Pescada.



Fonte: ANP (2016).

Figura 9: Fotografia das plataformas PESCADADA 1A e 1B.



Fonte: Marinha do Brasil [200-?].

O sistema de produção de pescada é constituído por três plataformas fixas, descritas a seguir:

- PESCADADA 1A (PPE-1A): plataforma central que recebe o escoamento da produção de gás e condensado e envia até as instalações da Unidade de Tratamento e Processamento de Fluidos em Guamaré - RN. Nela está o sistema de teste dos poços, que realiza a separação líquido/gás e medição da produção de fluidos.
- PESCADADA 1B (PPE-1B): interligada por passarela até a PPE-1A. Tem lâmina d'água de 20 metros e capacidade de processamento de petróleo e gás de 3.140 bbl/dia e 800.000 m³/dia, respectivamente.
- PESCADADA 02 (PPE-2): tem lâmina d'água de 25 metros e capacidade de processamento de petróleo e gás de 630 bbl/dia e 200.000 m³/dia, respectivamente.

As informações sobre demanda energética e dados técnicos das TG que operam a PPE-1B não são informados ao público. Portanto, será considerada uma demanda elétrica máxima de 18 MW, como apresentou Monteiro (2002) sobre outra plataforma de exploração (P-37).

Visto que a plataforma em questão é caracterizada como pequena, será suposto que ela opera com duas TG (e uma terceira de *backup*) de 15 MW de potência instalada cada, valor mínimo para as TG utilizadas em plataformas de petróleo segundo Silva (2008). O fator de capacidade será considerado 60% para ciclo simples, conforme recomenda a EPE (2018).

4.1.2 Análise do Vento

Para verificar o potencial eólico da região de estudo, foram buscados dados meteorológicos no entorno da plataforma em questão. Foram utilizados dados de reanálise do clima, que combinam observações climáticas para gerar séries consistentes de dados meteorológicos.

Em função da natureza estocástica do vento, há alterações de intensidade a cada ano. Por isso, é comum que os dados de reanálise longo prazo sejam correlacionados com as medições locais por torres anemométricas, quando houver, para uma adequada percepção do comportamento do vento.

Nesse caso, como não há medição de vento local na plataforma, foi utilizado a base ERA5, mais recente conjunto de dados globais horários de reanálise do clima fornecido pela European Center for Medium Range Weather Forecasting – ECMWF, com resolução de 30 km. Ele fornece dados de uma série de parâmetros atmosféricos, da superfície terrestre e do estado do mar, juntamente com estimativas de incerteza (ECMWF, 2017).

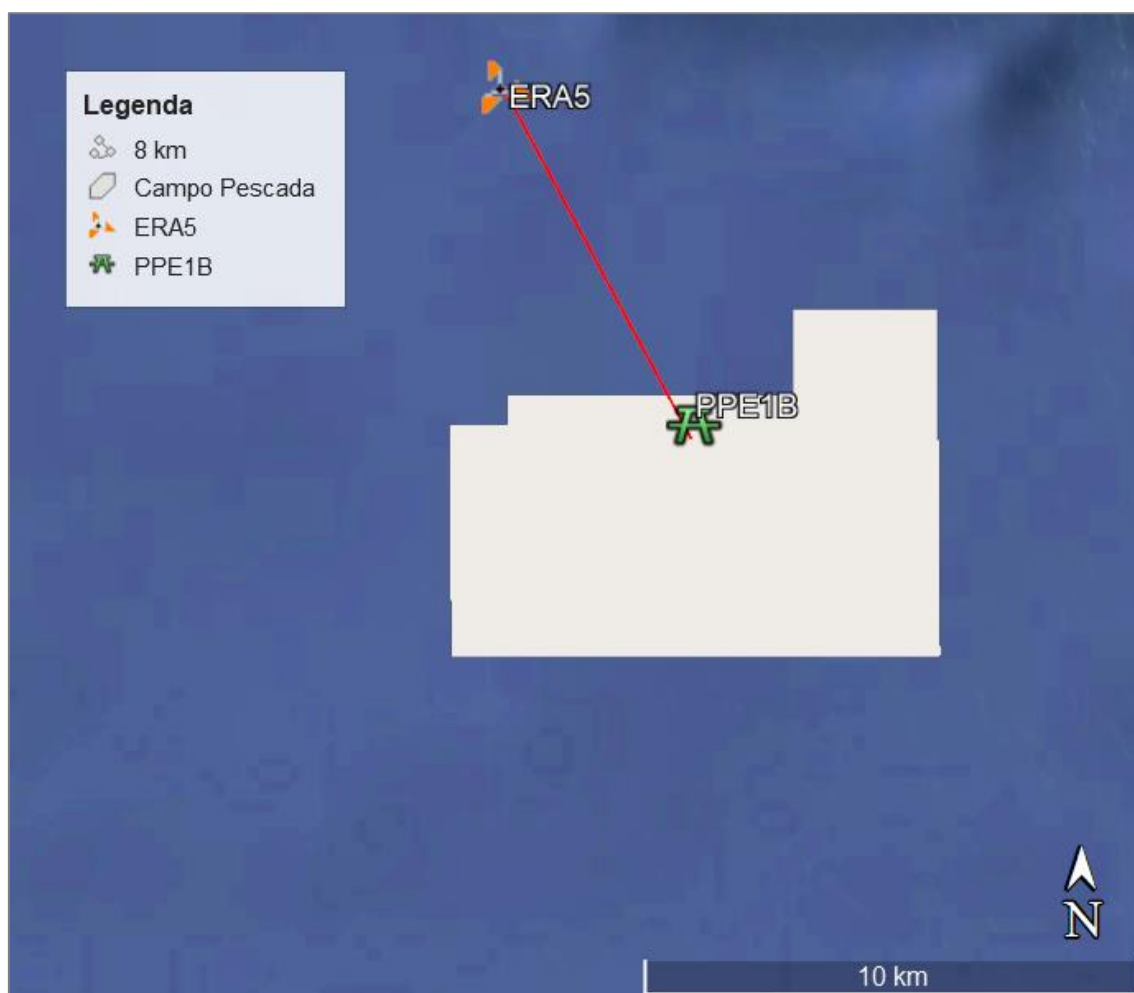
Foi selecionado um ponto de medição de dados de reanálise a aproximadamente 8 km do centro da plataforma. As características da torre ERA5 são apresentados no Quadro 2 e o mapa do local é apresentado na Figura 10.

Quadro 2: Dados de reanálise da Torre ERA5.

Dados de Reanálise	
Torre	ERA5
Latitude	4°38'13.20"S
Longitude	36°50'37.50"O
Alturas de medição [m]	10 e 100
Período	31/12/1989 até 31/07/2020
Intervalo de medição [min]	60

Fonte: Autoria própria.

Figura 10: Localização da torre de medição em relação a plataforma Pescada 1B.



Fonte: Autoria própria.

4.2 Seleção da Turbina Eólica

A turbina eólica a ser escolhida deve levar em conta alguns critérios, como: disponibilidade no mercado, assistência técnica na região, potência nominal, diâmetro de rotor e, principalmente, adequação a lâmina d'água do local. É fundamental também que a curva de potência seja adequada para a distribuição de vento do local. Além disso, o ideal é que ela seja o menos impactante possível, ou seja, fornecendo mais energia e afetando menos área.

Dessa forma, foi escolhida a mais potente turbina eólica desenvolvida no mundo, da fabricante General Electric – GE, empresa que até 2019, liderava o mercado brasileiro em relação a equipamentos eólicos (O PETRÓLEO, 2020), facilitando os serviços de manutenção e logística.

A turbina se chama GE Haliade-X 12.0 MW e suas especificações técnicas são apresentadas no Quadro 3. O protótipo da turbina é apresentado na Figura 11. A curva de potência foi fornecida pelo fabricante, porém é de caráter sigiloso e não poderá ser divulgada no presente estudo. A altura de rotor da turbina eólica é chamada de *hub height*.

Quadro 3: Especificações técnicas do aerogerador selecionado.

Haliade-X	
Fabricante	General Electric - GE
Potência Instalada (MW)	12
Diâmetro de Rotor (m)	220
<i>Hub height</i> (m)	150
Altura total (m)	260

Fonte: General Electric [200-?].

Figura 11: Protótipo da turbina GE Haliade-X 12 MW.



Fonte: General Electric [200-?].

4.3 Potencial Eólico

Para simular a produção de energia por aerogeradores no local será utilizado o software WindPRO 3.3, que utiliza como plataforma de cálculo o software WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program).

O objetivo é calcular o potencial eólico da região com base nos seguintes dados de entrada:

- Dados de velocidade e direção do vento em um ponto específico da região: dados de reanálise ERA5;
- Rugosidade do terreno: em ambiente *offshore* é considerado classe 0;
- Orografia: curva batimétrica adquirida pelo *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO), uma fonte global de dados de batimetria com resolução de 460 m;

- Curva de potência da turbina de interesse: fornecida pelo fabricante;
- Obstáculos: identificação da presença de possíveis barreiras que perturbam o comportamento do vento.

Com esses dados é possível criar um mapa de potencial eólico para a região de interesse, para que seja aplicada a curva de potência do aerogerador selecionado e assim, analisar a produção de energia gerada pelo parque.

Esse cálculo considera perdas por esteira. Segundo Radünz (2018) o efeito esteira é um fenômeno causado pela turbulência que um aerogerador tem sobre o outro, interferindo no seu comportamento e criando regiões com déficit de velocidade. Por isso, um dos principais objetivos de otimizar o *layout* de parques eólicos é mitigar o efeito esteira.

4.4 Emissões atmosféricas

Em (COELHO, 2014) são coletados dados de operação das mais importantes usinas termelétricas a gás natural no ano de 2013, apresentando que elas emitiram 21.328.983 toneladas de CO₂, gerando 56.875,53 GWh de energia elétrica. Dessa forma, será utilizado o fator de emissão de 375,01 kg de CO₂ por MWh. Os fatores de emissão para SO_x e NO_x são provenientes do mesmo estudo e são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4: Coeficientes de emissão de GEE.

Geração Termelétrica a Gás Natural	
Poluente	Fator de Emissão (kg/MWh)
CO ₂	375,01
SO _x	0,012
NO _x	0,443

Fonte: Coelho (2014).

A maior parte das emissões de GEE do ciclo de vida da geração de energia eólica estão na etapa de construção dos componentes e equipamentos, resultando em um fator de emissão muito baixo em relação às demais fontes (LOURENCO, 2016). Assim, será considerado nulo para o presente estudo.

5 RESULTADOS

A seguir serão analisados os resultados do estudo da implementação da fonte eólica no entorno da plataforma PESCADA 1B - RN.

5.1 Cenário Atual da Plataforma

Para atender a demanda máxima de 18 MW, é suposto que a plataforma opera com duas TG de 15 MW (sendo uma terceira tratada como turbina de *backup*) e considerado um fator de capacidade de 60%. As cargas são divididas de forma igualitária.

Dessa forma, considerando um cenário de operação na demanda máxima da plataforma em 8.760 horas do ano, a energia gerada é de 157.680 MWh/ano.

Seguindo os fatores de emissão estabelecidos para a análise (Quadro 3), as emissões de GEE na configuração atual da plataforma na demanda elétrica máxima são apresentadas no Quadro 5 a seguir:

Quadro 5: Emissões atmosféricas pelas turbinas a gás na configuração atual da plataforma.

Poluente	Emissão (toneladas/ano)
CO ₂	59.131,58
SO _x	1,89
NO _x	69,85

Fonte: Autoria Própria.

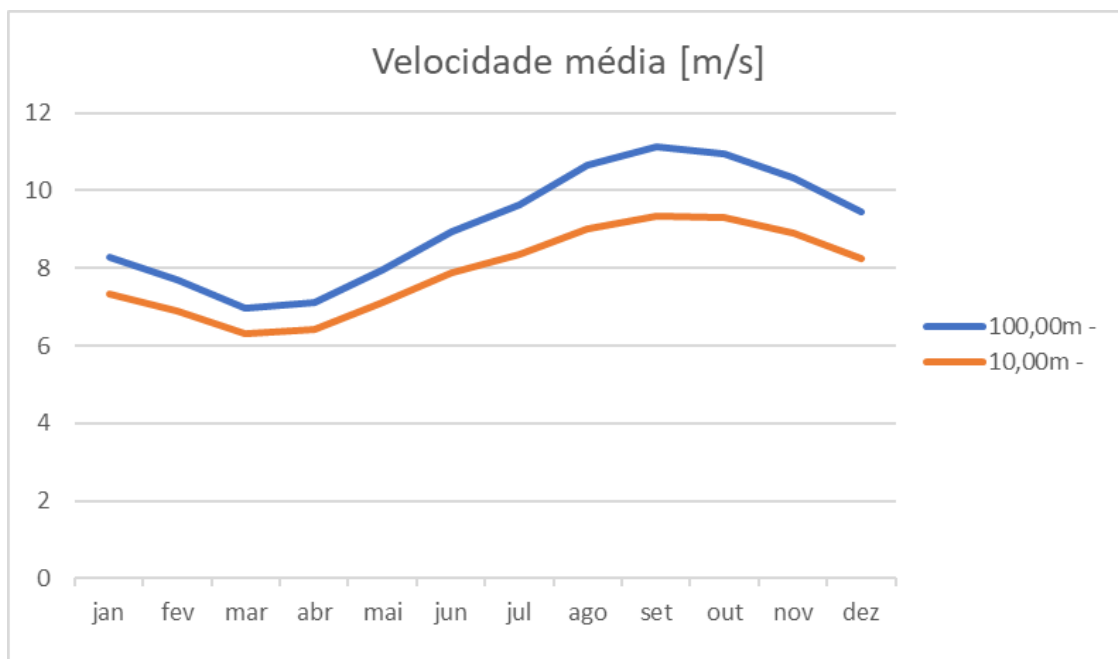
5.2 Implementação do Parque Eólico

A seguir serão descritas as etapas do processo de simulação da implementação do parque eólico utilizando o software WindPRO 3.3.

5.2.1 Análise do Vento Medido

A torre ERA5 apresentou velocidade média do vento de 7,93 m/s na altura de 10 metros e 9,09 m/s em 100 metros. As médias mensais das velocidades do período de medição total (1989-2020) para as duas alturas é apresentado abaixo na Figura 12.

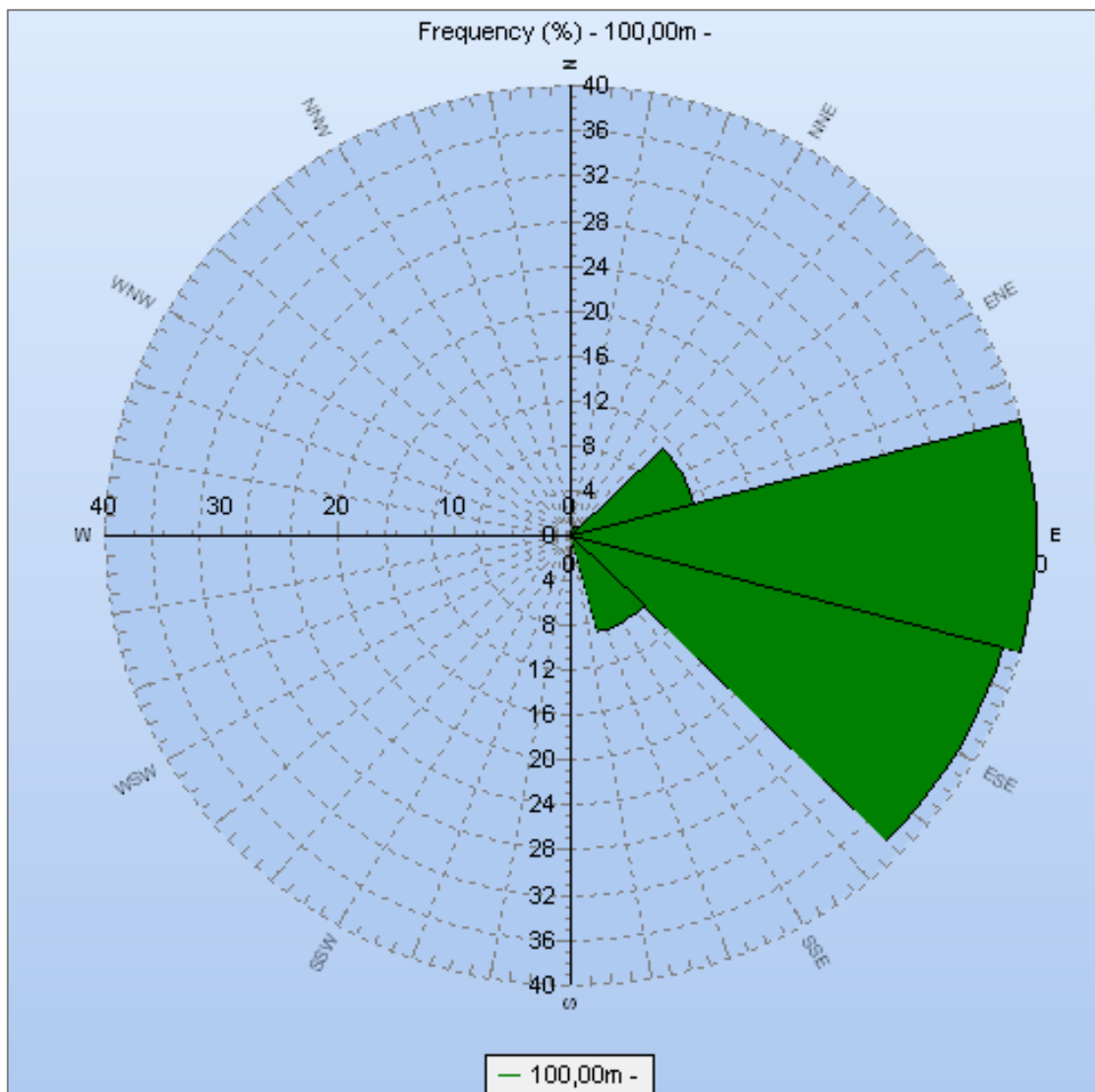
Figura 12: Velocidades médias mensais dos dados de reanálise ERA5 no período de 1989-2020.



Fonte: Autoria Própria.

A frequência da direção do vento é predominantemente leste e leste-sudeste, conforme Figura 13, que apresenta a rosa dos ventos gerada com os dados de entrada. Esse é um fator determinante de cálculo para a definição da posição dos aerogeradores com a melhor eficiência possível.

Figura 13: Rosa dos ventos da torre ERA5.



Fonte: Autoria Própria.

Ao observar as velocidades do vento nas duas alturas, juntamente com a rugosidade do terreno, é possível determinar o seu comportamento vertical, representado pelo coeficiente chamado “*wind shear*” (n). O coeficiente calculado pelo *software* foi de 0,058, como apresentado na Figura 14. O modelo matemático que relaciona as alturas de interesse com o comportamento vertical é a Lei da Potência, regida pela seguinte equação:

$$V(z) = V(z_r) \left(\frac{z}{z_r} \right)^n$$

Onde:

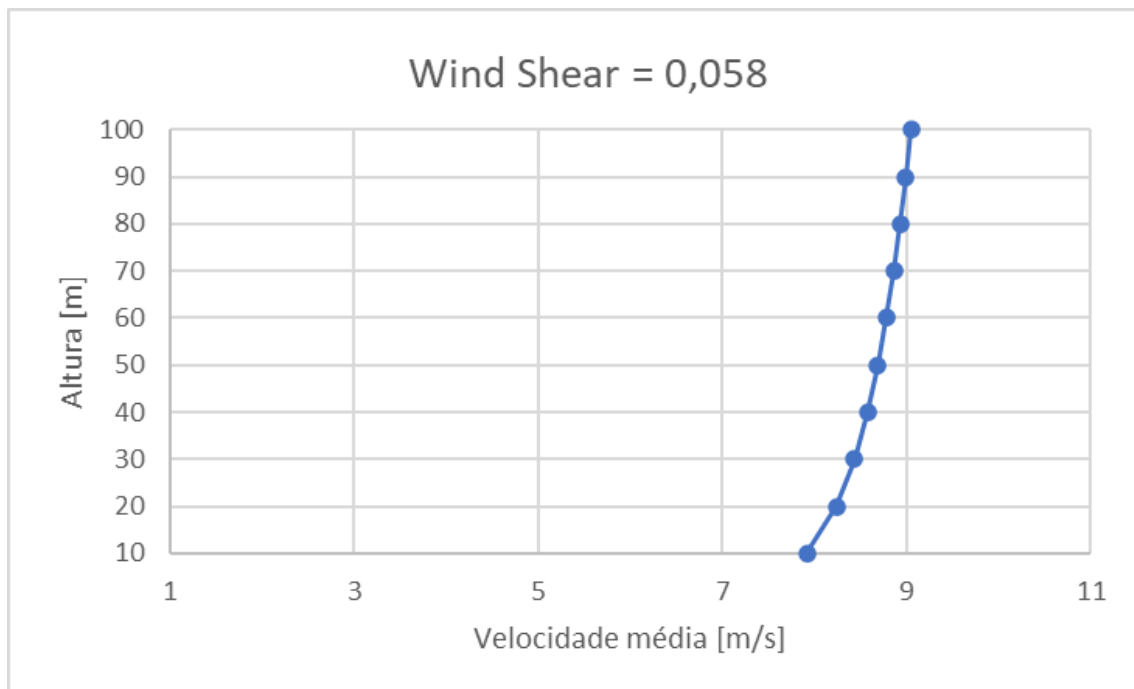
$V(z)$ = velocidade na altura z ;

z = altura acima do solo;

z_r = altura de referência;

n = coeficiente de extrapolação (“*wind shear*”).

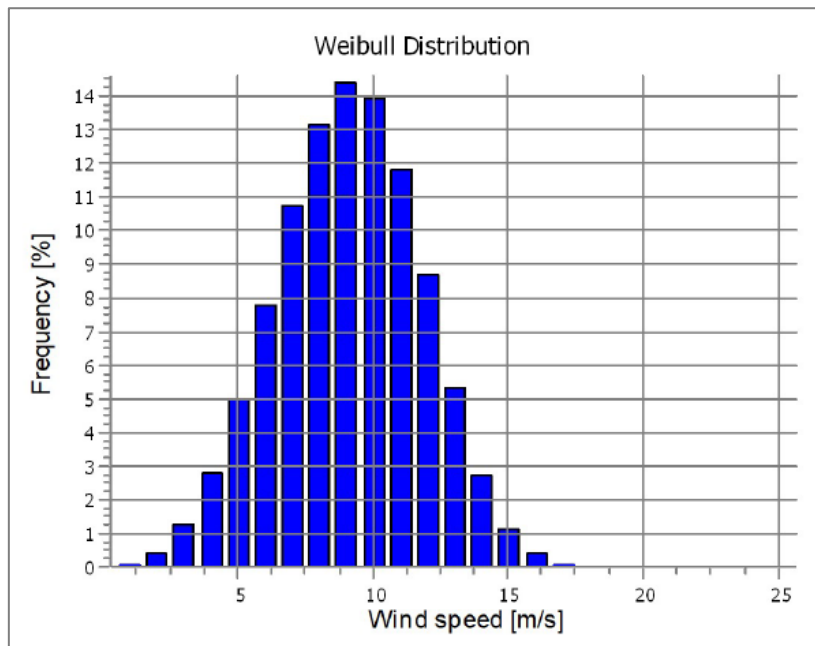
Figura 14: Gráfico “*Wind Shear*” do vento medido nas alturas de 10 e 100 metros.



Fonte: Autoria própria.

A ferramenta que analisa a série temporal no WindPRO é a função de distribuição de probabilidade de Weibull, que indica a frequência de cada velocidade durante o período medido. O gráfico de distribuição a 100 metros é apresentado na Figura 15.

Figura 15: Gráfico de distribuição anual de *Weibull* para a série temporal inserida.

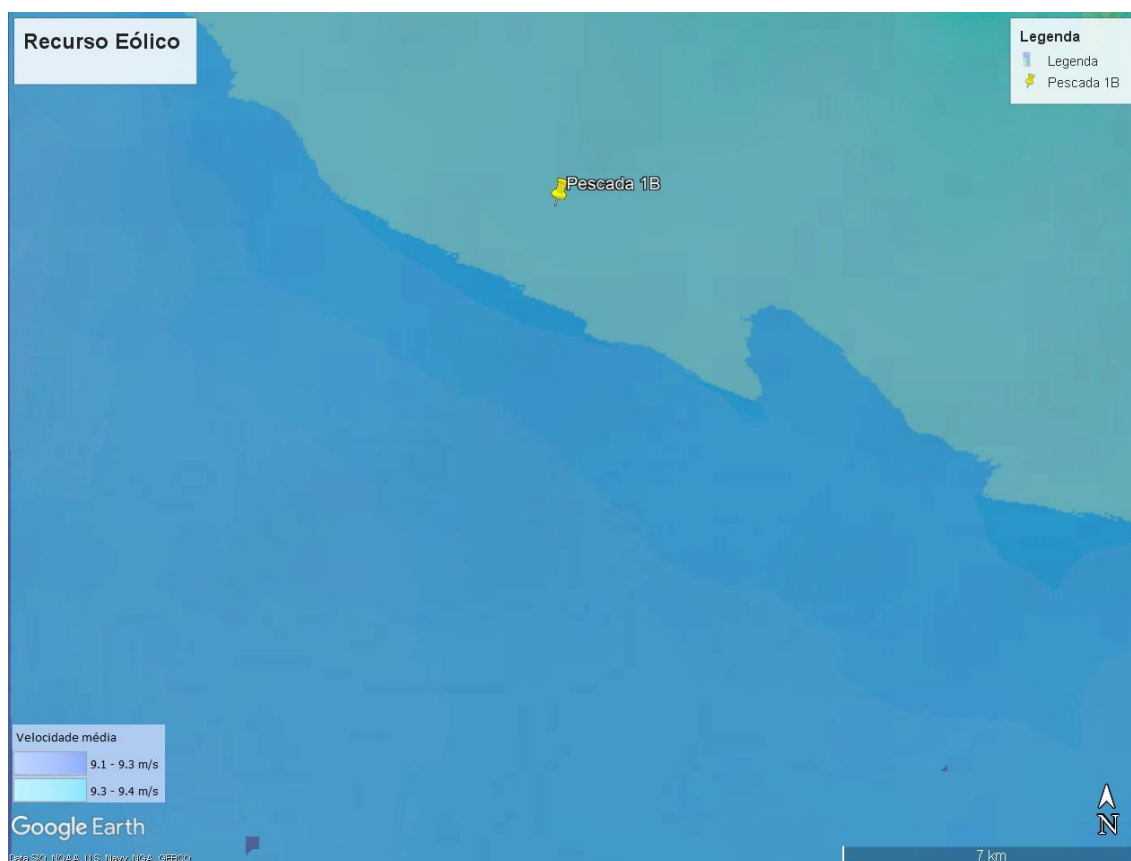


Fonte: Autoria própria.

5.2.2 Recurso Eólico

Com os dados de entrada das características do vento, rugosidade e mapa de elevação foi possível criar um recurso eólico para o terreno (Figura 16), determinando seu comportamento na região. A altura do recurso foi estipulada em 150 metros, pois é a altura de rotor padrão da turbina selecionada para o estudo. A extrapolação até os 150 metros é calculada de acordo com a Lei da Potência, mencionada anteriormente.

Figura 16: Mapa do recurso eólico da região na altura de 150 metros.



Fonte: Autoria própria.

5.2.3 *Micrositing*

De acordo com Radünz (2018), o conceito de *micrositing* significa a criação de um campo com o posicionamento dos aerogeradores na área de interesse visando a melhor configuração do ponto de vista da eficiência do parque eólico.

Com o recurso eólico e as características das turbinas eólicas é possível correlacionar a curva de potência do aerogerador ao perfil de vento da região, fazendo o estudo de *micrositing* e simulação da produção de energia gerada no parque.

Foram inseridos dois aerogeradores GE Haliade-X 12.0 MW (GE 1 e GE 2), paralelos e na direção preferencial do vento, com um distanciamento de cinco vezes o diâmetro de rotor (1.100 metros entre as duas). Como ainda não há regras para distanciamento de turbinas *offshore*, esse valor foi definido a fim de garantir uma distância adequada de mitigação do efeito esteira entre eles. No entanto, não é interessante que fiquem à

distâncias muito grandes um do outro, devido ao aumento de custos de cabeamento para conexão e área afetada por eles, causando maior impacto ambiental.

Foi considerada aproximadamente a mesma distância de 1.100 metros da plataforma de petróleo, por questões de segurança de possível tombamento dos aerogeradores e para não interferir no processo de exploração e produção de óleo e gás. Esse distanciamento também é importante para as plataformas não atuarem como obstáculos e interferirem no comportamento do vento que chega nas turbinas. O Quadro 6 descreve o layout do parque, que é ilustrado na Figura 17.

Figura 17: Layout do parque eólico.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 6: Descrição do layout do parque eólico.

Aerogerador	GE 1	GE 2
Latitude	4°42'38.13"S	4°43'12.17"S
Longitude	36°49'3.36"O	36°49'14.41"O
Profundidade [m]	13,5	13,5
Distância entre aerogeradores [m]	1.100	

Fonte: Autoria própria.

5.2.4 Produção de Energia

Por meio da ferramenta PARK (dentro do software WindPRO) foi gerado o relatório de produção de energia para o parque eólico criado. O relatório apresentou uma energia total anual de 130.662,5 MWh/ano, considerando um fator de capacidade de 62,1% para o parque. O vento médio incidente no parque na altura de 150 metros (*hub height*) foi de 9,4 m/s. São consideradas as perdas aerodinâmicas devido ao efeito esteira, que neste caso é muito próximo de zero, devido ao fato de só haver duas máquinas, com distanciamento adequado entre elas e posicionadas de acordo com a direção predominante do vento. No Quadro 7 são apresentados os dados de produção gerados pelo relatório.

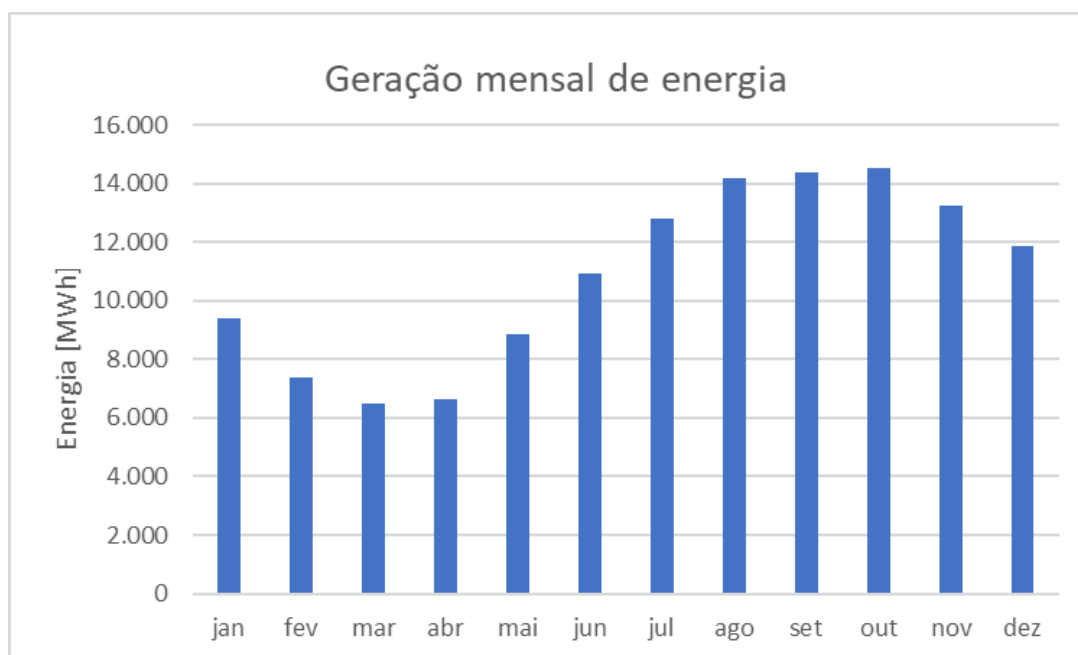
Quadro 7: Resultados do relatório de produção de energia eólica.

Parque eólico		
Produção [MWh/ano]	130.662,5	
Produção bruta [MWh/ano]	130.672,2	
Perdas por esteira [%]	0,007	
Fator de capacidade [%]	62,1	
Velocidade média do vento [m/s]	9,4	
Aerogeradores		
Identificação	GE 1	GE 2
Produção [MWh/ano]	65.378,60	65.283,90
Velocidade média do vento [m/s]	9,37	9,36
Potência Instalada [MW]	12	12

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 18 é apresentada a análise das médias mensais de produção de energia do parque eólico. É possível observar que nos primeiros meses do ano há menor quantidade de energia gerada comparado com os meses finais.

Figura 18: Gráfico de geração de energia mensal do parque eólico.



Fonte: Autoria própria.

5.3 Cenário Integrado

Considerando a introdução do parque eólico na eletrificação da plataforma, foi calculado uma produção de energia anual de 130.662,5 MWh/ano, como mencionado. No entanto, há meses em que a produção de energia pelo vento é mais baixa, ou seja, a análise deve ser feita mês a mês.

No Quadro 8 é feita uma análise mensal da energia gerada pelo vento e o quanto as TG devem trabalhar para suprir a demanda máxima, supondo que ela seja máxima no ano inteiro. Essa suposição não é verdadeira, mas visto que não são fornecidos os dados de demanda mensal média das plataformas, é considerado o pior cenário em relação às emissões de GEE: que a demanda é máxima e constante durante toda a vida da plataforma.

Segundo Daltro e Rodrigues (2013), a etapa mais crítica em termos de gasto energético de uma TG é a partida. Portanto, a potência mínima de operação da TG será considerada 10% da potência instalada, por fins de eficiência energética.

Quadro 8: Análise dos resultados de produção por fonte de energia da nova configuração da plataforma.

Mês	Produção eólica média [MWh]	Produção mínima TG [MWh]	Produção total necessária para funcionamento da plataforma [MWh/mês]	Produção eólica necessária [MWh/mês]	Complemento energético por TG [MWh]	Total fornecido pela TG [MWh]
jan	9.381	1.116	13.140	12.024	2.643	3.759
fev	7.383	1.008	13.140	12.132	4.749	5.757
mar	6.486	1.116	13.140	12.024	5.538	6.654
abr	6.654	1.080	13.140	12.060	5.406	6.486
mai	8.871	1.116	13.140	12.024	3.153	4.269
jun	10.904	1.080	13.140	12.060	1.156	2.236
jul	12.800	1.116	13.140	12.024	-776*	1.116
ago	14.199	1.116	13.140	12.024	-2.175*	1.116
set	14.357	1.080	13.140	12.060	-2.297*	1.080
out	14.518	1.116	13.140	12.024	-2.494*	1.116
nov	13.244	1.080	13.140	12.060	-1.184*	1.080
dez	11.865	1.116	13.140	12.024	159	1.275
Total	130.662	13.140	157.680	144.540	13.878	35.944

* Não necessário.

Fonte: Autoria própria.

Observando os resultados da análise mensal de produção de energia, a proposta de nova configuração da plataforma se estrutura da seguinte forma:

- Dois aerogeradores de 12 MW de potência instalada operando sempre que houver vento, exceto em momentos de paradas por manutenção;
- Uma TG de 15 MW de potência instalada funcionando conforme a energia produzida dos aerogeradores, mas nunca deixando de operar com sua potência de base (10% da potência instalada), por fins de eficiência energética. Nos momentos em que há suficiente produção advinda do vento para suprir a demanda, ela opera apenas na potência mínima. Já nos meses com menos vento, ela trabalha o suficiente para suprir a demanda;
- Duas TG de *backup*.

A partir dessa nova configuração, é calculada a nova possibilidade de emissão média mensal de GEE (Quadro 9), considerando que os aerogeradores não emitem gases poluentes na fase de operação e utilizando os mesmos fatores de emissão pré-estabelecidos para as térmicas a gás.

Quadro 9: Quantidade de emissões de GEE economizadas.

Emissão (toneladas/ano)			
Poluente	Cenário inicial (apenas TG)	Cenário futuro (TG + aerogeradores)	Redução (%)
CO ₂	59.131,58	13.479,36	77,2
SO _x	1,89	0,43	
NO _x	69,85	15,92	

Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, a quantidade média anual de energia gerada pelas TG será significativamente menor que o cenário inicial, causando uma diminuição de mais de 77% dos gases de efeitos estufa que gerava anteriormente a implantação do parque eólico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados da integração do parque eólico como auxiliar no fornecimento de energia elétrica para a plataforma de exploração de petróleo e gás PESCADA 1B foi confirmada a possibilidade de redução de mais de 77% dos gases de efeito estufa na atmosfera.

Quanto à implantação do parque eólico, visto constituir de apenas dois aerogeradores conectados diretamente a uma plataforma de exploração de petróleo e gás já existente, o empreendimento seria passível de Relatório Ambiental Simplificado (RAS) (e não EIA/RIMA) para obtenção de licenciamento ambiental, o que facilita a implantação do projeto, além de diminuir os custos.

Sobre a análise de produção anual de energia pelo parque eólico, foi percebido que o efeito esteira não influenciou de forma significativa o resultado, representado por apenas 0,007%. Isso se deve ao fato de que a direção predominante do vento é concentrada nas direções leste e leste-sudeste, além do fato da pouca densidade de aerogeradores e com um espaçamento adequado entre eles. Uma segunda fase de estudo poderia considerar a comparação entre cenários com diferentes números de aerogeradores.

No entanto, esse estudo se tratou de uma análise técnica em termos de produção de energia e emissão de gases poluentes. A viabilidade econômica e de conexão elétrica são fatores cruciais para a real concretização desse projeto, porém não foram abordados nesse estudo. O aprimoramento do cálculo de emissões através de *softwares* especializados também é interessante. Essas análises podem ser possibilidade de trabalhos futuros.

Devido ao sigilo de dados técnicos detalhados das plataformas petrolíferas, foi necessário adaptar o estudo de acordo com suposições baseadas na literatura. Porém, o objetivo era analisar de forma ampla a possibilidade dessa cogeração, e foi obtido sucesso nesse sentido.

No caso de obtenção dos valores específicos de consumo mensal da plataforma, seria possível conferir com a produção sazonal do vento e verificar a real necessidade de suplemento acima da potência mínima de operação das TG, confirmando a estimativa do

atual estudo. Com dados de demanda elétrica diária, poderia ser realizada a mesma análise, considerando a sazonalidade do vento ao longo do dia.

Mesmo que não tão significantes em comparação com outras fontes de geração de energia, existem impactos ambientais gerados por parques eólicos *offshore* que não podem ser ignorados, como foram apresentados ao longo do estudo. No entanto, o foco dessa análise foi justamente enaltecer os impactos positivos da geração eólica para que seja incentivado o seu uso como complementar na geração de energia elétrica por combustíveis fósseis.

Visto a já existente política de taxação sobre emissões atmosféricas em países desenvolvidos, deve haver tendência dos demais países a adotarem essa prática no mundo. Por isso, o estudo de mitigação de GEE será cada vez mais incentivado por parte de governos, empresas e indústrias.

Dessa forma, o presente estudo serve como base para a busca da possibilidade de diminuir os impactos ambientais da indústria petrolífera, ao mesmo tempo que incentiva o amadurecimento da energia eólica *offshore*, que está em atual ascensão, agregando na exploração sustentável dos recursos do planeta.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica (Brasil) (org.). **Boletim Anual de Geração Eólica 2019**. 2020. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/>. Acesso em: 20 out. 2020.

AGÊNCIA PETROBRAS (Brasil) (org.). **Petrobras inicia fase vinculante de usinas eólicas**. 2020. Disponível em: https://www.agenciapetrobras.com.br/Material/ExibirMateria?p_materia=982813. Acesso em: 20 jul. 2020.

Atlas de Energia Elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 2 ed. – Brasília: ANEEL, 2005. 243 p: il. ISBN 85-87491-09-1.

BLANCO, Victor Leonardo Acevedo. **Diagnóstico de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Plataformas FPSO**. 2016. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Planejamento de Sistemas Energéticos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/322398/1/AcevedoBlanco_VictorLeonardo_M.pdf. Acesso em: 23 fev. 2020.

BRAGA, Carolina Bordini. **Avaliação do Desempenho no Ponto de Projeto de Turbinas a gás em operação na Bacia de Campos**. 2013. 74 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Centro de Tecnologia Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007501.pdf>. Acesso em: 19 set. 2019.

CARVALHO, Livia Paiva de. **A potencial sinergia entre a exploração e produção de petróleo e gás natural e a geração de energia eólica offshore: o caso do brasil**. 2019. 268 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Livia_Paiva_de_Carvalho_MESTRADO_2019.pdf. Acesso em: 01 nov. 2020.

COELHO, Silas de Oliveira. **Avaliação das Emissões Atmosféricas das Principais Termelétricas Brasileiras a Gás Natural - Ano Base 2013**. 2014. 115 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014. Disponível em: <https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-SILAS-FINAL.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2019.

DALTRO, Alexandre Brandão Veras; RODRIGUES, Alexandre Navarro Costa. **Simulação do procedimento de partida de uma turbina a gás operando em ciclos simples**. 2013. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9316/1/monopoli10005905.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2019.

DIAS, Rodrigo. **Análise da viabilidade de utilização de geração eólica offshore para eletrificação de plataformas de petróleo**. 2018. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia,

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1061M.PDF>. Acesso em: 05 jul. 2019.

DUTRA, Ricardo. **Energia Eólica: princípios e tecnologia**. Princípios e Tecnologia. 2008. Elaborada pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf. Acesso em: 10 maio 2019.

ECMWF - European Centre For Medium-Racastsnge Weather Fore (Europa) (comp.). **Download ERA5 from the Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Date Store**. 2017. Disponível em: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>. Acesso em: 10 maio 2019.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (Rio de Janeiro). Ministério de Minas e Energia (comp.). **Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte 2050**. Oferta de Energia Elétrica. 2018. Nota Técnica PR 07/18. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-456/NT%20PR%200007-2018%20Premissas%20e%20Custos%20Oferta%20de%20Energia%20El%C3%A9trica.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. MME – Ministério de Minas e Energia. Governo Federal. **Eólica Offshore Brasil: perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima**. Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima. 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf. Acesso em: 02 jun. 2020.

EXPLORAÇÃO e produção de gás e óleo. **ANP** - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas>. Acesso em: 28 out. 2019.

FIRESTONE, Jeremy *et al.* Regulating Offshore wind power and aquaculture: messages from land and sea. **Cornell Journal of Law and Public Policy**. Newark, p. 71-111. 2004. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/73962986.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2020.

FURTADO, Andre Tosi. A Trajetória Tecnológica da Petrobrás na Produção *Offshore*. **Revista Espacios**, Caracas, v. 17, n. 3, p. 3-6, 1996. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a96v17n03/32961703.html#inicio>. Acesso em: 06 jan. 2020.

GABRIEL CHIAPPINI (Brasil). Agência EPBR - Jornalismo e Política Energética. **Ibama conclui termo de referência para licenciamento de eólicas offshore**. 2020. Disponível em: <https://epbr.com.br/ibama-conclui-termo-de-referencia-para-eolicas-offshore/#:~:text=Atualmente%2C%20sete%20projetos%20de%20e%C3%B3licas,com%201%2C5%20GW%3B%20e>. Acesso em: 30 out. 2020.

GENERAL ELECTRIC - GE (Reino Unido). **An Industry First Haliade-X offshore wind turbine: the world's most powerful offshore wind turbine in operation**. [200-?]. Disponível em: <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine>. Acesso em: 17 mar. 2020.

GUSTAVO GAUDARDE (Brasil). Agência EPBR - Jornalismo e Política Energética. **Petrobras suspende projeto de eólica offshore**. 2020. Disponível em: <https://epbr.com.br/petrobras-suspende-projeto-de-eolica-offshore/>. Acesso em: 30 out. 2020.

GWEC - Global Wind Energy Council (Brussels) (org.). **Global Offshore Wind Report 2020**. 2020. Disponível em: <https://gwec.net/global-offshore-wind-report-2020/>. Acesso em: 07 set. 2020.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Ibama lança Termo de Referência padrão para Complexos de Energia Eólica Offshore**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br>. Acesso em: 18 nov. 2020.

LOURENÇO, Thuany Marra de Figueiredo. **Emissão de gases de efeito estufa na produção de energia elétrica gerada por usinas hidroelétricas, eólicas e termoeletricas no Brasil**. 2016. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: http://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2017/06/TCC_ThuanyMarra-Figueiredo-Louren%C3%A7o.pdf. Acesso em: 25 ago. 2020.

LUZ, Clayton Diego da *et al.* Avaliação dos Impactos Ambientais em Parques Eólicos *Offshore* e *Onshore* utilizando a Matriz de Leopold. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, Curitiba, v. 55, n. 2, p. 206-225, 30 maio 2020. Zeppelini Editorial e Comunicação. <http://dx.doi.org/10.5327/z2176-947820200644>. Disponível em: http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/644. Acesso em: 09 ago. 2020.

MARINHA DO BRASIL (Brasil) (org.). **Pescada 1B**. [200-?]. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dpc/node/4029>. Acesso em: 19 set. 2020.

MENESES, Ernani do Livramento de. **O uso de turbinas a gás para geração de energia elétrica em plataformas**. 2011. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Construção Naval, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.uezo.rj.gov.br/tccs/capi/ErnaniMeneses.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2020.

MONTEIRO, Ulisses Admar Barbosa Vicente. **Uma metodologia para a seleção de sistemas de cogeração em plataformas offshore**. 2002. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: http://www.portaldoconhecimento.gov.br/bitstream/10961/2543/1/Projeto%20de%20Conclus%C3%A3o%20de%20Curso_2002.pdf. Acesso em: 03 mar. 2020.

MORAIS, José Mauro de. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore**. Uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção *offshore*. 2013. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=18251. Acesso em: 01 maio 2020.

O PETRÓLEO (Brasil) (comp.). **GE, Siemens Gamesa e WEG lideram instalações de turbinas eólicas no Brasil em 2019**. 2020. Disponível em: <https://opetroleo.com.br/ge-siemens-gamesa-e-weg-lideram-instalacao-de-turbinas-eolicas-no-brasil-em-2019/>. Acesso em: 07 jul. 2020.

ORSTED (Dinamarca). **Making green energy affordable: how the offshore wind energy industry matured - and what we can learn from it**. How the offshore wind energy industry matured - and what we can learn from it. 2019. Disponível em: <https://orsted.com/en/about-us/whitepapers/making-green-energy-affordable>. Acesso em: 10 ago. 2020.

ORTIZ NETO, José Benedito; COSTA, Armando João Dalla. A Petrobrás e a exploração de Petróleo *offshore* no Brasil: um approach evolucionário. **RBE**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, p. 95-109, mar. 2007. Trimestral. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbe/v61n1/a06v61n1.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2020.

ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M. Potencial de Energia Eólica *offshore* na margem do Brasil. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2011, Santos. **Anais [...]** São Paulo: SBO, 2011. p. 1-4. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br>. Acesso em: 30 mar. 2020.

PESCADA 2016. **ANP** - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2016. Disponível em: http://www.anp.gov.br/images/planos_desenvolvimento/Pescada.pdf. Acesso em: 14 ago. 2019.

PIMENTA, Felipe *et al.* Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil. **Science Direct**. Newark, p. 2375-2387. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148108000293>. Acesso em: 03 jul. 2020.

RADÜNZ, William Corrêa. **Metodologia de *Micrositing* para terrenos complexos baseada em CFD com *softwares* livres de código aberto**. 2018. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/178563>. Acesso em: 07 abr. 2020.

PETROBRAS (Brasil) (comp.). **Bacias**. 2020. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/>. Acesso em: 01 jan. 2020.

_____. **Tipos de plataformas**. 2014. Disponível em: <https://petrobras.com.br/infograficos/tipos-de-plataformas/desktop/index.html>. Acesso em: 19 set. 2019.

SILVA, Amanda Jorge Vinhoza de Carvalho. **Potencial eólico offshore no Brasil:** localização de áreas nobres através de análise multicritério. 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Dissert_AJVCSilva.pdf. Acesso em: 09 jun. 2020.

TRAPP, Beatriz Cristina. **Análise de viabilidade de uma fazenda eólica offshore no Rio Grande do Sul.** 2009. 25 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/24094>. Acesso em: 20 nov. 2019.

UNIDADE Estacionária de Produção – UEP. **ANP** - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2019. Disponível em: http://www.anp.gov.br/images/Dados_de_EP/Plataforma_em_Operacao/UEPS_em_operacao.xlsx. Acesso em: 14 ago. 2019.

VITERBO, Jean Carlo. **Geração de energia elétrica a partir da fonte eólica offshore.** 2008. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval Oceânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3135/tde-26092008-104511/publico/Viterbo_Eolica_Offshore.pdf. Acesso em: 9 out. 2019.