



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS, ESTRATÉGIAS E
DESENVOLVIMENTO

ANA CAROLINA ALVES DE MELLO

DESAFIOS E COMPETÊNCIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA EÓLICA
OFFSHORE NO BRASIL

Rio de Janeiro

2023

Ana Carolina Alves de Mello

DESAFIOS E COMPETÊNCIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA EÓLICA
OFFSHORE NO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Políticas Públicas. Estratégias e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Helder Queiroz Pinto Júnior

Co orientador: Prof. Dr. Marcelo Colomer Ferraro

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

A527d Alves de Mello, Ana Carolina
Desafios e Competências para o Desenvolvimento
da Eólica Offshore no Brasil / Ana Carolina Alves de
Mello. -- Rio de Janeiro, 2023.
127 f.

Orientador: Helder Queiroz Pinto Junior.
Coorientador: Marcelo Colomer Ferraro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de
Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e
Desenvolvimento, 2023.

1. Eólica Offshore. 2. Sistema Nacional de
Inovação. 3. Petróleo e Gás. I. Queiroz Pinto Junior,
Helder, orient. II. Colomer Ferraro, Marcelo,
coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

ANA CAROLINA ALVES DE MELLO

DESAFIOS E COMPETÊNCIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA EÓLICA
OFFSHORE NO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento.

Rio de Janeiro, 18 de setembro de 2023.

Prof. Dr. Helder Queiroz Pinto Júnior - Orientador

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof^a. Dr. Marcelo Colomer Ferraro – Co orientador

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof. Dr.– Milad Shadman

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof. Dr.– Francisco José Mendes Duarte

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante este percurso. Suas contribuições foram fundamentais para que eu pudesse alcançar esse momento tão significativo. Em especial, gostaria de agradecer:

Aos meus pais, pelo investimento na minha educação e crença no meu potencial. Sem o apoio e encorajamento de vocês, esta jornada teria sido muito mais difícil. Sou imensamente grata por tudo que fizeram por mim.

Ao Marcos, pelo amor e compreensão durante toda a jornada da dissertação. O seu apoio, paciência e incentivo constantes foram essenciais para que eu me mantivesse motivada e focada. Obrigada por estar ao meu lado e acreditar no meu potencial.

Aos meus orientadores, Helder e Marcelo, por acreditarem na minha proposta de pesquisa e me orientar ao longo desse processo. Agradeço também por todo o apoio, direcionamento e conhecimento compartilhado, que enriqueceram meu trabalho e minha formação acadêmica.

Ao meu cachorro, Agostinho, meu companheiro fiel durante as madrugadas de estudo. Suas patinhas ao meu lado nas longas noites de estudo e desenvolvimento desta dissertação foram uma fonte de conforto e motivação.

À Agência Nacional de Petróleo (ANP), pelo suporte concedido para a realização desta pesquisa. Sua contribuição financeira foi essencial para a viabilização deste estudo e um incentivo para continuar buscando o conhecimento e contribuindo para o avanço da área.

Agradeço a todos os membros do Grupo de Economia da Energia da UFRJ pela orientação, conselhos e troca de conhecimentos.

À Daniele, pelo apoio na revisão do texto.

Aos meus amigos Gabi e Bernardo, cujo apoio incondicional e presença constante foram fundamentais para superar os momentos mais difíceis deste processo. Agradeço por estarem sempre disponíveis para me ouvir, compartilhar experiências e me encorajar nos momentos em que a jornada parecia insuperável.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação, meu sincero agradecimento. Essa conquista não seria possível sem cada uma das pessoas mencionadas e tantas outras que me apoiaram ao longo dessa jornada.

RESUMO

O objetivo desta dissertação é analisar os principais potenciais e desafios para o desenvolvimento da eólica *offshore* no Brasil, enfatizando, sobretudo, as capacitações que o país já possui e que podem auxiliar no desenvolvimento desta fonte no país. Por entender a inovação como um processo sistêmico que engloba diversas instituições, processos e agentes, escolheu-se como referencial teórico desta dissertação a abordagem neo-schumpeteriana de Sistema Nacional de Inovação. A premissa principal deste estudo é que qualquer mudança tecnológica deve ser analisada de forma mais ampla. Neste sentido, o referencial teórico foi aplicado à indústria de petróleo e gás brasileira, identificando a Petrobras como o principal ator desse sistema devido a sua capacidade de coordenação entre os diversos agentes e de desenvolver inovações adaptadas à realidade brasileira. O conceito de dependência de trajetória é utilizado para abordar a transição energética das indústrias baseadas em combustíveis fósseis e as diferentes trajetórias de desenvolvimento da eólica *offshore* na Noruega e no Reino Unido. No caso do Brasil, também buscou-se demonstrar a importância do papel das políticas públicas para o desenvolvimento da eólica *onshore*. Como resultado, a dissertação aponta que o Brasil possui qualificações para desenvolver a eólica *offshore* internamente, no entanto, será necessário ultrapassar diversas barreiras, como por exemplo a insegurança jurídica, a falta de políticas públicas específicas, o desenvolvimento de uma cadeia produtiva local, a competição por recursos, entre outros.

Palavras-chave: Energia Eólica, Eólica *Offshore*, Petróleo e Gás, Sistema Nacional de Inovação.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation is analyzes the main potentials and challenges for the development of offshore wind in Brazil, emphasizing, above all, the capabilities that the country already has and that can help in the development of this source in the country. By understanding innovation as a systemic process that encompasses several institutions, processes, and agents, the neo-Schumpeterian approach of the National Innovation System was chosen as the theoretical framework for this dissertation. The main premise of this study is that any technological change should be analyzed more broadly. In this sense, the theoretical framework was applied to the Brazilian oil and gas industry, identifying Petrobras as the main player in this system due to its ability to coordinate between the different agents and to develop innovations adapted to the Brazilian reality. The concept of path-dependency is used to address the energy transition of industries based on fossil fuels and the different development trajectories of offshore wind in Norway and in the United Kingdom. In the case of Brazil, an attempt was made to demonstrate the importance of the role of public policies for the development of onshore wind. As a result, the dissertation points out that Brazil has qualifications to develop offshore wind internally, however, it will be necessary to overcome several barriers, such as legal uncertainty, lack of specific public policies, the development of a local production chain, the competition for resources, among others.

Keywords: Wind Energy, Offshore Wind, Oil and Gas, National Innovation System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de um aerogerador	26
Figura 2: Aumento da capacidade do diâmetro do rotor das turbinas eólicas, 1985-2016.....	27
Figura 3: Principais componentes de um parque eólico <i>offshore</i>	31
Figura 4: Exemplos de estrutura com fundação fixa.....	32
Figura 5: Exemplos de estruturas com fundação flutuante	33
Figura 6: Sistema Nacional de Inovação Amplo e Restrito	50
Figura 7: Sistema Nacional de Inovação em petróleo e gás offshore entre 54 e 97...	57
Figura 8: Figura 8: Recordes mundiais na produção de petróleo offshore – 1979-2012	59
Figura 9: Sistema Nacional de petróleo e gás offshore após 1997.....	64
Figura 10: Estruturas de petróleo e gás offshore com faixas de profundidade de água.....	100
Figura 11: Tipos de subestrutura para fundações de turbinas eólicas offshore.....	101
Figura 12: Sugestão de estruturação para um SNI para a eólica offshore.....	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Sinergias entre a eólica offshore e a indústria de petróleo e gás offshore	68
Quadro 2: Esquemas de suporte utilizados no mercado internacional.....	80
Quadro 3: Sinergias entre a indústria de petróleo e gás offshore e a eólica offshore	109

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução da capacidade instalada global da energia eólica	25
Gráfico 2: Evolução das instalações eólicas <i>onshore</i> e <i>offshore</i> (GW)	29
Gráfico 3: Capacidade global de produção de turbinas em 2023	37
Gráfico 4: Capacidade mundial de produção de turbinas eólicas <i>offshore</i> (%)	37
Gráfico 5: Índice de preços de matérias-primas industriais selecionadas	38
Gráfico 6: Unidades de pesquisa credenciadas a ANP por UF	61
Gráfico 7: Volume anual das obrigações de P, D&I, 1999-2020.....	63
Gráfico 8: Total de instalações offshore (%).....	77
Gráfico 9: Novas instalações offshore (%).....	78
Gráfico 10: Evolução da capacidade instalada eólica no Brasil em MW	82
Gráfico 11: Potência por Ano.....	87
Gráfico 12: Leilões 2009 a 2022 – Preço médio por MW	88
Gráfico 13: Expansão contratada até 2019 – Incremento anual de capacidade	88
Gráfico 14: Evolução da demanda do licenciamento	92
Gráfico 15: Capacidade dos projetos em licenciamento no Ibama em MW por estado	93
Gráfico 16: Quantidade de projetos em licenciamento no Ibama por estado.....	94
Gráfico 17: Capacidade em MW por empreendedor.....	94
Gráfico 18: Quantidade de projetos em licenciamento por empresa.....	95
Gráfico 19: Distribuição de respondentes	98
Gráfico 20: Distribuição de entrevistados por empresa	98
Gráfico 21: Distribuição dos entrevistados que acreditam, não tem certeza ou não acreditam que a experiência da indústria de petróleo e gás possa ser utilizada para alavancar o desenvolvimento da eólica offshore no Brasil.....	104
Gráfico 22: Desafios apontados como mais relevantes para o desenvolvimento da eólica offshore no Brasil.....	105

Gráfico 23: Critérios que devem ser levados em consideração em um futuro leilão de eólicas offshore.....	108
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica
ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica
ACL – ambiente de contratação livre
ACR – Ambiente de contratação regulado
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APAC – Região Ásia-Pacífico
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRACO – Boia Remota de Avaliação de Ventos Offshore
CBEE – Centro Brasileiro de Energia Eólica
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CE - Crown Estate
CELPe – Companhia Energética de Pernambuco
CENAP – Centro de Aperfeiçoamento e Pesquisas de Petróleo
CENPES – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
CNP -Concelho Nacional o Petróleo
CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO2 – Gás Carbônico
CONFAZ – Conselho Nacional de Política Fazendária
CTPetro – Plano Nacional de Ciência e Tecnologia do Setor Petróleo e Gás Natural
CVU – Custo variável Unitário
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
ESMAP – Energy Sector Management Assistance Program
ETI - Carbon Trust, Energy Technologies Institute
EUA – Estados Unidos da América
Finame – Agência Especial de Financiamento Industrial
FINAME/BNDES – Programa de Financiamento de Máquinas e Equipamentos do BNDES
FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
GNL – Gás Natural Liquefeito
GW- Gigawatts

GWEC – Global Wind Energy Council
H₂S – Ácido sulfúrico
IEA – International Energy Agency
IRENA – International Renewable Energy Agency
MCTI – Ministério da Ciência Tecnologia e Informação
MME – Ministério de Minas e Energia
MW – Megawatts
NAREC - National Renewable Energy Centre
NFFO - Non-Fossil Fuel Obligation
ONS - Operador Nacional do Sistema
ORES – Offshore Renewable Certificates
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
P, D&I - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia
PEDEFOR – Programa de Estímulo à Competitividade da Cadeia Produtiva
PIE – Produtores Independentes de Energia
PNE – Plano Nacional de Energia
PNP – Plano de Nacionalização Progressiva
PPA – Power Purchase Agreement
PRH – Programa de Formação de Recursos Humanos
PROCAP – Programa de Capacitação Tecnológicas em Águas Profundas
PROEÓLICA - Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA - Programa de Incentivos a fontes alternativas
PROMIMP – Programa de Mobilização da Indústria do Petróleo e Gás Natural
PROSAL – Programa Tecnológico para o Desenvolvimento da Produção dos Reservatórios do Pré-Sal
PROVAP – Programa de Recuperação Avançada de Petróleo
REEs – Rare Earth Elements
RO- Renewables Obligations
ROCS – Renewables Energy Certificates
ROV – Remotely Operated Vehicle
SERMAT – Serviço de Materiais
SIN – Sistema Interligado Nacional

SNI - Sistema Nacional de Inovação

TSB - Technology Strategy Board

TW – Terawatts

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

WEA – Wind Energy Area

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivos.....	21
1.2 Metodologia.....	22
1.3 Estrutura da Dissertação	23
Capítulo 2: Energia Eólica: Cadeia Produtiva e Desafios	23
2.1 As origens e a evolução tecnológica da energia eólica <i>onshore</i>	24
2.1.1 Aspectos tecnológicos da energia eólica <i>onshore</i>	26
2.2 A Energia eólica <i>offshore</i>	28
2.2.1 Aspectos tecnológicos da energia eólica <i>offshore</i>	30
2.3 Principais diferenças entre as eólicas <i>offshore</i> e <i>onshore</i>	34
2.5 Concentração da Cadeia Produtiva.....	34
2.4 Conclusão	42
Capítulo 3: O Sistema Nacional de Inovação de Petróleo e Gás brasileiro.....	43
3.1 Teorias da firma: Tecnologia, inovação e o progresso técnico	44
3.2 A teoria Neo-schumpeteriana	45
3.3 Sistemas Nacionais de Inovação.....	49
3.4 O Sistema Nacional de Inovação de Petróleo e Gás <i>Offshore</i>	52
3.4.1 O início da busca por petróleo no Brasil	53
3.4.2 O Sistema Nacional de Inovação de Petróleo e Gás <i>Offshore</i> : da criação da Petrobras até 1997.....	54
3.4.2.1 Subsistema de produção e inovação.....	54
3.4.2.2 Subsistema de capacitação, pesquisa e serviços tecnológicos.....	54
3.4.2.3 Subsistema de política, representação e financiamento	56
3.4.3 O Sistema Nacional de Inovação de Petróleo e Gás <i>Offshore</i>	58
3.4.3.1 A nova configuração após a abertura do mercado.....	58
3.4.2.2 Subsistema de produção e inovação.....	59

3.4.2.3 Subsistema de capacitação, pesquisa e serviços tecnológicos.....	60
3.4.2.4 Subsistema de política, representação e financiamento	62
3.5 Conclusão	64
Capítulo 4: O desenvolvimento da eólica <i>offshore</i> e a transição energética.....	65
4.1 Dependência de trajetória e o setor de petróleo e gás.....	65
4.2 A experiência da Noruega e do Reino Unido no desenvolvimento da eólica <i>offshore</i>	68
4.2.1 Noruega	69
4.2.3 Reino Unido.....	72
4.3 Conclusão	74
Capítulo 5: Políticas de incentivo a energia eólica.....	76
5.1 A evolução recente da energia eólica <i>offshore</i> na matriz elétrica mundial	77
5.1.1 Experiência Regulatória Internacional	79
5.2 Papel das políticas públicas e da regulação para a expansão acelerada da energia eólica no Brasil	81
5.2.1 Políticas de Apoio.....	82
5.2.2 O papel do novo modelo do setor elétrico e o sistema de leilões.....	85
5.3 Cadeia produtiva brasileira de energia eólica	89
5.4 Desafios para a expansão de projetos eólicos <i>offshore</i> no Brasil	91
5.5 Conclusão	95
Capítulo 6: Sinergias entre o setor de petróleo e gás <i>offshore</i> e a eólica <i>offshore</i>	97
6.1 Metodologia.....	97
6.2 Resultados.....	99
6.2.1 Subsistema de Produção e Inovação.....	99
6.2.2 Subsistema de Capacitação Pesquisa e Serviços Tecnológicos.....	103
6.2.3 Subsistema de Política, Representação e Financiamento	105
Conclusão	111

Referências	115
Apêndice A – Questionário Geral	123
Apêndice B – Questionário Empresas	125
Anexo A – Mapas de projetos em licenciamento – Complexos Eólicos Offshore – IBAMA, março de 2023	127

INTRODUÇÃO

Segundo dados do Operador Nacional do Sistema (ONS), em 2023, aproximadamente 70% da capacidade instalada do Sistema Interligado Nacional (SIN), no Brasil, era proveniente de fontes renováveis como hidrelétricas (53%), eólica (12,5%) e solar (4,4%) (ONS,2023). Em relação à geração hidroelétrica, apesar desta representar a maior parte da capacidade instalada no país, a expansão dessa fonte, principalmente dos projetos com grandes reservatórios, esbarra em questões ambientais e sociais devido à necessidade de alagar grandes áreas (ORIGO ENERGIA,2022).

Dentre os dezessete objetivos da agenda para o desenvolvimento sustentável das Nações Unidas para o Brasil, está a manutenção da elevada participação das energias renováveis (IPEA, 2019). As crises hídricas que ocorreram em 2001, quando foi necessário um racionamento da demanda de energia, bem como no biênio 2014 e 2015, forçaram o aumento da participação das usinas térmicas a gás natural na base de geração.

Para além da crise hídrica, existe uma expectativa de aumento da demanda por energia, principalmente com o aumento da eletrificação e a popularização de veículos elétricos, por exemplo. Nesse sentido, o grande desafio energético do país é como manter o perfil sustentável da matriz elétrica nacional diante de uma redução do potencial de geração hídrica e de um crescimento da demanda por energia elétrica.

Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA), a energia eólica é uma das fontes que mais cresce no país. Em 2015, o Brasil ocupava a 15ª posição no mercado eólico mundial. Já em 2022, passou a ocupar a 6ª posição (ABEEÓLICA, 2023).

O desenvolvimento da energia eólica no Brasil foi resultado de uma série de políticas públicas em conjunto com o papel ativo do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O longo período de secas no início dos anos 2000 abriu espaço para novas fontes. A oportunidade de diversificar o setor elétrico brasileiro surgiu neste período com o apoio de um marco legal reformulado e de políticas públicas que visavam diversificar a matriz e assegurar o suprimento que favoreceram a indústria eólica (FERRAZ *et al*,2022).

Ferraz *et al* (2022) destacam o papel do BNDES neste processo. Segundo os autores, a atuação do banco através de inovações no financiamento da energia eólica brasileira e de sua cadeia de abastecimento possibilitaram a estruturação de uma cadeia de fornecedores locais que resultaram na queda da dependência de importações. No entanto, é importante destacar que apesar do crescimento da energia eólica no Brasil, os investimentos são direcionados majoritariamente para a geração em terra.

O primeiro parque eólico *offshore* foi instalado nos anos 90 na Dinamarca, desde então a energia eólica offshore tem se mostrado uma opção cada vez mais viável para geração de energia renovável. Esta fonte tem apresentado um crescimento significativo, nos últimos anos houve um aumento da capacidade instalada nos países europeus e de novos projetos de parques eólicos offshore na Ásia, Europa e América. O aumento da capacidade instalada veio acompanhado de pesquisas para regular essa nova fonte em vários países, impulsionadas por políticas de apoio em resposta a preocupações ambientais, avanços tecnológicos e desenvolvimento de cadeias de suprimentos locais amadurecidas com os projetos implantados (GWEC 2020, EPE, 2020, GONZÁLEZ et al, 2020).

Segundo González et al (2020), dentre as várias justificativas para a instalação de parques eólicos offshore em relação aos parques *onshore* estão:

- 1) Efeito NIMBY (*Not In My Back Yard*) para parques eólicos *onshore* instalados em países europeus;
- 2) Desenvolvimento tecnológico da turbina *offshore*;
- 3) Maior complexidade logística e instalação de turbinas em áreas *onshore*;
- 4) Maior qualidade eólica *offshore* em relação à *onshore* com maiores velocidades de vento e menos turbulência, proporcionando maior capacidade por unidade;
- 5) Menor cisalhamento do vento, o que permite o uso de torres mais curtas para atingir a mesma capacidade em terra e;
- 6) Impacto visual dos parques eólicos *onshore*.

Os investimentos em turbinas de geração eólicas instaladas em ambiente marinho, no Brasil, começaram a surgir no país recentemente e vêm se mostrando bastante promissores, sobretudo após o início dos debates em torno do Decreto 10.946 de 2022 que busca regulamentar a geração de energia no mar.

O Brasil apresenta uma extensa capacidade na exploração de fontes de energia no ambiente marítimo. Diante do desafio de expandir a produção de petróleo para águas profundas, o país desenvolveu um Sistema de Inovação que possibilitou torná-lo uma das potências mundiais em exploração e produção de petróleo e gás offshore, com uma indústria consolidada e com experiência em pesquisa e desenvolvimento em ambiente marinho.

A indústria de petróleo e gás brasileira, impulsionada pela Petrobras, aplicou esforços em pesquisa e desenvolvimento que geraram um enorme avanço tecnológico nas atividades de exploração e produção que possibilitaram uma redução de custos e o domínio de tecnologias de exploração em águas profundas e ultra profundas.

O cenário de mudanças climáticas e a necessidade de descarbonização da economia trazem algumas preocupações para os países com elevado peso econômico da indústria de petróleo e gás natural. Isto posto, qual o papel que pode cumprir a energia eólica offshore na busca da manutenção de uma matriz elétrica renovável? De que forma é possível criar uma trajetória virtuosa em matéria de redução de custos e ganhos de competitividade, no ambiente marítimo, a partir das sinergias e competências desenvolvidas no país com as atividades de petróleo e gás offshore?

Diante dessas indagações, o aproveitamento das capacitações geradas na indústria de hidrocarbonetos em todos os seus níveis, para a migração em direção a uma matriz energética mais limpa, mostra-se uma importante estratégia de política pública. Segundo Menom e Rashdi (2008), o declínio da indústria de petróleo e gás poderia ser combatido através de investimentos em eólica *offshore* visto que habilidades do setor podem ser aproveitadas, como gestão de projetos, gerenciamento de riscos, conhecimento da legislação e controle ambiental marinho, entre outras.

Dados da *International Energy Agency* (IEA) estimam que aproximadamente 40% dos custos totais de um projeto eólico *offshore*, incluindo construção e manutenção, possuem sinergias significativas com o setor de petróleo e gás. As operações nos dois setores compartilham tecnologias e elementos de suas cadeias de abastecimento (IEA, 2019).

O Brasil possui diversas características favoráveis à implementação da eólica offshore, como por exemplo a extensa costa, os bons ventos e uma indústria eólica *onshore* e de petróleo e gás *offshore* desenvolvidas. Até março de 2023, mais de 70 projetos aguardavam a licença prévia junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Além disso, o cenário internacional aponta para uma contínua redução de custos dessa fonte energética.

Deste modo, dois eixos de pesquisa foram privilegiados: o primeiro e mais geral é a necessidade de uma transição energética para fontes de energias mais limpas, e o segundo foi como promover alcançar os objetivos de transição energética e de uma economia de baixo carbono aproveitando os recursos e capacitações desenvolvidos na indústria de petróleo e gás natural brasileira para a expansão do parque eólico offshore.

Em relação à primeira questão, tal como mencionado acima, o Brasil é um país com uma matriz energética predominantemente limpa, com abundância de recursos renováveis. No entanto, apesar da matriz elétrica brasileira ser composta predominantemente por fontes de origem renovável, as usinas hidrelétricas com grandes reservatórios de água compõem a maior parte desta parcela. Além disso, o esgotamento do potencial hídrico tem levantado questões

sobre a diversificação da matriz elétrica do país, sem que haja uma ampla utilização de usinas movidas a combustíveis fósseis.

O segundo ponto que motivou esta dissertação foi a relação entre indústria de petróleo e gás *offshore* e a energia eólica *offshore*. Olhando para o restante do mundo, existe uma tendência de avanço considerável na utilização de energia eólica produzida no mar. Em 2009, as eólicas *offshore* representavam 1% da capacidade eólica global, aumentando sua participação para 10% em 2019 (GWEC,2020). Além das condições geográficas e climáticas favoráveis, o Brasil apresenta uma extensa capacidade na exploração de fontes de energia no ambiente marítimo.

1.1 OBJETIVOS

Esta dissertação tem por objetivo central entender os principais desafios para o desenvolvimento da eólica *offshore* no Brasil e as sinergias existentes entre essa fonte e a indústria de petróleo e gás *offshore*.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, buscou-se entender quais os desafios a indústria eólica tanto *onshore* quanto *offshore* enfrentaram e enfrentam no Brasil e no mundo. Além disso, outro objetivo era analisar as políticas e o histórico de desenvolvimento tecnológico da exploração de petróleo e gás *offshore* no país.

Por levar em consideração diversos aspectos para entender o processo de inovação, como conjuntos de instituições e políticas e os contextos histórico, social e cultural, entre outros aspectos, o referencial teórico utilizado nesta pesquisa foi a abordagem de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI).

A principal questão a ser respondida por essa pesquisa é: Como o Brasil pode aproveitar seu Sistema Nacional de Inovação de petróleo e gás *offshore* para facilitar a implementação da eólica *offshore* no país?

A questão principal pode ser desdobrada a partir de alguns objetivos específicos:

- i. Apresentar os principais aspectos tecnológicos e desafios da indústria eólica, tanto *onshore* quanto *offshore*;
- ii. Apresentar como se deu o desenvolvimento da indústria de petróleo e gás *offshore* brasileira a partir do referencial de sistemas nacionais de inovação e seus principais resultados;
- iii. Apresentar um histórico da energia eólica no Brasil e as principais políticas associadas a este tipo de fonte no país;

- iv. Apresentar um quadro com um sistema nacional de inovação desejado para a eólica offshore a partir dos achados anteriores.

1.2 METODOLOGIA

Para responder à pergunta de pesquisa foi escolhido um desenho de pesquisa qualitativo que foi dividido por temas.

Para análise da indústria eólica foi realizada uma revisão de literatura sobre a energia eólica em geral, suas principais características tecnológicas e seus principais desafios. A revisão de literatura envolveu questões relacionadas à tecnologia associada à energia eólica, cadeia produtiva, mão de obra, entre outros.

Já para a análise da indústria nacional de petróleo e gás *offshore*, foi utilizada uma revisão de literatura sobre essa indústria e sobre o referencial teórico utilizado na pesquisa. Aqui foram pesquisados temas relacionados à inovação, Sistemas Nacionais de Inovação, difusão tecnológica e aprendizagem. Além disso, foram utilizadas bases de dados secundárias para aprofundar a análise das evidências empíricas dos atores relevantes nos fenômenos analisados. Para esses dados serão utilizados como fonte o programa de P&D da Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP) e o *BP Statistical Review*.

Também foi realizado um estudo de caso com base na literatura existente sobre o desenvolvimento da energia eólica offshore em dois países, Noruega e Reino Unido. O Reino Unido foi escolhido por seu histórico na indústria eólica *offshore* onde, por muitos anos, foi o país com maior capacidade instalada, enquanto a Noruega foi escolhida por ser um país com um histórico de sucesso na exploração de petróleo e gás *offshore* e com amplos recursos hídricos, assim como o Brasil. Segundo Godoy (1995), o estudo de caso é uma boa estratégia quando o foco da pesquisa trata de temas e fenômenos atuais, no qual a análise só é possível dentro de um contexto específico da vida real.

Como fonte de dados primários, foram realizadas entrevistas com roteiros estruturados com atores do setor de energia nacional, como pesquisadores e membros de instituições sobre quais são as principais oportunidades e entraves para a implementação da eólica *offshore* no Brasil, onde foram elaborados distintos questionários, sendo um geral e um direcionado para empresas.

Diante da variedade de dados qualitativos usados, é essencial o processo de triangulação das informações para abordar a integridade, convergência e dissonância de temas-chave (FARMER, 2006). A triangulação é uma abordagem metodológica que envolve a

utilização de vários métodos de coleta e análise de dados em busca da construção de uma realidade mais válida, confiável e diversa, sem exigir um método fixo para todas as pesquisas, analisando a questão de pesquisa de diversas perspectivas (GOLAFSHANI, 2003; FARMER, 2006; GUION,2002). Sendo assim, foi feita uma triangulação considerando os resultados da análise entre os casos, entrevistas e a literatura revisada para propor um quadro para o desenvolvimento da eólica *offshore* no Brasil.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi estruturada em cinco capítulos, fora a introdução e a conclusão. O primeiro capítulo trata da energia eólica *onshore* e *offshore* e de sua cadeia produtiva, com foco em suas principais características tecnológicas. Também foram apresentadas brevemente as diferenças entre a eólica *onshore* e *offshore*.

O segundo capítulo apresenta o referencial teórico neo-schumpeteriano de Sistemas Nacionais de Inovação. O objetivo é apresentar uma estrutura de um Sistema Nacional de Inovação de petróleo e gás, enfatizando a importância da Petrobras na estruturação desse sistema.

Já o terceiro capítulo disserta brevemente sobre a dependência de trajetória do setor de energia em relação aos combustíveis fósseis, bem como um histórico do desenvolvimento da eólica *offshore* na Noruega e no Reino Unido.

O quarto capítulo aborda o desenvolvimento da energia eólica *onshore* e *offshore* no Brasil e quais políticas públicas foram utilizadas para promover esse desenvolvimento no país.

Por fim, o quinto capítulo apresenta os resultados da pesquisa, a partir de uma análise dos achados dos capítulos anteriores e dos resultados das entrevistas, buscando desenhar uma estrutura de um Sistema Nacional de Inovação para a eólica *offshore* no Brasil a partir das capacitações que o país já possui e analisar quais serão as principais barreiras a serem apresentadas. Por fim são apresentadas as conclusões deste trabalho.

CAPÍTULO 2: ENERGIA EÓLICA: CADEIA PRODUTIVA E DESAFIOS

As políticas de apoio e os avanços tecnológicos permitiram que as energias renováveis eólica e solar se tornassem cada vez mais competitivas. A energia eólica vem crescendo em ritmo acelerado ao redor do mundo. Entre 2011 e 2021, a capacidade instalada mundial das turbinas eólicas passou de 220 GW para 824,9 GW. Em 2021, pela primeira vez, as energias solar e eólica alcançaram mais de dez por cento da energia global, superando a contribuição da energia nuclear (BP, 2023).

No entanto, os efeitos da pandemia, como o aumento do preço das *commodities*, as dificuldades enfrentadas na cadeia de suprimentos e condições de financiamento mais rígidas podem atrapalhar o desenvolvimento destas fontes. Esse capítulo tem como objetivo trazer um breve panorama da energia eólica, tanto *onshore* quanto *offshore*. Para isso, serão destacados os principais avanços tecnológicos e a recente estruturação de uma cadeia produtiva de energia eólica no Brasil e no mundo. Vale ressaltar que assim como em todo processo de transição tecnológica, o desenvolvimento da energia eólica no Brasil possui também inúmeros desafios que irão ser abordados nessa seção.

2.1 AS ORIGENS E A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DA ENERGIA EÓLICA *ONSHORE*

A energia eólica tem origem indireta na energia solar, visto que a energia proveniente do sol é responsável pela movimentação do ar que quanto mais quente sobe e se desloca para as regiões mais frias. Essa característica torna a energia eólica uma fonte renovável cuja utilização é conhecida há pelo menos 3000 a.C., quando era utilizada em velas nas embarcações ou em moinhos para moagem de grãos e irrigação, sendo as primeiras práticas realizadas na região da China e da Pérsia em 644 a.C. (FARIAS; SELLITTO, 2011).

Apesar da existência de diversos registros, não existe consenso histórico sobre a origem da energia eólica. No entanto, sabe-se que a partir da Idade Média esse tipo de energia passou a ser utilizada de forma mais intensa. Até a expansão da máquina a vapor, a energia eólica, com os moinhos de vento, foi utilizada pelos países europeus em diversas atividades (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012).

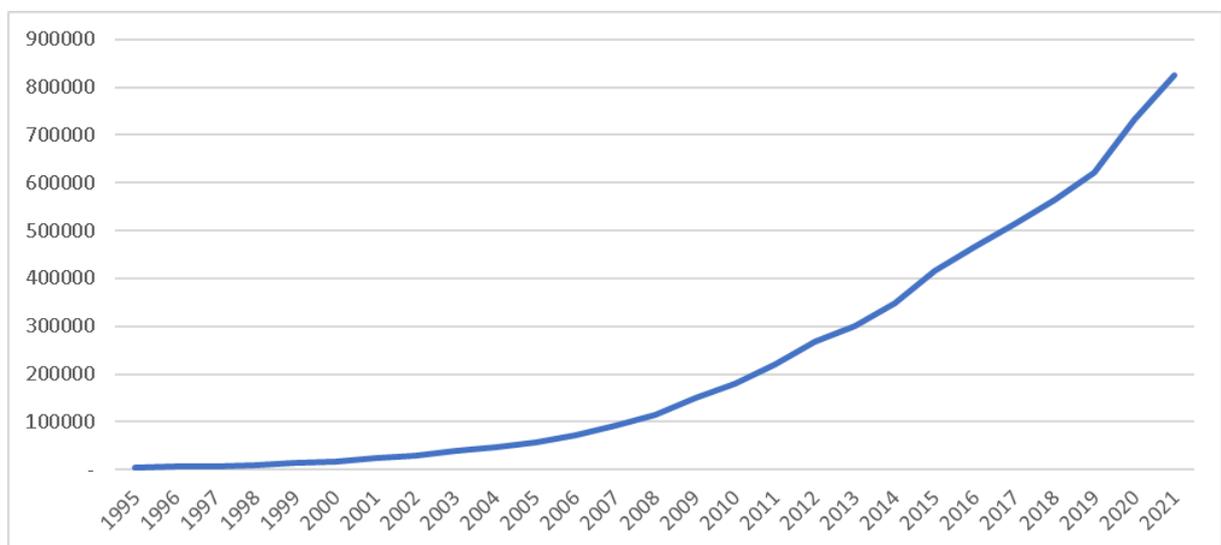
Entre 1887 e 1888, após a invenção do gerador elétrico, a energia eólica passou a ser utilizada para produzir eletricidade, com casos de sucesso nos Estados Unidos e no Reino Unido neste período. Apesar disso, com a revolução industrial, os combustíveis fósseis ganharam espaço e passaram a ser amplamente utilizados para substituir a lenha e produzir vapor, com destaque para o carvão mineral que foi a principal fonte primária de energia no mundo até 1961. Com o avanço da indústria automotiva e o surgimento da indústria petroquímica a partir de

1930, o petróleo foi ganhando cada vez mais espaço (FARIAS, SELLITTO;2011; IRENA, 2016).

A primeira crise do petróleo em 1973 acendeu uma luz amarela para os problemas associados à dependência dos países ocidentais em relação aos combustíveis de origem fóssil. Neste contexto, o aumento dos conflitos na região do Oriente Médio se somou às preocupações crescentes dos impactos ambientais ocasionados pelo intenso uso de hidrocarbonetos levando o mundo a refletir sobre a utilização dos combustíveis não renováveis (FARIAS; SELLITO,2011). O desenvolvimento da energia eólica para geração de energia elétrica, que até então estava estagnado, se acentuou com os Estados Unidos e Europa realizando um grande e consistente esforço em pesquisa e desenvolvimento a fim de garantir a segurança energética e, posteriormente, reduzir as emissões de gases do efeito estufa (CASTRO *et al*, 2018; FARIAS; SELLITO, 2011).

Diante do cenário de busca pela segurança energética, a energia eólica ganhou destaque como fonte de energia limpa. No gráfico 1, pode-se perceber uma curva ascendente de aumento da capacidade instalada da energia eólica entre 1995 e 2021 a nível global, mesmo após a crise econômica mundial em 2008 e a pandemia em 2020.

Gráfico 1: Evolução da capacidade instalada global da energia eólica



Fonte: BP, 2022

2.1.1 Aspectos tecnológicos da energia eólica *onshore*

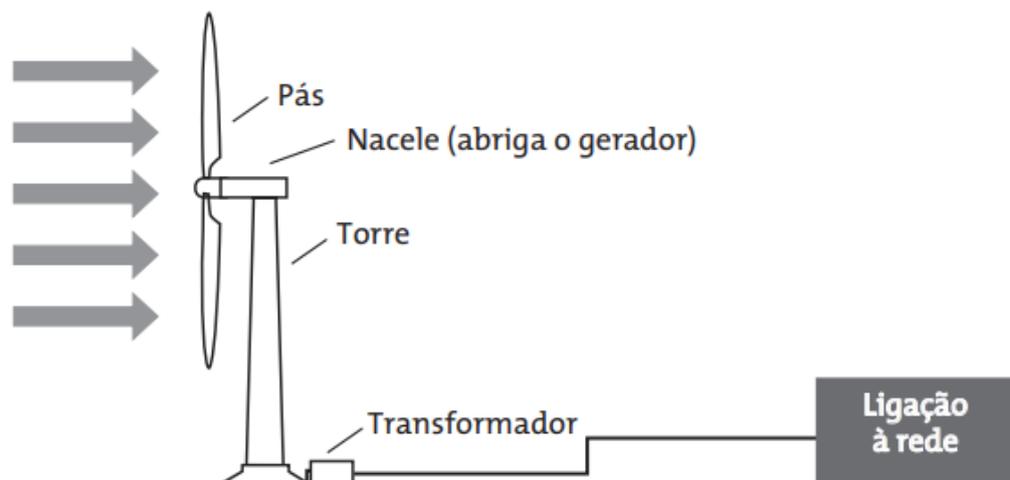
Quando se pensa em energia eólica, logo nos vem à cabeça a imagem dos aerogeradores ou turbinas. As turbinas são responsáveis por transformar a energia cinética do vento em energia elétrica.

Segundo a *International Renewable Energy Agency* (IRENA,2016), os sistemas de geração de energia eólica podem ser caracterizados pelo tipo de conexão à rede (conectado ou autônomo), pela característica de instalação (*onshore* ou *offshore*) ou pelo tipo de turbina (eixo vertical ou horizontal).

Os elementos básicos do sistema eólico são (IRENA;2016):

- As pás: responsáveis por capturar e converter a energia do vento em energia rotacional;
- A nacelle: estrutura que abriga o eixo e o freio do rotor, a caixa de engrenagens e os componentes do gerador;
- A torre: estrutura responsável por apoiar e elevar as pás, o cubo do rotor e a nacelle. Sua altura é determinada pelo diâmetro do rotor e pelas condições do vento do local onde serão instaladas;
- O transformador: geralmente colocado à nível do solo, essa estrutura transforma a eletricidade do gerador para a tensão da rede.

Figura 1: Componentes de um aerogerador

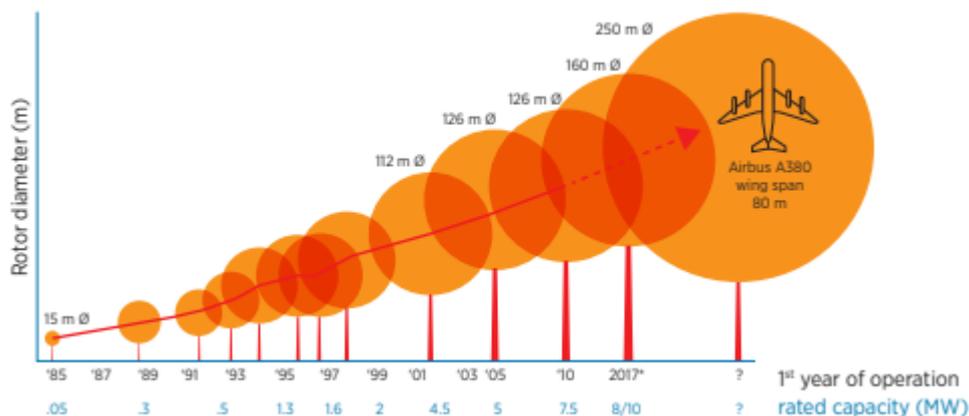


Fonte: Lage e Processi, 2013

As turbinas mais conhecidas são as de eixo horizontal, com três pás onde “uma torre sustenta as pás que utilizam a força dos ventos para rodar um eixo de transmissão” (PODCAMENI, 2012). Essas estruturas podem ser de vários tamanhos, que vão de 0,5 MW até mais de 10 MW. A quantidade de energia gerada depende do tamanho do rotor e da velocidade do vento (PODCAMENI, 2012, IRENA, 2016).

Como pode-se observar na figura 2, com os avanços tecnológicos, nos últimos anos o tamanho das turbinas vem aumentando assim como a sua capacidade de geração. Segundo o *Global Wind Energy Council (GWEC)*, os diâmetros médios globais dos rotores passaram de 82 metros em 2010 para quase 120 metros em 2020, enquanto as alturas médias dos cubos aumentaram de 81 metros para 103 metros no mesmo período. No Brasil, na Suécia e no Canadá, os tamanhos das turbinas aumentaram mais de 100% (GWEC, 2022b).

Figura 2: Aumento da capacidade do diâmetro do rotor das turbinas eólicas, 1985-2016



Fonte: IRENA, 2016

Segundo o GWEC (2021), em todos os cenários para transformação do sistema de energia, o mercado eólico deve expandir-se rapidamente na próxima década. No cenário de zero líquido de emissão até 2050 da IEA, as taxas anuais de investimento em energia eólica precisam ser cada vez maiores, atingindo 160 GW em 2025 e, em seguida, 280 GW em 2030, ou seja, três vezes a capacidade instalada em 2020. Já no cenário de transformação energética da IRENA, as taxas anuais de investimento em energia eólica devem aumentar para 180 GW. No entanto, é importante lembrar que este crescimento não será espontâneo, sendo necessárias intervenções políticas como investimento em planejamento, infraestrutura e redes de transmissão (GWEC, 2021).

2.2 A ENERGIA EÓLICA *OFFSHORE*

O primeiro parque eólico *offshore* foi instalado na Dinamarca em 1991 e era composto por 11 turbinas de 0,45 MW (IRENA, 2016). Desde então, a eólica *offshore* cresceu em um ritmo de quase 30% ao ano entre 2010 e 2018. Acredita-se que, com base nas políticas e propostas atuais, a capacidade global de energia eólica *offshore* deve aumentar em 15 vezes nas próximas duas décadas, transformando-se em um negócio de US\$ 1 trilhão (IEA, 2019).

Em comparação às eólicas *onshore*, as eólicas *offshore* possuem vantagens como: a capacidade de explorar ventos mais constantes, mais velozes e com menos turbulência devido a menos restrições na área e distância do solo; menor complexidade logística e de instalação de turbinas que permite que estas sejam maiores das que as instaladas em terra e; menor impacto visual (GONZALEZ et al, 2020).

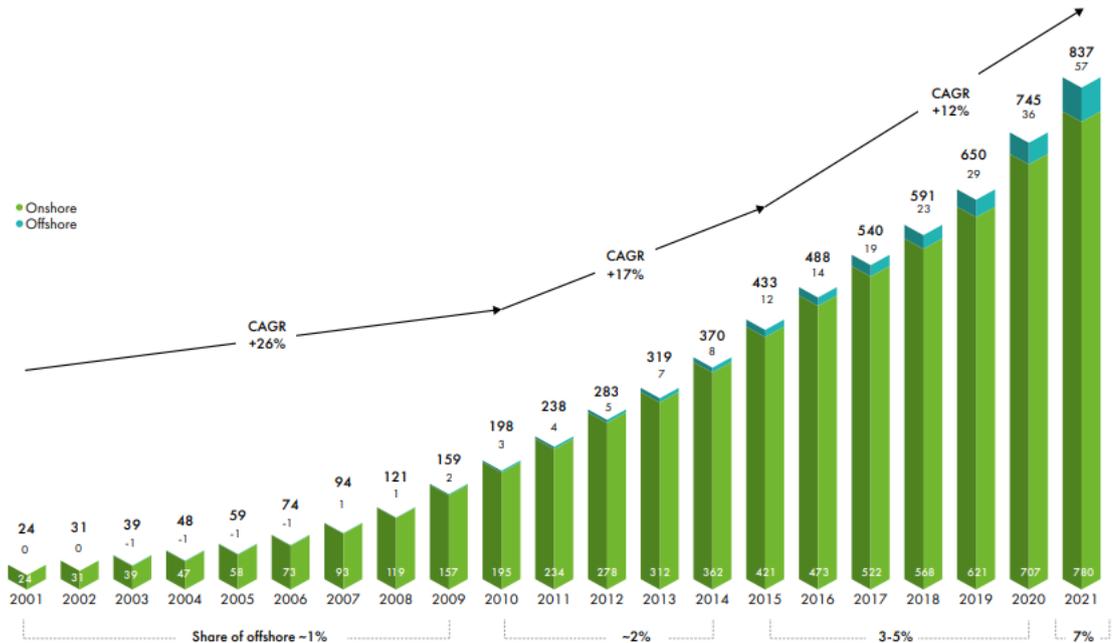
Segundo Reichardt e Rogge (2016), os grandes potenciais tecnológicos do vento *offshore* e o crescente interesse global em torná-lo um elemento-chave dos planos de transição energética dos países, tornam essa tecnologia um tema de grande interesse para os formuladores de políticas em todo o mundo. Em março de 2019, o Banco Mundial, por meio do *Energy Sector Management Assistance Program* (ESMAP), lançou o Programa de Desenvolvimento *ESMAP-IFC Offshore Wind Development* com o objetivo de acelerar a adoção de eólicas *offshore* em mercados emergentes. Segundo o relatório *Going Global* divulgado em outubro de 2019, destaca-se 3,1 Terawatts (TW) de potencial técnico eólico *offshore* em oito mercados emergentes: Brasil, Índia, Marrocos, Filipinas, África do Sul, Sri Lanka, Turquia e Vietnã (ESMAP,2019).

Segundo a IEA (2019), o potencial da eólica *offshore* é quase ilimitado, e com as reduções de custos e aprimoramentos na tecnologia, esse potencial fica cada vez mais alcançável. Quando instalados nos locais ideais, os parques eólicos *offshore* seriam capazes de fornecer mais do que a quantidade total de eletricidade consumida em todo o mundo atualmente. Ademais, com o aprimoramento da tecnologia das eólicas flutuantes que possibilitam a instalação em locais mais distantes da costa em águas mais profundas, estima-se que poderá ser desbloqueado potencial suficiente para atender 11 vezes a demanda total da eletricidade do mundo em 2040 (IEA, 2019).

Em 2020, enquanto o investimento geral em geração de energia apresentou queda, o financiamento eólico *offshore* quadruplicou em relação ao mesmo período de 2019, atingindo US\$ 35 bilhões. Em 2021, o total mundial de instalações atingiu 57,2 GW de capacidade

(GWEC, 2021; GWEC, 2022). Esses dados apontam que a eólica *offshore* tem potencial para ser um negócio promissor e que ao mesmo tempo auxilia no processo de transição energética por ser uma fonte renovável.

Gráfico 2: Evolução das instalações eólicas *onshore* e *offshore* (GW)



Fonte: GWEC, 2022

Como pode-se ver no gráfico 2, a participação das eólicas *offshore* no total de geração eólica mundial vem aumentando rapidamente nos últimos dez anos. Em relação aos desafios a serem enfrentados, Markard e Petersen (2009) listam alguns associados ao desenvolvimento de parques eólicos offshore:

- Ambiente Marinho: Água salgada, ondas, grandes tempestades, dificuldades de acesso devido a condições climáticas, águas profundas, montagem apenas em condições de vento e mar calmo;
- Distância da costa;
- Rotas marítimas;
- Preservação ambiental: potenciais impactos em aves marinhas e migratórias, impactos devidos à ligação à rede e a fundação;
- Conexão à rede: longas distâncias até o ponto de acoplamento, redes costeiras fracas;
- Custos: altos custos de conexão à rede, turbinas, fundações e estações de transformação, riscos altos, atividade intensiva em capital, inflação;

- Regulação: Diferentes processos de licenciamento, esquemas de suporte governamental com incentivos extras para eólicas *offshore*, necessidade de regulação e procedimentos organizacionais específicos, políticas de suporte para eólicas flutuantes, legislações que restringem o desenvolvimento de atividades no oceano;
- Cadeia de suprimentos: poucas embarcações disponíveis, competição por recursos com a atividade de petróleo.

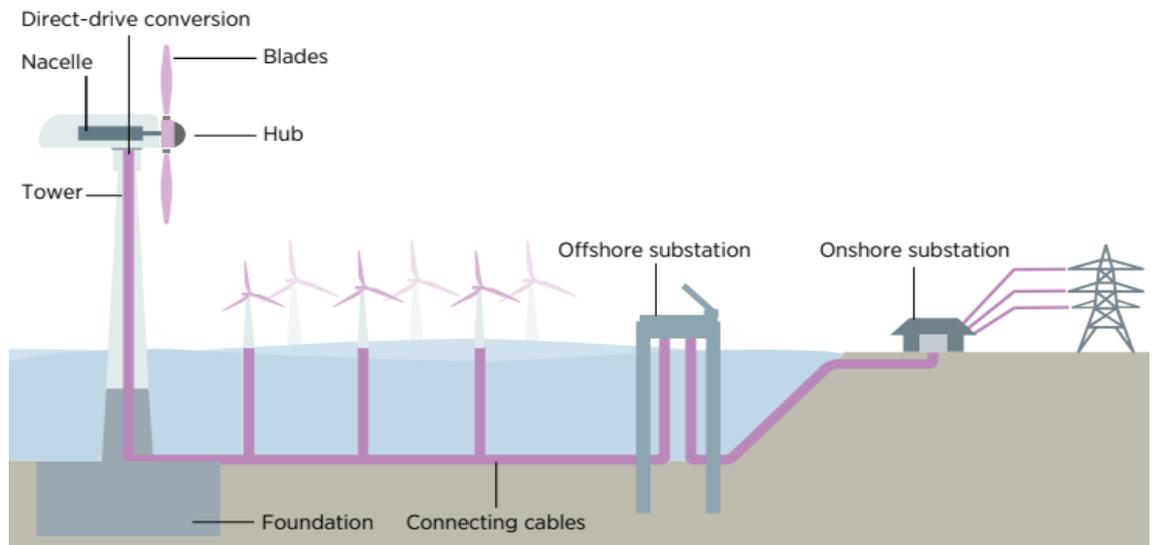
Apesar dos desafios, espera-se que a energia eólica *offshore* continue a crescer nos próximos anos. Por ser uma fonte renovável, com um enorme potencial de geração e diante da expectativa de reduções de custo, iniciativas como o *Ocean Panel* e o *Ocean Renewable Energy Action Coalition* destacaram a energia eólica *offshore* como uma tecnologia vital que fornecerá 10% da mitigação de carbono necessária até 2050 para restringir o aumento da temperatura global a 1,5 °C (GWEC, 2021). Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), essa fonte tem sido um elemento central para a transição energética da União Europeia, que assumiu o compromisso de possuir 20% da matriz energética composta por energias renováveis até o ano de 2020.

2.2.1 Aspectos tecnológicos da energia eólica *offshore*

Em relação às turbinas, a tecnologia utilizada nas eólicas *onshore* e *offshore* é bastante semelhante. Contudo, as turbinas instaladas no mar possuem tamanhos maiores em termos de altura e área de varredura que permitem atingir maiores capacidades e são projetadas contra os efeitos da corrosão e para ação de ondas e marés (EPE,2021). Além disso, outro diferencial das eólicas *offshore* é a necessidade de cabeamento externo e de subestações *onshore* e *offshore* (IRENA,2018).

Além das turbinas que precisam ser adaptadas para as condições *offshore*, componentes auxiliares como torres, fundações e equipamentos para construção e manutenção (embarcações especializadas, guindastes e equipamentos subaquáticos, por exemplo) também precisam ser desenvolvidos para esse novo contexto (MARKARD; PETERSEN, 2009).

Figura 3: Principais componentes de um parque eólico *offshore*



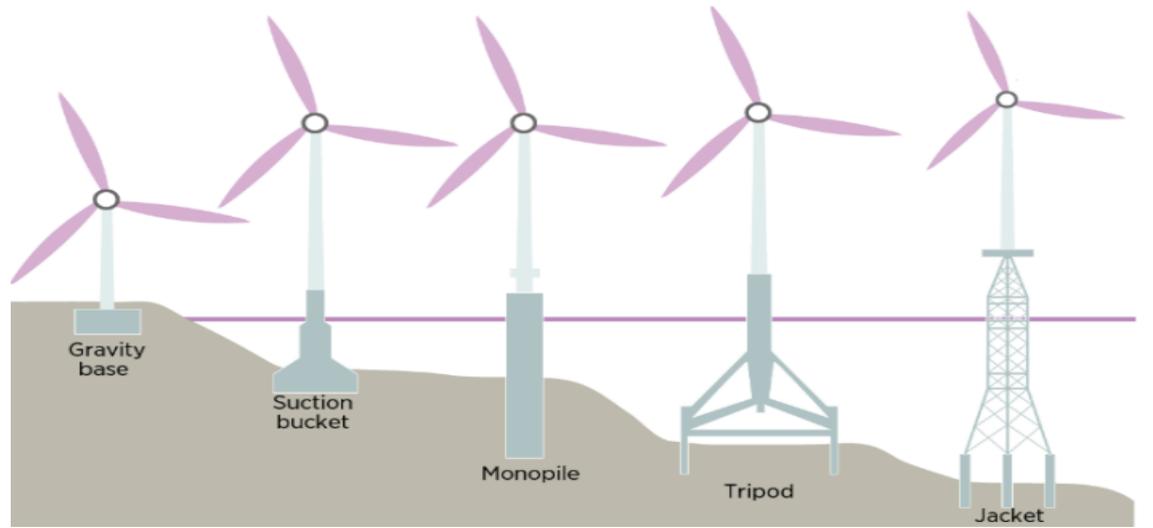
Fonte: IRENA, 2018

Acredita-se que com o aumento do mercado haja uma elevada redução dos custos, o que fará com que a energia eólica offshore torne-se competitiva em relação aos combustíveis fósseis na próxima década, bem como com outras fontes renováveis (GONZÁLEZ et al, 2020). Na Europa, os leilões recentes indicam que a energia eólica *offshore* em breve superará a nova capacidade de gás natural em custo e estará ao mesmo nível da eólica *onshore* e solar fotovoltaica (IEA, 2019).

Segundo a EPE (2020), alguns estudos apontam para reduções entre 11% e 30% nos custos totais dessa fonte de energia. O componente referente ao custo da turbina eólica nas instalações *offshore* tende a representar a maior parcela do investimento total, apesar das turbinas eólicas *onshore* e *offshore* possuírem o mesmo tipo de tecnologia. Isso se deve a necessidade de fundações especiais para a instalação das turbinas no mar que encarecem os projetos quanto maior for a profundidade da instalação (EPE, 2020; SILVA; CATALDI; DRAGAUD, 2016). Segundo o GWEC (2022) quase 2/3 do valor de um parque *offshore* vem de elementos como subestrutura e fundações, infraestrutura elétrica e montagem e instalação.

Em relação ao tipo de fundação utilizada, enquanto as turbinas *onshore* são fixadas no solo com concreto, as turbinas *offshore* estão localizadas no mar e podem ser de dois tipos: fixas, no leito marinho, ou flutuantes. A escolha entre o tipo de fundação se dá basicamente através do nível de profundidade onde o parque será instalado e das condições do leito marinho (IRENA, 2016; EPE, 2021).

Figura 4: Exemplos de estrutura com fundação fixa



Fonte: IRENA, 2018

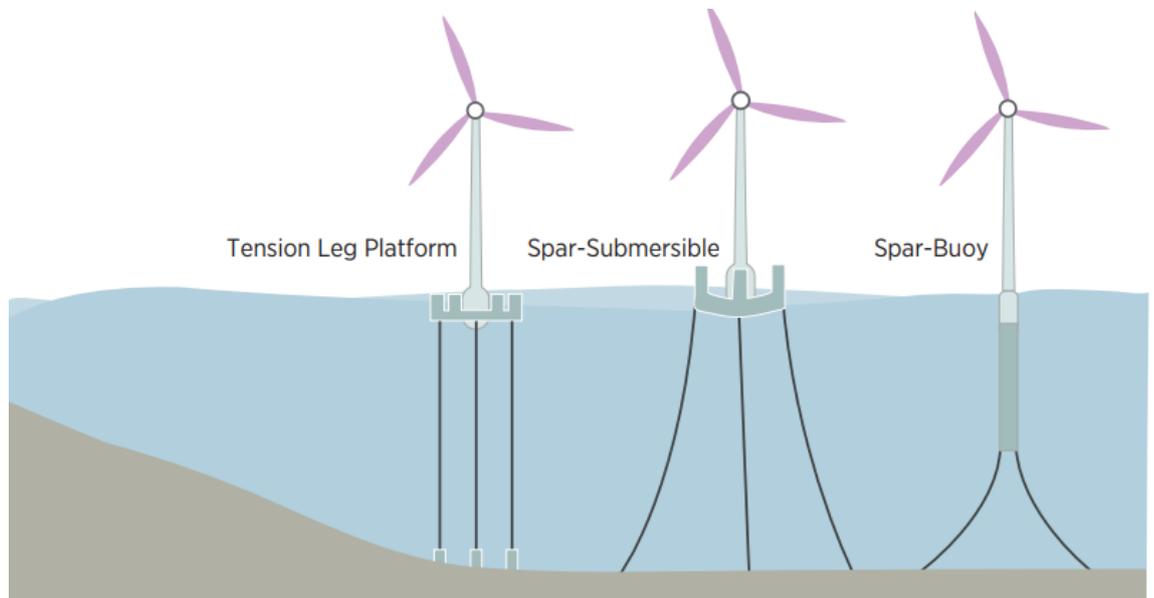
A figura 4 mostra os tipos de fundação fixa utilizados nos projetos (IRENA, 2018):

- *Gravity base*: esse tipo de fundação é o mais apropriado para águas rasas e com o fundo do mar plano. Consiste em uma grande base de concreto ou de aço que repousa sobre o fundo do mar;
- *Suction bucket*: se utiliza de uma estrutura que bombeia água para fora para reduzir a pressão dentro da estrutura. A pressão junto com o peso da fundação é o que mantém a estrutura fixa no fundo do mar;
- *Monopile*: utilizado normalmente em profundidades de até 30 metros, esse tipo de fundação é instalado via perfuração e representa a maior parte do mercado;
- *Tripod*: esse tipo de fundação tem como base tecnológica a experiência da indústria de petróleo e gás e consiste em uma estaca de aço alocada embaixo da torre da turbina e de outra de três pernas fixadas no fundo do mar e não requer preparação do leito marinho;
- *Jacket*: outra tecnologia muito utilizada na indústria de petróleo e gás, sua estrutura é baseada em uma treliça de três ou quatro pernas com estacas de canto interconectadas com contraentamentos com diâmetros de até 2m cravadas no leito do mar para ganhar estabilidade.

Até 2021, praticamente todos os projetos em operação utilizavam estruturas fixas com o *monopile* dominando (64,4%) o total instalado, seguido pelos *jackets* (11,6%). Uma das

vantagens do *monopile* é que sua cadeia produtiva se apresenta bastante desenvolvida o que o torna mais vantajoso em relação aos custos de produção (MUSIAL *et al*, 2022).

Figura 5: Exemplos de estruturas com fundação flutuante



Fonte: IRENA, 2018

As turbinas flutuantes são geralmente instaladas em profundidades superiores a 50 metros, onde há um maior potencial do vento. Os tipos de fundação flutuantes podem ser observados na figura 5. Este tipo de instalação foi pensado de modo a aproveitar ao máximo o recurso eólico e causar menos impactos no leito marinho (IRENA, 2018). Segundo Musial *et al* (2022), a maioria dos projetos deve utilizar estruturas submersíveis pois fornecem uma estabilidade hidrodinâmica após a instalação da turbina, que pode ser instalada e comissionada no cais e rebocada para o local sem que seja necessário utilizar embarcações de instalação pesadas.

Em 2021, três eólicas flutuantes entraram em operação, totalizando 57,1 MW de nova capacidade, e, além disso, no mesmo ano as projeções para eólicas flutuantes mais que dobraram. Isso se deu em razão dos novos projetos na Coreia do Sul, Reino Unido, Brasil e Austrália (MUSIAL *et al*, 2022).

Uma das barreiras para a redução de custos das eólicas flutuantes são as economias de escala. O ainda reduzido mercado para essa tecnologia impede que os fornecedores operem nas escalas mínimas eficientes e dessa forma reduzam os seus custos produtivos. Além disso, os portos e as indústrias para as eólicas flutuantes possuem especificidades que os diferenciam da cadeia das eólicas de estrutura fixa (MUSIAL *et al*, 2022).

2.3 PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE AS EÓLICAS *OFFSHORE* E *ONSHORE*

As principais diferenças entre os parques eólicos *onshore* e *offshore* estão relacionadas às suas dimensões e especificidades de instalação. Os parques eólicos *offshore* são mais complexos e demandam mais tempo devido às grandes dimensões e a instalação, operação e manutenção no ambiente marinho, aumentando a necessidade de mais investimentos e oferecendo mais riscos (MARKARD; PETERSEN, 2009).

Outra diferença é o tamanho das turbinas. As turbinas eólicas *offshore* são maiores do que as *onshore*, visto que as barreiras de transporte e instalação não limitam o aumento de tamanho das turbinas offshore. No caso das turbinas offshore, o aumento da escala geralmente ocorre com o aumento do diâmetro do rotor e na classificação da potência de geração. Comumente as empresas desenham um novo design de plataforma para turbina com margem suficiente para aumentar a classificação nominal do gerador com o mesmo rotor, permitindo maior potência e produção de energia na mesma estrutura da nacelle sem necessidade de reequipar a produção da pá, além de permitir atualizações rápidas para maior capacidade (MUSIAL *et al*, 2022).

Segundo o GWEC (2022b), os diâmetros dos rotores aumentaram quase 50% para 163 metros até 2020, enquanto os tamanhos das turbinas aumentaram 138% para uma média de 8 MW na última década. Isso permitiu que os fatores de capacidade eólica offshore atingissem novos patamares, chegando a 44% na Europa em 2020. Espera-se que o avanço e a padronização técnica da tecnologia eólica flutuante na próxima década conduzirão a conquistas semelhantes em desempenho e utilização.

2.5 CONCENTRAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA

A cadeia de valor do setor eólico segundo Markard e Petersen (2009) é composta por 6 pontos:

- i. Produção de turbinas: inclui o desenvolvimento e a produção de turbinas e equipamentos auxiliares;
- ii. Desenvolvimento de projetos: inclui planejamento, licenciamento, arrendamento da terra (*onshore*) e a construção do parque;
- iii. Investimento: é relacionado a obtenção de capital financeiro para o parque;

- iv. Operação: trata do gerenciamento do negócio em andamento, incluindo medição e faturamento da geração de eletricidade e manutenção de componentes técnicos;
- v. Gestão de carga e distribuição de energia: atividades muitas vezes combinadas com o equilíbrio do fornecimento de energia intermitente de parques eólicos e a distribuição e venda para os consumidores finais;
- vi. Outros: análise de impacto ambiental, seguro do parque eólico, fornecimento de serviços e recursos meteorológicos.

As mudanças estruturais que ocorreram na indústria eólica com o desenvolvimento da eólica *offshore* geraram diversas consequências para os produtores de turbinas, desenvolvedores de projetos, investidores, associações e formuladores de políticas (MARKARD; PETERSEN, 2009). Como resultado, nos últimos anos pôde-se observar uma tendência de busca por um equilíbrio mais sustentável e competitivo por parte dos fornecedores entre a integração vertical do fornecimento de componentes e a terceirização completa de componentes para adequar seus projetos de turbina (GWEC, 2022b).

A cadeia de fornecimento da eólica *offshore* é mais diversa do que a *onshore*. Além da operação e manutenção e de componentes como nacelles, pás, geradores, conversores e caixas de engrenagem, a cadeia de fornecimento eólica *offshore* inclui também fornecedores de cabeamento, fundações, subestações, bem como serviços de engenharia, aquisição e construção e empreiteiros de instalação (GWEC, 2022b).

Para Markard e Petersen (2009), uma vez que os projetos eólicos *offshore* estão associados a grandes riscos financeiros, estes favorecem a entrada de grandes empresas do setor de eletricidade, petróleo e gás, que possuem em seus balanços recursos financeiros para arcar com esse tipo de situação. Para além dos riscos financeiros, vale lembrar que o setor de petróleo e gás possui competências de longo prazo na operação de plantas *offshore*.

No que concerne o desenvolvimento propriamente dito das usinas eólicas, quatro *fatores indutores* merecem ser ressaltados para a boa consecução dos projetos: i) cadeia global de turbinas eólicas; ii) competição por matéria-prima; iii) qualidade da infraestrutura e iv) qualificação da mão de obra

Cadeia Global de Turbinas Eólicas

Segundo o GWEC (2022b), a cadeia global de fornecimento de turbinas eólicas inclui:

- Fabricantes de equipamento original de turbinas;

- Fornecedores de componentes essenciais para nacelles, pás, geradores e conversores, caixas de engrenagens, rolamentos e equipamentos de controle;
- Empresas de engenharia e construção;
- Fornecedores de matérias-primas e maquinário pesado, montagem, operação e manutenção (O&M) e outros serviços.

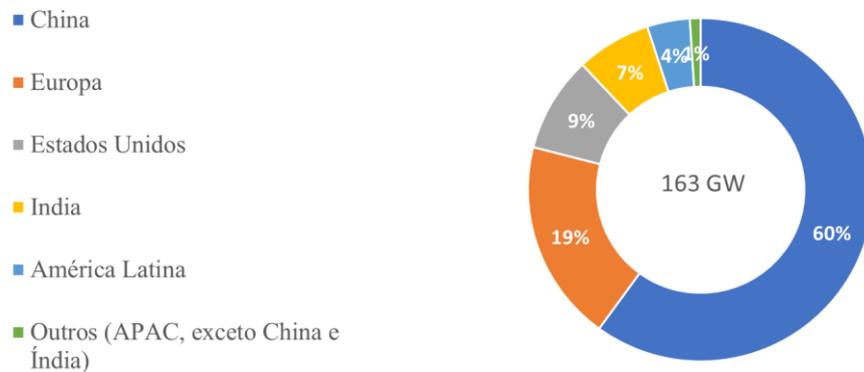
Entre 2013 e 2020, o número de fabricantes de equipamento de turbinas eólicas caiu de 63 para 35, o que demonstra um processo de concentração na fabricação de vários componentes em uma única empresa ou rede de parceiros locais. Ao longo dos anos, a produção se deslocou para mercados com demanda doméstica relevante como China, Europa, Índia, EUA e Brasil, os cinco maiores centros de exportação e produção de energia eólica no mundo. Esses locais possuem em comum uma cadeia de valor local estruturada para o atendimento das necessidades do setor eólico offshore (GWEC, 2022b).

Nesse sentido, a presença de mão de obra qualificada para elaboração de projetos de engenharia e para o desenvolvimento de novas tecnologia, o forte incentivo ao empreendedorismo necessário para o desenvolvimento de novos negócios, a existência de uma infraestrutura robusta de pesquisa e desenvolvimento, a densa malha logística de movimentação de carga e uma estruturada cadeia de fornecedores de serviços de instalação, operação e manutenção, trazem grandes vantagens para esses países (GWEC, 2022b).

Entre as áreas citadas acima, a Ásia engloba a maior parte dos fornecedores globais de turbinas eólicas (Gráfico 3), a maior parte fornecedores globais baseados na região da Ásia-Pacífico (APAC). Nessa região, a China merece destaque, sendo a principal base para fabricação de componentes de turbinas eólicas, assim como uma grande fornecedora de geradores, pás, engrenagens e matérias primas para o restante do mundo. O país abrigava até 2022, 100 fábricas de montagem de nacelles com mais 64 em processo de construção, o que possibilita uma produção anual de nacelles que juntas somam 98 GW de capacidade (GWEC,2022b, GWEC, 2023).

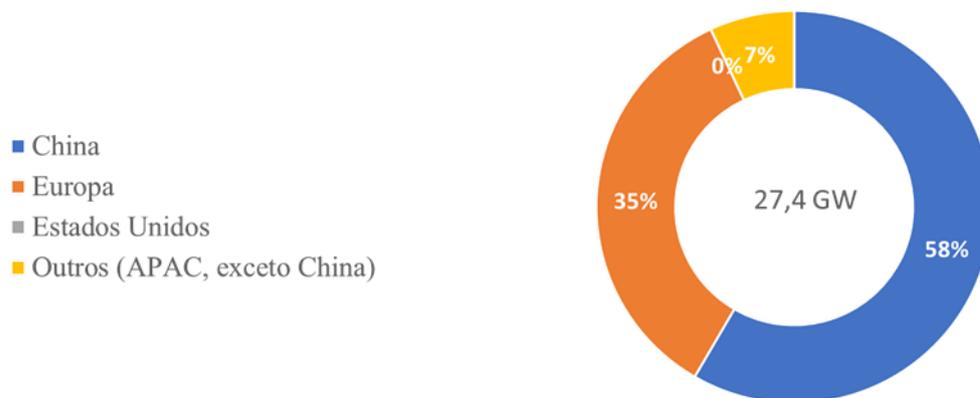
Olhando para o ocidente, a Europa é o segundo maior fornecedor global de pás e geradores, seguida pelos EUA. Na América Latina, o Brasil se destaca como um grande fornecedor de lâminas para o mercado mundial. Vale ressaltar também que três principais fornecedores de turbinas – Vestas, Siemens Gamesa Renewable Energy e GE Renewable Energy – no ocidente possuem parcerias com outras empresas localizadas em diversos países (GWEC, 2022b).

Gráfico 3: Capacidade global de produção de turbinas em 2023¹



Fonte: GWEC,2023.

Gráfico 4: Capacidade mundial de produção de turbinas eólicas *offshore* (%)



Fonte: Elaboração própria a partir de GWEC, 2023

Em comparação com a cadeia de fornecimento de turbinas *onshore*, a cadeia *offshore* é muito mais concentrada, com 99% da instalação eólica *offshore* até 2022 concentrada na Europa e na região da APAC (GWEC,2023). Em 2021, 10 fabricantes foram responsáveis pela instalação de 3.340 turbinas offshore. Destes, 7 são chineses, 2 europeus e 1 japonês. No entanto, vale ressaltar que nenhuma turbina chinesa foi instalada fora da China (GWEC, 2022).

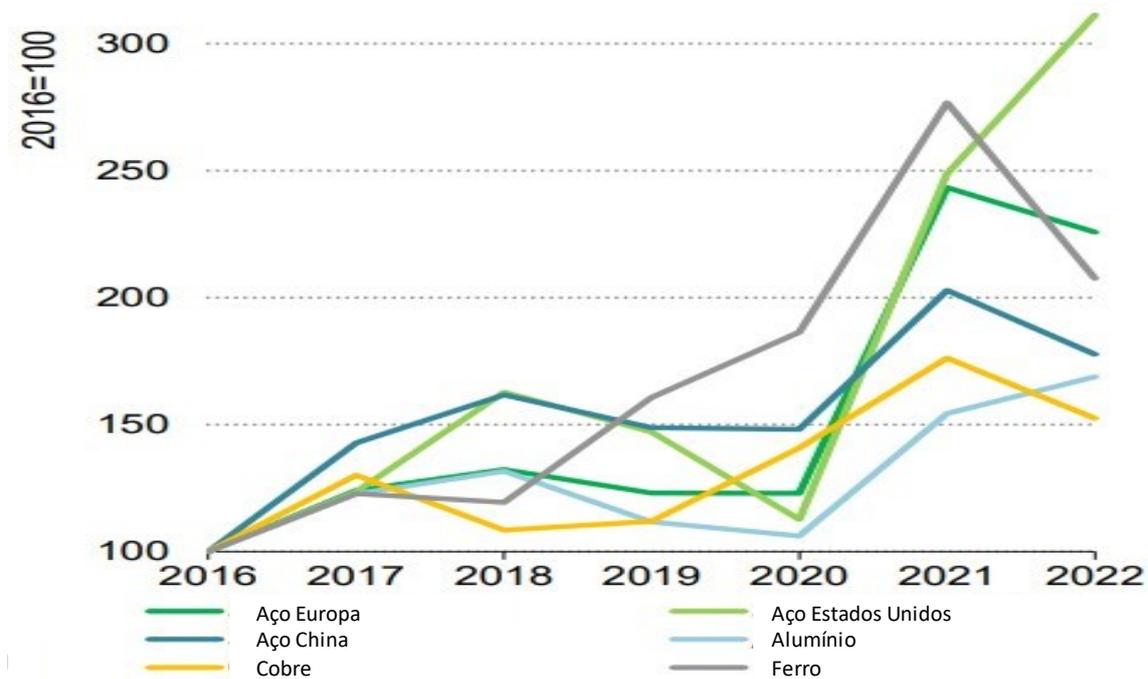
¹ Observação: a capacidade de fabricação de turbinas eólicas refere-se à capacidade de montagem da nacela da turbina eólica e não representa a produção real da nacela em 2023

Competição por matéria-prima

As tecnologias de produção de energia renovável são intensivas em capital, o que faz com que sejam mais suscetíveis às pressões que afetam o custo das matérias primas e o financiamento em relação aos outros tipos de energia. A invasão da Rússia na Ucrânia em 2022, por exemplo, gerou fortes tensões nos mercados de alguns tipos de minerais que são indispensáveis para a produção de equipamentos para usinas eólicas e solar. No final de 2021, alguns desses minerais chegaram a ter 200%, o que fez com que os fabricantes tivessem que repassar esses custos, como pode-se ver no gráfico 5 (IEA, 2022).

Alguns materiais necessários para a construção de um parque eólico offshore são: aço de baixa liga e elétrico, cobre, aço (ferro fundido cinzento), isolamento XLPE, aço cromo de alta liga, concreto protendido, material NdFeB, Polipropileno, fibra de vidro e chumbo (IRENA,2018).

Gráfico 5: Índice de preços de matérias-primas industriais selecionadas



Fonte: IEA, 2023

Além do aumento do custo das matérias primas, o setor de geração de energia eólica *offshore* enfrenta o desafio de competir com a indústria de petróleo os recursos necessários, em especial na fase de instalação. Assim, embora a similaridade tecnológica entre a indústria eólica *offshore* e a indústria de petróleo seja uma grande oportunidade, principalmente para os países que se destacam na produção *offshore* de hidrocarbonetos, ela também pode se configurar como um grande desafio. Edwards (2011) apresentou alguns desses obstáculos:

- Disputa por cobre para cabos, de minerais de terras raras para ímãs permanentes de alta permeabilidade, e por transformadores, geradores etc.;
- Capacidade de fundição e forjamento: para rolamentos, eixos e sistemas de engrenagem;
- Semicondutores de alta potência: para controle, condicionamento de energia e conversão AC/DC; e
- Fibra de carbono de alto módulo: para pás e turbinas eólicas.

A China domina as operações de processamento e refino dos principais minerais associados à produção de turbinas eólicas, com uma participação majoritária no mercado global de cobre (40%), níquel (35%) e *Rare Earth Elements* (REEs) (87%). Essa concentração da produção, no entanto, pode ocasionar efeitos negativos como: conflitos geopolíticos associados a disputa por esses materiais, riscos ambientais, trabalhistas, humanos e econômicos associados às estruturas regulatórias menos expostas à padrões internacionais; maior elasticidade de preços devido à poucos fornecedores, tornando o mercado vulnerável a externalidades. Diante desses desafios é importante pensar em como promover estratégias para garantir o abastecimento destes materiais, neste sentido, a reciclagem pode auxiliar na questão do fornecimento de alguns minerais como cobre, níquel e alumínio (GWEC, 2022b).

Uma solução para maximizar o potencial de geração de valor de um projeto eólico *offshore*, é a produção interna de alguns equipamentos, produtos intermediários e matérias primas. Esses produtos devem levar em consideração fatores como resistência à corrosão, durabilidade do material, peso e especificações do produto, adaptados às condições adversas que enfrentarão: águas profundas, alta salinidade, impacto das ondas etc. (IRENA,2018). Segundo a IRENA (2018), as decisões relativas à fabricação local de componentes dependerão principalmente de:

- 1) O nível de demanda local ou regional esperado para energia eólica;
- 2) A existência de políticas governamentais para exigir ou incentivar a criação de valor local;
- 3) A disponibilidade de matérias-primas e presença de indústrias nacionais relacionadas;
- 4) A capacidade de superar altos custos e desafios logísticos relacionados ao transporte de equipamentos volumosos.

Infraestrutura

A falta de infraestrutura é um grande desafio para o desenvolvimento da energia eólica. Neste sentido, são necessários investimentos em redes de transmissão, sistemas de distribuição, rodovias, portos etc. (GWEC, 2022b). Em relação às eólicas *offshore*, a quantidade de embarcações capazes de carregar uma turbina de 15 MW também se mostra um desafio. Este tipo de embarcação leva em média três anos para ser construída e custa aproximadamente US\$ 500 milhões. No curto prazo, uma solução apontada é a utilização de embarcações de serviço de plataformas de petróleo e gás que podem ser adaptadas e realocadas (MUSIAL *et al*, 2022).

Em relação ao transporte dos equipamentos *offshore*, esse é um dos maiores desafios visto que algumas peças são muito pesadas e volumosas para serem transportadas em longas distâncias. Para mitigar este tipo de problema, é necessário que os fornecedores estejam perto dos portos, onde serão necessários caminhões e depois embarcações especializadas. Alguns itens, no entanto, devem ser fabricados diretamente no porto por serem muito pesados, como as plataformas, fundações e subestações. Essas estruturas são fabricadas diretamente no cais mais próximo ao local onde o parque será instalado posteriormente (IRENA, 2018).

Qualificação da Mão de obra

Em relação à força de trabalho, segundo o GWEC (2022b), são necessários trabalhadores qualificados com formações em diversas áreas como ciência, tecnologia, engenharia, matemática, marketing, bem como profissionais como advogados, especialistas em logística, especialistas em regulação e padronização e pessoal administrativo.

O nível de emprego demandado em um parque eólico varia ao longo da cadeia de valor, sendo o setor de manufatura e compras o que mais emprega de acordo com a IRENA. Já a fabricação de equipamentos oferece a maior parte das oportunidades de trabalho no setor (IRENA, 2018). A análise da distribuição de empregos ao longo dos diferentes segmentos da cadeia de valor concentra-se em seus segmentos principais: planejamento de projeto, aquisição e fabricação (59%), transporte, instalação e conexão à rede (11%), operação e manutenção (24%) e descomissionamento (IRENA, 2018).

Simas e Pacca (2013) diferenciam os tipos de emprego que podem ser gerados pela energia eólica e outros tipos de renováveis em três categorias:

- Empregos gerados durante o desenvolvimento tecnológico: Exigem um nível de especialização muito alto, e inclui P&D e fabricação de equipamentos;

- Empregos gerados durante a fase de instalação e descomissionamento de usinas: Exigem um nível de especialização alto, e incluem planejamento, gestão de projetos, transporte e construção de usinas;
- Operação e Manutenção: Exigem um nível de especialização médio e inclui os serviços de operação e manutenção e a geração e distribuição de energia.

Para os autores, para que o nível de emprego local seja maior e mais estável, é necessário investir em inovação e desenvolvimento tecnológico regional, além da qualificação da mão de obra, visto que os empregos gerados no período de construção dos parques são temporários (SIMAS; PACCA, 2013).

O relatório Capturar Oportunidades de Recuperação Verde com a Energia Eólica nas Economias em Desenvolvimento do GWEC, ao analisar a experiência internacional da indústria eólica *onshore* estimou que normalmente há uma taxa de instalação de 1 GW/ ano ao longo de cinco anos. Deste modo, estima-se que é possível criar até cem mil empregos e gerar até US\$ 12 bilhões de valor agregado bruto para as economias nacionais ao longo da vida útil dos parques eólicos (GWEC,2022c).

A IRENA (2018) estima que o setor eólico empregou mais de um milhão de pessoas em 2017 e tem potencial para criar o dobro de empregos até 2050. Segundo a agência, gerar renda e empregos a partir da eólica *offshore* dependerá do quanto a indústria local poderá alavancar as atividades econômicas existentes. Ademais, a agência aponta que há muitas sinergias que podem ser aproveitadas do setor offshore de petróleo e gás.

A fabricação dos principais componentes exige uma mão de obra com habilidades de média à baixa complexidade. Para a construção de fundações e subestações, os trabalhadores podem precisar de algum conhecimento *offshore*, sendo uma oportunidade de migração para os trabalhadores com experiência no desenvolvimento e perfuração de plataformas de petróleo *offshore*. Já para posições de produção dos subcomponentes tecnologicamente avançados, como a caixa de engrenagens, o gerador e a eletrônica, exige-se habilidades altamente especializadas (IRENA, 2018).

Para que a fabricação doméstica dos componentes de um parque eólico *offshore* tenha êxito, é necessário, além de um grande aporte inicial de capital, que haja suporte como o acesso à financiamento e habilidades, competitividade no mercado regional e global e acesso à subcomponentes e matérias-primas, além de saber utilizar a capacidade de aproveitar os conhecimentos e capacidades existentes em outras indústrias como aeronáutica e construção, ou petróleo e gás (IRENA,2018).

2.4 CONCLUSÃO

A energia eólica é uma fonte que vem crescendo em ritmo acelerado nos últimos anos. Entretanto, a cadeia produtiva eólica ainda possui alguns desafios a serem enfrentados, como a competição por matéria prima, a qualificação da mão de obra e a infraestrutura.

O desenvolvimento de uma cadeia de abastecimento local depende fortemente de políticas de apoio para criação das capacidades necessárias, como acesso à crédito e políticas de industriais e de inovação. No caso da eólica *offshore*, algumas capacidades podem ser aproveitadas ou adaptadas em indústrias existentes como a de petróleo e gás.

No próximo capítulo será apresentado o referencial teórico de Sistemas Nacionais de Inovação junto com um histórico de como se desenvolveu a indústria de petróleo e gás brasileira a partir desse referencial. No quarto capítulo será retomada a questão da energia eólica, desta vez analisando as políticas de apoio a essa fonte no Brasil e no mundo, buscando avaliar o quanto essas políticas foram importantes para o desenvolvimento desta fonte.

CAPÍTULO 3: O SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS BRASILEIRO

As inovações tecnológicas têm se mostrado um fator importante na promoção do crescimento e desenvolvimento de diversos países. A partir da década de 1970, diversos estudos passaram a analisar o conceito de inovação como um processo sistêmico. Esse movimento possibilitou que no início dos anos 80 se desenvolvesse o termo Sistema Nacional de Inovação.

Dessa forma, passou-se a se considerar que as decisões e estratégias tecnológicas são dependentes de fatores mais amplos e coordenados, ou seja: empresas, sistemas financeiros e educacionais, organização do trabalho, questões políticas e organizacionais, entre outros fatores contribuem, de forma interdependente, para a capacidade de aprendizagem e inovação de um país.

A indústria de petróleo e gás no Brasil possui uma história marcada por grandes esforços em pesquisa e desenvolvimento que possibilitaram o domínio de novas tecnologias para exploração de petróleo em águas profundas e ultra profundas. Esses investimentos possibilitaram que o país assumisse uma posição de destaque na exploração mundial de petróleo e gás *offshore*. A trajetória de exploração de petróleo e gás no país mostrou que a simples aquisição de tecnologia no exterior, sozinha, não era suficiente, sendo necessários esforços locais na formação de mão de obra qualificada e no desenvolvimento nacional de novas tecnologias adaptadas para a realidade brasileira.

O foco de análise deste capítulo é o Sistema Nacional de Inovação na cadeia de petróleo e gás natural (conjunto de instituições e políticas que afetam o processo inovativo) em particular o papel desempenhado pela Petrobras nesse processo. Aqui será apresentada brevemente a história da indústria petrolífera no Brasil, destacando as dificuldades e desafios para se encontrar petróleo no país, a criação da Petrobras e as primeiras descobertas de petróleo na Bacia de Campos. Outro ponto a ser analisado é a atuação da Petrobras em conjunto com outras empresas e instituições frente às dificuldades tecnológicas na exploração de petróleo e gás em águas profundas e ultra profundas.

O capítulo será dividido em duas partes além da introdução e conclusão. A primeira parte terá como objetivo apresentar o conceito de inovação e sua evolução dentro das teorias econômicas da firma, além do arcabouço teórico neo-schumpeteriano e o conceito de Sistemas Nacionais de Inovação. A segunda parte terá como foco a análise do desenvolvimento da exploração de petróleo e gás *offshore* no Brasil, a partir de três subsistemas: produção e inovação; capacitação, pesquisa, serviços tecnológicos e política de representação e

financiamento. Esses subsistemas serão analisados em dois períodos diferentes, o período entre a criação da Petrobras e a quebra do monopólio e o período pós 1997, quando há a liberalização do mercado de petróleo e gás brasileiro.

3.1 TEORIAS DA FIRMA: TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E O PROGRESSO TÉCNICO

Se olharmos para as três principais correntes teóricas que estudam a firma, as três apresentam visões conceituais, metodologias e ideologias que diferem sobre os fatores que influenciam no crescimento econômico. Paulo Tigre (2005) analisou a evolução das teorias da firma a partir das mudanças tecnológicas ocorridas em três paradigmas que se baseiam em contextos institucionais, históricos e setoriais diversos: a revolução industrial britânica no século XIX, que formou a base para a análise neoclássica; o paradigma fordista, dominante na maior parte do século XX e que deu origem a economia industrial e; o paradigma das tecnologias da informação, cuja construção teórica está baseada nas correntes evolucionistas e neo-institucionalistas com origem nas décadas de 70 e 80 (TIGRE, 2005).

Segundo Dosi (1982), existem duas correntes distintas que buscam reconhecer as origens e os contextos da atividade inovadora na literatura econômica. Essas correntes buscam definir os elementos comuns entre uma ampla gama de invenções a fim de encontrar um motor principal da atividade inovadora. Essas duas correntes são as teorias “*demand-pull*” que apontam as forças de mercado como as principais determinantes da mudança técnica e a “*tech-push*” que define a tecnologia como um mecanismo autônomo ou quase autônomo, pelo menos no curto prazo.

Dosi (1982) coloca o processo inovador pela teoria “*demand-pull*” dentro do quadro neoclássico, ainda que considere que existam dificuldades consistentes. Os autores neoclássicos se utilizavam da ideia de equilíbrio geral e parcial em um modelo abstrato de explicação do mercado com foco nas teorias de preços e alocação de recursos e na racionalidade perfeita dos agentes. Nesse sentido, o progresso técnico é tido simplesmente como um fator responsável pela expansão da fronteira de possibilidades de produção (DOSI, 1982, TIGRE, 2005, CORAZZA; FRACALANZA, 2004).

Apesar de perceberem a influência das mudanças tecnológicas e organizacionais sobre a estrutura industrial, esses autores não incorporaram de imediato esses fatores à sua teoria, uma vez que possuíam instrumentos e variáveis de análise limitados. Para eles a tecnologia era tida como disponível no mercado e a firma era um ator passivo. Essa visão perdurou por décadas até o desenvolvimento das estatísticas econômicas que permitiram o aperfeiçoamento das

análises empíricas, que tinham como foco o grau de concentração da indústria e o aumento da produtividade (TIGRE, 2005).

A partir da década de 1920 foi observado um aumento das inovações técnicas, com destaque para a eletricidade e o motor a combustão, assim como das inovações organizacionais, como o fordismo, que alteraram a dinâmica da acumulação de capital. Essas mudanças vieram acompanhadas de um questionamento do realismo e da coerência dos modelos neoclássicos e levaram, conseqüentemente, a um novo paradigma a partir de uma nova trajetória de organização da firma (TIGRE, 2005).

A firma deste período tem origem e crescimento associados a uma série de eventos interligados e associados às economias de escala e escopo, sendo o oligopólio a forma mais simbólica da estrutura da indústria no período. A inovação assume papel de destaque dentro do processo competitivo deixando de ser uma variável exógena e sim o resultado das estratégias de diferenciação das firmas. Neste momento, são incorporadas outras variáveis à análise das formas de organização industrial e da competição, sendo a inovação tecnológica uma delas. Dentre as contribuições, vale a pena destacar a análise do processo de diferenciação de produto e das atividades de P&D (TIGRE, 2005).

No último quartil do século XX, mais mudanças iriam impactar esse cenário. O novo paradigma que surgia com as mudanças provocadas pelas inovações em tecnologia da informação mudou radicalmente a forma como se dava o processo competitivo. Esse processo levou a uma mudança organizacional, com trocas intensivas de informação e conhecimento ao mesmo tempo em que ocorria a liberalização dos mercados (TIGRE, 2005).

Nesse contexto, uma nova teoria da firma começa a se desenvolver visando entender este novo paradigma. A teoria econômica conhecida como evolucionista ou neo-schumpeteriana surge nesse contexto buscando resgatar a contribuição de Schumpeter sobre o papel do progresso técnico no processo evolutivo das firmas e mercados (TIGRE, 2005).

3.2 A TEORIA NEO-SCHUMPETERIANA

Segundo Corazza e Fracalanza (2004), a abordagem neo-schumpeteriana tem como base os trabalhos de Schumpeter e se contrapõe à abordagem neoclássica de tecnologia à medida que enxerga a dinâmica tecnológica como o motor do desenvolvimento das economias capitalistas. Essa corrente teórica identifica a existência de um comportamento de busca que está na base da inovação e assegura, a princípio, as transformações, ou seja, as mutações de firmas, indústrias e do próprio sistema econômico como um todo. Isso significa que a inovação não é resultado de análises de custo-benefício como na teoria neoclássica, e sim “um processo

guiado por uma heurística de busca, com base em experiências prévias, tentativas, sucessos e fracassos” (CORAZZA; FRACALANZA, 2004).

Corazza e Fracalanza (2004) comparam a visão neo-schumpeteriana com o papel dos genes na biologia que “assumem a forma de rotinas a serem seguidas pelos agentes econômicos e da coleção de ativos que uma firma dispõe”. A noção de rotina, segundo os autores, é relevante à medida que as tarefas cotidianas, ao serem desempenhadas, criam uma experiência pregressa que leva respostas aos problemas frequentes. Por ter como característica a repetição, uma rotina possibilita que as tarefas sejam executadas de maneira progressivamente melhor e mais rápida, levando a novas oportunidades de produção via experimentação. Vale ressaltar que por não serem sempre equivalentes, as rotinas e os ativos sofrem com mudanças devido a processos de aprendizagem, que não são idênticos, o que ocasiona a diversidade (CORAZZA; FRACALANZA, 2004).

Nesse contexto, em seu conhecido artigo, Dosi (1982) propõe uma nova definição de tecnologia. Ele enxerga a tecnologia como um conjunto de saberes, know-how, métodos, procedimentos, experiências tanto de sucesso quanto de fracassos, e dispositivos e equipamentos físicos. Além desses fatores mencionados, o autor também aponta a existência de uma parte “desincorporada” da tecnologia que engloba conhecimentos específicos, experiências, tentativas e soluções tecnológicas passadas, a percepção de alternativas tecnológicas possíveis, entre outros fatores.

No mesmo artigo, o autor também apresenta sua definição de paradigma tecnológico. Segundo Dosi (1982), cada paradigma possui uma definição própria de progresso de acordo com seus *trade-offs* específicos. Os paradigmas possuem diversas restrições sobre as direções que as mudanças técnicas podem seguir e sobre as quais não devem seguir, tendo um poderoso efeito de exclusão, se tornando “cegos” em relação a outras possibilidades tecnológicas. Um paradigma tecnológico pode ser definido como um conjunto de procedimentos, uma definição de problemas considerados relevantes e dos conhecimentos específicos relacionados com a solução desses problemas.

Podemos dizer que uma característica importante de um paradigma tecnológico é que existe uma estrutura cognitiva que envolve a forma de interpretação do problema e os princípios empregados para sua solução a qual é partilhada por toda a comunidade tecnológica e pelos agentes econômicos e com base na qual procuram-se melhorias em eficiência de processo e desempenho de produto (Corazza; Fracalanza, 2004, p.134).

A primeira introdução de um produto geralmente ocorre de forma relativamente primitiva e, posteriormente, ele é submetido a uma série de melhorias incrementais, que levam

a reduções nos custos de produção e aumento na qualidade, desempenho, confiabilidade, e outros aspectos que possam levar ao aumento de seu mercado. Essas melhorias podem ser entendidas como trajetórias, que da introdução até a maturidade de uma tecnologia pode ser representada por uma curva em formato de S, que se acelera no início e se desacelera no final (FREEMAN; SOETE, 1997).

Os paradigmas possuem uma trajetória tecnológica específica. Uma trajetória pode ser entendida como um movimento de *trade-offs* multidimensionais entre as variáveis tecnológicas relevantes ou um aglomerado de possíveis direções tecnológicas cujas fronteiras são definidas pelo paradigma. O progresso técnico pode ser entendido como a melhoria desses *trade-offs* (DOSI,1982). Freeman (1995) aponta que a difusão de um novo paradigma tecnológico pode ser entendida como um processo de tentativa e erro que envolve uma grande variedade institucional.

Quando uma trajetória se mostra muito poderosa, se torna difícil a mudança para uma trajetória alternativa, visto que o conhecimento tecnológico se desenvolve a partir de conhecimentos que foram acumulados anteriormente, uma característica que pode ser definida como uma dependência de trajetória. Essa dependência também tem como característica a irreversibilidade, visto que, uma vez que uma mudança compatível com o sistema é realizada atingindo-se um novo patamar, não é possível retornar à situação anterior (DOSI, 1982; CORAZZA; FRACALANZA, 2004).

Um ponto importante, é que o auto-reforço dos conhecimentos acumulados pode levar ao aprisionamento, ou *lock-in* do progresso tecnológico, visto que reforça alguns tipos de solução que não seriam necessariamente as mais adequadas ou desejáveis para determinado problema, e pode ter como causa eventos históricos (CORAZZA; FRACALANZA, 2004). Nas palavras de Freeman e Soete (1997), um exemplo de aprisionamento é o investimento anterior numa tecnologia velha e estabelecida, que pode desacelerar a difusão da inovação, uma vez que nos traz a questão do fenômeno da concorrência entre tecnologias, no qual a nova tecnologia compete inicialmente com a tecnologia pré-existente de modo desigual.

Segundo Lastres et al (2014) devemos também diferenciar inovação e conhecimento, uma vez que nessa teoria não são sinônimos como na teoria neoclássica. Os autores também diferenciam o conhecimento tácito do codificado, onde o primeiro é de difícil transmissão devido à aprendizagem de processos que dependem de contextos e formas de interação social, enquanto o segundo, quando transformado em informação, pode ser reproduzido, armazenado, transferido e vendido.

Sobre a difusão das inovações, é importante lembrar que esta se torna essencial para que haja um impacto macroeconômico resultante. A difusão da inovação depende de fatores como: inovações complementares, presença de uma infraestrutura apropriada, quebra da resistência de empresários e consumidores, mudanças na legislação e aprendizado na produção e uso das novas tecnologias (TIGRE, 2005).

Segundo Freeman & Soete (1997):

“... tirar proveito das novas oportunidades e de condições favoráveis requer a capacidade de reconhecê-las, a competência e a imaginação para conceber uma estratégia adequada, as condições sociais e a vontade política para levá-las a efeito”

Para os autores evolucionistas, as trajetórias tecnológicas diferentes e a grande variedade de estruturas de mercado e de características institucionais dos ambientes nos quais as firmas evoluem, podem ser explicadas pela pluralidade dos ambientes de seleção. Sendo assim, é necessário conhecer características como barreiras à entrada, regulamentação, grau de competição e as possibilidades de explorar economias de escopo (TIGRE, 2005).

A seleção de novas tecnologias ocorre via uma interação complexa entre alguns fatores econômicos fundamentais como “busca de novas oportunidades de lucro e de novos mercados, tendência a economia de custos e automação, incluindo fatores institucionais poderosos, interesse e estrutura das empresas existentes, os efeitos das agências governamentais, etc” (DOSI, 1982). A variedade e a diversidade tecnológica e as formas em que essa variedade se apresenta se traduz em oportunidades e resultados tecnológicos que influenciam a capacidade de inovação das empresas, suas “trajetórias” ou a direção em que as empresas inovam (OCDE, 2004).

No ambiente seletivo, segundo a interpretação neo-schumpeteriana, os mecanismos de seleção atuam sobre os “genes” (rotinas, processos de busca, ativos e competências) e sobre as “mutações” (inovações) (CORAZZA & FRACALANZA, 2004). Segundo Tigre (2005), o processo de seleção ocorre dentro de um ambiente específico onde vários fatores como a qualidade das instituições técnicas e científicas, das estratégias do setor privado, dos estímulos e financiamento às inovações possuem papéis importantes. Tanto os fatores tecnológicos e científicos, quanto os fatores econômicos e sócio-políticos influenciam nas trajetórias tecnológicas que, para o autor, raramente são “naturais”.

Ao apresentarem interdependências técnicas e em relação ao nível de qualificação dos usuários, entende-se que uma tecnologia não pode ser constituída isoladamente. Isso implica na noção de que as tecnologias se desenvolvem a partir de sistemas tecnológicos com técnicas,

equipamentos e o conhecimento necessário inter-relacionados de modo sistêmico (CORAZZA; FRACALANZA, 2004).

3.3 SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO

A partir da década de 1970, o conceito de inovação passou a ser entendido como um “processo sistêmico, não-linear e não isolado” (CASSIOLATO; LASTRES, 2008). Segundo o Manual de Oslo:

“O novo pensamento sobre inovação fez surgir a importância dos sistemas e levou a uma abordagem mais integrada da formulação e implantação de políticas ligadas à inovação” (OCDE, 2004, p. 32).

Até então, inovação era vista como algo que acontecia em etapas e relacionada a pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento, produção e disseminação (visão linear da inovação). A discussão se dividia entre aqueles que atribuíam maior importância ao avanço do desenvolvimento científico (*Science Push*) e aqueles que enfatizavam o impacto da demanda por novas tecnologias (*Demand Pull*). A ideia do *Science Push x Demand Pull* é desmistificada no fim desse período com o processo inovativo se consolidando como um processo não linear capaz de envolver conhecimentos resultantes tanto da experiência externa acumulada quanto da interação entre todos os tipos de organização (LASTRES *et al*, 2014).

No início dos anos 80, as decisões e estratégias tecnológicas passaram a ser percebidas como dependentes de fatores mais amplos como, por exemplo, o sistema financeiro, educacional e a organização do trabalho. O reconhecimento da natureza sistêmica da inovação ganha terreno nesse período, e amplia a compreensão da dinâmica tecnológica e industrial assim como as possibilidades de implementação de políticas. Esta percepção começava a apontar para uma definição de Sistema Nacional de Inovação, conceito que foi introduzido por Christopher Freeman e Bengt-Ake Lundvall. (CASSIOLATO; LASTRES, 2005; LASTRES *et al*, 2014).

Para Lundvall (2016), o recurso mais importante da economia é o conhecimento, e, portanto, o processo mais importante é a aprendizagem, que se caracteriza por “um processo interativo, e socialmente incorporado, que não pode ser compreendido sem levar em consideração seu contexto institucional e cultural”. Para o autor, um Sistema Nacional de Inovação pode ser definido como um sistema aberto e heterogêneo, constituído por uma série de elementos que interagem na produção, difusão e uso de conhecimento novo e economicamente útil. Esses elementos englobam relações localizadas ou enraizadas dentro das fronteiras de um Estado-Nação, levando em consideração a suposição de que os países são homogêneos em termos políticos e culturais.

Ao assumir que a inovação reflete o processo de aprendizagem e que a aprendizagem emana parcialmente de atividades rotineiras, Lundvall (2016) defende que o avanço técnico ocorre principalmente em áreas onde uma empresa ou economia nacional já está envolvida em atividades rotineiras.

Nas palavras de Cassiolato e Lastres (2005, p.37), um sistema de inovação se baseia na ideia de:

“um conjunto de instituições distintas que contribuem para o desenvolvimento da capacidade de inovação e aprendizado de um país, região, setor ou localidade – e o afetam. Constituem-se de elementos e relações que interagem na produção, difusão e uso do conhecimento.”

Pode-se entender um Sistema de Inovação tanto no sentido restrito, com ênfase apenas em pesquisa, desenvolvimento, ciência e tecnologia, quanto no sentido amplo, que além das empresas, organizações de ensino e pesquisa e políticas de ciência tecnologia e informação, engloba políticas governamentais como um todo, organizações financiadoras e outros atores e elementos que influenciam a aquisição, uso e difusão da inovação, como processos históricos, por exemplo, e todos os aspectos e partes da estrutura econômica e institucional onde a aprendizagem ocorre. Na perspectiva ampla, o SIN é composto por diferentes subsistemas, como pode-se ver na Figura 6, que são influenciados por diversos contextos: político, social, econômico etc. (CASSIOLATO; LASTRES, 2008; LUNDVALL, 2016).

Figura 6: Sistema Nacional de Inovação Amplo e Restrito



Fonte: Elaboração própria com base em Cassiolato e Lastres, 2008.

Dentro de um determinado país, é a interação entre os agentes econômicos, sociais e políticos nos sistemas de inovação que favorece a difusão de inovações (TIGRE,2005). Conforme determinada tecnologia vai se difundindo, algumas inovações incrementais resultantes tornam-se vantajosas para os países onde a difusão ocorre de forma mais acentuada (FREEMAN; SOETE, 1997).

A análise dos Sistemas de Inovação nos ajuda a entender e explicar como se dá o desenvolvimento de uma tecnologia em uma determinada direção e em determinado ritmo, mas ao considerarmos que existem inovações incrementais (processos de melhoria em tecnologias já existentes) e tecnologias radicais que representam uma ruptura do paradigma tecnológico vigente, pode-se assumir que um elemento de aleatoriedade sempre permanecerá (LUNDVAL, 2016). A variedade e a diversidade tecnológica e as formas como estas se apresentam se traduzem em oportunidades e resultados tecnológicos que influenciam a capacidade de inovação das empresas, suas “trajetórias” ou a direção em que as empresas inovam (OCDE, 2004).

Freeman & Soete (1997) ressaltam que uma vez dentro de um sistema interrelacionado, as aptidões e experiências são compartilhadas e abreviam o tempo de aprendizado e de emparelhamento. Para os autores, o desenvolvimento deriva da capacidade dos países de estabelecerem sistemas tecnológicos interrelacionados em evolução, que podem gerar sinergia para processos de crescimento autossustentado.

Sendo assim, a melhor estratégia para o desenvolvimento de um sistema de inovação consistiria em analisar cada caso levando em consideração as peculiaridades, a posição e o papel dos sistemas nos contextos nacional e internacional (CASSIOLATO; LASTRES, 2005). Além disso, como diferentes trajetórias de desenvolvimento contribuem para moldar um Sistema de Inovação com características bastante diversas que requerem apoio político específico, é necessário que se leve em conta os contextos: produtivo, financeiro, social, institucional e político, além das esferas micro, meso e macro (CASSIOLATO; LASTRES, 2008).

Outro ponto a ser levado em consideração é que a simples aquisição de tecnologia no exterior não substitui os esforços locais, sendo necessário conhecimento para interpretar, selecionar, comprar (ou copiar), transformar e internalizar a tecnologia (CASSIOLATO; LASTRES, 2008). A assimilação de uma tecnologia sofisticada hoje e a capacidade de usá-la de forma eficiente, exige a existência de capacidade de pesquisa e desenvolvimento dos países, uma vez que existe uma diversidade de condições locais que podem requerer processos adaptativos (FREEMAN; SOETE, 1997).

Como o conhecimento tecnológico é visto como cumulativo, países que desenvolvem tecnologia a mais tempo estarão numa situação mais favorável tecnologicamente. Isso acontece pois, muito dificilmente um país conseguirá avançar rapidamente sem ter uma base de conhecimento anterior (NETO; COSTA, 2007).

A inovação tem se mostrado um fenômeno muito mais complexo do que se imaginava décadas atrás com seu papel no desenvolvimento econômico sendo cada vez mais reconhecido. A capacidade de inovação surge da capacidade que uma empresa tem de combinar diversos fatores de maneira eficiente, possuindo ou não esses fatores. Muitas vezes a capacidade de inovação surge da necessidade de uma empresa atingir determinado objetivo e, por possuírem características e necessidades distintas, cada empresa difere na forma em que explora e reconhece as oportunidades tecnológicas (OCDE, 2004).

Para os países menos desenvolvidos, a abordagem de sistemas de inovação se mostra útil uma vez que seus blocos centrais levam em consideração as especificidades desses países, e não ignoram as relações de poder ao discutir temas como inovação e acumulação de conhecimento (CASSIOLATO; LASTRES, 2008). Nesses países, os formuladores de políticas possuem um papel essencial pois é necessário criar um ambiente de confiança para favorecer a cooperação e a aprendizagem. Ademais, a existência de agentes financeiros capazes de dar suporte para os investimentos necessários do processo inovativo se mostra essencial (PELLEGRIN *et al*, 2010).

Segundo Cassiolato e Lastres (2005), a economia brasileira apresenta um padrão de inovação que na maioria das vezes, ainda é defensivo e adaptativo. Para os autores, as exceções se encontram na agroindústria e em atividades entendidas como estratégicas para o Estado, como o setor de petróleo e aeronáutico. Nessas atividades, o Estado brasileiro se mostrou fundamental no processo de constituição de sistemas de inovação.

A indústria petrolífera brasileira abrange uma diversa gama de produtos e impacta diretamente diversos setores econômicos com uma ampla variedade tecnológica. O processo inovativo nesse caso foi possível devido a articulação entre elementos de um sistema de inovação que serão abordados nas próximas seções.

3.4 O SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS *OFFSHORE*

Esta seção inicia-se com uma breve apresentação do histórico da busca por petróleo no Brasil. Após essa breve contextualização, serão apresentados os principais atores e normas que ajudaram e ajudam a formar o Sistema Nacional de Inovação de Petróleo e Gás offshore

brasileiro em seu sentido amplo, com foco nos subsistemas de produção e inovação; de capacitação, pesquisa e serviços tecnológicos; e de política, representação e financiamento.

3.4.1 O início da busca por petróleo no Brasil

O primeiro registro de busca por petróleo no Brasil se deu no ano de 1864, ainda no período imperial, seguindo a tendência mundial da época de utilizar óleo e gás para fornecer iluminação pública. No entanto, até o início do século XX havia pouco interesse em explorar petróleo no país em razão do baixo peso das importações de combustíveis na balança comercial, sendo em sua maioria as explorações realizadas por particulares. Essa situação perdurou até o final da Primeira Guerra Mundial (MORAIS, 2013).

Na década de 1930, o crescimento industrial acelerado e o tamanho da frota de veículos do Brasil, que já era a segunda maior na América do Sul, levaram ao aumento da demanda por energia e, conseqüentemente, das importações de petróleo e derivados. A questão da dependência brasileira de suprimentos dos derivados de petróleo passou a ser pauta na imprensa brasileira que fazia campanha sobre a “ineficiência estatal em encontrar petróleo”. Em 1938, o governo Getúlio Vargas, sob pressão, promulgou a primeira lei nacional sobre petróleo, que foi precedida pela fundação do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil em 1907 e pelo estabelecimento do Código de Minas em 1934 (MORAIS, 2013; PINTO JUNIOR, 2016).

Além da criação da lei do petróleo, no mesmo ano foi sancionado o Decreto-Lei nº 538 que dispunha da regulamentação da nacionalização da atividade de refino, bem como estabelecia o Conselho Nacional do Petróleo (CNP). Dentre as várias iniciativas do CNP estavam o treinamento de técnicos especializados, a compra de sondas rotativas que alcançavam profundidades de 1.800 a 2.500 metros e a contratação de serviços de prospecções sísmicas e perfurações com empresas norte-americanas (MORAIS, 2013). Em 1939 houve a descoberta de bacias com potencial comercial no estado da Bahia, que foram sucedidas por três décadas de descobertas em terra nos estados da região Nordeste. Contudo, essas descobertas não se mostraram suficientes para reduzir a dependência de importações que eram cada vez maiores (MORAIS, 2013).

3.4.2 O Sistema Nacional de Inovação de Petróleo e Gás *Offshore*: da criação da Petrobras até 1997

3.4.2.1 Subsistema de produção e inovação

Instituída em 12 de março de 1954, a Petrobras foi reconhecida pelo Governo Federal pelo Decreto nº 35.308 de 2 de abril de 1954, como uma sociedade por ações de economia mista e com controle acionário do Governo Federal. A organização do setor em torno do monopólio estatal que seria exercido pela empresa em todas as atividades da cadeia petrolífera, exceto a parte de distribuição, se constituiu uma solução à época para promover o desenvolvimento da indústria brasileira de petróleo e enfrentar o poder econômico do cartel internacional (PINTO JUNIOR, 2016).

Para cumprir sua missão, a empresa desempenhou o papel de agente indutor do desenvolvimento de uma rede de empresas fornecedoras de serviços petrolíferos, firmas de engenharia e fabricantes de bens industriais, essenciais às atividades produtivas do petróleo. O objetivo era reduzir a dependência de aquisições externas de bens de capital e de tecnologias necessárias aos pesados investimentos previstos no setor. As competências exigidas dos fornecedores da empresa, assim como a capacidade tecnológica, também criaram condições para que esses fornecedores pudessem se inserir no mercado global, uma vez que sua relação com a estatal permitiu ter acesso a informações qualificadas (MORAIS, 2013; PELLEGRIN et al, 2010).

3.4.2.2 Subsistema de capacitação, pesquisa e serviços tecnológicos

A Petrobras teve um papel crucial na promoção da capacitação e pesquisa durante o período analisado. No início de suas operações, a empresa logo se deparou com a falta de profissionais especializados, como geólogos, engenheiros, geofísicos e químicos. No mesmo sentido, as instituições brasileiras de ensino também não estavam preparadas para formar esses profissionais. Essa condição demandou esforços para construir uma base de conhecimento própria, sendo uma das medidas iniciais da empresa a promoção de cursos próprios de formação até que o sistema de ensino fosse capaz de fornecer a nova demanda de profissionais (MORAIS, 2013; MORAIS; TURCHI, 2013).

Para que as habilidades e o conhecimento desenvolvidos fossem aproveitados em todo o seu potencial, se mostrava essencial a integração do conhecimento dentro da empresa (NETO; COSTA, 2007). Sendo assim, em 1955 a Petrobras criou o Centro de Aperfeiçoamento e

Pesquisas de Petróleo (CENAP), que era dividido em dois setores: um voltado para capacitação profissional, o Setor de Cursos de Petróleo, e o outro voltado para pesquisa tecnológica, o Setor de Análises e Pesquisas. Em 1966, o CENAP foi substituído pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CENPES), centro voltado exclusivamente para pesquisas, que viria a funcionar no Campus da UFRJ, na Praia Vermelha, e posteriormente, em 1973, seria transferido para a Cidade Universitária na Ilha do Fundão, devido às condições precárias das antigas instalações (MORAIS, 2013; MORAIS; TURCHI, 2013).

Por meio do CENPES, a Petrobras mantém parcerias com universidades e institutos tecnológicos desde o início de suas atividades. As contratações de pesquisas externas abrangem todas as áreas e programas de interesse da Companhia, como tecnologias de refino, estudos de petróleos pesados, energias renováveis, engenharia naval, águas profundas, biotecnologia e bio-tratamentos, meio ambiente, entre outros (MORAIS, 2013).

No decorrer dos anos, o CENPES foi equipado com vários laboratórios e estreitou seus laços com a comunidade acadêmica. Na área de estudos de explorações *offshore*, os laboratórios eram de grande porte, o que permitia a realização de estudos geológicos da plataforma marinha de maior qualidade, como o Projeto de Reconhecimento da Margem Continental Brasileira (projeto REMAC) que mapeou a margem continental brasileira (MORAIS, 2013).

As análises geográficas já demonstravam a existência de petróleo no mar brasileiro desde a década de 1950, o que se confirmou com a descoberta dos primeiros poços nos campos de Guaricema em Sergipe e na Bacia de Campos no Rio de Janeiro no ano de 1968. Os anos seguintes foram marcados por sucessivas descobertas, no entanto, as tecnologias para exploração na época não eram adequadas para a realidade dos poços brasileiros que estavam localizados em profundidades superiores a 1.000 metros. O desafio de se explorar petróleo a essas profundidades e a falta de tecnologia existente levou a Petrobras a assumir o desafio de desenvolver tecnologia própria (NETO; COSTA, 2007).

Apesar dos grandes investimentos iniciais, devido à baixa capacitação do país nos primeiros anos, o CENPES deu início a importação de tecnologia a ser utilizada, adaptando as tecnologias estrangeiras às condições locais. No entanto, a tecnologia existente para exploração de petróleo no mar disponível na época não era condizente com a realidade brasileira, de reservas presentes em águas profundas e ultra profundas, não sendo possível aproveitar a experiência internacional em exploração no mar em águas rasas. Diante do impasse de importar tecnologia, desenvolver tecnologia própria ou simplesmente importar petróleo, as autoridades brasileiras optaram por desenvolver um sistema de inovações brasileiro de petróleo offshore se pautando na importância estratégica desse hidrocarboneto. Como resultado dos seus esforços,

na década de 1980 a empresa já possuía seu primeiro hardware de tecnologia offshore 100% nacional (NETO; COSTA, 2007; MORAIS, 2013).

A segunda metade da década de 1980 foi marcada por grandes esforços da Petrobras para se livrar da dependência externa. Em 1986, a empresa deu início ao Programa de Capacitação Tecnológica em Águas Profundas – PROCAP – que levaria a empresa a investir 1% de todo o seu faturamento em pesquisa e desenvolvimento (NETO; COSTA, 2007). Segundo Neto e Costa (2007), o programa viria a se tornar “um dos maiores programas tecnológicos do país”. Ainda segundo os autores, o retorno do valor investido no PROCAP era de US\$ 4,3 dólares para cada dólar gasto no início, atingindo US\$ 8,2 em 2004.

O primeiro PROCAP ficou conhecido como PROCAP 1.000 uma vez que visava viabilizar a produção de petróleo em águas com profundidades de até 1.000 metros. Para que isso fosse possível, foi necessário um grande esforço para viabilizar um banco de dados com informações sobre o ambiente marinho brasileiro, como as condições ambientais, de temperatura e pressão, a salinidade, entre outros dados oceanográficos e meteorológicos. O programa foi relançado em 1992 e 2000 para viabilizar a produção em águas com profundidade de 2.000 e 3.000 metros, respectivamente (MORAIS, 2013).

3.4.2.3 Subsistema de política, representação e financiamento

Em outubro de 1953, a Lei nº 2.004 definia o monopólio estatal da produção de petróleo no Brasil (MORAIS, 2013). A existência do monopólio impactaria diretamente no comportamento dos atores presentes nesse sistema, visto que interfere no arranjo institucional do setor (FURTADO, 2002). Segundo o artigo primeiro da referida lei:

“Constituem monopólio da União: a pesquisa e a lavra das jazidas de petróleo e outros hidrocarbonetos fluídos e gases raros, existentes no território nacional; a refinação do petróleo nacional ou estrangeiro; o transporte marítimo do petróleo bruto de origem nacional ou de derivados de petróleo produzidos no país, e bem assim o transporte, por meio de condutos, de petróleo bruto e seus derivados, assim como de gases raros de qualquer origem” (BRASIL, 1953).

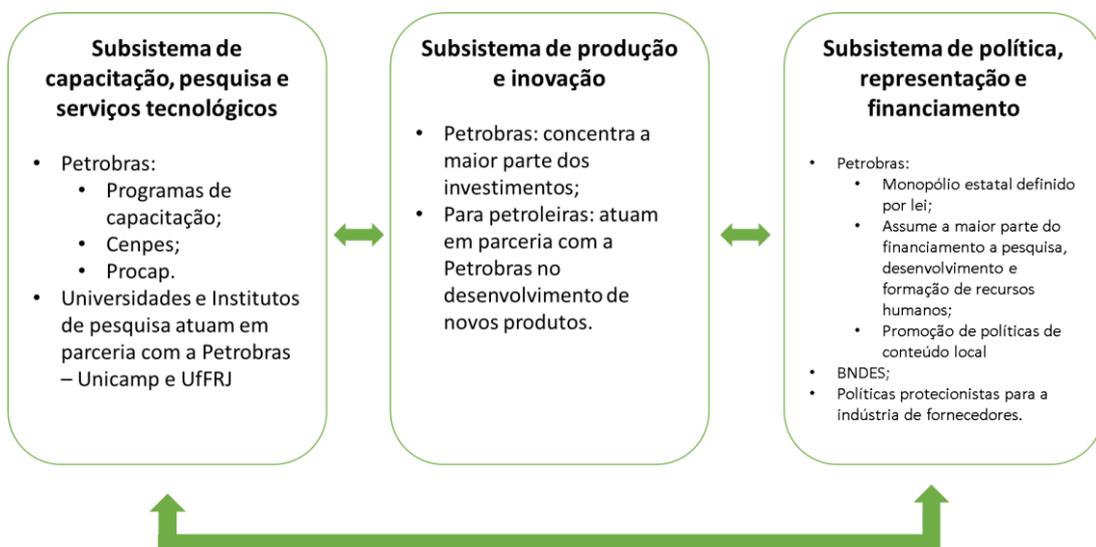
Além das questões relacionadas ao monopólio, a Petrobras teve um papel importante na promoção do conteúdo local e do desenvolvimento da indústria nacional de petróleo e gás. Dentre as diversas medidas da empresa para promover o conteúdo local, pode-se destacar a elaboração de um documento contendo normas de suprimento em 1958, do Cadastro da Indústria para articulação com fornecedores e do Serviço de Materiais (Sermat) em 1965, que tinha como objetivo facilitar a aquisição de materiais e equipamentos (SILVEIRA, 2013).

Outro programa importante implantado pela empresa para promover a indústria nacional foi a Fabricação Pioneira, que por meio da transferência de conhecimentos qualificava empresas para produzir peças, equipamentos e componentes importados e concedia adiantamento financeiro via contratos. Ao todo, as políticas promovidas pela Petrobras em conjunto com o financiamento do Banco Nacional para o Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e políticas protecionistas, possibilitaram o desenvolvimento da indústria de fornecedores nacionais para a indústria petroleira (SILVEIRA, 2013).

Explorar petróleo no mar é uma decisão que envolve diversos riscos econômicos, principalmente se comparado à exploração em terra. Grande parte desses riscos pode ser explicada devido ao alto volume de investimentos exigido para a construção de plataformas de perfuração, embarcações de apoio, levantamento geológico das bacias sedimentares e em mão de obra qualificada. Além disso, as perfurações possuem altos custos e muitas vezes os poços não se mostram viáveis para exploração. A história da exploração de petróleo no mar brasileiro demonstra que os riscos assumidos, que já eram elevados, foram maiores do que os verificados em outras partes do mundo, sendo esses riscos tanto econômicos quanto tecnológicos (MORAIS, 2013).

Devido à alta rentabilidade da indústria de petróleo, Furtado (2002) aponta que esta recebe pouco apoio público em seus gastos de P&D. Segundo o autor, grande parte dos investimentos é feito pelas empresas, e no Brasil, o financiamento das atividades de P&D no setor foi assumido por uma empresa, a Petrobras.

Figura 7: Sistema Nacional de Inovação em petróleo e gás offshore entre 54 e 97



Fonte: Elaboração própria

3.4.3 O Sistema Nacional de Inovação de Petróleo e Gás *Offshore*

3.4.3.1 A nova configuração após a abertura do mercado

O início dos anos 1990 foi marcado por um contexto de privatizações no Brasil, o que levou à reforma do setor petrolífero. Em 1997 foi sancionada a Lei 9.478 que dispunha sobre a instituição da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) como autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) e a quebra do monopólio estatal da Petrobras sobre as atividades de exploração, desenvolvimento, transporte, refino e produção de gás natural e petróleo sob regime de concessão.

Grande parte da história da exploração de petróleo e gás no Brasil é marcada pela presença da Petrobras, que por muito tempo foi responsável por garantir o financiamento, a coordenação e a utilização do conhecimento científico e inovação no setor. A quebra do monopólio fez com que o setor de petróleo e gás fosse profundamente modificado. Além disso, o número de atores presente no sistema de inovação de petróleo e gás brasileiro aumentou e com isso, surgiram problemas de coordenação, uma vez que foi necessário redefinir as relações e os papéis dentro do sistema (FURTADO, 2002; MOURA, 2002).

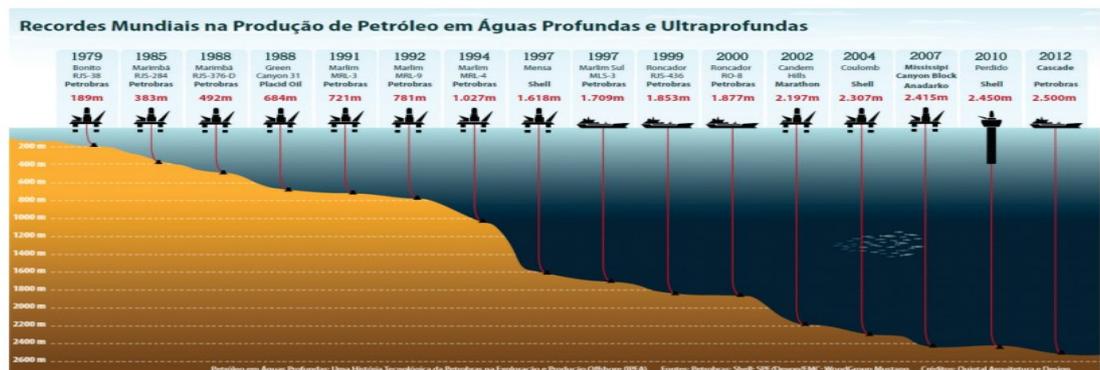
O período entre 2004-2014, foi marcado por preços elevados do petróleo. O aumento desses preços tornou viável expandir as fronteiras de produção para águas profundas e ultra profundas, com destaque para o pré-sal que tem custos de exploração maiores do que outras áreas de produção de petróleo.

O pré-sal pode ser entendido como um exemplo de cooperação tecnológica entre a Petrobras e as empresas que se instalaram no Brasil após o processo de abertura. Para viabilizar a produção no pré-sal, foram necessários esforços em P&D, cooperação com instituições de ensino e com empresas fabricantes de equipamentos para superar os novos desafios tecnológicos impostos. Além do esforço tecnológico, a área regulatória e institucional também apresentou desafios em razão das especificidades dos campos recém-descobertos, levando a mudanças no marco regulatório que atualmente, além do regime de concessão, possui também o regime de partilha (MORAIS, 2013; PINTO JUNIOR, 2018).

3.4.2.2 Subsistema de produção e inovação

Ao longo dos anos o Brasil se mostrou capaz de se especializar e desenvolver tecnologia para explorar petróleo e gás *offshore*. Grande parte desse processo só foi possível devido a cooperação entre empresas petrolíferas, instituições de pesquisa e fornecedores locais (PINTO JUNIOR, 2018).

Figura 8: Recordes mundiais na produção de petróleo offshore – 1979-2012



Fonte: Morais, 2013

A figura 8 demonstra que a maioria dos recordes na produção de petróleo e gás em águas profundas e ultra profundas desde 1979 pertencem à Petrobras. A indústria de petróleo e gás brasileira, impulsionada pela estatal, aplicou esforços em pesquisa e desenvolvimento que geraram um enorme avanço tecnológico nas atividades de exploração e produção, e vantagens competitivas, que possibilitaram uma redução de custos e o domínio de tecnologias de exploração em águas profundas e ultra profundas. O Brasil é um dos principais países no setor de exploração e produção de petróleo e gás *offshore* e, para efeito de comparação, a produção *offshore* brasileira corresponde a praticamente 95% do total, enquanto no restante do mundo este percentual é de 29% (SILVESTRE; DALCOL, 2008; PINTO Jr, 2018).

Em novembro de 2022, a Petrobras lançou seu Planejamento estratégico para o horizonte 2023-2027, onde além de consolidar a empresa como maior investidora do setor no Brasil, demonstrou interesse em novos negócios como a eólica offshore, hidrogênio, captura de carbono e a continuidade no biorefino (PETROBRAS, 2022a).

3.4.2.3 Subsistema de capacitação, pesquisa e serviços tecnológicos

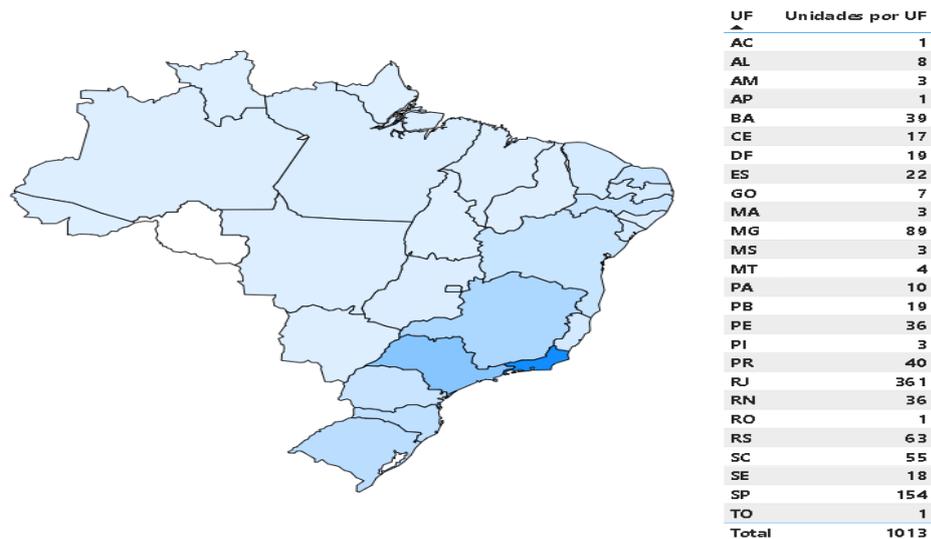
Para Neto e Costa (2007), a Petrobras foi um caso de sucesso ao promover o avanço tecnológico na exploração de petróleo, através de políticas de pesquisa e inovação e estabelecendo um novo paradigma no processo de produção em águas profundas, assim como o desenvolvimento de novas oportunidades de negócios, permitindo que o país diminuísse sua dependência de petróleo.

As novas oportunidades de negócio puderam ser empregadas em outras atividades marítimas e submarítimas. Dentre essas inovações pode-se citar: o sistema de amarramento flutuante que oferece maior segurança dada as altas pressões, os robôs submarinos, o desenvolvimento de estaleiros nacionais, a “inteligência artificial (IA), *bigdata*, computação em nuvem, materiais avançados e nano materiais. Além disso pode-se observar nos últimos anos a tendência na utilização de equipamentos instalados no leito submarino (*subsea*) que tem por objetivo reduzir o peso e espaço das plataformas e integram tecnologias como “suporte, conexão, monitoramento e geração de informações” (PINTO JUNIOR, 2018; NETO; COSTA, 2007).

A partir de 2006 foram realizadas novas descobertas de hidrocarbonetos na região do pré-sal. Essa região possuía características específicas que trouxeram novos desafios, como reservatórios sob grandes camadas de sal e alta presença de gás carbônico (CO₂) e gás sulfídrico (H₂S), que levavam a potenciais efeitos de corrosão nos materiais fabricados em aço. Para suprir a necessidade de novas tecnologias para explorar a região do pré-sal, a Petrobras lançou ao fim de 2007 o Programa Tecnológico para o Desenvolvimento da Produção dos Reservatórios do Pré-Sal (Prosal) e a partir dele foram firmadas parcerias com universidades brasileiras, internacionais e a cadeia de fornecedores. Além do Prosal, no mesmo período a Petrobras criou as redes temáticas, para gerir seus investimentos em pesquisa e fortalecer o relacionamento com instituições de pesquisa (MORAIS; TURCHI, 2013).

Outro programa criado pela Petrobras foi o Programa de Recuperação Avançada de Petróleo (PROVAP), que tinha por objetivo minimizar perdas que podem chegar à viabilização da exploração de poços de petróleo considerados subcomerciais por limitações tecnológicas, dentre outros (NETO; COSTA, 2007). Fora do âmbito da Petrobras, as cláusulas de P, D&I nos contratos de exploração e produção de petróleo e gás ajudam a custear o Programa de Formação de Recursos Humanos (PRH) que desde 1999 vem oferecendo bolsas de estudos em diferentes áreas de conhecimento em diferentes instituições no Brasil.

Gráfico 6: Unidades de pesquisa credenciadas a ANP por UF



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP 2022

Em 2021, em conjunto com o Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis do Rio grande do Norte e o Instituto Senai de Inovação em Sistemas Embarcados de Santa Catarina, com recursos do programa de P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Petrobras desenvolveu por meio de um acordo de cooperação o projeto da tecnologia BRACO (Boia Remota de Avaliação de Ventos *Offshore*), que terá duração de dois anos e investimento total de R\$9 milhões. O projeto se mostra uma alternativa às torres fixas de medição e espera-se que quando estiver em fase comercial irá contribuir para a redução dos custos de implantação dos projetos de eólica *offshore* no país, visto que ainda não existe no Brasil um fornecedor com equipamento deste tipo validado (PETROBRAS, 2022b).

Em março de 2023, a empresa também assinou um acordo de cooperação com a Equinor para avaliar a viabilidade técnico econômica e ambiental de sete projetos de eólica *offshore* no Brasil em seis estados: Rio de Janeiro, Espírito Santo, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul. Juntos, esses projetos podem gerar até 14,5 GW (PETROBRAS, 2023).

3.4.2.4 Subsistema de política, representação e financiamento

No Brasil não existiam agências reguladoras como conhecemos hoje até o ano de 1997, sendo a regulação exercida pelos Ministérios de Comunicação e de Minas e Energia até então. Um dos objetivos da criação das agências reguladoras era monitorar as empresas recém-privatizadas ao mesmo tempo em que iria possibilitar novas práticas administrativas. A legislação aprovada em 1997 possibilitou a abertura do setor de petróleo e gás (MOURA, 2002). Dentre as funções da ANP estão a regulação, contratação e fiscalização das atividades econômicas da indústria petrolífera e gasífera.

Um outro ator que surgiu com a reestruturação do setor foi o CTPetro. O fundo setorial, criado a partir do Decreto nº 2.851 de novembro de 1998, dispunha sobre o uso de um quarto dos cinco por cento excedente da parcela do valor dos royalties da produção para financiar programas de amparo à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico na indústria do petróleo (BRASIL, 1998).

Os recursos do CTPetro foram garantidos pela Lei do Petróleo de 1997 que estabelecia o investimento de 1% do investimento bruto das operadoras de produção em atividades de P&D. O fundo tem por objetivo estimular a inovação no setor através da qualificação da mão de obra e do desenvolvimento de pesquisas e projetos, e segue as diretrizes do Plano Nacional de Ciência e Tecnologia do setor. O fundo é coordenado por um comitê, e os agentes coordenadores são designados pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Informação (MCTI), em comum acordo com o Ministério de Minas e Energia e a ANP.

A maior parte dos recursos é administrada pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), e outra pequena parte é administrada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq). Os recursos do fundo se destinam a subsidiar universidades e instituições de pesquisa sem fins lucrativos e por possuírem contrapartidas, tem um bom poder de alavancagem (FURTADO, 2002; MORAIS; TURCHI, 2013).

Os contratos de concessão e os de partilha contam com a cláusula de P&D desde o início da operação da ANP. Essa cláusula visa garantir que um percentual da receita de produção seja aplicado em pesquisas qualificadas (PINTO JUNIOR, 2018). Em 2005 foi regulamentada a Resolução nº 33/2005 da ANP que definia normas para a realização de normas de investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação nos contratos de concessão. Um ponto importante a ser ressaltado é a Instrução Normativa nº 1/97 do Tesouro Nacional, em seu artigo 5º, inciso II, estabelece que é vedado “destinar recursos públicos como contribuições,

auxílios ou subvenções às instituições privadas com fins lucrativos”, o que acaba vendando o acesso a estes pelas empresas (FURTADO, 2002).

Mesmo após a reestruturação, a Petrobras ainda possui um papel fundamental no financiamento do sistema de inovação. Pode-se perceber a partir do Gráfico 7, que apesar das outras concessionárias investirem em PD&I, a Petrobras ainda é responsável por grande parte dos investimentos. No entanto, podemos observar também que o volume investido pelas outras concessionárias vem aumentando desde 2010.

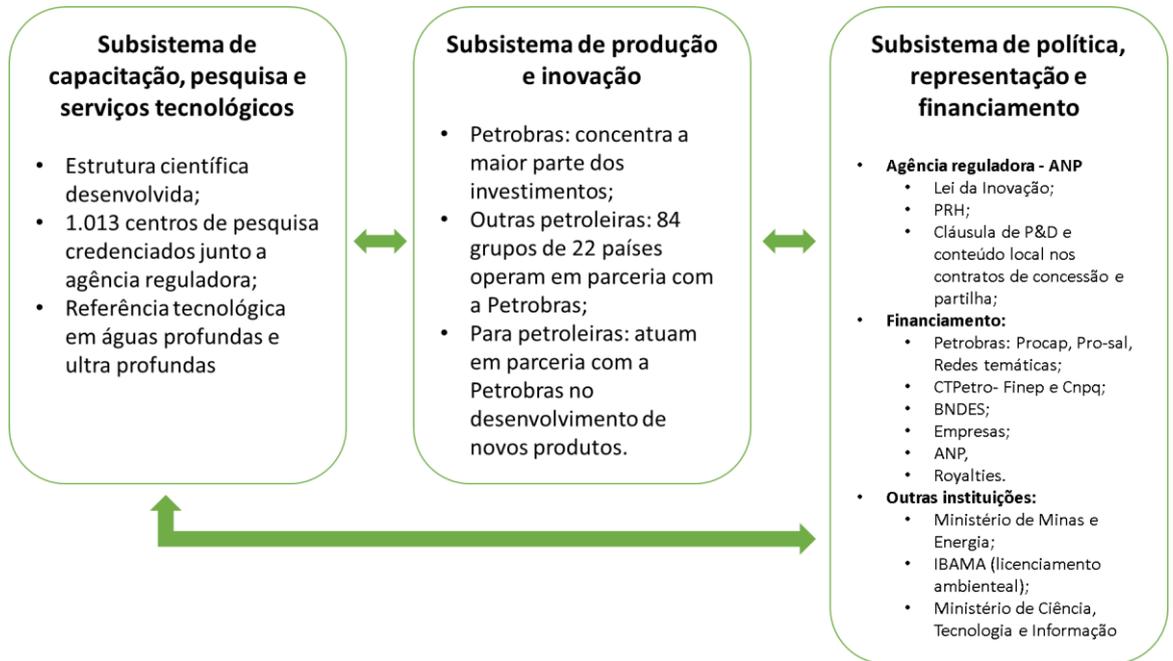
Gráfico 7: Volume anual das obrigações de P, D&I, 1999-2020



Outro instrumento de política e regulação do setor foi a política de conteúdo local. Desde 1999, ano do primeiro leilão após a dissolução do monopólio da Petrobras, existe uma cláusula contratual, fiscalizada pela ANP, que torna as empresas responsáveis por cumprir percentagens mínimas de conteúdo local nas rodadas de licitação. Além disso, os anos seguintes seguiram com diversas medidas para incentivar essa política, como o lançamento do Programa de Mobilização da Indústria do Petróleo e Gás Natural (Promimp) em 2003, a cartilha de conteúdo local e um sistema de certificação de empresas habilitadas pela ANP em 2005 e o Programa de Estímulo à competitividade da Cadeia Produtiva, ao Desenvolvimento e ao Aprimoramento de Fornecedores do Setor de Petróleo e Gás Natural (Pedefor), em 2016 (PINTO JUNIOR, 2018).

Entre 2011 e 2012 o BNDES lançou em conjunto com a Finep algumas iniciativas para fomentar os sistemas de produção e inovação para energia e para petróleo e gás, o Inova Petro (LASTRES et al, 2014).

Figura 9: Sistema Nacional de petróleo e gás offshore após 1997



Fonte: Elaboração própria

3.5 CONCLUSÃO

Por muito tempo a Petrobras foi o principal ator do Sistema de Inovação de petróleo e gás brasileiro. A empresa concentrava a maioria das funções e recursos de forma eficiente, no entanto, o sistema se fechava em um único ator.

Apesar da abertura do mercado da quebra de monopólio, a Petrobras ainda detém um grande papel na promoção da inovação no setor. A modificação que o setor sofreu após a abertura do mercado com a entrada de novos atores, fez com que fosse necessário repensar as relações e os papéis dentro do Sistema Nacional de Inovação. Essa redefinição não foi um processo fácil e diversos problemas de coordenação ocorreram.

A diminuição da dependência externa do petróleo só foi possível devido a capacidade da Petrobras de desenvolver tecnologia especializada para exploração em águas profundas e ultra profundas por meio do financiamento de pesquisas e cooperação com instituições e fornecedores locais.

Hoje podemos dizer que o SNI de petróleo e gás brasileiro é composto por um conjunto de empresas, concessionárias e fornecedores, agências de fomento e de financiamento, centros de pesquisa e universidades e a agência reguladora do setor, ANP.

CAPÍTULO 4: O DESENVOLVIMENTO DA EÓLICA OFFSHORE E A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

As crescentes pressões ambientais relacionadas ao aumento de temperatura global e as questões relacionadas ao declínio da produção mundial de petróleo e gás levam ao questionamento de como será o futuro desta indústria que emprega milhões de pessoas ao redor do mundo.

Este capítulo tem por objetivo tratar da questão da transição energética do setor de petróleo e gás levando em consideração conceitos como diversificação e dependência de trajetória apontando que as sinergias entre os setores de petróleo e gás *offshore* e a eólica *offshore* podem ser vistas como uma oportunidade.

Além disso, serão apresentados dois casos de países que desenvolveram projetos eólicos *offshore*. A Noruega, com um grande histórico de produção de petróleo e gás e o Reino Unido que apostou na nova fonte como forma de atingir suas metas de energia renovável.

4.1 DEPENDÊNCIA DE TRAJETÓRIA E O SETOR DE PETRÓLEO E GÁS

O caminho até que uma inovação se torne um produto comercializável inclui diversas etapas, como seleção de fornecedores, pesquisa e procedimentos legais entre outros que envolvem vários riscos, fazendo com que muitas vezes as empresas prefiram aperfeiçoar tecnologias e projetos já existentes (TIGRE, 2019).

“As atividades de P&D precisam levar em conta a necessidade de economizar recursos escassos e reduzir danos ambientais. A demanda pública e social por tecnologias mais limpas representa um forte viés no direcionamento de trajetórias tecnológicas” (...) “Tecnologias muito inovadoras criam impasses no processo decisório, devido à insuficiência de informações e alternativas tecnológicas para se viabilizar” (TIGRE, 2019, p.92)

A menos que os inovadores estejam convencidos de que uma tecnologia se tornará o novo design dominante e trará redes de apoio, pode ser considerado muito arriscado fazer investimentos irreversíveis no esforço de inovação. Nesse sentido, o envolvimento do governo se torna importante para se sobrepor as forças de mercado, criando alternativas de incentivo, e no caso do sistema tecnológico, a atuação governamental pode remover as incertezas do mercado ao criar políticas que favoreçam um desenho tecnológico atraente (UNRUH, 2000).

A diversificação se apresenta como uma oportunidade para reduzir as dependências de um mercado único. Essa diversificação ocorreria com mais frequência quando há incertezas no

mercado principal, com as empresas se adaptando às condições geradas pela incerteza e buscando novas oportunidades para gerar receitas. Mercados que possuem sinergias e complementaridade possibilitam que o fluxo de um para outro seja facilitado, pois é possível reconfigurar os equipamentos e qualificar rapidamente a mão de obra já existente. No entanto, a tendência é que com o fim da incerteza, os esforços se voltem novamente para o mercado principal (MÄKITIE *et al*, 2019).

Em seu relatório anual sobre o futuro da energia, a BP afirmou que a demanda mundial por petróleo já pode ter atingido o pico e que a indústria de combustíveis fósseis irá enfrentar um declínio lento e inevitável nos próximos anos (GWEC, 2022b).

Apesar das expectativas de que a Guerra entre a Rússia e Ucrânia iria impactar negativamente o mercado de petróleo e gás visto que a União Europeia tem planos de atingir a independência de combustíveis Russos em breve, o interesse na contratação de gás natural liquefeito (GNL), assim como o investimento em instalações de regaseificação aumentou desde então (GWEC,2022, IEA,2023). No entanto, os compradores europeus desconfiam que essa tendência de aumento permaneça, visto que a maioria dos contratos foram feitos para horizontes de curto e médio prazo (IEA, 2023).

As tecnologias baseadas em hidrocarbonetos estão presentes em muitos setores, além disso fazem parte de um sistema complexo de tecnologias integradas para produção, uso e distribuição de energia. Para mitigar os impactos climáticos da demanda da sociedade por energia é necessário que haja um redirecionamento para tecnologias mais eficientes ou fontes de energias mais limpas, como as energias renováveis (UNRUH, 2000; PETER; MILES,1996).

Segundo Mäkitie *et al* (2019), em países com uma grande indústria de combustíveis fósseis, as reorientações para energia renovável têm uma alta relevância para a política industrial e energética, uma vez que cria um potencial para utilização de novas capacidades tecnológicas e experiência em novos mercados. No entanto, apesar do apelo mundial para que as mudanças climáticas sejam mitigadas, ainda não houve uma mudança de direção em larga escala dentro da indústria de combustíveis fósseis para o mercado de energias renováveis e sustentáveis (MÄKITIE *et al*,2019).

As energias renováveis estão se tornando cada vez mais baratas e competitivas ao longo dos anos, no entanto, a transição para essas novas tecnologias esbarra em diversas barreiras. Uma delas é que as tecnologias de energia baseadas em combustíveis fósseis estão imersas em um ambiente onde máquinas industriais, equipamentos eletrônicos são construídos e projetados para atender uma demanda com base neste tipo de tecnologia, ou seja, existem inter-relações sistêmicas entre tecnologias individuais. Neste sentido é importante ressaltar que

nem sempre uma variante tecnológica superior é selecionada quando há um design dominante, ou seja, podem ser aprisionadas em uma trajetória dependente (UNRUH, 2000).

Para Mäkitie *et al* (2019), as indústrias de energia estabelecidas como as de petróleo e gás, por exemplo, podem ser instrumentos eficazes para acelerar o ritmo de reorientação para energias renováveis. No entanto, essas indústrias são mais propensas a diversificar para mercados relacionados, onde podem redistribuir recursos existentes, como tecnologia, fornecedores e clientes, permitindo realizar sinergias em suas operações e complementaridades (MÄKITIE *et al*, 2019).

A indústria de petróleo e gás *offshore* e a indústria eólica *offshore* possuem semelhanças tecnológicas em operações no ambiente marinho. Assim, embora as indústrias de energia estabelecidas possam resistir a uma mudança no mercado de energia, quando submetidas a fortes pressões econômicas podem realizar uma reorientação rápida para outros mercados como o de energias renováveis (MÄKITIE *et al*, 2019). Sendo assim, a ameaça ao setor de óleo e gás, tendo em vista o declínio do estoque de depósitos de óleo, gás e carvão e a crescente preocupação com as mudanças climáticas decorrentes do uso de combustíveis fósseis, surge como uma potencial oportunidade para a eólica *offshore* (MEMON; RASHDI, 2008).

No entanto, embora a mudança climática seja uma questão institucional importante para a indústria de petróleo e gás, ela ainda não causou uma reorientação em larga escala dentro dessa indústria para mercados novos e sustentáveis (MAKITIE *et al*, 2019). A transição do setor de combustíveis fósseis para energia renovável ainda é lenta e o sistema energético mundial ainda parece estar preso a dependências de trajetória e desenvolvimento onde, apesar das preocupações climáticas, continua se expandindo (STEEN; HANSEN, 2018).

Steen e Hansen (2018) apontam que o desenvolvimento da indústria eólica *offshore* tem sido cada vez mais moldado por produtores e fornecedores da indústria de petróleo e gás, visto que há uma expectativa que o setor de petróleo e gás *offshore* possa contribuir para o desenvolvimento da energia eólica *offshore* em termos de tecnologia, capacidade organizacional, industrial e financeira.

As elevadas vantagens dos combustíveis fósseis relacionadas aos custos de estocagem e movimentação assim como a predominância do seu uso na matriz energética mundial trazem ainda bastantes incertezas sobre a trajetória futura do setor energético. Assim, como o risco do investimento e as incertezas pesam na decisão das empresas de se diversificar, subsídios governamentais são tidos como essenciais para reequilibrar o “jogo” entre fósseis e renováveis aumentando, assim, a escala de transferência de tecnologia do setor de óleo e gás para a construção de parques eólicos *offshore* (MENON; RASHID, 2008).

Edwards (2011) apresenta alguns benefícios de se explorar as sinergias entre as duas indústrias:

- Reduzir os riscos regulatórios causados por vários conjuntos de regras e regulamentos semelhantes;
- Reduzir custos ao remover as exigências de vários conjuntos de qualificações e padrões;
- Acelerar a implantação da energia eólica offshore fornecendo um conjunto de equipamentos e pessoas que podem trabalhar nas duas indústrias.

Edwards (2011) apresenta algumas sinergias entre ambas as indústrias, separadas em verde (fortes sinergias), âmbar (sinergias em nível não tão significativo) e vermelho (não há correspondência óbvia entre as duas indústrias, mas em nível mais aprofundado podem ocorrer).

Quadro 1: Sinergias entre a eólica offshore e a indústria de petróleo e gás offshore

Verde	Âmbar	Vermelho
<ul style="list-style-type: none"> • Tripulação; • Regulação; • Projeto; • Construção e instalação; • Descomissionamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Produto: energia e como é comercializada; • Capitalização: formas de captar capital de risco e vender ativos; • Fluxo de caixa 	<ul style="list-style-type: none"> • Produto: armazenamento; • Regulamentação: competição; • Manutenção e operação.

Fonte: Elaboração própria a partir de Edwards, 2011

4.2 A EXPERIÊNCIA DA NORUEGA E DO REINO UNIDO NO DESENVOLVIMENTO DA EÓLICA OFFSHORE

Nesta seção serão apresentados dois casos de países que desenvolveram projetos eólicos offshore, Noruega e Reino Unido. A escolha desses países se deu devido às suas diferentes trajetórias de desenvolvimento desta fonte.

A Noruega possui condições semelhantes à do Brasil como uma indústria de petróleo e gás consolidada e a abundância de recursos hídricos. Como o país possui recursos energéticos suficientes para suprir sua demanda por energia utilizando fontes renováveis, o desenvolvimento da eólica *offshore* no país se mostrou muito mais um caso de política industrial

do que energética. A trajetória da Noruega no desenvolvimento da eólica *offshore* nos permite observar que é possível aproveitar as competências já existentes no setor de petróleo e gás *offshore* para algumas atividades da indústria eólica *offshore*.

Já o Reino Unido nos mostra a importância das políticas públicas para o sucesso no desenvolvimento da eólica *offshore*. Diferentemente da Noruega, o país precisava expandir sua geração de energia a partir de fontes renováveis e não possuía uma grande disponibilidade de terras para expandir a oferta de energia eólica *onshore*, sendo assim, se utilizando de diversos incentivos o país passou a investir no desenvolvimento deste tipo de fonte. As políticas de incentivo foram exitosas e o país foi por muitos anos o país com maior capacidade instalada deste tipo de fonte, perdendo a posição recentemente para a China.

4.2.1 Noruega

Algumas empresas norueguesas possuem investimentos em eólicas *offshore* desde a década de 1990. No entanto, foi a partir dos anos 2000, com estudos de viabilidade para uso de eólicas *offshore* como fonte de energia para as plataformas de petróleo e gás, que os investimentos no setor passaram a aumentar (STEEN; HANSEN,2018).

A principal motivação para esta diversificação estava na expectativa de crescimento internacional do segmento de geração *offshore* de eletricidade. Assim, muitas empresas do setor de petróleo iniciaram um processo de diversificação passando a investir em P&D, principalmente de estruturas flutuantes (MÄKITIE *et al*, 2019, STEEN; HANSEN,2018).

Em 2005, a Owec Tower e a Norsk Hydro decidiram explorar as competências que possuíam em fundações voltadas para o mercado de petróleo e gás na instalação de projetos de eólica *offshore*. No mesmo ano, sete empresas decidiram se fundir criando a Vestavind Kraft AS, um grande ator nacional de energia eólica que, em 2009, fundou a Vestavand Offshore. Com o passar dos anos outras empresas como a Statoil, Statkraft, Sheel e Lyse Energi investiram em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia eólica *offshore* em parceria com o Conselho Norueguês de Pesquisa (LOOS *et al*, 2021). Outro exemplo foi a associação entre a Statoil, grande empresa do setor de petróleo e gás e a Norks Hydro para um projeto de demonstração de turbina eólica *offshore*, se estabelecendo como um operador de parque eólico offshore em 2008 no Reino Unido (MÄKITIE *et al*, 2019, LOOS *et al* 2021).

Outros fatores favoreceram a expansão da eólica *offshore* durante esse período na Noruega. O ano de 2008 foi marcado pela crise financeira mundial que refletiu no mercado norueguês de petróleo e gás e reduziu os investimentos no setor e o interesse em investir em

outros setores como a eólica *offshore*. Para além da crise financeira, as questões ambientais entraram de forma mais acentuada na condução das políticas públicas norueguesas a partir da criação do Conselho de Energia em 2007. Entre os objetivos do conselho estava a elaboração de um relatório sobre o potencial da energia eólica offshore no país (LOOS *et al* 2021).

Entre 2009 e 2010 o governo norueguês criou uma organização público privada, a INTPOW para ajudar as empresas a obterem acesso ao mercado internacional de eólicas *offshore* (LOOS *et al*, 2021). Em um primeiro momento, o ambiente institucional parecia favorecer o desenvolvimento de uma indústria eólica *offshore* norueguesa com políticos e a mídia voltando seus olhares para o setor como forma de compensar a perda de empregos e investimentos no setor de petróleo e gás. No entanto, a falta de ação coletiva fez com que os esforços políticos não gerassem grandes resultados (MÄKITIE *et al*, 2019).

O período entre 2011 e 2014 foi um momento de estagnação no desenvolvimento da eólica *offshore* na Noruega. Entre as causas desta estagnação estavam: o aumento dos preços do petróleo no período; a descoberta de novos campos, como um novo reservatório que viria a ser a maior descoberta em 30 anos; um ministro menos entusiasta de renováveis assumindo e; uma expectativa de crescimento de mercado para o setor de petróleo. Esses fatores motivaram menos empresas a investir em eólicas offshore e alguns projetos se viram dificuldades. No entanto, apesar de uma ou outra empresa não conseguir se estabelecer no setor eólico *offshore*, como a Vestavind, aquelas que continuaram investindo conseguiam se estabelecer rapidamente (MÄKITIE *et al*, 2019, LOSS *et al*, 2021). Segundo Mäkitie *et al* (2019), em 2014 a Noruega possuía entre 1500 e 2000 empresas direta ou indiretamente ligadas a indústria de petróleo e gás, que juntas empregavam aproximadamente 300.000 funcionários, sendo a maior parte empresas de fornecimento e serviços.

Com a redução do preço do petróleo, em 2015 veio uma nova onda de engajamento. A desaceleração do mercado de petróleo e gás impactou diversas empresas de forma que muitos agentes, que ainda não haviam entrado no setor eólico *offshore* começaram a entrar no segmento de geração eólica *offshore* a partir do aproveitamento de suas capacidades de engenharia e capitalização. Aquelas empresas que não possuíam competências em vendas e marketing em energia renováveis investiram em recursos humanos com experiência no setor (LOSS *et al*, 20221, MAKITIE *et al*, 2019).

As empresas norueguesas dependiam dos mercados internacionais para se desenvolver no novo setor, e havia barreiras para atingir esses mercados visto que seus produtos e serviços teriam que ser adaptados para as condições locais dos outros países. Além disso, os produtos e serviços noruegueses tinham como alvo profundidades acima de 30 metros, segmento que

levaria mais tempo para se desenvolver. Ademais, muitos mercados, como do Reino Unido e da Alemanha, possuíam políticas de conteúdo local que dificultavam o acesso a esses países (STEEN; HANSEN, 2018).

Segundo Steen e Hansen (2018), a indústria de eólica *offshore* norueguesa foi legitimada principalmente como uma oportunidade industrial ao invés de uma oportunidade para a produção doméstica de energia. Havia mudanças nos sinais do governo para promover o setor além de falta de oportunidades domésticas para desenvolver as tecnologias. Apesar dos esforços para promover locais de demonstração no país, poucas instalações conseguiram se materializar, como foi o caso da Hywind da Statoil. Ou seja, a indústria eólica *offshore* na Noruega era vista como complementar a de petróleo e gás, sendo impactada por uma dependência de trajetória que dificultou os investimentos (STEEN; HANSEN, 2018).

Até 2018, a Noruega não possuía um parque eólico *offshore* apesar de possuir um vasto potencial. Neste sentido, é importante ressaltar que um dos motivos que a ajuda a explicar o lento desenvolvimento desta fonte no país são vastos recursos hidrelétricos que cobrem praticamente toda a demanda interna de eletricidade a partir de fontes de energia limpa (STEEN; HANSEN, 2018, LOOS *et al*, 2021). Em 2022, o projeto eólico flutuante Hywind Tampen entrou em operação na Noruega. Composto por 11 turbinas que juntas somam 94,6 MW de potência, o projeto foi construído para fornecer eletricidade para instalações de petróleo e gás (GWEC,2023, EPBR,2022).

Além disso, na Noruega, a indústria de petróleo e gás é especialmente forte no país e existe um forte apelo para que a exploração deste tipo de fonte continue. Em 2010, por exemplo, aproximadamente um quarto da renda do estado foi proveniente de impostos diretos e ativos estatais de petróleo e gás, o que mostra a importância desta indústria para o país (STEEN; HANSEN, 2018).

Mäkitie *et al* (2019) afirmam que um estudo recente mostrou que mais de 80% das empresas envolvidas em operações na indústria eólica *offshore* basearam suas operações na experiência adquirida anteriormente na indústria de petróleo e gás, sendo capazes de diversificar suas atividades com poucas adaptações. Alguns autores apontam que essa diversificação foi motivada pelos contratos cíclicos do mercado de petróleo e gás. Em momentos de incerteza empresas com recursos não escaláveis como estaleiros de construção *offshore* e empresas de operações marítimas conseguiam rapidamente realocar suas embarcações e equipamentos para obter contratos na indústria eólica *offshore* (MÄKITIE *et al*, 2019).

Diversas questões ajudam a explicar o lento desenvolvimento da eólica *offshore* no país. Apesar das sinergias entre a eólica *offshore* e o setor de petróleo e gás *offshore*, a maior parte da demanda de energia elétrica do país já é suprida por uma fonte de energia limpa, não havendo motivos claros para desenvolver esta fonte internamente, principalmente em momentos em que o mercado de petróleo e gás estava em alta. Além disso, a experiência da indústria de petróleo e gás *offshore* norueguesa tentou oferecer em um primeiro momento estruturas voltadas para águas em profundidades maiores do que os outros países demandavam. A experiência norueguesa nos mostra, entretanto, que existe certa facilidade para alguns atores da indústria de petróleo e gás diversificarem seus serviços e produtos para a indústria eólica *offshore*.

4.2.3 Reino Unido

A política de apoio a inovação em energias renováveis no Reino Unido deu seus primeiros passos no início dos anos 1990 com a Obrigação de Combustível Não Fóssil (*Non-Fossil Fuel Obligation* - NFFO), que ofereciam contratos de venda de eletricidade a um preço fixo durante determinado período. Embora a NFFO tivesse como foco principal a energia nuclear, essa política ofereceu aos desenvolvedores de outras fontes de energia renovável condições mais favoráveis (FOXON *et al*, 2005).

Posteriormente, nos anos 2000, esta medida foi substituída pela Obrigação relativa a energias renováveis (*Renewables Obligations* – RO), que estabelecia uma proporção anual crescente de energias renováveis na produção de energia. As RO's estavam associadas a um esquema de comércio de geração de energia credenciada, Certificados de Obrigação de Energia Renovável (*Renewable Energy Certificates* – ROCS). Isto é, através deste mecanismo os fornecedores podem cumprir sua obrigação através de um fornecimento direto ou pagar um preço de compra que é revertido para aqueles que cumpriram suas obrigações. Com o passar dos anos a RO foi sofrendo modificações, e passou a incluir subvenções de capital para tecnologias em estágio inicial de desenvolvimento como a eólica *offshore* (FOXON *et al*, 2005).

Enquanto a eólica *offshore* dava seus primeiros passos na Dinamarca no início dos anos 90, ela era considerada extremamente dispendiosa e improvável de ser rentável economicamente pelo governo do Reino Unido. O programa eólico *offshore* do Reino Unido começou em 2001 com a concessão de 13 arrendamentos com anúncio de subsídios de capital e não mais que 30 turbinas cada, com capacidade de cerca de 1.500 MW dos quais pouco mais

de mil foram construídos. A primeira fazenda eólica *offshore* do país começou a operar no mesmo ano, no entanto, o desenvolvimento dos espaços arrendados foi lento, levando a uma segunda rodada em 2003 (KERN *et al*, 2014, TOKE,2010).

Em 2008, no entanto, o governo percebeu que tecnologias como a eólica *offshore* não conseguiriam se estabelecer com os níveis de ROC's anteriores, e estabeleceu 1,5 ROC's para a eólica *offshore*, enquanto o valor para a eólica *onshore* era de 1 ROC. Posteriormente em 2009 o governo aumentou para 2 ROC's para as eólicas *offshore*. Foram 3 *rounds* de arrendamento até 2007, o primeiro com somente 13 arrendamentos e 1.500 MW, e o segundo já contava com 7,2 GW, enquanto a terceira rodada de desenvolvimento offshore anunciada no fim de 2007 tinha 31,8 GW de meta (TOKE, 2010).

A partir de 2008, o governo instituiu metas cada vez mais desafiadoras. A *Crown Estates* (CE) identificou as áreas com maior potencial econômico e passou a co-investir ao lado dos desenvolvedores (KERN *et al*, 2014). Em 2010 o Reino Unido já gerava 1.200 MW de eletricidade vinda da fonte eólica *offshore*, se tornando o país com o maior número de projetos (TOKE,2010). A indústria eólica *offshore* se desenvolveu rapidamente em um período curto, em grande parte devido aos estímulos das ROC's em 2009 e 2010 e ao pagamento de contratos por diferença, que pagavam aos fornecedores de energia um preço de prêmio superior ao preço da eletricidade. Mesmo após a crise de 2008 e da complexidade dos projetos, o mercado eólico *offshore* continuou crescendo no país (MÄKITIE *et al*, 2019, KERN *et al*, 2014).

Em relação a indústria local, até 2014 o Reino Unido não possuía fabricantes de turbinas, mas vários fornecedores demonstram interesse em investir no setor. Assim como os fabricantes de turbinas, o governo passou a demonstrar mais interesse nesta fonte ao longo dos anos com o Departamento de Negócios Inovações e Habilidades (BIS) interessado em estimular a cadeia de suprimentos no país. O Tesouro também passou a demonstrar apoio para financiamento e gastos públicos, além da OFGEM, reguladora dos mercados de gás e eletricidade oferecendo apoio para as regras de conexão à rede. Além disso outras organizações como Conselho de Pesquisa em Engenharia e Ciências Físicas (EPSRC), *Carbon Trust*, *Energy Technologies Institute* (ETI), *Crown Estate*, *National Renewable Energy Centre* (NAREC) e o *Technology Strategy Board* (TSB), estavam cada vez mais envolvidas no setor (KERN *et al*, 2019).

O programa eólico *offshore* do Reino Unido também possui o apoio entusiástico de ONGs ambientais, como o *Greenpeace*, a *Royal Society for the Protection of Birds* (RSPB), a *Friends of the Earth* e o *World Wide Fund for Nature* (WWF) que têm estado na vanguarda da

campanha em apoio à praticidade de grandes programas eólicos *offshore* (TOKE,2010; KERN *et al*, 2014).

Segundo Kern *et al* (2014), a energia eólica *offshore* satisfaz os interesses econômicos e políticos dos principais atores do Reino Unido: os políticos estão comprometidos em cumprir as metas de energias renováveis e carbono, criando empregos e querem evitar a reação pública contra mais energia eólica *onshore*; a *Crown Estate* está interessada em criar receita de arrendamentos *offshore*, assim como o Tesouro; e para as concessionárias e investidores esta é uma nova oportunidade de negócios. Isso não significa que a energia eólica *offshore* não tenha sido contestada como mostrado acima. No entanto, os desafios dos residentes, analistas e conselheiros (até agora) não foram suficientemente importantes para minar a defesa da eólica *offshore* (KERN *et al*,2014).

Kern *et al* (2014), defendem que as políticas públicas para promover a energia eólica *offshore* no Reino Unido fizeram a diferença na forma como esta fonte se desenvolveu no país. No entanto, eles ressaltam que esses incentivos favoreceram especialmente as grandes empresas de serviços públicos ou de energia que foram capazes de assumir os riscos e fornecer a escala e financiamento para os projetos.

Em 2019, o governo do Reino Unido lançou o *The UK's Offshore Wind Sector Deal*², um acordo setorial que estabeleceu a cooperação entre diversas áreas para promover o crescimento da cadeia de suprimentos, integração de sistemas e a qualificação da mão de obra. Junto com o acordo foi lançado a *Offshore Wind Growth Partnership*³, um programa de transformação de negócios de longo prazo financiado pela indústria com o objetivo de promover a colaboração em toda a cadeia de suprimentos, melhorar a produtividade e facilitar oportunidades de crescimento entre desenvolvedores e a cadeia de suprimentos. O programa conta com 1.213 companhias registradas, com mais de 200 projetos financiados e mais de 17 milhões de euros alocados (OWGP, 2023, GWEC,2023).

4.3 CONCLUSÃO

Os estudos de casos apresentaram pontos importantes de debate. No caso da Noruega, foi possível perceber que a mão de obra e os fornecedores envolvidos no setor de

² <https://www.gov.uk/government/publications/offshore-wind-sector-deal>

³ <https://owgp.org.uk/>

petróleo e gás conseguem diversificar seus recursos com certa facilidade para o setor eólico *offshore*, no entanto, também mostra como existe uma dependência de trajetória muito grande do país em relação ao setor de petróleo e gás, com o país não conseguindo desenvolver a eólica *offshore* com sucesso internamente. Em relação ao mercado internacional, a Noruega também teve dificuldades para exportar seus serviços visto que esses eram voltados para eólicas de estrutura flutuante, enquanto a maior parte da demanda estava voltada para estruturas fixas.

Já no caso do Reino Unido, podemos perceber a importância das políticas públicas para o desenvolvimento de uma nova fonte. Até 2021, o Reino Unido era o maior mercado mundial eólico *offshore* em termos de capacidade instalada. Apesar de ter sido ultrapassado pela China, o país permaneceu como o maior mercado eólico *offshore* Europeu em 2022 com 22% da capacidade total mundial instalados no país. Além disso, no mesmo ano o país concedeu a maior capacidade eólica *offshore* europeia por meio da 4ª Rodada de Alocação de Contratos por Diferença (GWEC, 2023). Esses dados mostram que as políticas de incentivo possibilitaram que a energia eólica *offshore* pudesse se desenvolver no país e se tornar atrativa. À medida que esse mercado se desenvolveu no país, ele foi ganhando mais apoio social e político, possibilitando que esta fonte recebesse mais investimentos e continuasse sua trajetória de crescimento.

Sendo assim, o quarto capítulo pretende analisar as políticas públicas de apoio a energia eólica no Brasil e no mundo.

CAPÍTULO 5: POLÍTICAS DE INCENTIVO A ENERGIA EÓLICA

Cerca de 83% da matriz elétrica brasileira é composta por energias renováveis, sendo a maior parte desta parcela (54,6%) composta por usinas hidrelétricas (ABEEÓLICA, 2023). As hidrelétricas geram a maior parte da energia elétrica do país, no entanto, questões ambientais relacionadas à novos empreendimentos e ao esgotamento do potencial hídrico têm impulsionado a diversificação da matriz elétrica brasileira.

Apesar de mais de 80% da geração de eletricidade ter origem em fontes renováveis, desde 2012 a participação das usinas térmicas na geração total do Sistema Interligado Nacional tem aumentado, sobretudo daquelas movidas a gás natural (LISBONA; RESENDE, 2018). Uma das razões que impulsionam a expansão das térmicas é a redução nível dos reservatórios das hidrelétricas, como a que ocorreu no biênio 2014-2015 e que seguiu nos anos seguintes.

Contudo, o aumento da utilização de usinas térmicas a gás vai contra as medidas de combate às mudanças climáticas, visto que o gás natural é uma fonte emissora de gases do efeito estufa. Nesse contexto, o investimento em energias renováveis como a solar e a eólica se apresenta como solução para aumentar a oferta de energia e reduzir as emissões de gases poluentes. A energia eólica oferece diversos benefícios pois além de ser uma energia limpa, ela promove uma injeção de capital na economia local, a criação sustentável de empregos, inovação tecnológica, desenvolvimento industrial e permite a geração distribuída (SIMAS; PACCA, 2013, GWEC, 2022c).

Entre 2004 e 2009, a política energética brasileira se mostrava favorável aos investimentos em infraestrutura e a implementação de fontes de energia renovável, atraindo atenção dos produtores de turbinas estrangeiros que buscavam por novos mercados após a crise mundial. Desde então, a indústria eólica vem crescendo a taxas rápidas. Vale destacar neste processo, o papel das políticas públicas de incentivo que permitiram que esta fonte se tornasse competitiva e o papel do BNDES na promoção do conteúdo local que permitiu a redução das importações (FERRAZ *et al*, 2022).

Apesar do crescimento do setor, até 2021, a maior parte dos recursos eram destinados para a expansão do parque de geração em terra. No entanto, os investimentos em turbinas de geração eólica instaladas offshore começam a surgir no país e vêm se mostrando bastante promissores. De fato, as restrições à expansão da capacidade hídrica de geração e a necessidade de enquadrar o Brasil nos esforços de redução dos níveis de emissão, tornam as energias eólica e solar fundamentais para suprir a crescente demanda de energia. Nesse contexto, em função

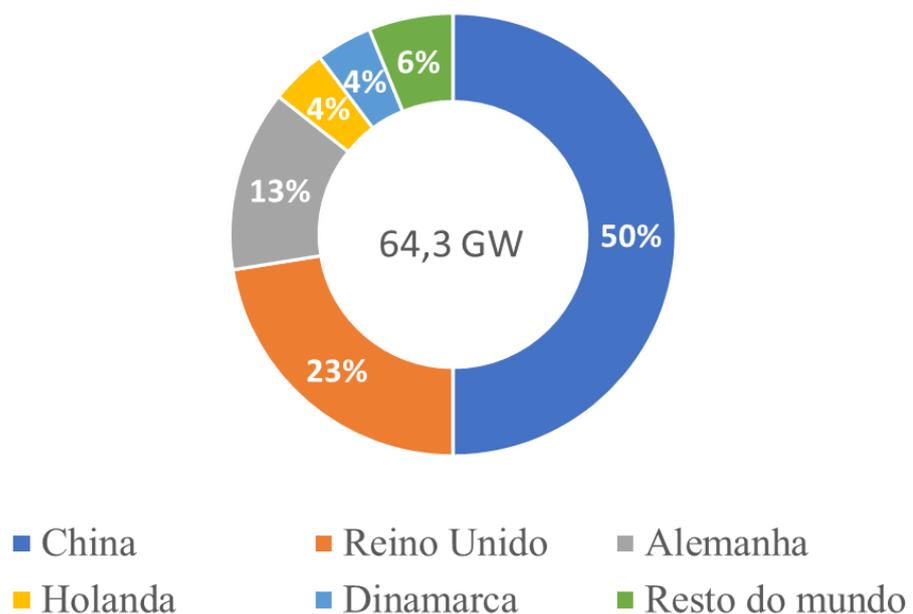
do extenso litoral brasileiro, e das favoráveis condições climáticas, a energia eólica *offshore* mostra-se bastante promissora.

O objetivo deste capítulo é apresentar e descrever de forma breve os principais instrumentos de apoio utilizados pelos governos para promover o desenvolvimento da energia eólica *offshore* no mundo e as políticas para eólica *onshore* no Brasil ao longo dos últimos anos.

5.1 A EVOLUÇÃO RECENTE DA ENERGIA EÓLICA *OFFSHORE* NA MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL

Nos últimos 20 anos, a eólica *offshore* teve um grande aumento em seu número de instalações devido ao esforço coordenado europeu que forneceu diversos incentivos para o desenvolvimento desta fonte. Em 2022, países como Dinamarca, Reino Unido e Alemanha, anunciaram suas metas para eólica *offshore* visando uma maior independência dos combustíveis fósseis russos (MUSIAL *et al*, 2022).

Gráfico 8: Total de instalações offshore (%)



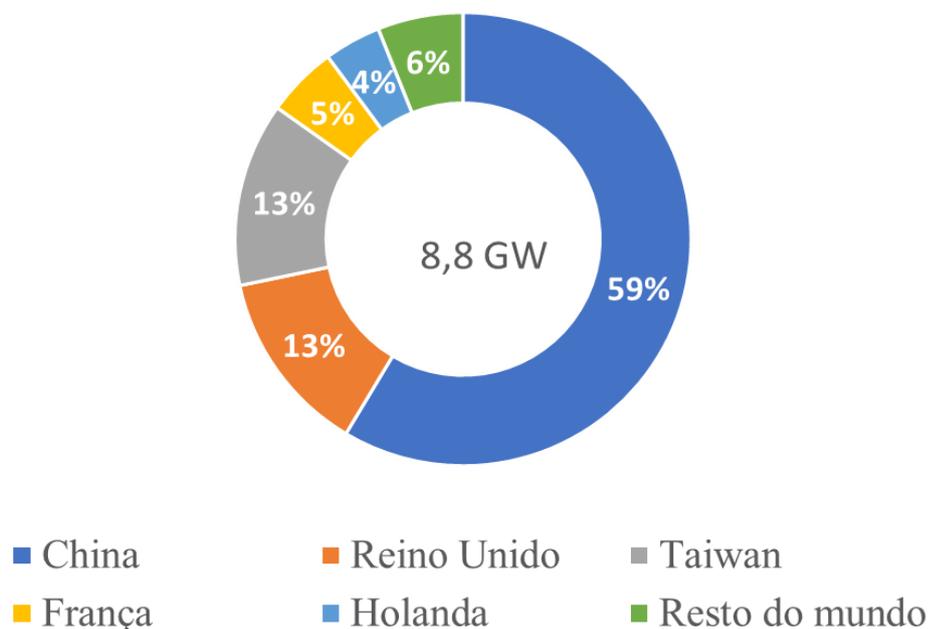
Fonte: Elaboração própria a partir de GWEC, 2023

A China concentra a maior parte das instalações globais *offshore* com 31,4 GW instalados até o fim de 2022, o que corresponde a 49% do total de instalações (Gráfico 8). Já a Europa possui mais de 30,2 GW de capacidade *offshore* instalada, com turbinas conectadas em

rede em mais de 12 países. Em 2021, a eólica *offshore* representou 19% das novas instalações eólicas na região, com destaque para o Reino Unido onde esta parcela foi de 88% (WIND EUROPE, 2022; GWEC,2022, GWEC,2023). Apesar das projeções indicarem que a China deve continuar dominando o mercado eólico *offshore* nos próximos anos, vale ressaltar que o ritmo de crescimento deve desacelerar com as tarifas feed-in sendo descontinuadas (MUSIAL *et al*, 2022).

Ao direcionar o olhar para os projetos em fase de desenvolvimento, até 2021, o mundo possuía 2.079 projetos em 49 países que juntos somam 831.991 MW de capacidade ativa e dormente. Nos Estados Unidos, que em até 2021 possuíam somente 42 MW de eólicas *offshore* instalados, em março de 2021 com a administração Biden, passou a ter uma meta de 30 GW até 2030 (MUSIAL *et al*, 2022).

Gráfico 9: Novas instalações offshore (%)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do GWEC, 2023

As eólicas flutuantes também merecem atenção, uma vez que a maior parte do potencial técnico de recursos eólicos *offshore* se encontra em águas com profundidades maiores que 60 metros. Na Europa, estima-se que esse número chegue a 80%. No entanto, a trajetória das eólicas flutuantes ao redor do mundo ainda está em fase de consolidação, com apenas 10

projetos operando até o fim de 2021 (7 na Ásia e 3 na Europa), que juntos somavam 123,4 MW de potência (MUSIAL *et al*, 2022).

As projeções indicam que o mercado de eólicas flutuantes deve se expandir nos próximos anos com a previsão de declínio dos custos, o amadurecimento da cadeia de suprimentos, a crescente escassez de locais rasos de fundo fixo, inovações de tecnologia específica flutuante e ao interesse em novos mercados onde apenas águas profundas estão disponíveis (MUSIAL *et al*, 2022).

5.1.1 Experiência Regulatória Internacional

No início, por ser uma tecnologia relativamente nova e cara em comparação às outras fontes disponíveis, o papel da regulação se mostrou essencial para promover o desenvolvimento da energia eólica *offshore*. Foram utilizadas diversas políticas de incentivo ao redor do mundo que permitiram que essa fonte crescesse, algumas delas serão apresentadas nessa sessão.

No seu *Roadmap* para a eólica *offshore*, a EPE (2021) identificou três instrumentos básicos de seleção para empreendedores interessados em investir nesta fonte diferenciados com base na presença, ou não, de competitividade:

- Modelo *open door*: Neste modelo, quando há interessados em uma determinada área que não coincida com o zoneamento realizado pelo Estado, estes devem apresentar seus projetos que são então analisados. Este pode ser considerado um modelo sem competição para a outorga do uso de áreas para exploração de potencial eólico offshore.

- Modelo “*First come, first served*” (FCFS): Outro modelo sem competição para a outorga. Neste modelo, o Estado, em regra, fica responsável pelo levantamento do potencial, pelo zoneamento das áreas e coloca algumas informações à disposição dos interessados, que submetem seus projetos para que sejam avaliados de acordo com os critérios regulatórios. É o sistema adotado na Alemanha, e já foi adotado no Reino Unido e na Holanda.

- Licitação/Leilão: Processo competitivo onde a outorga do uso de áreas para exploração de potencial eólico offshore é concedida ao vencedor. É adotado na Bélgica, no Reino Unido, na França, na Dinamarca, na Holanda, na China e nos Estados Unidos.

Nos últimos anos a queda nos custos associados aos projetos eólicos *offshore* se refletiu no preço da eletricidade gerada, e isso se deve também as políticas para impulsionar o setor como, tarifas definidas administrativamente, cotas específicas de tecnologia ou leilões (IRENA, 2018). Em 2020, o GWEC *Market Intelligence* fez um levantamento com os principais esquemas de suporte para a eólica offshore utilizados pelos países que investem neste tipo de

tecnologia. O quadro 2 mostra os principais esquemas regulatórios atuais e os já utilizados pelos países para promover a eólica offshore.

Quadro 2: Mecanismos Regulatórios de suporte utilizados no mercado internacional

Mercado Chave	Esquemas antigos	Esquemas atuais	Próximos Esquemas
Reino Unido	Certificações de obrigação renovável	Contrato por Diferença (CfD)	n/a
Dinamarca	Leilões de preço garantido com tarifa premium	Leilões de preço garantido com tarifa premium / Contrato por Diferença (CfD)	Contrato por Diferença (CfD)
Alemanha	Feed-in-Tariff	Leilões com Subsídio Zero	Leilões Centralizados
Países Baixos	Feed-in-Tariff/Feed-in-Premium (SDE)	Tarifa Premium por Sistema de Licitações	n/a
Taiwan	Programa de Incentivo de Demonstração	Feed-in-Tariff/Licitação competitiva	PPAs Corporativos com T-REC (Certificação de Energia Renovável de Taiwan)
China	Feed-in-Tariff	Leilão com preço de célula regulado	Leilões com Subsídio Zero
Japão	Feed-in-Tariff	Licitação competitiva	n/a

Fonte: Elaboração própria a partir de GWEC *Market Intelligence*, 2020

Muitos países fizeram uso da tarifa *feed-in*, ou seja, um preço específico, geralmente fixado para um período de sete anos, que deve ser pago pelas empresas de eletricidade, geralmente distribuidores, para produtores domésticos de energia verde. Além das tarifas *feed-in* também foram utilizados os sistemas de certificado verde, onde todos os produtores são obrigados a comprar um certo número de certificados de produtores de acordo com uma porcentagem fixa de seu consumo/geração total de eletricidade, incentivos fiscais e concursos públicos (EDWARDS, 2011). Um exemplo de certificados verdes são os *Renewables Obligation Certificates* (ROC's) do Reino Unido. Os ROCS consistem em esquema de suporte que obriga as empresas de eletricidade a aumentarem a parcela de geração de energia renovável ano a ano (MARKARD; PETERSEN, 2009).

Pode-se perceber a partir do quadro acima que com o passar do tempo e os avanços tecnológicos, os países que já possuem este tipo de tecnologia estão em fase de migração para processos competitivos de contratação. Com o crescimento da confiança por parte dos investidores, leilões eólicos *offshore* são adotados em um número crescente de países, incluindo China, Dinamarca, França, Alemanha, Japão, Holanda e Reino Unido (IRENA, 2018).

Dentre os leilões, os de local específicos tendem a ter preços mais baixos, visto que neste tipo de leilão o investidor não precisa realizar estudos prévios para definir o local onde o parque será implantado, tarefa que é realizada pelo governo. Esse tipo de leilão ajuda a reduzir

os riscos do investidor e os custos de transação ao facilitar a obtenção de licença e a documentação necessária para a implantação dos parques, centralizando essas tarefas no governo (IRENA,2018).

5.2 PAPEL DAS POLÍTICAS PÚBLICAS E DA REGULAÇÃO PARA A EXPANSÃO ACELERADA DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Tal como já destacado ao longo desse trabalho, a fonte eólica apresenta diversos benefícios. Além de ser uma energia renovável e que não emite gases do efeito estufa durante sua operação, ela gera renda para os municípios onde os parques são implantados. As empresas que operam esses parques também auxiliam no desenvolvimento das comunidades locais promovendo ações sociais, culturais, de saúde e ambientais (ABEEOLICA, 2022).

Além dos fatores já citados, é importante frisar que no Brasil há a possibilidade de combinar as gerações hidrelétrica e eólica, uma vez que a geração eólica no país é maior no período em que os reservatórios hidrelétricos estão em baixa. Sendo assim, a energia eólica pode auxiliar no processo de acúmulo dos reservatórios hidrelétricos, atenuando os efeitos da seca mediante planejamento da inserção da energia eólica no sistema (SIMAS; PACCA, 2013).

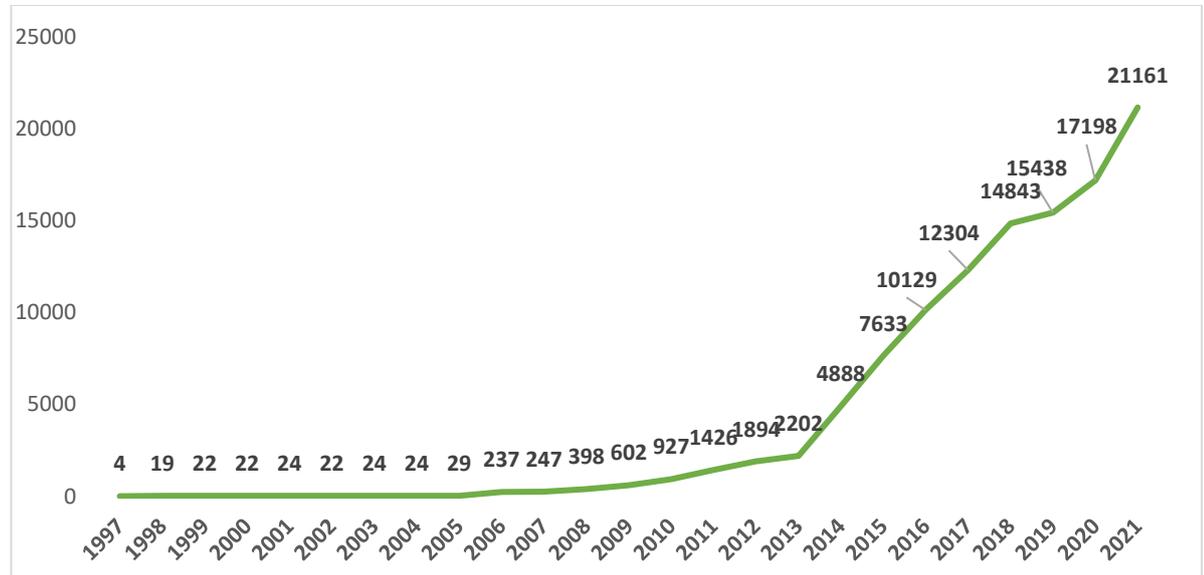
No Brasil, o desenvolvimento da energia eólica vem ocorrendo de forma acelerada, e segundo González *et al* (2020) pode ser visto como um caso de referência de uma combinação de política energética e industrial. Segundo os autores, isso foi possível devido a uma política energética estruturada e articulada com mecanismos de incentivo diretos, que possibilitaram o desenvolvimento de uma indústria eólica local, e indiretos, atuando na promoção da energia eólica em geral.

O primeiro aerogerador instalado no Brasil entrou em operação em 1992 no arquipélago de Fernando de Noronha, como resultado de uma parceria firmada entre o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE). No entanto, a falta de políticas específicas de incentivo e o alto custo da tecnologia à época fizeram a energia eólica crescer pouco nos dez anos que se seguiram a instalação do primeiro aerogerador no país (ABEEOLICA, 2020).

Após a crise de energia no início dos anos 2000 no Brasil, dentro de uma perspectiva favorável à utilização de fontes renováveis, a energia eólica despontou como uma opção interessante para dar complementariedade ao parque hidrelétrico. Sendo assim, entre 2012 e 2020 o Brasil saiu da 15ª posição no Ranking mundial de capacidade instalada para a 6ª posição, onde se mantém até hoje, com a região Nordeste sendo responsável por 80% dos 827 parques

eólicos instalados no país, que juntos representam 22,5 GW de capacidade instalada (INFOVENTO 27, 2022).

Gráfico 10: Evolução da capacidade instalada eólica no Brasil em MW



Fonte: BP,2022

O ano de 2021 encerrou com US\$ 5,15 bilhões investidos no setor eólico, representando 44% dos investimentos realizados em renováveis (solar, eólica, biocombustíveis, biomassa e resíduos, PCHs e outros), no Brasil. Considerando o período de 2010 a 2021, o investimento total do setor eólico é de cerca de US\$ 42,36 bilhões (ABEEÓLICA,2022b).

É importante lembrar que apesar de ser uma fonte limpa e renovável, o crescimento da energia eólica esbarra na questão da necessidade de uma potência complementar devido a variabilidade da produção. Além disso, os prazos de implantação dos parques eólicos estão cada vez menores, tornando necessário um planejamento entre a implantação das usinas e dos sistemas de transição para conectá-las ao sistema.

O Plano Nacional de Energia 2050 prevê que a fonte eólica no Brasil deve manter sua expansão em terra, devido ao seu extenso potencial e à qualidade deste recurso energético. No entanto, é importante ressaltar que a tendência mundial aponta para um avanço considerável da utilização de energia eólica produzida no mar (PNE, 2050).

5.2.1 Políticas de Apoio

Os anos 1990 foram muito importantes para o desenvolvimento da energia eólica no país com a aprovação de diversas leis que permitiram regulamentar o setor que tinha prevalência de empresas estatais e verticalizadas. A década de 90 foi marcada por privatizações em diversos

setores, sendo a energia elétrica um deles. O processo de privatização no setor elétrico fez surgir a necessidade de regulamentar a definição de produtor independente e autoprodutor, por exemplo. Além disso, a lei das concessões de 1993 (Lei 8.666) instituiu normas para licitações e contratação de fornecimento de energia ou suprimento de concessionários, permissionários e autorizados (SEICERA *et al*, PEREIRA; AZEVEDO, 2013).

No início dos anos 2000, surgiram algumas iniciativas de incentivo à fonte eólica, como o Proeólica e o Proinfa e as políticas para incentivo à indústria eólica nacional do BNDES. O Proeólica foi criado em julho 2001 através da Resolução 24 da Câmara de Gestão de Crise Energética e previa viabilizar a implantação de 1.050 MW de capacidade instalada de eólicas até dezembro de 2003. A energia gerada pelos empreendimentos do programa possuía promessa de compra por pelo menos 15 anos da Eletrobrás (BRASIL, 2001). No mesmo ano, também foi lançado o Atlas do Potencial eólico Brasileiro, que tinha como motivação a falta de dados adequados e confiáveis sobre o potencial eólico brasileiro que limitavam os investimentos (AMARANTE *et al*,2001).

O Proeólica não apresentou grandes resultados sendo o Proinfa lançado logo em seguida. Instituído pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, logo após a crise de fornecimento e distribuição de energia do ano anterior, o programa tinha como objetivo aumentar a participação de pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimento termelétricos à biomassa na matriz elétrica brasileira, privilegiando empreendedores independentes e autônomos, ou seja, que não possuem vínculo com grandes empresas do setor.

A lei de criação do programa assegurava a compra de energia produzida por um prazo de vinte anos, a partir da data de entrada em operação definida nos contratos, com a aquisição de energia dada pelo valor econômico correspondente à tecnologia de cada fonte, a ser definido pelo Poder Executivo. Em primeira etapa, o programa visava atingir a meta de 3.300 MW. Após atingir essa meta, as atenções se voltariam para a meta de atender 10% do consumo anual de energia a partir das fontes contempladas no programa, em até 20 anos, considerando os prazos e resultados atingidos na primeira etapa.

O Proinfa foi responsável pela implantação de cerca de 50 empreendimentos eólicos no Brasil, a partir de potência contratada de 1.422,92 MW (CASTRO, SOUZA & CASTRO, 2019). O programa tinha como exigência uma parcela de conteúdo local para os aerogeradores, que abriu caminho para uma indústria nacional de componentes e turbinas eólicas no Brasil (ABEEOLICA, 2020). No entanto, vale ressaltar que no início a exigência de um nível mínimo de 60% de nacionalização acabou gerando atrasos para o programa, visto que havia apenas um único fabricante de equipamentos eólicos sediado no país, não sendo esse capaz de atender toda

a demanda por equipamentos que estava surgindo naquele momento (FERREIRA, BLASQUES, PINHO, 2014).

Em relação aos incentivos, tanto o Proeólica quanto o Proinfra foram programas que utilizaram a tarifa *feed-in* como forma de incentivar o setor. Foi estabelecida uma tarifa de compra chamada de Preço Premium, em R\$/MWh, que era reajustada anualmente pelo Índice Geral de Preços de Mercado (IGP-M). Esse tipo de tarifa funciona com as concessionárias sendo obrigadas a comprar eletricidade de fonte renovável com valores acima dos praticados no mercado (SEICERA *et al*, 2013; FERREIRA, BLASQUES, PINHO, 2014).

Já financiamento por parte do BNDES, incentivou tanto o investimento nos parques de geração quanto novos credenciamentos de fabricantes de aerogeradores com financiamento de até 70% do projeto⁴. Além desses incentivos, a Eletrobrás também oferecia uma garantia de receita mínima de 70% da energia contratada durante o período de financiamento, o que tornava o programa bem atrativo (NASCIMENTO *et al*, 2012; ARAÚJO & WILLCOX, 2018; SEICERA *et al*, 2013).

No caso da energia eólica, Ferraz *et al* (2022) apontam quatro mudanças sucessivas no processo de credenciamento do banco:

1. “*Cost and Weight to Sales Accreditation*” – CWSA: Esse tipo de procedimento esteve em vigor durante 40 anos e terminou em 2009. Durante este período o banco financiava um número limitado de componentes para parques eólicos, como torres de aço. No início dos anos 2000, a relação entre os custos dos componentes e o peso dos equipamentos e o seu preço de venda foi fixada em 60%. Os 40% restantes poderiam ser adquiridos no exterior.
2. “*Firm Level Progressive Accreditation*” – FPA: Com o aumento da demanda por energia eólica entre 2009 e 2012, o banco projetou esse instrumento na forma de um acordo bilateral entre ele e fornecedores determinados visando aumentar a produção local. Esse instrumento resultou na entrada de 11 produtores de turbinas no país.
3. “*Sectorial Progressive Accreditation*” – SPA: Esse instrumento foi utilizado entre 2012 e 2018 e pode ser entendido como uma evolução da FPA. A relação de custo e peso para vendas mudou para parâmetros relacionados à progressividade do nível de sofisticação dos dispositivos.

⁴ Esse valor não engloba os custos de bens e serviços importados e o custo do terreno

4. “*Cost and Qualifier Based*” – CQB: Esse instrumento passou a ser utilizado a partir de 2018 e leva em consideração as diferentes características entre os segmentos na produção de bens de capital. O CQB é baseado em dois componentes: uma relação custo local para total e um conjunto de qualificadores relacionados à capacidade.

Através do Plano de Nacionalização Progressiva (PNP Finame), o BNDES exigia em contrapartida aos financiamentos a utilização de conteúdo nacional. Para participar do FINAME as empresas devem estar sediadas no Brasil e todos os produtos comprados devem ser novos e de fabricação nacional, comprados de empresas credenciadas ao FINAME. Além de empresas, a administração pública, produtores rurais, pessoas físicas residentes e domiciliadas no país, condomínios entre outros, podem solicitar o financiamento junto ao programa através de uma instituição financeira credenciada ou enviando uma solicitação pelo canal de Micro, Pequenas e Médias empresas (BNDES,2022). Vale ressaltar que dentre as exigências do BNDES para a obtenção de financiamento, estava a lei para Produtores independentes de Energia (PIE) que acabava por restringir o acesso de grandes empresas que dispunham de grandes volumes de capital e poderiam assumir maiores riscos de investimento (FERREIRA, BLASQUES, PINHO, 2014).

O BNDES continua sendo uma importante fonte de financiamento para os projetos de energia eólica, oferecendo taxas especiais com base no fluxo de caixa dos projetos, ao mesmo tempo em que exige regras para utilização de conteúdo local nesses projetos (GWEC,2022c). Por fim, também é importante citar duas leis de incentivo fiscal à fonte eólica, a Lei nº 11.488/20076 que criou o regime especial de incentivos ao desenvolvimento de infraestrutura (REIDI), que isenta os equipamentos eólicos de impostos nacionais, e o acordo CONFAZ 6 Lei nº 11.488/2007 | Presidência da República 101/1997, que isenta materiais de turbinas eólicas do imposto estadual sobre vendas e foi recentemente prorrogado até o final de 2028 (GWEC,2022).

5.2.2 O papel do novo modelo do setor elétrico e o sistema de leilões

O novo modelo do setor elétrico foi instituído em 2004 com a Lei nº 10.848/2004, com regras estáveis visando promover segurança para o setor. Nesse novo modelo, ficou instituída a modicidade tarifária, ou seja, leilões públicos onde vence aquele agente que oferecer a menor tarifa. Nesse novo modelo foram criados dois ambientes de contratação, o ambiente de

contratação regulado (ACR) e o ambiente de contratação livre (ACL) (VIANA; PARENTE,2010).

No ambiente de contratação regulado ocorrem os diferentes tipos de leilão: leilão de empreendimentos existentes, de novos empreendimentos, de fontes alternativas e de empreendimentos estruturantes. Aqui as distribuidoras ocupam o lugar de consumidores livres, enquanto os consumidores desempenham um papel marginal nas operações restringindo-se aos leilões de energia existente (VIANA; PARENTE, 2010).

O sistema de leilões foi desenvolvido com o objetivo de incentivar a expansão da geração de energia no país, uma vez que permite uma expansão coordenada e de acordo com as demandas das distribuidoras de energia elétrica. As distribuidoras são obrigadas a atender todo o mercado em sua responsabilidade e só podem adquirir a energia somente via leilões de acordo com o Decreto nº 5163/04 (CARNEIRO; CEQUEIRA, 2016).

Os leilões possuem como vantagem um contrato de fornecimento de suprimento de energia que permite que o investidor tenha uma garantia para a obtenção de financiamentos e fornece incentivo para a expansão da geração combinando o planejamento com instrumentos de mercado. Eles são realizados pelo Ministério de Minas e Energia a partir de Estudos da EPE com participação da ANEEL e da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) que operalizam e realizam o leilão – elaboram edital e contratos e estruturam a administração comercial pela CCEE (VIANA; PARENTE,2010)

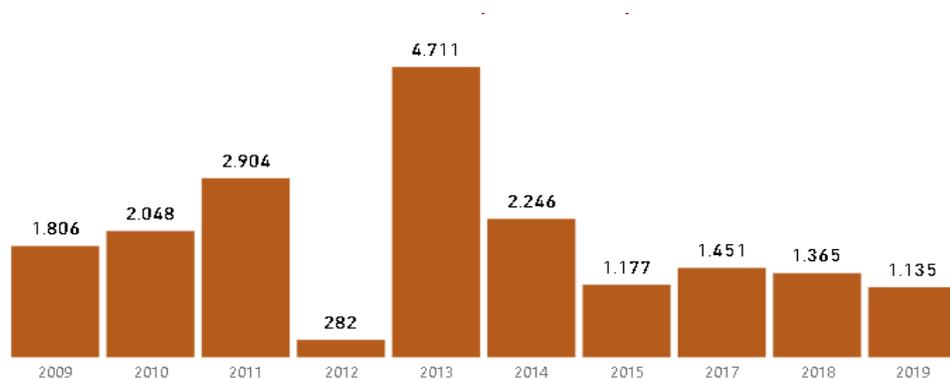
O sistema de leilões no Brasil foi amplamente utilizado desde 2004, com 82 rodadas de leilões entre dezembro de 2004 e outubro de 2019, que juntas totalizaram 105 GW de capacidade, sendo 77 GW de fontes de energia renováveis, dos quais 18 GW foram para energia eólica (GWEC,2022c). Viana e Parente (2010) destacam algumas características que incentivam as fontes renováveis durante a estruturação dos leilões:

- Adoção de tetos de Custo Variável Unitário (CVU): empreendimentos hidroelétricos e demais fontes renováveis tem CVU igual a zero, enquanto as termelétricas têm um CVU que representa o custo de combustível e operação/manutenção para geração de 1mwh acima da geração inflexível. O CVU acima de zero é um custo para toda a sociedade;
- Criação de certames exclusivos para fontes renováveis;
- Adoção sistemática de leilões.

Até 2009, o PROINFA foi responsável por 95% da capacidade instalada no país (SEICERA *et al*, 2013). No entanto, a potência instalada no país não chegava a 1 GW até então, somando 606 MW em todo o país (GUIMARÃES; CERQUEIRA, 2016).

Em 2009, a energia eólica entra no mercado regulado com o primeiro leilão de energia voltado exclusivamente para energia eólica com 1,8 GW contratados. Em dezembro do mesmo ano, um segundo leilão contratou usinas para entrar em operação em 2012 com contratos de 20 anos de duração (ABEEOLICA, 2020). Em 2010, ocorreram dois leilões com a participação da fonte eólica. No entanto, uma novidade é que esses leilões não trabalhavam apenas com a fonte eólica, contemplando diversas energias renováveis que competiam entre si (ABEELICA, 2020). Já em 2013, foram contratados 4,1 GW de energia eólica, um recorde para o setor. No mesmo ano, a fonte se tornou a segunda fonte mais contratada na história dos leilões regulados, atrás somente das hidrelétricas (ABEEOLICA, 2020).

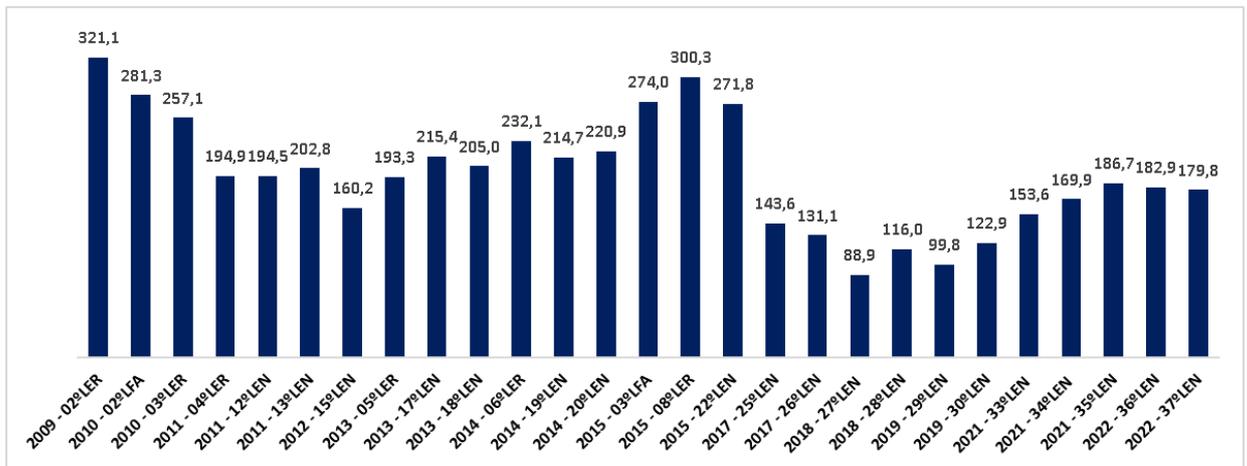
Gráfico 11: Potência por Ano



Fonte: Secretaria Executiva de Leilões – ANEEL

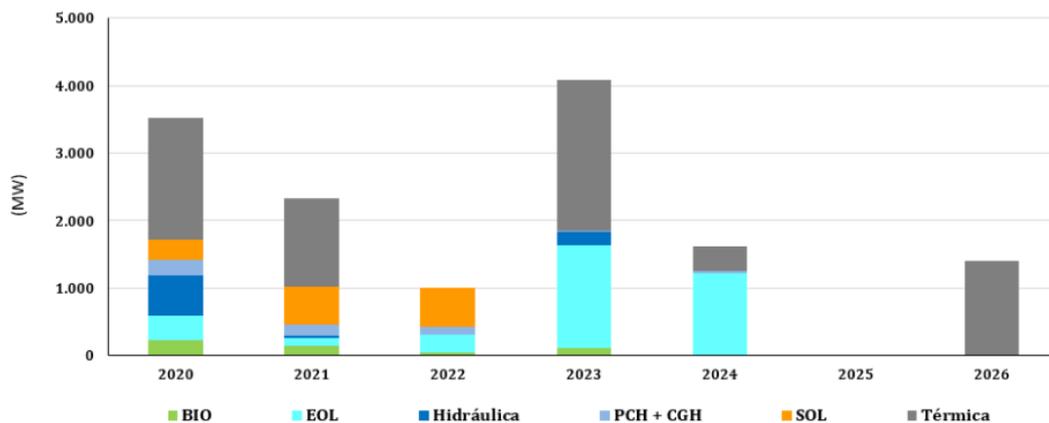
Em 2016 não foram realizados leilões devido à crise econômica que levou a uma baixa demanda por energia, com o Brasil ficando quase dois anos sem novas contratações (ABEEOLICA, 2020). Nos anos seguintes, pode-se perceber uma queda nos preços praticados nos leilões com um novo aumento no período pós-pandemia (Gráfico 12). De 2009 até 2022 a eólica já participou de 27 rodadas de leilão, sendo 2 leilões de fonte alternativa, 6 leilões de energia de reserva e 19 leilões de energia nova.

Gráfico 12: Leilões 2009 a 2022 – Preço médio por MW



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da CCEE

Gráfico 13: Expansão contratada até 2019 – Incremento anual de capacidade



Usinas que iniciam operação comercial, de acordo com o DMSE, a partir do segundo dia do mês são consideradas no incremento do mês seguinte. As usinas termelétricas a óleo diesel, óleo combustível e gás natural retiradas da expansão nas datas de término de seus contratos não estão contabilizadas nesse gráfico.

Fonte: PDE,2029

A partir do gráfico 13 podemos perceber um aumento da capacidade instalada da fonte eólica, principalmente em 2023 e 2024. Segundo o GWEC, a continuação do programa de leilões garante um mercado estável para o desenvolvimento e utilização da cadeia de suprimentos e do potencial brasileiro (GWEC, 2019).

Dados do Infoleilão da CCEE de fevereiro de 2023 mostram que a participação da energia eólica nos leilões de expansão soma 16,99% e fica atrás somente das grandes hidrelétricas (37,16%) e das usinas a gás natural (21,65%) sendo a segunda fonte com menor preço médio, com R\$ 214,8/MWh. Vale ressaltar que esses dados são referentes às contratações

em ambiente regulado. A energia eólica também é comercializada no mercado livre, mas em menor volume.

O GWEC (2022b) estimou que cerca de 4GW são contratados em média por ano via mercado livre desde 2018. Vale ressaltar que o mercado livre tem se expandido no Brasil mesmo sem o apoio do governo, devido a contínuas reduções de preço na fonte eólica, que devem atrair investidores e consumidores nos próximos anos (GWEC,2022c)

5.3 CADEIA PRODUTIVA BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA

Nos últimos anos, com o crescimento do setor de energia eólica pode-se observar um movimento de grandes empresas do setor se instalando no Brasil. Muito desse movimento se deve a redução de custos que tornou este tipo de fonte competitiva e ao papel do BNDES na promoção de uma política de conteúdo local que tem se mostrado efetiva, temas que serão abordados no próximo capítulo (SEICERA *et al*, 2013).

Desde a realização do primeiro leilão de energia eólica em 2009 e da sinalização da EPE de priorizar as fontes de energia renovável, diversas empresas multinacionais fabricantes de aerogeradores decidiram se instalar no país. Enquanto em 2009 o país possuía apenas uma empresa operando no Brasil, em 2011 esse número subiu para cinco, demonstrando que o setor estava se tornando competitivo (SIMAS; PACCA,2013).

Em 2018, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) atualizou o seu mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil. De acordo com a agência, a cadeia produtiva de energia eólica até então, era formada por 79 indústrias relacionadas ao setor diretamente, e ao menos outras 150 empresas prestando serviços de desenvolvimento de projetos, pré-construção, construção, operação e manutenção (ABDI, 2018).

Importante lembrar que como ainda não existem eólicas offshore em operação no país, os dados abaixo se referem à cadeia produtiva local de eólicas *onshore*. Da mesma forma como destacado no capítulo 1 acima, quatro fatores indutores cumpriram, de forma conjunta, relevante papel para a expansão da energia eólica no Brasil.

Cadeia Nacional de Turbinas Eólicas

Até 2014, o mercado de fabricantes de aerogeradores no país era bastante concentrado, com 10 montadoras sendo 6 credenciadas ao programa de Financiamento de Máquinas e Equipamentos (FINAME/BNDES). São elas IMPSA, WOBEN, GE, ALSTOM, GAMESA, ACIONA, WEG, SIEMENS, SUZLON e VESTAS. Dentre essas empresas, a WEG é única

fabricante de origem nacional (ABDI,2018). Já o mercado de pás possuía quatro fabricantes em 2017, a WOBLEN, a Tecsis, e Aeris e a LM Wind Power. Segundo a ABDI (2018) “a pá é o componente de maior custo do aerogerador e de maior impacto em seu desempenho”. Segundo Podcameni (2014), a maior parte das empresas se localiza nas regiões Nordeste e Sul, sendo essas regiões as que possuem os maiores potenciais eólicos.

Qualidade da Infraestrutura

Em relação à infraestrutura, um dos maiores problemas é o sistema de transmissão precário em vários pontos do país, principalmente na região Nordeste, onde estão instalados a maioria dos projetos de energia eólica do país. O sistema de transmissão precário é prejudicial para o desenvolvimento desta fonte visto que para entrar em operação os parques têm que lutar para ter acesso aos pontos de conexão com a rede (GWEC, 2022c).

Outro ponto é que as estradas, pontes e ferrovias brasileiras ainda não possuem capacidade para suportar o aumento do tráfego de veículos com grandes cargas que serão utilizados para levar os equipamentos necessários até os parques eólicos. Um exemplo é a Região Nordeste que apesar de abrigar a maior parte da capacidade eólica existente no país, devido ao fato de grande parte das áreas rurais nessa região não possuírem infraestrutura adequada, acaba gerando um atraso no investimento na região que poderia ser maior do que é hoje (GWEC, 2022c). É importante ressaltar que a logística de transporte das peças e equipamentos correspondem a um grande gargalo no Brasil de forma que a localização geográfica das empresas fornecedoras, perto das áreas de geração, é um importante diferencial competitivo (PODCAMENI,2014).

Qualificação da Mão de Obra

Os grandes investimentos em energia eólica nos últimos anos no país afetaram positivamente a geração de empregos. Segundo a ABEEÓLICA (2023), a energia eólica é capaz de gerar 15 postos de trabalho por MW instalado. Para além da construção dos parques, durante a operação do mesmo ainda serão gerados investimentos e consequentemente empregos nas áreas de manutenção e operação, sendo esses empregos de carácter mais permanentes do que os empregos na área de construção, dado o tempo de operação dos parques, em torno de 20 anos (BORGES,2022).

Os efeitos citados acima são os efeitos diretos da instalação de parques eólicos. Para além desses efeitos, existem também os indiretos e os induzidos. Os efeitos indiretos podem ser entendidos como os efeitos da venda de bens e serviços dos fornecedores locais para o setor eólico, enquanto os efeitos induzidos se dão através do efeito que os salários e lucros pagos

pelas empresas do setor geral na economia local quando transformados em consumo (BORGES, 2022).

Competição por matéria prima

A indústria eólica brasileira possui alguns gargalos em relação a sua cadeia de suprimentos. Ao longo do período de construção dos parques, as pressões de aumento de preços e a indisponibilidade de alguns insumos dificultam que os projetos sejam entregues no prazo (GOUVÊA; SILVA, 2018). Além disso, o custo dos insumos produtivos nacionais, em média é maior do que a compra do mercado internacional, com destaque para o aço que é um dos principais componentes para turbinas com torres de aço (ABDI, 2018).

Segundo a ABDI (2018), são poucos os fornecedores de aço para turbinas eólicas no país. Além disso, segundo a associação, existem outros monopólios em termos de materiais no país, como o aço para fundido, o aço silício, a resina epóxi e os tecidos de fibras de vidro para as pás.

5.4 DESAFIOS PARA A EXPANSÃO DE PROJETOS EÓLICOS *OFFSHORE* NO BRASIL

Em fevereiro de 2020, o MME e a EPE lançaram o Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 – PDE 2029. No documento, a energia eólica *offshore* foi considerada pela primeira vez uma forte candidata à expansão, a partir do ano de 2027. Apesar dos custos para investir neste tipo de tecnologia serem considerados elevados frente às outras fontes disponíveis para expansão, vale destacar que com essa tecnologia alcançando a maturidade à nível mundial, o desenvolvimento de estudos técnicos, econômicos e socioambientais, em conjunto com avanços na área regulatória brasileira podem permitir tornar esta fonte mais competitiva trazendo importantes benefícios para o setor elétrico no futuro (MME/EPE, 2020).

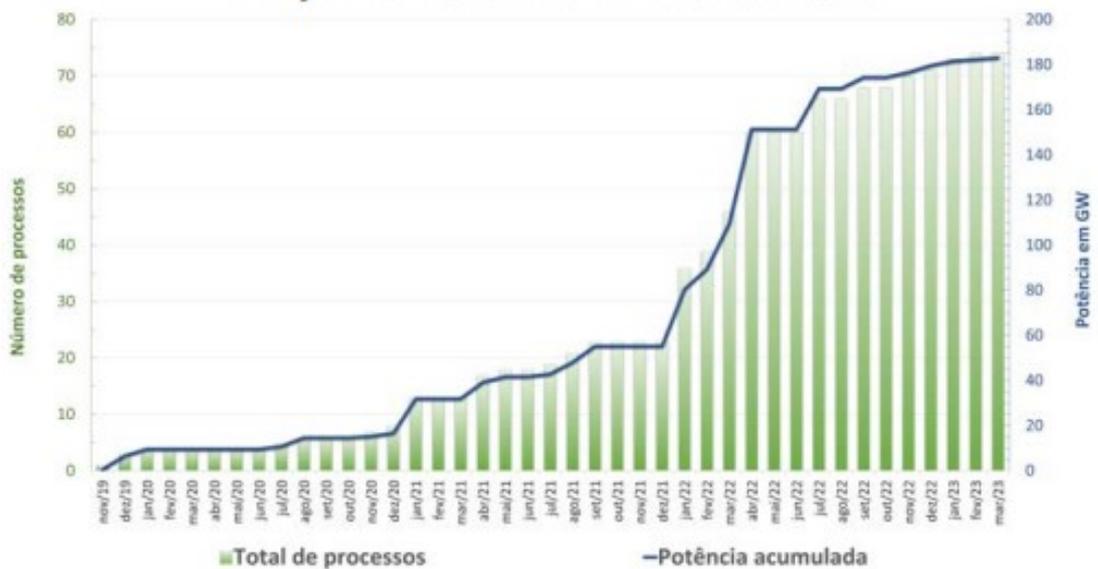
Espera-se que a implantação de eólicas no mar brasileiro seja maior que o *onshore* e ainda maior que a média mundial. No entanto, apesar do grande potencial para aproveitamento do recurso eólico no mar, estimados em 480 GW para projetos fixos e 748 GW para projetos flutuantes, o Brasil ainda não possui instalações eólicas *offshore* (EPE; 2020; GONZALEZ *et al*, 2020).

Neste contexto, o GWEC ressalta que mesmo que instalações reais possam demorar a se tornar realidade, é importante salientar a tendência para o desenvolvimento da energia eólica *offshore* em mercados como o Brasil (GWEC, 2019). Para que este desenvolvimento ocorra, vários desafios precisam ser enfrentados, desde a necessidade de políticas de apoio, estudos

ambientais para licenciamento, até novas formas de financiamento. Além disso, alguns fatores como a experiência na exploração de óleo e gás no mar e em águas profundas, a estrutura portuária já existente e uma indústria eólica local podem auxiliar na implantação deste tipo de energia no país, levando a uma redução de custos e a uma maior competitividade frente à outras fontes.

Em janeiro de 2022, o Governo Federal publicou o Decreto nº 10.946 que entrou em vigor em junho de 2022 e dispõe sobre a cessão de uso de espaços físicos e aproveitamento de recursos naturais no mar para a geração de energia elétrica a partir de empreendimentos *offshore*. As discussões do decreto aumentaram a confiança dos investidores no setor fazendo os projetos em licenciamento no Ibama saltarem de 40 GW para mais de 180 GW como pode-se perceber no gráfico 14. Outro fator que ajudou a aumentar a confiança dos investidores no setor foi o lançamento do termo de referência do Ibama, que entrou em vigência no fim de 2021. Segundo o GWEC (2022), o próximo passo é a realização de estudos por parte do MME para selecionar as zonas eólicas *offshore* e então realizar os leilões.

Gráfico 14: Evolução da demanda do licenciamento



Fonte: IBAMA, 2023

Além do Decreto, está em discussão o Projeto de lei 576/2021 de autoria do ex-senador e então presidente da Petrobras, Jean-Paul Prates que discute o uso do mar territorial e de outros corpos de água para a geração de energia. O projeto de lei engloba qualquer tipo de energia, inclusive as que ainda não existem e foi aprovado no início do segundo semestre de 2022. O projeto prevê o planejamento para a viabilização da conexão junto ao Sistema Interligado

Nacional, qualificação dos desenvolvedores, e a divisão entre autorização para geração e a cessão de uso da área além da garantia do processo competitivo.

Em outubro de 2022, o Ministério de Minas e Energia com apoio de outros ministérios e agências reguladoras, publicou diretrizes para aproveitamento da geração de energia elétrica *offshore*. Por meio da Portaria nº 52/GM/MME, o MME define normas e procedimentos complementares relativos à cessão de uso onerosa para exploração de energia elétrica *offshore*.

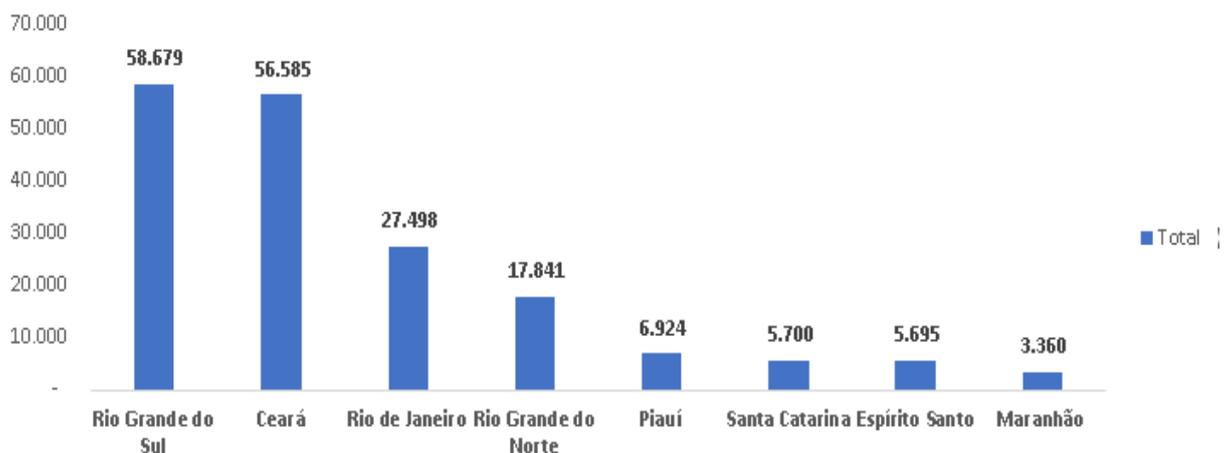
Já a Portaria Interministerial MME/MMA nº 03/2022, estabeleceu diretrizes para criação, desenvolvimento e utilização do Portal Único de Gestão do Uso das Áreas *Offshore*, uma ferramenta digital, *online* e pública onde o MME poderá dar continuidade as normas complementares do Decreto 10.946 de 2022 e contribuir para oferecer segurança jurídica para os investidores e possibilitar mais investimentos no país.

A segurança que vem sendo oferecida com o decreto e demais instrumentos jurídicos representa um avanço crucial para que o Brasil possa iniciar a implantação de parques eólicos *offshore*. Com a segurança jurídica e normas e procedimentos técnicos estabelecidos o próximo passo será desenvolver a infraestrutura para a implantação dos projetos.

Até março de 2023, o Brasil contava com 74 projetos de 28 empresas em fase de licenciamento junto ao IBAMA que juntos somam mais de 182 GW de potência e estão distribuídos entre 8 estados Brasileiros: Ceará, Espírito Santo, Maranhão, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

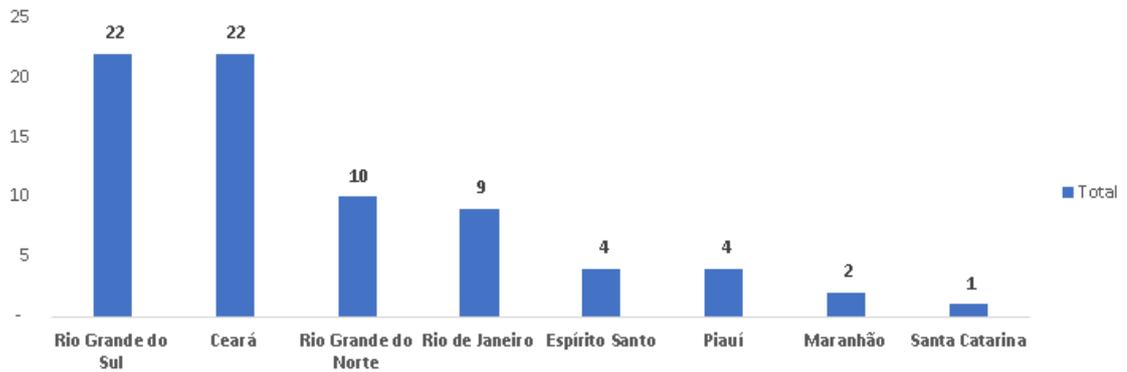
Como pode-se ver nos gráficos 15 e 16, o Rio Grande do Sul e o Ceará são os estados que concentram maior número de projetos em fase de licenciamento e com maior potencial de capacidade a ser instalada, seguidos do Rio Grande do Norte e do Rio de Janeiro.

Gráfico 15: Capacidade dos projetos em licenciamento no Ibama em MW por estado



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBAMA, 2023

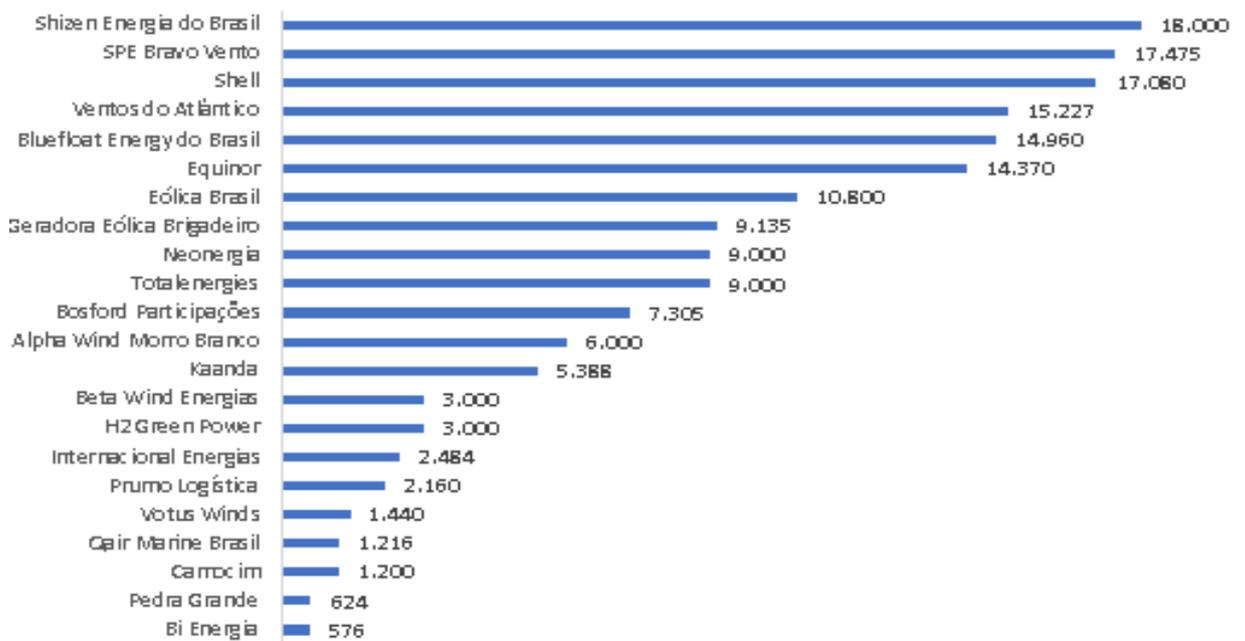
Gráfico 16: Quantidade de projetos em licenciamento no Ibama por estado



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBAMA, 2023

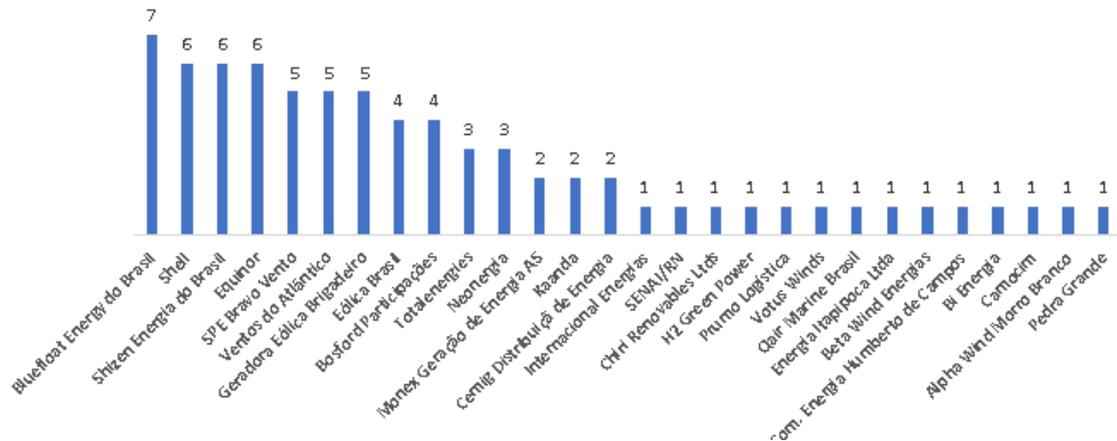
A distribuição dos projetos segundo as empresas proponentes do licenciamento pode ser vista nos gráficos 17 e 18. A Shizen, um grupo japonês, é a empresa com maior número com a maior capacidade instalada, já a Bluefloat Energy do Brasil é a empresa com o maior número de projetos aguardando licenciamento. Também é possível perceber a partir dos gráficos que dentre as empresas com processo de licenciamento aberto, estão empresas que já atuam no Brasil com experiência no mercado offshore, como a Shell, Equinor, TotalEnergies e a Prumo, por exemplo.

Gráfico 17: Capacidade em MW por empreendedor



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBAMA, 2023

Gráfico 18: Quantidade de projetos em licenciamento por empresa



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBAMA, 2023

Apesar da Petrobras não estar na lista de empresas com projetos em fase de licenciamento, a empresa firmou um acordo em março de 2023 com a Equinor para avaliar sete projetos de eólica *offshore* no Brasil. A empresa assinou uma carta de intenções para ampliar a cooperação das empresas em projetos em seis diferentes estados do país, que juntos somam mais de 14 MW de potência (PETROBRAS, 2023).

Em maio de 2023, o diretor de Transição Energética e Sustentabilidade da Petrobras, Maurício Tolmasquim, afirmou que a empresa deve atuar no desenvolvimento da eólica *offshore* no país através da parceria com outras empresas, compartilhando investimentos, experiências e riscos. A expectativa da Petrobras e de outras empresas como a TotalEnergies e do Instituto Brasileiro de Petróleo é de que o primeiro leilão de áreas ocorra em 2024 (EPBR, 2023).

5.5 CONCLUSÃO

Não se sabe ao certo quando o primeiro projeto eólico *offshore* será desenvolvido no país, mas os avanços regulatórios no decorrer de 2022 e a experiência internacional aponta para um rápido crescimento desta fonte.

No Brasil, até 2023, mais de 70 projetos aguardam a licença prévia junto ao Ibama, e esses números têm aumentado à medida que os investidores sentem maior segurança no ambiente regulatório. No entanto, é importante lembrar que a eólica *offshore* possui desafios tecnológicos e é uma atividade intensiva em capital que exige recursos financeiros e organizacionais específicos para que possa se desenvolver e se tornar competitiva.

Fatores como a segurança energética, além de competitividade, benefícios sociais e ambientais em conjunto com uma estrutura favorável para os projetos eólicos *offshore*, ajudam a tornar esta fonte mais atrativa. Além disso, o cenário internacional, aponta para uma contínua redução de custos.

CAPÍTULO 6: SINERGIAS ENTRE O SETOR DE PETRÓLEO E GÁS OFFSHORE E A EÓLICA OFFSHORE

Este capítulo tem por objetivo consolidar os principais resultados dissertação de mestrado. Assim, as hipóteses teóricas identificadas e selecionadas a partir da revisão da literatura sobre as sinergias entre a indústria de petróleo e gás *offshore* e a indústria eólica *offshore* serão contrastadas com os resultados das entrevistas realizadas com profissionais do setor de energia no Brasil.

Dentro desse contexto, a primeira sessão desse capítulo apresenta a metodologia desenvolvida para a realização do processo de entrevistas, enquanto a segunda sessão apresenta os seus principais resultados. Já a terceira sessão resgata as mais importantes sinergias identificadas entre os dois setores na literatura pesquisada. Por fim, as conclusões do capítulo são exibidas com a apresentação de um quadro com sugestões de fatores presentes no sistema nacional de inovação de petróleo e gás que podem ser aproveitados para auxiliar no desenvolvimento da eólica *offshore* no país.

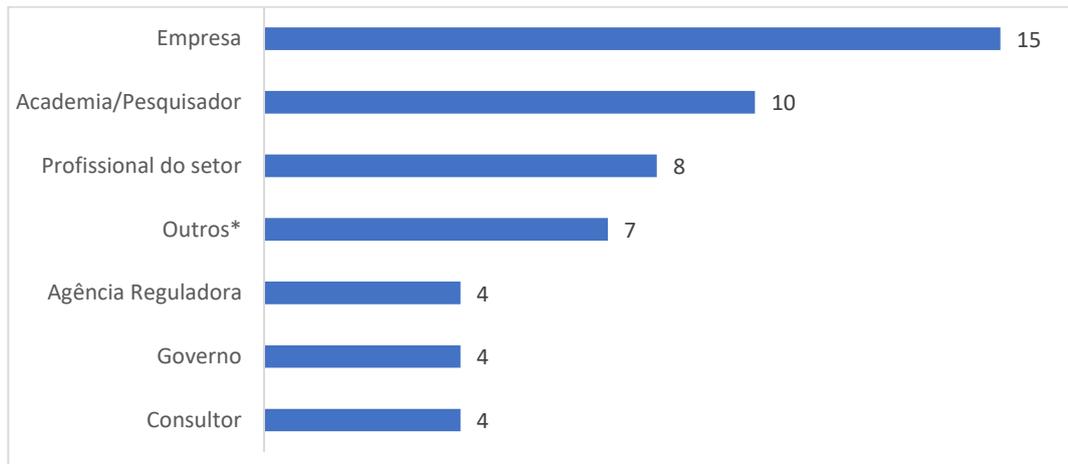
6.1 METODOLOGIA

Foram coletados dados primários através de entrevistas com roteiros estruturados com profissionais da área de energia. O objetivo das entrevistas era analisar a visão desses atores sobre a eólica *offshore* no Brasil, seus potenciais e desafios e sua relação com a indústria de petróleo e gás *offshore*.

As entrevistas foram realizadas de forma online através da plataforma Formulários Google e enviadas por *e-mail*. Os formulários começaram a ser enviados de 8 de agosto de 2022 e foram coletadas respostas até 9 de setembro de 2022. Optou-se por utilizar respostas anônimas.

A pesquisa teve 52 respondentes representados por diferentes tipos de relação com o setor de energia. Sendo 15 representantes de empresas, 10 representantes da academia e/ou pesquisador, 8 profissionais do setor de energia, 4 representantes de agências reguladoras, 4 representantes de órgãos governamentais, 4 consultores e 7 outros⁵ respondentes, conforme aponta o gráfico abaixo

⁵ Os 7 respondentes restantes são 2 profissionais do setor aposentados, 2 consumidores, 1 da imprensa e 1 preferiu não se identificar

Gráfico 19: Distribuição de respondentes

Fonte: Elaboração própria

Para os representantes de empresas, o questionário ofereceu uma série de perguntas a mais do que aos respondentes de outros setores com o objetivo de entender o posicionamento e visão das empresas acerca de temas pertinentes ao desenvolvimento de eólica *offshore* no Brasil. Alguns entrevistados responderam que trabalham na mesma empresa, por isso é importante demonstrar essa participação e entender a diversidade das empresas participantes. Ao todo foram 10 empresas distintas, com maior participação da Petrobras e Eletrobrás com quatro e três entrevistados, respectivamente.

Gráfico 20: Distribuição de entrevistados por empresa

Fonte: Elaboração própria

Os resultados das entrevistas serão apresentados no mesmo formato utilizado no Capítulo 2 para analisar o sistema de petróleo e gás *offshore* brasileiro de modo a auxiliar com os achados na montagem de um sistema de inovação para a eólica *offshore*.

6.2 RESULTADOS

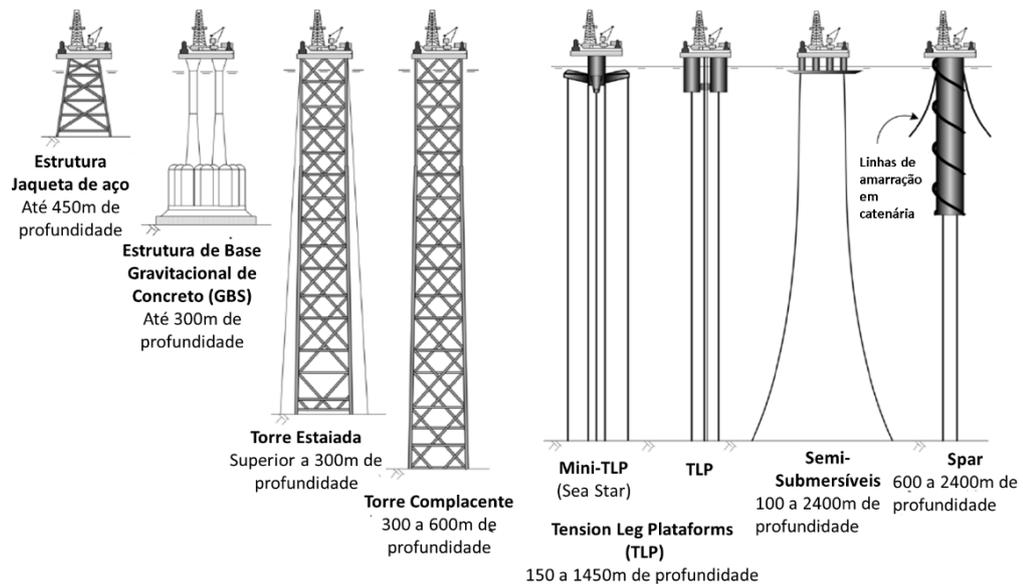
Nesta seção serão apresentadas as sinergias encontradas entre as duas indústrias a partir da literatura pesquisada e do resultado das entrevistas. Para melhor organização dos resultados encontrados, optou-se por dividir as sinergias encontradas utilizando o referencial de Sistema de Inovação Amplo, ou seja, em subsistemas de produção e inovação; capacitação e serviços tecnológicos; e política, representação e financiamento.

6.2.1 Subsistema de Produção e Inovação

A indústria de petróleo e gás *offshore* é uma indústria madura e por esta razão, a maior parte da tecnologia relevante para a indústria eólica *offshore* já é de domínio público, com maior parte do aprendizado já incorporado à prática padrão da engenharia. Dentre as tecnologias disponíveis podemos citar: embarcações de construção *offshore*, sistemas de posicionamento dinâmico, saturação de mergulho, *ROVs*, guinchos e guindastes. Sendo assim, a experiência adquirida ao longo dos anos pode ser aproveitada e adaptada pela indústria eólica *offshore*, assim como as técnicas de construção e instalação e descomissionamento (EDWARDS, 2011).

O projeto e a fabricação de fundações, a construção e a operação de embarcações e as atividades de operação e manutenção submarinas são semelhantes nas duas indústrias. Como as empresas de petróleo e gás possuem habilidades admiráveis na entrega de grandes projetos de engenharia, isso pode ajudar a garantir que projetos eólicos em escala de utilidade sejam entregues com segurança e dentro do orçamento (GWEC,2022b).

Figura 10: Estruturas de petróleo e gás offshore com faixas de profundidade de água



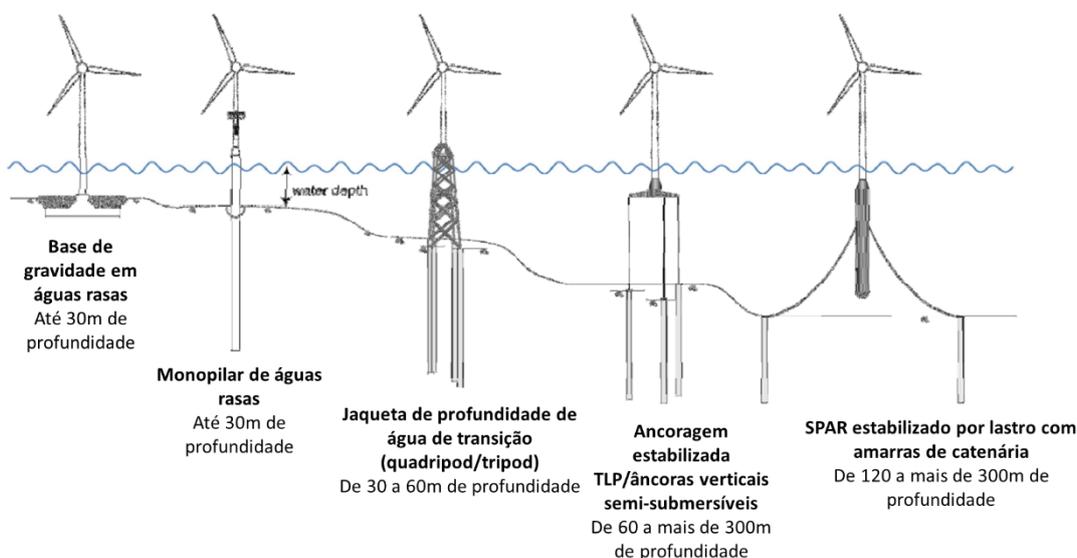
Fonte: Schneider e Senders, 2010

A ampla experiência da indústria de petróleo e gás em fundações e subestruturas para operar em ambiente marinho já é aproveitada pela indústria eólica *offshore*. Um exemplo é que a evolução das subestruturas das turbinas eólicas *offshore* foi semelhante à da indústria *offshore* de petróleo e gás no Mar do Norte, com o desenvolvimento inicialmente se dando perto da costa para depois se expandir para águas mais profundas (SCHNEIDER; SENDERS,2010, IRENA,2018).

No caso das eólicas flutuantes, os três tipos básicos de base flutuante utilizadas são derivados da indústria de petróleo e gás. Sendo assim, o investimento nesse setor poderia aumentar o rumo de comercialização e industrialização das eólicas flutuantes (GWEC,2022b).

Como pode-se ver nas figuras 10 e 11, os tipos de fundação utilizados em ambas as indústrias são bastante semelhantes, no entanto é importante ressaltar que o conhecimento e a experiência em fundações da indústria de petróleo e gás deve ser utilizado de forma racional, visto a diferenças de carregamento, solo entre outras novas situações (SCHNEIDER; SENDERS,2010).

Figura 11: Tipos de subestrutura para fundações de turbinas eólicas offshore



Fonte: Schneider e Senders, 2010 apud Musial *et al*, 2006

Em relação as estruturas a serem utilizadas no país, a maior parte do potencial eólico *offshore* brasileiro se encontra em águas profundas, onde o tipo de fundação mais utilizado é o flutuante. Como o Brasil, mais precisamente a Petrobras possui ampla experiência em projetos em águas profundas e ultra profundas, esta pode ser aproveitada para desenvolver estruturas flutuantes de acordo com as características e especificidades do ambiente marinho brasileiro.

Quando perguntados sobre como a experiência da indústria de petróleo e gás pode ser aproveitada para alavancar o desenvolvimento da eólica *offshore* no Brasil os pontos mais citados pelos entrevistados foram a experiência em projetos de grande porte e intensivos em capital, o conhecimento em operação e manutenção de projetos *offshore*, experiência em licenciamento ambiental *offshore*, infraestrutura e logística, conhecimentos de engenharia e construção naval, a cadeia de fornecedores, mão de obra qualificada para operar em projetos offshore. A possibilidade de utilizar a energia eólica *offshore* como fonte de energia para alimentar as plataformas de petróleo e gás também foi levantada.

Segundo um dos entrevistados: “A indústria de óleo e gás desenvolveu tecnologias disruptivas para a exploração *offshore*, a exemplo do pré sal. Acredito que a experiência na gestão de projetos de grande porte e altíssima complexidade adquirida ao longo dos anos, associada à capacidade econômica das empresas do setor sejam fatores determinantes para acelerar a implementação de projetos de eólicas *offshore* no país.”

Em relação a parte da estrutura subaquática das turbinas, um dos entrevistados apontou que a experiência da indústria de petróleo e gás poderia ser aproveitada atrelando essa parte dos projetos a Petrobras em um esforço institucional conjunto: “Na parte estrutural subaquática

da turbina com certeza. Talvez pensar em atrelar esses projetos com essa parte da Petrobras. Seria um esforço institucional grande, mas que talvez desse certo”

Outro ponto importante levantado nas entrevistas foi a possibilidade de utilizar os serviços das prestadoras com experiência *offshore*, principalmente para a fixação de torres, assim como utilizar a cadeia logística existente *offshore*. Aqui vale destacar que a Petrobras possui experiências de parceria com a cadeia de fornecedores nacional que permitiu o desenvolvimento de tecnologias adaptadas para as condições locais, experiência essa que poderia ser aproveitada para desenvolver equipamentos para a indústria eólica *offshore* nacional.

Outro setor que possui competências transferíveis é o de fabricação e instalação de cabos, no entanto, é um mercado altamente especializado o que torna a competição por esse tipo de serviço muito grande. Além disso, é importante ressaltar que a instalação de cabos para parques eólicos *offshore* abrange uma área muito maior do que a instalação de plataformas de petróleo e gás *offshore*. Apesar de apresentarem diferenças, componentes dos cabos de matiz como os componentes de camada inferior (conectores, terminações, *hang-offs* e proteção de cabo) tem fortes sinergias com o setor de petróleo e gás (IRENA, 2018).

Segundo um dos entrevistados a experiência de conexão com a rede em terra também pode ser aproveitada: *“A experiência que se afigura mais evidente é aquela com plataformas de exploração e de produção de petróleo e gás, bem como de sua conexão com a costa por meio de dutos. Outro aspecto é o referente à manutenção desses geradores eólicos, que exigirá transporte e permanência de pessoal, além de materiais de reposição”*

Durante a fase de operação, pode-se aproveitar a experiência da indústria de petróleo e gás em sistemas de segurança do trabalho e métodos de mais de 50 anos em operação, se beneficiando dessa experiência e conhecimento, adotando e adaptando o que já existe e funciona desta indústria (EDWARDS, 2011). Já os padrões e certificações de siderurgia, por exemplo, podem ser aproveitados para o fornecimento de equipamentos auxiliares como flanges, equipamentos de tração e proteção de cabos e sistemas de acesso (IRENA, 2018).

Para a instalação das turbinas *offshore* é necessário que haja uma estrutura portuária que consiga oferecer suporte aos serviços de construção, montagem e suporte das turbinas. Os portos nacionais podem suprir esta necessidade, com o aproveitamento, em alguns casos das construções feitas para atender a indústria de petróleo e gás *offshore* (EPE,2020)

A cadeia de suprimentos de operação diária também é transferível (EDWARDS, 2011). Em 2020 a indústria brasileira contava com 34 empresas de extração de petróleo e gás natural, 57 empresas envolvidas em atividades de apoio à extração de petróleo e gás natural, 70

empresas dedicadas a fabricação de produtos derivados de petróleo, 13 empresas dedicadas a fabricação de máquinas e equipamentos para a prospecção e extração de petróleo, 51 empresas para a construção de embarcações e estruturas flutuantes (exceto esporte e lazer) e 47 empresas envolvidas na manutenção e reparação de embarcações (PIA-Empresa 2020). Essas empresas podem utilizar sua experiência para auxiliar no desenvolvimento da eólica *offshore* no país.

6.2.2 Subsistema de Capacitação Pesquisa e Serviços Tecnológicos

A IRENA estima que a transição energética é capaz de criar mais empregos do que o que será perdido na indústria de combustíveis fósseis. Enquanto a perda na indústria de combustíveis fósseis é estimada em 7 milhões até 2050, a agência estima a criação de 19 milhões de novos empregos no setor de energias renováveis, eficiência e flexibilidade energética e aprimoramento de rede (IRENA, 2018).

Segundo o GWEC (2022b), os efeitos econômicos da transição para energias renováveis por meio de apoio a programas de requalificação e desenvolvimento da força de trabalho não apenas compensarão a perda líquida de empregos no setor de petróleo e gás, como também trarão um valor sustentável para a sociedade. A perda de empregos no setor de combustíveis fósseis já é uma realidade. Para além da questão da transição energética, a queda nos preços do petróleo e o excesso de oferta entre outros fatores, levaram entre 2015 e 2016 a uma perda de 440.000 empregos nessa indústria (IRENA, 2018).

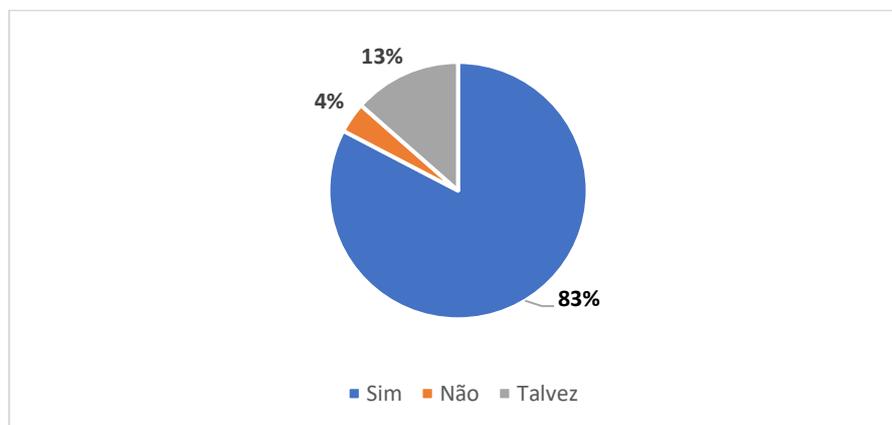
Segundo dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados -CAGED de março de 2023, hoje 21.984 pessoas trabalham com a extração de petróleo e gás natural no Brasil, enquanto em fabricação de biocombustíveis e produtos derivados do petróleo são 165.305 trabalhadores, 7.408 funcionários na fabricação de máquinas e equipamentos para a prospecção e extração de petróleo, 10.769 em manutenção e reparação de embarcações e estruturas flutuantes. (CAGED, 2023). Políticas públicas poderiam auxiliar na transição desses empregos em direção a geração de energia renovável como a eólica *offshore*, por exemplo.

Algumas empresas escocesas reconheceram que algumas habilidades técnicas podem ser transferidas do setor de petróleo e gás *offshore* para o setor eólico *offshore*. A 3sun por exemplo buscou dar oportunidades para trabalhadores do setor de petróleo e gás em situação de desemprego e ofereceu treinamento para que eles pudessem trabalhar na construção, instalação e inspeção de turbinas eólicas (IRENA, 2018).

A maioria dos entrevistados acredita que a experiência da indústria de petróleo e gás *offshore* pode ser aproveitada para alavancar o desenvolvimento da eólica *offshore* no Brasil

(83%). O restante dos respondentes ou não tem certeza (13%), ou não acredita que esta experiência possa ser aproveitada, sendo esses últimos uma parcela bem pequena do total (4%).

Gráfico 21: Distribuição dos entrevistados que acreditam, não tem certeza ou não acreditam que a experiência da indústria de petróleo e gás possa ser utilizada para alavancar o desenvolvimento da eólica offshore no Brasil



Fonte: Elaboração própria

Segundo um dos entrevistados: *“Todas as experiências de capacitação de recursos humanos que foram desenvolvidas ao longo dos anos serão aproveitadas. Praticamente todas as atividades navais estão maduras e capacitadas para a continuidade em outro setor. Os processos de importação e controle fiscal também é um grande aprendizado.”*

Outro entrevistado, no entanto, apesar de acreditar que essa experiência poder ser aproveitada, ela depende do apoio da indústria de petróleo e gás: *“O Brasil está pronto, tecnicamente. Porém, não está pronto socialmente para capacitação "instantânea" dos recursos humanos. Dependemos da indústria de Óleo/Gás para apoiar nesse desafio”*

Um outro ponto citado pelos entrevistados é a questão das parcerias com instituições de pesquisa e agentes financiadores, que poderia auxiliar no desenvolvimento da eólica *offshore* no país: *“Um programa de estado voltado para esta finalidade. Com articulação com empresas, instituições acadêmicas e agentes financiadores brasileiros e internacionais.”* Em relação a esse ponto, poderiam ser aproveitadas as parcerias que a Petrobras desenvolveu ao longo dos anos com diversas instituições de pesquisa brasileira para desenvolvimento de tecnologias e equipamentos para operar no ambiente marinho como o CENPES, por exemplo, e outras instituições de pesquisa em engenharia visto que boa parte dos conhecimentos utilizados na indústria eólica *offshore* já se encontram incorporados nos estudos de engenharia.

Segundo Menom e Rashid (2008), habilidades materiais e de mão de obra precisam ser dirigidas por engenheiros experientes, enquanto as habilidades materiais podem ser transferíveis com muita facilidade. Além disso, é importante fornecer incentivos para

desenvolver os conhecimentos e capacidades existentes em indústrias como aço, cobre, chumbo, fibra de vidro, que são materiais muito utilizados em parques eólicos offshore (IRENA, 2018). Na Alemanha, por exemplo, o conhecimento dos ex-trabalhadores de estaleiros foi aproveitado para apoiar a construção de fundações e torres para parques eólicos *offshore* (IRENA,2018).

6.2.3 Subsistema de Política, Representação e Financiamento

Apesar de possuir grandes ambições, o Brasil ainda está dando os primeiros passos na implementação da eólica *offshore*, sendo necessário o apoio de organizações como o GWEC, da experiência de outros governos e de outras instituições. Além disso, redesenhar a estrutura regulatória se mostra essencial (GWEC,2022b).

Dentre os principais desafios para o desenvolvimento da eólica *offshore*, as opções mais citadas são: custos altos em relação as outras fontes, conexão à rede, baixa segurança jurídica, infraestrutura, falta de incentivos governamentais e dificuldade para obter licenciamento ambiental, como pode-se ver no gráfico 22.

Gráfico 22: Desafios apontados como mais relevantes para o desenvolvimento da eólica offshore no Brasil



Fonte: Elaboração própria

Edwards (2011), aponta que os aspectos chave da regulação desenvolvida para petróleo e gás *offshore* podem ser aproveitados pela indústria eólica *offshore*, assim como métodos para levantar capital de risco e depois vender ativos para empresas menos avessas ao risco para financiar os parques eólicos *offshore*. O autor aponta que o fluxo de caixa dos parques

eólicos *offshore* são semelhantes ao da indústria de petróleo e gás nas fases de licenciamento, desenvolvimento e construção.

Em relação a regulação, a indústria de petróleo e gás pode auxiliar com modelos de contratação para estrutura *offshore*. Um exemplo são os contratos de subestação entre os desenvolvedores de projetos e as empresas de transmissão de energia ou de engenharia marinha *offshore* (IRENA, 2018).

O processo de licenciamento ambiental dos parques eólicos *offshore* no Brasil tem se mostrado bastante lentos. Há de se destacar que durante esse processo são levados em conta diversos fatores como: os múltiplos usos do espaço marinho, como pesca artesanal e comercial, navegação, recreação, extração de areia e cascalho, turismo, atividades militares, guarda costeira e extração de petróleo e gás (EPE,2020). A experiência em licenciamento ambiental *offshore* da indústria de petróleo e gás poderia auxiliar nesse processo.

A ausência de um marco regulatório foi apontada pela maioria dos entrevistados como um dos principais entraves para a implementação desta fonte no país. Segundo um dos entrevistados: *“Para que os projetos em licenciamento sejam viabilizados, é necessário a estruturação de um arcabouço regulatório que vise as diretrizes de cessão de área, fornecendo as bases de regulamentação para que os empreendedores e governo possam desenvolver os projetos. Os projetos em licenciamento no Ibama também foram um marco para o setor, apresentando a disposição empreendedora para o desenvolvimento da nova tecnologia.”*

Os entrevistados também apontaram que poderiam ser aproveitadas as experiências internacionais, principalmente da União Europeia e dos países do Mar do Norte em relação ao licenciamento ambiental: *“Alemanha e Reino Unido, por exemplo, possuem sistemas estruturados de avaliação ambiental estratégica. Em relação ao benchmarking sobre licenciamento ambiental, o Ibama já possui algumas iniciativas como o estudo “Complexos Eólicos Offshore – Estudo sobre Avaliação de Impactos”, onde foram analisadas as experiências em licenciamento da Alemanha, Bélgica, Dinamarca, Espanha, França e Portugal.”*

Outro ponto importante é a mitigação dos impactos ambientais e os diversos usos econômicos do espaço marinho como turismo, navegação, pesca e exploração de petróleo e gás, por exemplo. Segundo um dos entrevistados, é necessária a *“Realização de planejamento setorial que inclua avaliação ambiental prévia das áreas a serem ofertadas. Apesar de comparativamente mais limpa, a energia eólica offshore não é isenta de impactos sobre o ambiente, em especial aves, mamíferos e comunidade bentônica. Da mesma forma, é preciso levar em consideração outros usos econômicos costeiros, como a pesca e o turismo.”*

Nesse sentido, será necessário um esforço coordenado de diversas instituições para analisar os impactos da instalação dos parques, além do Ibama, será necessário consultar a Marinha, por exemplo, devido à questões relacionadas a navegação, a Aneel e o ONS para questões relacionadas a conexão à rede, as comunidades pesqueiras, entre outros, para que os impactos negativos, tanto ambientais quanto sociais, sejam os menores possíveis.

Ainda sobre os processos de licenciamento ambiental, um dos desafios a serem enfrentados é a sobreposição de área entre os pedidos (Anexo 1). Será necessário definir quais critérios serão levados em consideração nesse processo, principalmente porque alguns projetos estão em licenciamento a vários anos, o que gerou custos para as empresas proponentes.

Para um dos entrevistados: *“Neste momento, as principais medidas devem ser estabelecer as diretrizes regulatórias de cessão de área para futuro desenvolvimento de projetos, considerando critérios de avaliação que garantam a segurança jurídica para empreendedores e governo. Neste sentido, o governo e parlamentares tem trabalhado para o desenvolvimento destas diretrizes”*

Apesar das respostas negativas em torno dos problemas, principalmente o regulatório foi apontado que com a publicação do Decreto 10.946⁶ de janeiro de 2022 a insegurança jurídica diminuiu: *“O Decreto 10.946 garantiu uma atratividade maior para o setor, porém ainda precisa ser aperfeiçoado para fornecer maior segurança aos investidores. Ainda há lacunas a preencher.”* Como podemos ver no gráfico 14, a demanda por licenciamento apresentou um crescimento expressivo logo após o decreto.

Quando perguntados sobre quais critérios deveriam ser levados em consideração em um futuro leilão de eólicas *offshore*, dentre as opções mais citadas estão: conexão com a rede, impacto ambiental, tempo de desenvolvimento do projeto, qualificação das empresas e maior retorno para a região, como pode ser visto no gráfico 23.

Segundo um dos entrevistados *“A localização das torres deve ser precisa, a localização dos pontos de chegada dos cabos submarinos à costa precisa ser definida e a conexão destes com a rede de transmissão tem de ser prevista. Além disso, creio que os custos da energia entregue nos pontos de conexão ainda não foram estimados com a segurança necessária para que tais instalações sejam objeto de leilão.”*

Sendo assim, seria importante uma atuação maior da Aneel em relação a estudos e planejamento sobre conexão à rede e, principalmente sobre a infraestrutura dos sistemas de

⁶ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/Decreto/D10946.htm

transmissão. Na região Nordeste, onde estão a maioria dos projetos em fase de licenciamento, a rede de transmissão ainda é precária e atualmente afeta as instalações eólicas *onshore*.

É importante dizer que os estudos sobre eólicas *offshore* estão programados para entrarem na agenda da Aneel somente em 2024 (EPBR,2023). Em maio de 2023, durante uma audiência pública da Comissão de Infraestrutura do Senado, o diretor-geral da Aneel afirmou que a agência não tem capacidade técnica e conhecimento para gerenciar áreas na plataforma continental e nem sabe se terão condições para gerenciar os contratos. Hoje, as competências estão detalhadas em portarias do MME, sendo de responsabilidade da Aneel a realização de processos de licitação para concessão de áreas a empresas interessadas na instalação de eólicas offshore (EPBR,2023b).

Gráfico 23: Critérios que devem ser levados em consideração em um futuro leilão de eólicas offshore



Fonte: Elaboração própria

Os altos custos da eólica *offshore*, poderiam ser amenizados com políticas específicas de apoio até que a fonte pudesse se desenvolver. São necessárias políticas de financiamento, como houve no caso da eólica *onshore* até que esta fonte consiga se tornar competitiva. Segundo um dos entrevistados, é necessário que haja *“Incentivo governamental. Uma política ambiental séria, focada em renováveis, adequação/substituição de matriz energética, o que inclui o fomento à indústria local e investimento em formação de mão de obra qualificada.”*

Por fim, a partir das discussões anteriores, o quadro 3 e a figura 12 mostram um compilado dos principais resultados desta pesquisa. O quadro 3 buscou atualizar e adaptar para a realidade brasileira o quadro 1 que apresentava as sinergias entre os setores de petróleo e gás *offshore* e a eólica *offshore* a partir dos achados de Edwards (2011). Neste sentido, para a elaboração desse quadro foram utilizadas as respostas das entrevistas, além da literatura pesquisada.

Quadro 3: Potencial de Sinergias entre a indústria de petróleo e gás offshore e a eólica offshore

Infraestrutura: cadeia de fornecedores e prestadores de serviços com experiência *offshore* e construção naval, cadeia logística, cadeia de suprimentos, portos e embarcações;

Parâmetros de qualidades e boas práticas: experiência em trabalho em ambiente marinho;

Projeto: experiência em projetos de engenharia marinha, principalmente fundações *offshore*;

Financiamento: experiência em projetos de grande porte e intensivos de capital;

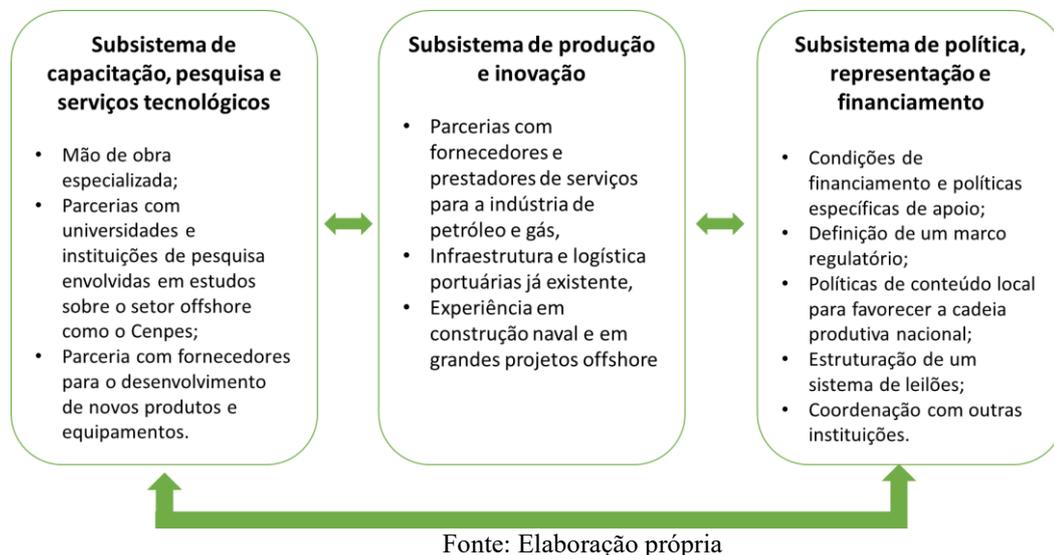
Operação e manutenção: experiência na instalação, operação e descomissionamento de estruturas *offshore* e logística marinha;

Regulação: experiência em licenciamento ambiental em ambiente marinho, mecanismos fiscais e contratos;

Mão de obra: profissionais com conhecimento técnico e de logística em operação marítima.

Fonte: Elaboração própria

Figura 12: Sugestão de estruturação para um SNI para a eólica offshore



Por fim, a figura 12 apresenta uma sugestão de SNI em seu sentido amplo para a eólica *offshore*, utilizando a mesma estrutura já utilizada no capítulo 3 para o setor de petróleo e gás. Deste modo, são apresentados os três subsistemas em conexão, que vale lembrar, são influenciados por diversos contextos e por processos históricos, sendo cada sistema único com características locais específicas.

A figura 12 representa um compilado dos capítulos anteriores e busca evidenciar o que já existe no país e pode ser aproveitado para desenvolver um SNI para a eólica *offshore*. No caso do subsistema de política, representação e financiamento, são apresentadas sugestões de políticas para acelerar o desenvolvimento desta fonte no país.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento da eólica *offshore* no Brasil esbarra e ainda irá esbarrar em diversos desafios. A falta de um marco regulatório estabelecido e de uma estratégia firme por parte do governo para desenvolver a fonte como ocorreu com as indústrias de petróleo e gás e com a eólica *onshore* faz com que esse processo seja ainda mais lento, pois os investidores não possuem segurança para investir no setor.

O lançamento do termo de referência para os projetos e as discussões sobre o Decreto 10.946/2022 tiveram efeitos positivos no número de projetos em processo de licenciamento no Ibama, que cresceram exponencialmente desde então. No entanto, o atraso na aprovação do Decreto gera insegurança jurídica para os investidores que podem optar por investir em outros países.

Esta dissertação teve por objetivo analisar como o Brasil pode utilizar suas capacitações produtivas, tecnológicas e institucionais para avançar no desenvolvimento da eólica *offshore* no país buscando identificar os potenciais para a fonte e os principais desafios a serem enfrentados. Para essa análise foi escolhido o referencial teórico neo-schumpeteriano de Sistemas Nacionais de Inovação, por entender a inovação como um processo amplo e complexo que envolve diversas dimensões.

O referencial teórico foi aplicado primeiramente na indústria de petróleo e gás brasileiro para posteriormente servir de base para um desenho de um quadro com os potenciais que o país possui para desenvolver a eólica *offshore* internamente. Uma das motivações para esta dissertação é contribuir para o debate do potencial de diversificação do mercado de petróleo e gás para a eólica *offshore*. Dada as expectativas de declínio da produção de petróleo e gás e o tamanho dessa indústria no país, que emprega milhares de pessoas, surgiu o interesse em entender como poderia ser feita a transição deste mercado para um mais limpo.

O desenvolvimento da eólica *offshore* no mundo esbarrou em diversas barreiras, como os altos custos e riscos associados ao desenvolvimento de uma tecnologia nova; os desafios de operar em ambiente marinho, como a necessidade de materiais mais resistentes, ventos fortes; entre outros. No entanto, nos últimos anos o desenvolvimento desta fonte tem acelerado e ela passou a ser amplamente considerada como uma das principais alternativas para aumentar a oferta de energias limpas ao redor do mundo, principalmente na União Europeia que tem metas ambiciosas de energias renováveis.

Os custos associados a eólica *offshore* têm reduzido ao longo dos anos, e alguns países já retiraram ou cogitam retirar os incentivos para a fonte. Esses países estão mudando seus

processos regulatórios para modelos mais competitivos de contratação como o modelo de leilões. A eólica *offshore*, no entanto, ainda possui diversos desafios a serem superados, principalmente em relação a cadeia de suprimentos; a competição de recursos e mão de obra especializada com a indústria de petróleo e gás *offshore*; e a expansão da produção de energia em águas mais distantes da costa e mais profundas, onde existe um grande potencial energético.

A experiência da indústria de petróleo e gás *offshore* brasileira pode auxiliar nesse processo de desenvolvimento da eólica *offshore* no país, com mão de obra especializada, sua experiência em licenciamento ambiental e com projetos offshore de grande porte. No entanto, é importante ressaltar que essas sinergias entre as duas indústrias podem ser tanto positivas quanto negativas. O caso da Noruega mostra que a passagem de um mercado dominante, como é o caso do mercado de petróleo e gás, para o mercado eólico *offshore*, não depende somente das sinergias. O investimento em eólicas *offshore* na Noruega, se mostrou dependente das oscilações nos preços do petróleo.

Entretanto, diferentemente da Noruega que já tem grande parte da sua demanda de energia atendida por fontes renováveis, no caso a hidrelétrica, o Brasil ainda precisa expandir a sua oferta de energia para atender a expansão da demanda. No caso brasileiro, apesar de ainda possuir espaço para a expansão das hidrelétricas, essa expansão esbarra em questões ambientais relacionadas ao alagamento para criação de reservatórios.

Apesar da expansão das hidrelétricas esbarrar em questões ambientais, o Brasil possui capacidade para expandir sua oferta de energia eólica e solar *onshore*. Apesar do Brasil possuir condições ambientais favoráveis para a implementação da eólica *offshore*, como bons ventos e uma costa extensa, os custos associados a implementação desta fonte no país ainda não se mostraram competitivos frente as outras fontes disponíveis no país.

Para que a eólica *offshore* consiga se desenvolver no país e se tornar competitiva frente a outras fontes, serão necessários esforços por parte do governo, oferecendo uma base regulatória que gere segurança para os investidores e políticas de apoio e financiamento como as que auxiliaram no desenvolvimento da eólica *onshore* no país.

A maior parte do potencial brasileiro se encontra em águas profundas. As estruturas flutuantes são as mais indicadas para operar em águas profundas, no entanto, elas exigem uma infraestrutura diferenciada com a necessidade de uma infraestrutura portuária e embarcações de reboque específicas para instalar as turbinas. Além disso, a tecnologia para implementação de eólicas flutuantes ainda não está tão madura quanto as estruturas de fundo fixo e existem poucos parques flutuantes operando de forma comercial.

Outro desafio que o país deve enfrentar é a questão da infraestrutura das redes de transmissão. Atualmente a região Nordeste, que é a região com maior número de parques eólicos do país enfrenta desafios em relação a conexão à rede. Essa região também possui diversos projetos em fase de licenciamento prévio para desenvolvimento eólico *offshore*, sendo essa falta de infraestrutura um grande desafio a ser enfrentado.

A falta de um marco regulatório específico também tem dificultado a implementação da eólica *offshore* no país, gerando insegurança jurídica em muitos investidores. Existem projetos esperando por uma licença ambiental desde 2016, no entanto, o Termo de Referência para Projetos Eólicos *Offshore* só foi lançado pelo Ibama em novembro de 2020, enquanto um Decreto para geração de energia elétrica em ambiente marinho só foi lançado em janeiro de 2022. Desde então o número de projetos em fase de licenciamento cresceu exponencialmente, no entanto, isso gera outro desafio em relação aos projetos que estão a anos esperando uma licença, visto que há sobreposição de áreas com pedidos de licenciamento. Esse tipo de questão deverá ser considerado na estruturação de um futuro leilão para eólicas *offshore*, visto que essas empresas vêm investindo ao longo dos anos em diversos estudos.

O país já mostrou que consegue desenvolver tecnologia própria para se adequar as condições do ambiente marinho local, sendo hoje referência em produção de petróleo e gás em águas profundas e ultra profundas. O país desenvolveu uma cadeia de fornecimento local ampla com serviços de projetos de engenharia e construção naval, manutenção e operação entre outros.

Com a devida adaptação muitas das capacitações podem ser transferíveis de um setor para o outro, como a construção de fundações e a mão de obra especializada por exemplo. A Petrobras possui ampla experiência na coordenação de atores para o desenvolvimento de novos produtos e serviços e poderia auxiliar nesse processo de desenvolvimento da eólica *offshore* no país, visto que mesmo que no início essa indústria necessite importar a maioria dos equipamentos, serão necessárias adaptações para as condições locais. A empresa já sinalizou que pretende investir junto com a Equinor em alguns parques eólicos *offshore*, e o apoio da empresa para o desenvolvimento desta fonte será de extrema importância para o setor.

Além da experiência em petróleo e gás também é importante levar em conta as experiências regulatórias internacionais e as experiências com licenciamento ambiental na estruturação de um marco regulatório nacional, tendo cuidado de levar em consideração as características específicas do Brasil.

O país possui diversas capacitações que podem ser aproveitadas para auxiliar no desenvolvimento da eólica *offshore*, principalmente aquelas relacionadas a experiência adquirida durante anos de exploração de petróleo e gás em ambiente marinho. No entanto, é

importante ressaltar que apesar da similaridade entre os dois setores, é possível que haja concorrência de recursos, mão de obra e fornecedores com o setor de petróleo e gás brasileiro, e que essa competição seja desfavorável para eólica *offshore*, que ainda está dando os seus primeiros passos.

Sendo assim, não basta o país possuir um SIN convergente se não houver políticas de incentivo, visto que neste caso, como o setor de petróleo e gás ainda é muito forte no Brasil as similaridades entre os dois setores podem ser negativas. Uma mudança de trajetória depende ou de um grande baque de mercado ou de políticas de incentivo, neste caso o governo tem um papel essencial, assim como teve no desenvolvimento da eólica *onshore*. Além disso, a Petrobras tem um grande peso institucional no país, e pode auxiliar e orientar no processo de desenvolvimento desta nova fonte, assim como fez com o setor de petróleo e gás brasileiro.

Dada as devidas limitações deste trabalho, espera-se que no futuro sejam realizados estudos mais aprofundados sobre o tema e principalmente sobre o aproveitamento do recurso eólico *offshore* em conjunto com outros tipos de tecnologia como a produção de hidrogênio verde.

REFERÊNCIAS

- ABDI. **Atualização do Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil**. FGV Projetos. 2018
- ABEEÓLICA. **Boletim Anual de Geração Eólica 2019**. Setembro de 2020.
- ABEEÓLICA. **Boletim Anual de Geração Eólica 2020**. 2021.
- ABEEÓLICA. **Boletim Anual de Geração Eólica 2021**. 2022.
- ABEEOLICA. **INFOVENTO 27**. 2022b
- ABEEÓLICA. **INFOVENTO 29**. 13 de janeiro de 2023
- AMARANTE, Odilon A. Camargo; BORW, Michael, ZACK, John; DE SÁ, Antônio Leite. **Atlas do potencial eólico Brasileiro**. Brasília, 2001
- BORGES, Bráulio. **Estimativas dos impactos dinâmicos do setor sobre a economia brasileira**. ABEEÓLICA. Fevereiro de 2022
- BP. *Statistical Review of World Energy*. 71ª edição. 2022. Disponível em:< Statistical Review of World Energy | Energy economics | Home (bp.com)>
- BRASIL, **Decreto nº 35.308, de 2 de abril de 1954**
- BRASIL, **Lei nº 2.004, de 3 de outubro de 1953**
- BRASIL. CASA CIVIL. Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica. **Resolução nº 24, de 5 de julho de 2001**
- BRASIL. Presidência da República. Brasília, DF. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**.
- CAGED. **Cadastro Geral de Empregados e Desempregados**. Disponível em: Novo CAGED (mte.gov.br). Acesso em: 30/04/2023
- CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Projeto de Lei nº 576 de 2021**
- CARNEIRO, Manasses Gruimarães, CEQUEIRA, Bruno Dantas. **Participação da Geração Eólica em Leilões de Energia e sua Contribuição em Tempos de Crise Energética**. Revista Brasileira de Energias Renováveis. v.5, p. 51- 64, 2016
- CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M. “**Sistemas de Inovação e Desenvolvimento - as implicações de política**”. São Paulo em Perspectiva, 19, (1), p. 34–45, 2005
- CASSIOLATO, José E.; LASTRES, Helena M.M. **Discussing Innovation and development: converging points between the Latin American school and the innovation system perspective**. Globelics Working Paper Series v.8 n. 2. 2008.
- CASTRO, M. T.; SOUZA, M.G.; CASTRO, A.O. **Renewable Energy: Wind Energy, its effects and environmental gains**. ITEGAM-JETIA. Vol. 05, Nº 19, pp 103-108. Setembro, 2019. Disponível em: < <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20190056>>

CCEE. **InfoLeilão Dinâmico. Boletim informativo mensal referente aos leilões realizados pela CCEE – 059.** Fevereiro de 2023

CORAZZA, R. I.; FRACALANZA, P. S. **Caminhos do pensamento neo-schumpeteriano: para além das analogias biológicas.** Nova Economia, Belo Horizonte, MG, v.14, n. 2, p. 127-155.2004

DOSI, G. **Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change.** Research Policy, v. 11, p. 147-162, 1982.

EDWARDS, Ian. **Overcoming Challenges for the offshore wind industry and learning from the oil and gas industry.** Escócia, Reino Unido. 2011

EPBR. **Maior parque eólico flutuante do mundo começa a gerar energia na Noruega.** 14 de novembro de 2022. Acesso em: 10 de julho de 2023. Disponível em: < <https://epbr.com.br/maior-parque-eolico-flutuante-do-mundo-comeca-a-gerar-energia-na-noruega/>>

EPBR. **Petrobras aguarda marco regulatório para seguir com análise financeira de eólicas offshore.** Acesso em: 12 de julho de 2023. Disponível em: < <https://epbr.com.br/petrobras-aguarda-marco-regulatorio-para-seguir-com-eolicas-offshore/>>

EPBR. **Aneel não tem capacidade para regular eólicas offshore, diz diretor-geral.** 30 de maio de 2023.2023b. Disponível em: <https://epbr.com.br/competencias-da-aneel-para-regular-eolicas-offshore-devem-ser-previstas-em-lei-diz-diretor-geral/>.: Acesso em 12 de julho de 2023

EPE. **Roadmap Eólica Offshore.** 2020. Disponível em< https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf>

EPE. **Roadmap Eólica Offshore versão revisada.**2021

ESMAP. 2019. **Going Global: Expanding Offshore Wind to Emerging Markets.** Washington, DC: World Bank. Disponível em: < https://esmap.org/going_global_offshore_wind>

FARIAS, Leonel Marques; SELBITTO, Miguel Afonso. **O uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras.** Revista Liberato, Novo Hamburgo, v.12. n. 17. P. 01-106, jan./jun.2011. Disponível em: <Vista do Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras (liberato.com.br)>

FERRAZ, João Carlos; RAMOS, Luma; PLATTEK, Bruno. **Development Finance Innovations and Conditioning Factors: The Case of the Brazilian Development Bank and Sustainable Industries.** Brazilian Journal of Political Economy 42 (4):977-97.2022.

FOXON, T.J., GROSS, R., CHASE B, A., HOWES, J., ARNALL, A., ANDERSON, D. **UK innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and systems failures.** Energy Policy. Volume 33, Edição 16, p.2123-2137. Novembro de 2005.

FRAMER, T. et al. **Developing and implementing a triangulation protocol for qualitative health research.** Qualitative Health Research, v.16, 2006.

FREEMAN, Chris. **The “National System of Innovation” in historical perspective.** Cambridge Journal of Economics v.19 p. 5-24. 1995

FREEMAN, Cris.; SOETE, L. **The Economics of Industrial Innovation.** MIT Press.1997.

FURTADO, André Tosi. **Mudança Institucional e inovação na indústria brasileira de petróleo.** Revista Brasileira de Energia v.9 n° 1. P. 9-29, 2002.

GODOY, A.S. **Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais.** Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v.35, n. 3, maio/jun, p.20-29. 1995.

GOLAFSHANI, N. Understanding reliability and validity in qualitative research. The Qualitative Report, v.8, n.4, dec., p.597-607, 2003.

GONZÁLEZ, M.; SANTISO, A.; MELO, D.; VASCONCELOS, R. **Regulation for offshore wind power development in Brazil.** Energy Policy. Elsevier, v. 145. 2020. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520304791?via=ihub>>

GOUVÊA, Renato Luiz Proença; SILVA, Paulo Azzi. **Desenvolvimento do setor eólico no Brasil.** R. BNDES, Rio de Janeiro, v. 25, n. 49, p. 81-118, jun. 2018

GUION, L.A. **Triangulation: Establishing the validity of qualitative studies.** University of Florida, FCS 6014, set., 2002.

GWEC. **Capturar Oportunidades de Recuperação Verde com a Energia Eólica nas Economias em Desenvolvimento.** 2022C

GWEC. **Global Offshore Wind Report 2019.** 2020. Disponível em: https://gwec.net/wp-content/uploads/dlm_uploads/2020/08/GWEC-offshore-wind-2020-5.pdf>

GWEC. **Global Offshore Wind Report 2021.** 2022

GWEC. **Global Offshore Wind Report 2023.** 2023. Disponível em: < [GWEC-2023_interactive.pdf](#)>

GWEC. **Global Wind Report 2020.** 2021.

GWEC. **Global Wind Report 2021.** 2022b.

IBAMA. **Complexos Eólicos Offshore: Projetos com processo de licenciamento ambiental abertos no Ibama.** Atualização: 02 de agosto de 2022. Disponível em:< [2022-08-11_Usinas_Eolicas_Offshore_Ibama.pdf](#)>

IBAMA. **Complexos Eólicos Offshore: Projetos com processo de licenciamento ambiental abertos no Ibama.** Atualização: 24 de março de 2023. Disponível em:< [2022-08-11_Usinas_Eolicas_Offshore_Ibama.pdf](#)>

IEA. **Offshore Wind Outlook 2019.** Novembro, 2019

IEA. **World Energy Investment 2022.** 2022

IEA. **World Energy Investment 2023**. Maio de 2023. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8834d3af-af60-4df0-9643-72e2684f7221/WorldEnergyInvestment2023.pdf>>

IPEA. **ODS-7 – Assegurar o Acesso Confiável, Sustentável, Moderno e a Preço Acessível à Energia Para Todos**. 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/190502_cadernos_ODS_objetivo_7.pdf>

IRENA. **Wind Power. Technology Brief**. Março de 2016

IRENA. **Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020.

IRENA. **Renewable energy benefits leveraging local capacity for offshore wind**. 2018.

IRENA. **Renewable energy benefits leveraging local capacity for offshore wind**. 2018b. Disponível em:< Renewable Energy Benefits: Leveraging local capacity for offshore wind (irena.org)>

IRENA. **World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021.

KERN, Florian, SMITH, Adrian, SHAW, Chris, RAVEN, Rob, VERHEES, Bram. **From laggard to leader: Explaining offshore wind developments in the UK**. Energy Policy, Volume 69, p. 635-646. 2014

LAGE, Elisa Salomão; PROCESSI; Lucas Duarte. **Panorama do setor de energia eólica. Revista do BNDES**. 39, junho de 2013. Disponível em:< RB 39 Panorama do setor de energia eólica_P.pdf (bndes.gov.br)>

LASTRES, Helena M. M; GARCEZ, Cristiane Magdalena D'Avila; LEMOS, Cristina Ribeiro; BABORSA, Eduardo Kaplan; MAGALHÃES, Walsey Assis. **Innovation, Production and Innovation Systems and the BNDES' Contribution Science**. Technology and Innovation Policies for Development, 2014.

LISBONA, D., RESENDE, L. **Expansão de térmicas a gás no Brasil: O que esperar para os próximos leilões?** Caderno opinião. FGV. Abril, 2018.

LOOS, Adriaan van der, NORMAN, Håkon E., HEKKERT, Jens Hanson, Marko P. **The co-evolution of innovation systems and context: Offshore wind in Norway and the Netherlands**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 138. 2021

LUNDVALL, Bengt-Ake. **National System of Innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning in: The learning Economy and the Economics of hope**. Anthem Press. 2016

MÄKITIE, Tuukka; HAKON, E. Normann, THUNE, Taran M., GONZALEZ, Jakoba Sraml. **The green flings: Norwegian oil and gas industry in offshore wind power**. Energy Policy 127, p.269-279. 2019

MARKARD, Jochen; PETERSEN, Regula. **The offshore trend: Structural changes in the Wind Power Sector**. Energy Policy, 37, 2009.

Memon, Zahid A., Rashid, Rosnan S. **Knowledge proximity and technological relatedness in offshore oil and gas and offshore wind in the Unites Kingdom**. International Journal of Technology and Sustainable Development. V.7. n°1.2008

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Portaria interministerial MME/MMA nº 3, de 19 de outubro de 2022**

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Portaria Normativa nº 52/GM/MME, de 19 de outubro de 2022**

MME/EPE. **Plano Nacional de Energia 2050. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília. 2020**. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>>

MMW; EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília,2020**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>

MORAIS, José Mauro de. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore**. IPEA. Brasília, 2013.

MORAIS, José Mauro de.; TURCHI, Lenita Maria. **Sistema de inovação tecnológica no setor de petróleo e gás**. Radar – Artigos n. 24. p. 19-25. IPEA. 2013. Disponível em: < <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5415>>.

MOURA, Marcelo Gameiro de. **Agências Regulatórias no Brasil: os casos dos setores de telecomunicações, eletricidade e petróleo/gás natural**. Revista do Serviço Público. Ano 53 n. 2 abril-junho 2002

MUSIAL, Walter; SPITSEN, Paul; PATRICK, Duffy; BEITER, Philipp; MARQUIS, Melinda; HAMMOND, Rob; SHIELDS, MATT. **Offshore Market Report: 2022**. 2022.

NASCIMENTO, T. C.; MENDONÇA, A. T. B. B. de; CUNHA, S. K. da. **Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil**. Cad. EBAPE.BR, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 630-651, set. 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-39512012000300010&lng=pt&nrm=iso>.

NETO, José Benedito Ortiz; 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. Jan-mar 2007.

OCDE. **Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Manual de Oslo: proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica**. Rio de Janeiro: Finep, 2004. Disponível em: < http://www.finep.gov.br/images/a-finep/biblioteca/manual_de_oslo.pdf>

ONS. **Energia Agora: Carga e Geração.** Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>. Acesso em: 25 de junho de 2023.

ORIGO ENERGIA. **Impactos socioambientais das usinas hidrelétricas.** 10 de maio de 2022. Disponível em: <https://origoenergia.com.br/blog/energia/impactos-socioambientais-das-usinas-hidreletricas/>. Acesso em: 09 de julho de 2023.

ØRSTED. **Our green business transformation: What we did and lessons learned.** Abril, 2021. Disponível em: < Lições de transformação verde aprendidas (Whitepaper) | Ørsted (orsted.com)>

OWGP. OFFSHORE WIND GROWTH PARTNERSHIP. **Supporting high growth companies in the UK offshore wind supply chain.** Disponível em: < About OWGP - Offshore Wind Growth Partnership> Acesso em: 10 de julho de 2023

PELLEGRIN, Ivan, BALESTRO, Moisés Villamil, JÚNIOR, José Antônio Valle, DIAS, Sérgio Luiz Vaz. **Dynamizing Innovation Systems through Induced Innovation Networks: A Conceptual Framework and the Case of the Oil Industry in Brazil.** *Journal of Technology, Management & Innovation*. V.5 edição 3. 19 de setembro de 2010.

PETROBRAS. **Firmamos acordo com a Equinor para avaliar sete projetos de eólica offshore no Brasil.** 06 de março de 2023. Acesso em: 07 de março de 2023. Disponível em: < Petrobras - Fatos e Dados - Firmamos acordo com a Equinor para avaliar sete projetos de eólica offshore no Brasil>

PETROBRAS. **Petrobras desenvolve tecnologia para medição eólica offshore inédita no país.** 20 de dezembro de 2022. Acesso em: 07 de março de 2023. Disponível em: <Petrobras - Fatos e Dados - Petrobras desenvolve tecnologia para medição eólica offshore inédita no país>

PETROBRAS. **Plano Estratégico 2023-2027.** 2022a. Disponível em: < Apresentação do PowerPoint (mziq.com)>

PIA-Empresa. **Pesquisa Industrial Anual – Empresa.** IBGE, 2020. Disponível em: < PIA-Empresa | IBGE>

PINTO JUNIOR, Helder Queiroz (Org). **Economia da Energia – Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial.** Rio de Janeiro: Editora Elsevier. 2016

PINTO JUNIOR, Helder Queiroz. **Estudo de sistema produtivo petróleo e gás.** Instituto Euvaldo Lodi. Brasília. 2018

PODCAMENI, M.G. V. B. **Sistemas de inovação e energia eólica: a experiência brasileira.** Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia.2014

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Decreto N° 10.946, de 25 de janeiro de 2022**

REICHARDT, K.; ROGGE, K. **How the policy mix impacts innovation: Findings from company case studies on offshore wind in Germany.** *Environmental Innovation and Societal Transitions*. Elsevier, v.18, p.62-81.2016

SCHNEIDER, J.A., SENDERS, M. **Foundation design – a comparison of oil and gas platforms with offshore wind turbines**. Journal of the Marine Technology Society, 44(1), 32-51.2010

SEICERA, Daniel do Espírito Santo Cardoso; PEREIRA, Felipe; AZEVEDO, Rodrigo Luiz Sias. **Potencial exportador da indústria eólica brasileira para o Cone Sul e o papel do financiamento**. BNDES Setorial, 37, p.5-32. 2013

SILVEIRA, José Paulo. **Fundamentos do Programa de Capacitação tecnológica em Águas Profundas (PROCAP)**. In: Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore. Org. MORAIS, José Mauro de. IPEA. Brasília, 2013.

SILVESTRE, B. S.; DALCOL, P. R. T. **Aglomeración industrial de petróleo e gás da região produtora da Bacia de Campos — sistema de conhecimento, mudanças tecnológicas e inovação**. R.Adm., São Paulo, v.43, n.1, p.84-96, jan./fev./mar. 2008

SIMAS, Moana, PACCA, Sergio. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável**. Estudos Avançados, 27, 77. 2013

STEEN, Markus, HANSEN, Gard Hopsdal Hansen. **Barriers to Path Creation: The Case of Offshore Wind Power in Norway**. Economic Geography, 94:2, 188-210. 2018

STREET, Penny, MILES, Ian. **Transition to alternative energy supply technologies: the case of wind energy**. Energy Policy, v.24.nº5, p.413-425. Grã-Bretanha, 1996

TIGRE, Paulo. Bastos. **Paradigmas tecnológicos e teorias econômicas da firma**. Revista Brasileira de Inovação, v. 4, n. 1, p. 187-223, jan./jun. 2005

TIGRE, Paulo Bastos. **Gestão da inovação: uma abordagem estratégica, organizacional e de gestão de conhecimento**. Paulo Bastos Tigre – 3ª edição. Elsevier. Rio de Janeiro, 2019.

TOKE, David. **The UK offshore wind power programme: A sea-change in UK energy policy?** Energy Policy, 39, p 526-534. 2011

UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Goals Report 2022**. Julho, 2022. Disponível em: < <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>>

UNRUH, Gregory C. **Understanding carbon lock-in**. Energy Policy, volume 28, edição 12, p. 817-830. Outubro, 2000.

VIANA, Alexandre Guedes, PARENTE, Virginia. *A experiência brasileira de incentivo de expansão de energias renováveis por meio de leilões de energia elétrica*. Revista Brasileira de Energia, v.16, nº1, p.21-36. 1º semestre de 2010.

WIND EUROPE. **Offshore wind in Europe – key trends and statistics 2020**. Fevereiro, 2021. Disponível em: < <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/offshore-wind-in-europe-key-trends-and-statistics-2020/>>

WIND EUROPE. **Wind Energy in Europe – 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026**. Fevereiro, 2022. Disponível em:< Wind energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026 | WindEurope>

WORLD BANK. **World Bank Group Offshore Wind Development Program Overview** – June 2020. Disponível em: < <https://www.esmap.org/offshore-wind>>

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO GERAL

Pergunta 1: Qual a sua relação com o setor de energia?

- Agência Reguladora
- Fornecedor
- Empresa
- Outros:

Pergunta 2: Que experiências internacionais podem ser aproveitadas pelo Brasil?

Pergunta 3: Existem projetos em licenciamento no país desde 2016, no entanto, até hoje nenhum projeto saiu dessa fase. O que na sua opinião tem dificultado a implementação desta fonte?

Pergunta 4: Quais os maiores desafios para o desenvolvimento da eólica *offshore* no Brasil?

- Dificuldade para obter licença ambiental
- Falta de incentivos governamentais
- Custos altos em comparação as outras fontes
- Opções de financiamento
- Baixa segurança jurídica
- Opções de fornecedores locais
- Conexão à rede
- Infraestrutura
- Mão de obra especializada
- Outro:

Pergunta 5: Que tipo de medidas auxiliariam no desenvolvimento da eólica *offshore*?

Pergunta 6: Quais critérios devem ser levados em consideração em um futuro leilão de eólicas *offshore*?

- Tempo de desenvolvimento dos projetos
- Maior retorno econômico
- Maior retorno para a região
- Conexão à rede
- Qualificação das empresas

- Projetos de P&D
- Geração de empregos
- Taxa de conteúdo local
- Impacto ambiental
- Outro:

Pergunta 7: Você acredita que a experiência da indústria de petróleo e gás offshore possa ser aproveitado para alavancar o desenvolvimento da eólica offshore no Brasil?

- Sim
- Não
- Talvez

Pergunta 8: Como a experiência da indústria de petróleo e gás *offshore* pode ser aproveitada para alavancar o desenvolvimento da eólica *offshore* no Brasil?

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO EMPRESAS

Pergunta 1: Qual a sua empresa?

Pergunta 2: Qual a importância do mercado brasileiro para sua empresa?

- 1. Não é importante
- 2. Pouco importante
- 3. Neutro
- 4. Importante
- 5. Muito importante

Pergunta 3: Qual a política de energia renovável da empresa?

Pergunta 4: A empresa possui investimentos em eólica *onshore*?

- Sim
- Não

Pergunta 5: Em quais países?

Pergunta 6: A empresa possui investimento em eólica offshore operando em outros países?

- Sim
- Não

Pergunta 7: Se sim, quais? Qual a capacidade instalada desses projetos?

Pergunta 8: Que motivos levaram a empresa a querer investir em eólica offshore no Brasil?

- Regulação
- Experiência em eólica *onshore*
- Experiência em projetos *offshore*
- Indústria local
- Fator de capacidade
- Incentivos fiscais
- Mão de obra
- Outros:

Pergunta 9: A empresa possui parceria com instituições de P&D brasileiras?

- Sim
- Não

Pergunta 10: Se sim, quais?

Pergunta 11: A empresa pretende comprar os insumos para os parques localmente ou importar?

- Comprar localmente
- Importar

Pergunta 12: Você acredita que a indústria local será capaz de suprir a demanda por equipamentos?

- Sim
- Não
- Talvez

Pergunta 13: A empresa é credenciada ao BNDES?

- Sim
- Não

ANEXO A – MAPAS DE PROJETOS EM LICENCIAMENTO – COMPLEXOS EÓLICOS OFFSHORE – IBAMA, MARÇO DE 2023

