



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE - CTS
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA

Alef Júlio Schaefer Cerutti

Energia Eólica *Offshore*, um caminho para a transição energética:
uma abordagem no contexto do panorama *Offshore*, Hidrogênio Verde e ESG.

Araranguá - SC
2023

Alef Júlio Schaefer Cerutti

Energia Eólica *Offshore*, um caminho para a transição energética:
uma abordagem no contexto do panorama *Offshore*, Hidrogênio Verde e ESG.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Energia do Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher

Araranguá - SC

2023

Cerutti, Alef Júlio Schaefer

Energia Eólica Offshore, um caminho para a transição energética : uma abordagem no contexto do panorama Offshore, Hidrogênio Verde e ESG / Alef Júlio Schaefer Cerutti ; orientador, Luciano Lopes Pfitscher, 2023.

119 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Energia Eólica Offshore.
3. ESG. 4. Hidrogênio Verde. 5. Transição Energética. I.
Pfitscher, Luciano Lopes. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Energia. III.
Título.

Alef Júlio Schaefer Cerutti

Energia Eólica *Offshore*, um caminho para a transição energética:

uma abordagem no contexto das tecnologias, ESG e Hidrogênio Verde

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi avaliado e aprovado pela banca examinadora, composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Dr^a. Carla de Abreu D'Aquino
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Dr^a. Kátia Cilene Rodrigues Madruga
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho, que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro(a) de Energia.

Prof^a. Dr^a. Carla de Abreu D'Aquino
Coordenadora do Curso

Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher.
Orientador

Alef Júlio Schaefer Cerutti
Autor

Araranguá – SC, 2023

Dedico este trabalho ao Criador de Todas as Coisas, àqueles que permitiram-me a vida, e a todos os mestres da ciência que fizeram parte da história deste mundo.

AGRADECIMENTOS

A gratidão por um objetivo alcançado dirige-se àqueles pelos quais nós mais temos consideração:

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela vida e capacidade de aprender.

À minha família: meu pai, Vandoir Cerutti, minha mãe, Liziane Schaefer, minha irmã Cauana Júlia, minhas avós e meus tios que me ajudaram a ingressar e permanecer na universidade.

À Universidade Federal de Santa Catarina, e seu corpo docente e técnico, por todo o conhecimento a mim transmitido.

Ao Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher, por me aceitar como orientando e por todo o apoio, aprendizado e amizade nestes anos de graduação. E também à Prof^a. Dr^a. Carla de Abreu D'Aquino, pelo conhecimento transmitido no tema central deste trabalho.

À ABEEólica, local onde meu estágio profissional foi feito; especialmente à Presidente Executiva, Dr^a. Elbia Gannoum, pela oportunidade concedida, aos colegas de trabalho Gabriele Benfatti, Carolina Kimura e Juliano Martins, e em extensivo à toda Equipe Técnica da ABEEólica, que em todos os dias contribuíram para meu aprendizado.

Por fim, agradeço aos meus colegas de graduação, amigos e, em especial, a Simone Zeferino Costa, Alcides Alvin Costa e Victória Zeferino Costa, que por anos me acolheram como filho e irmão.

Eu repentinamente percebi que aquela ervilha, bonita e azul, era a Terra. Eu levantei meu polegar e fechei um olho, e meu polegar apagou o planeta Terra. Não me senti um gigante. Eu me senti muito, muito pequeno (Armstrong, 1969).

RESUMO

Estima-se que o potencial eólico *offshore* (marítima) da costa brasileira seja em torno de 700 GW a 1,2 TW. Ademais, na última década, observa-se um crescimento exponencial da potência eólica *offshore* instalada no mundo, e a perspectiva de implantação dos primeiros parques no Brasil. Nesse contexto, o presente trabalho traz um estudo e uma análise acerca das tecnologias em usinas eólicas *offshore* no mundo, e o panorama atual no Brasil, ponderando os principais gargalos para sua implementação. Além disso, traz o Hidrogênio Verde (H2V) como uma possibilidade complementar à energia eólica *offshore*, de forma a contribuir na solução da variabilidade da geração, e também como combustível do futuro, no que diz respeito à transição energética. Tais tecnologias são relacionadas em termos de políticas de *ESG – Environmental, Social and Governance*, de forma a direcionar a maneira como as coisas deverão ser construídas e geridas. Para a análise, foi feita uma pesquisa embasada em bibliografia recente, de cunho governamental e setorial. Desta forma, foi possível identificar uma série de pontos importantes no que diz respeito à geração eólica *offshore*, especialmente no aspecto técnico, devido às dificuldades de implementação no Brasil e no mundo, mas também a respeito do arcabouço legal no Brasil. No âmbito do ESG foi possível embasar como a transição energética deve ocorrer, levando em conta uma transição justa e gradual, com vistas ao bem estar das esferas envolvidas e com o norte em uma matriz de baixo carbono. Nestes termos, pode-se entender o Hidrogênio Verde como uma alternativa em potencial, pois além de ser renovável, poderá ser utilizado tanto como combustível como meio de armazenamento de energia, contribuindo também na operação da variabilidade de algumas das fontes renováveis, especialmente no caso da geração eólica.

Palavras-chave: Energia eólica *offshore*; Hidrogênio Verde; ESG; Transição Energética.

ABSTRACT

It is estimated that the offshore wind power on the Brazilian coast is around 700 GW to 1 TW. Moreover, in the last decade, there has been exponential growth in the installed capacity of offshore wind power in the world and the perspective of implementation of the first parks in Brazil in the next years. In this context, the present work presents a study and analysis of the technologies in offshore wind power plants in the world, and the current scenario in Brazil, pondering the main bottlenecks for its implementation. In addition, Green Hydrogen (H₂V) comes as a possible complementary technology to offshore wind and a prominent energy storage alternative, accelerating the energy transition. The connection with ESG - Environmental, Social, and Governance policies, ensure that this transition follows through a path of respect to all involved parts. The present analysis was based on recent governmental and sectorial bibliographies. Therefore, it was possible to identify several important topics regarding offshore wind generation, especially in the technical aspect, due to the challenges of technology in Brazil, around the discussion of the legal framework. In the scope of ESG, it was possible to verify how the energy transition should occur, taking into account a fair and gradual transition, in terms of energy matrix. In these terms, Green Hydrogen can be understood as a potential alternative, besides being a renewable source, it can be used as a fuel and as storage technology. The combination of Green Hydrogen with offshore wind power plants can be the path to the electric sector in terms of the energy transition.

Keywords: Offshore wind energy; Green Hydrogen; ESG; Energy Transition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Evolução da capacidade Instalada <i>onshore</i> e <i>offshore</i> no mundo (GW)	21
Figura 2	Diagrama organizacional do presente trabalho	24
Figura 3	Parques <i>Offshore</i> : a) <i>Vindeby Offshore Wind Park</i> , b) <i>Middelgrunden</i>	27
Figura 4	Divisão típica de custos durante o ciclo de vida de um projeto eólico offshore	30
Figura 5	Custo relativo offshore de acordo com a tecnologia	33
Figura 6	Evolução das turbinas eólicas comerciais	37
Figura 7	Wind Farm Suport Vessels	41
Figura 8	Cable Laying Vessels, operando em alto mar com armazenamento de cabos	44
Figura 9	Flotel utilizado no setor de Óleo e Gás da Petrobrás	45
Figura 10	Mapa mundial de distribuição das reservas de terras raras	47
Figura 11	a) Capacidade total de energia eólica <i>offshore</i> instalada acumulada no mundo; b) Novas instalações <i>offshore</i> no ano de 2022	49
Figura 12	Batimetria das áreas de interesse e velocidade do vento na costa brasileira	51
Figura 13	Projetos com licenciamento ambiental abertos no IBAMA	57
Figura 14	Complementariedade das fontes eólicas e solar (melhor hipótese)	65
Figura 15	Tanque de armazenamento de Hidrogênio em projeto de P&D Pecém H2V, da EDP, no Ceará	66
Figura 16	Hidrogênio como vetor energético em relação a variabilidade de geração das fontes renováveis	70
Figura 17	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ONU	77
Figura 18	Mapa síntese do PDE 2031	79
Figura 19	Selo PROCEL	83
Figura 20	Projetos Certificados por ano.	95
Figura 21	Crescimento da compra e venda de RECs	97
Figura 22	Representação do público feminino por região do mundo no setor de energias renováveis	98
Figura 23	Representação do público feminino por região do mundo nas áreas do setor de energias renováveis	99
Figura 24	Emissão de CO2 evitada por mês em 2023 (Toneladas)	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Componentes da <i>nacelle</i>	35
Quadro 2	Principais impactos ambientais dos parques eólicos <i>offshore</i> na Alemanha e Dinamarca	54
Quadro 3	Tipos de Hidrogênio com base na sua fonte	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Prazos médios para as diferentes etapas dos projetos eólicos <i>onshore</i> e <i>offshore</i>	29
Tabela 2	Potencial eólico <i>offshore</i> acumulado no Brasil	50
Tabela 3	Empreendimentos de geração <i>offshore</i> em licenciamento no Brasil	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias
Abiogás	Associação Brasileira de Biogás e de Biometano.
Abracel	Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
Abragel	Associação Brasileira de Energia Limpa
ABS	<i>American Bureau of Shipping</i>
ANBIMA	Associação Brasileira das Entidades dos Mercados Financeiro e de Capitais
ARDSV	<i>Air Range Diving Support Vessel</i>
BoP	<i>Balance of Plant</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditures</i>
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCS	<i>Carbon Capture And Storage</i>
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CER	<i>Corporative Environmental Reports</i> (Relatórios Ambientais Corporativos)
CFO	<i>Chief Financial Officer</i>
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores de Níveis de Eficiência Energética
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO ₂	Dióxido de Carbono
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP21	Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (2021)
CSVs	<i>Cable Laying Vessels</i>
DECEX	<i>Decommissioning Expenditure</i>
DEVEX	<i>Developer Exchange</i>
DP	<i>Dinamic Positioning</i>
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
EDP	Energia de Portugal
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESG	<i>Environmental Social and Governance</i>
ETR	Elementos de Terra Rara
FCP	Fundação Cultural Palmares

FGV IBRE	Instituto Brasileiro de Economia
Funai	Fundação Nacional dos Povos Indígenas
GNL	Gás Natural Liquefeito
GWEC	Global Wind Energy Council
H2V	Hidrogênio Verde
HLVs	<i>Heavy Lift Vessels</i>
HVAC	<i>High Voltage Alternating Current</i>
HVDC	<i>High Voltage Direct Current</i>
I-RECs	<i>International Renewable Energy Certificates</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBCG	Instituto Brasileiro de Governança Corporativa
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano do Município
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
Iphan	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
LCEs	<i>Linear Cable Engines</i>
LCOE	<i>Levelized Cost Of Energy</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
O&M	Operação e Manutenção
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética da ANEEL
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica
PRSA	Política de Responsabilidade Social
RAS	Relatório Ambiental Simplificado

Rima	Relatório de Impacto Ambiental
ROV	<i>Remotely Operated Vehicle</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional.
SPE/MME	Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético
SPG/MME	Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
SVS/MS	Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNEP-FI	<i>United Nations Environment Programme Finance Initiative</i>
WFSV	<i>Wind Farm Support Vessels</i>
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Justificativa	21
1.2 Objetivo	22
1.2.1 Objetivo Geral	22
1.2.2 Objetivos Específicos.....	22
1.3 Metodologia	22
1.4 Estrutura do trabalho	24
2 ASPECTOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA OFFSHORE	27
2.1 Custos	29
2.2 Aero geradores	31
2.2.1 Fundações	31
2.2.2 Torres	34
2.2.3 <i>Nacelle</i>	34
2.2.4 Rotor	37
2.2.5 Conversores	38
2.3 Transmissão de energia	38
2.4 Embarcações para uso <i>offshore</i>	39
2.4.1 Wind Farm Support Vessels (WFSV)	40
2.4.2 Barcaças	42
2.4.3 Heavy Lift Vessels (HLV)	43
2.4.4 Cable Laying Vessels (CLV)	43
2.4.5 <i>Flotel</i>	45
2.4.6 Air Range Diving Support Vessel (ARDSV)	46
2.5 Elementos de Terra Rara – ETR	46
2.6 Potencial produtivo do Brasil	49
2.7 legislação	52
2.8 Projetos no Brasil	55
2.9 Custo nivelado de energia - <i>Levelized Cost Of Energy (LCOE)</i>.....	58
2.10 Considerações Finais do Capítulo.....	59

3. HIDROGÊNIO VERDE	61
3.1 Principais Fontes de H₂	61
3.1.2 Hidrogênio Verde – Fontes de energia para sua produção.....	63
3.2 Armazenamento do Hidrogênio.....	65
3.2.1 Armazenamento Geológico	66
3.2.2 Armazenamento de Hidrogênio Líquido.	67
3.2.3 Outras tecnologias	67
3.3 Transporte do Hidrogênio	67
3.4 Amônia Verde – Uma possível saída	68
3.5 Aplicações do Hidrogênio	69
3.6 Cenário mundial do Hidrogênio Verde.....	71
3.7 panorama brasileiro	71
3.8 Considerações Finais do Capítulo.....	72
4 ESG - ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND GOVERNANCE	73
4.1 Estruturas e ferramentas de apoio a políticas esg no âmbito da energia elétrica ...	74
4.1.1. Plano Nacional de Energia – PNE 2050	74
4.1.2 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS.....	76
4.1.3 Plano Decenal de Expansão de Energia 2031.....	78
4.1.4. Acordo de Paris	79
4.2. Eficiência energética.....	80
4.2.1. Programa de conservação de Energia Elétrica e Programa Brasileiro de Etiquetagem. ...	81
4.2.2. PEE - Programa De Eficiência Energética	84
4.3 Os três pilares do esg e o contexto brasileiro.....	84
4.3.1 Viés Ambiental	85
4.3.2. Viés Social	85
4.3.3. Viés Governança Corporativa.....	86
4.4 Economia e ESG – O Caso da B3.....	88
4.5 Implementação do ESG	89
4.5.1 Passo 1 – Introspecção.....	89
4.5.2 Passo 2 – Estruturação.....	90
4.5.3 Passo 3: Monitoramento.....	90

4.6 ESG no Setor Elétrico	91
4.6.1 Certificados de Energia Renovável.....	93
4.6.2 ESG na Energia Eólica	97
4.6.3 Casos destaques de participação feminina no setor elétrico e na eólica	101
4.7 Considerações Finais do Capítulo.....	102
5 CONCLUSÃO	103
REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a energia eólica gerada em instalações no mar (*offshore*) tem sido palco de crescimento e investimentos, fazendo desta tecnologia uma premissa sólida para um futuro verde. A constante busca para melhorar os processos pelos quais essa energia é gerada e armazenada, de forma a torná-los mais eficientes e sustentáveis, tem sido pensada visando a criação de um bem-estar comum entre todas as esferas operacionais (geração, armazenamento, transmissão, distribuição, gestão e uso final).

Não muito recente, ainda no último século, a sociedade começou a olhar para si de maneira cada vez mais empática, empatia essa que pode ser entendida de diversas formas, mas aqui se usará a palavra “sustentabilidade” para caracterizá-la. Como se sabe, o grau de evolução de uma sociedade está diretamente relacionado com a quantidade de energia que ela consome. Desta forma, é sensato dizer que buscar formas mais eficientes de obter e utilizar a energia também faz parte do processo evolutivo. Nestes termos, a transição energética ganha espaço, vindo como uma diretriz pensada para transformar, de maneira gradual e justa, a atual matriz energética dos países para uma matriz verde, onde se tenha a menor emissão possível de carbono, sem a utilização de combustíveis fósseis.

A energia eólica foi usada nos primórdios para mover navios e rotacionar moinhos. Hoje, aerogeradores são tão comuns quanto navios, e já se vê tal tecnologia muito bem estabelecida na área continental, neste caso chamada de *onshore*. Recentemente, têm sido ampliados estudos para instalar tais máquinas no mar, aproveitando-se da baixa rugosidade da superfície marítima para escoamentos das correntes de ar. Junto a isso, novas tecnologias vêm sendo criadas de forma a moldar o comportamento variável do vento, tais como as tecnologias de armazenamento, mais especificamente o Hidrogênio Verde – uma parte das abordagens deste trabalho.

A energia eólica *offshore* tem sido considerada como uma alternativa energética viável para países costeiros. Os ventos costeiros e oceânicos são conhecidos pela alta velocidade e regularidade de disponibilidade, com a possibilidade de serem aproveitados em áreas com diferentes batimetrias, através de métodos que correspondam a tais necessidades (VAICBERG, VALIATT, QUEIROZ, 2021). Juntamente a isto, o Hidrogênio Verde tem sido entendido como uma alternativa promissora aos combustíveis fósseis, uma vez que pode ser produzido a partir de

fontes renováveis, como a energia eólica. Apesar de apresentarem vantagens significativas em relação às tecnologias convencionais, a implementação da energia eólica *offshore* e do Hidrogênio Verde ainda enfrenta alguns desafios, especialmente ao que diz respeito ao arcabouço legal.

Em termos técnicos, um dos principais problemas enfrentados para implementar a energia eólica *offshore* é o alto custo de construção e manutenção de parques eólicos marinhos. Além disso, a instalação desses parques pode ser limitada por condições climáticas adversas e por questões de segurança marítima. Por outro lado, o Hidrogênio Verde ainda é uma tecnologia emergente e, portanto, não possui uma infraestrutura estabelecida para sua produção, armazenamento e distribuição em grande escala (IRENA, 2018). Isso significa que ainda é necessário investir em pesquisa e desenvolvimento para viabilizar a produção comercial deste combustível. Outro desafio para a implementação dessas tecnologias é a dependência de políticas públicas e regulamentações favoráveis.

Sem políticas públicas que incentivem o investimento em energia eólica *offshore* e Hidrogênio Verde, essas tecnologias podem ter dificuldades para se tornarem competitivas no mercado de energia. Além disso, é necessário estabelecer regulamentações que incentivem a produção e o uso das mesmas, como a definição de metas de produção de energia renovável e a criação de incentivos fiscais para empresas que investem em energia limpa. Neste âmbito entra o *ESG – Environmental, Social and Governance* (Meio Ambiente, Social e Governança Corporativa). As preocupações com a maneira como as coisas são conduzidas, levando em conta as questões ambientais, sociais e de governança corporativa, têm sido um assunto recorrente nos últimos tempos, pois afinal, a busca por um futuro verde exige que o caminho para tal também seja verde.

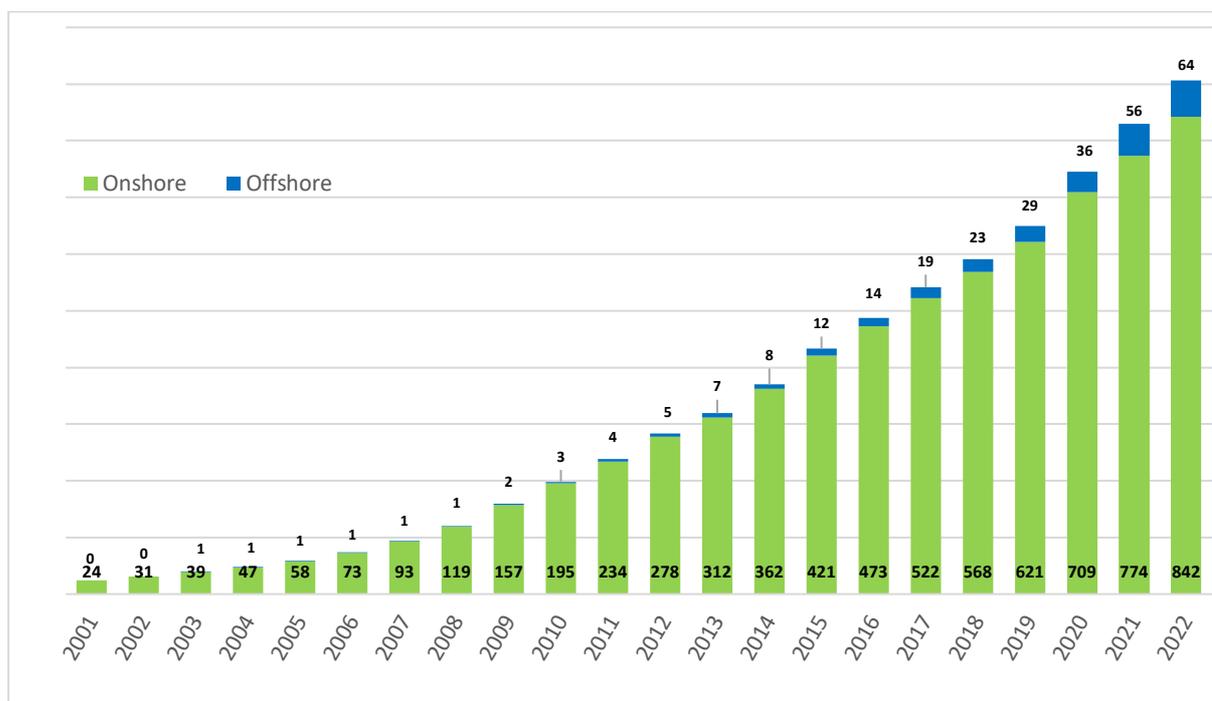
No contexto apresentado, o principal intuito deste trabalho é dar uma perspectiva da utilização da energia eólica *offshore* no Brasil, de forma conjunta ao Hidrogênio Verde, baseando-se em dados de custo de implementação, impactos ambientais, no potencial eólico da costa brasileira e nos projetos no Brasil (IBAMA, 2023), levando em conta o caminho do ESG e analisando como o setor está se organizando para tudo o que há de vir.

1.1 JUSTIFICATIVA

Recentemente, a tendência de alta demanda de energia - motivada pelo amplo desenvolvimento dos países, em sua maioria asiáticos e sobretudo a China - juntamente a mudanças climáticas pontuais nos Estados Unidos e Europa, geraram condições favoráveis para ampliação da pesquisa, visando o desenvolvimento e aplicação das fontes de energia renováveis. Nesse contexto, sobressaem-se as fontes baseadas em sistemas fotovoltaicos e eólicos.

Os parques eólicos *offshore* têm se destacado devido à recente evolução das tecnologias e aumento da capacidade das unidades de geração. É notável que o potencial eólico *offshore* é maior, quando comparado ao *onshore*, mas apenas recentemente as tecnologias têm se tornado economicamente viáveis. A fim de subsidiar essa discussão, a Figura 1 apresenta a evolução da capacidade instalada de energia eólica no mundo, na qual se destaca um aumento na potência *offshore*, de 36 GW para 64 GW, nos últimos 3 anos (2020-2022).

Figura 1 - Evolução da capacidade Instalada *onshore* e *offshore* no mundo (GW).



Fonte: GWEC – Global Wind Report, 2023.

Atualmente, o Brasil ainda não possui nenhum parque eólico *offshore* instalado em suas águas jurisdicionais. No entanto, existem projetos para a implementação em praticamente todas as áreas costeiras do país, somando cerca de

182 GW de potência em projetos sob licenciamento ambiental no IBAMA (2023). Além disso, o Decreto nº 10.946/2022 “dispõe sobre a cessão de uso de espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais em águas interiores de domínio da União, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e na plataforma continental para a geração de energia elétrica a partir de empreendimento *offshore*” (BRASIL, 2022).

Diante do exposto, esse trabalho busca reunir dados e apresentar o cenário atual de desenvolvimento de parques *offshore* no Brasil, correlacionando com outras tecnologias e políticas emergentes de ESG.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

No contexto do crescimento de parques eólicos *offshore* no mundo, e da perspectiva de entrada do Brasil neste cenário, este trabalho tem como objetivo principal apresentar um estudo do cenário da energia eólica *offshore* no Brasil e no mundo, abordando os principais tópicos em torno do assunto, que incluem o armazenamento por meio do Hidrogênio Verde, e a gestão por meio da política ESG.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os gargalos para implementação da energia eólica *offshore* no Brasil;
- Correlacionar a energia eólica *offshore* e o Hidrogênio Verde, como alternativas para a transição energética;
- Avaliar a transição para políticas de ESG no setor elétrico e como os *players* do setor estão trabalhando para implementar essa política de maneira eficiente.

1.3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram inicialmente estabelecidos os temas e como se abordaria cada um deles. Uma vez estabelecidos, foi necessário iniciar a busca por trabalhos relevantes e recentes para garantir um olhar criterioso e atual nos temas abordados. A busca destes trabalhos foi feita nas bases de dados científicos disponíveis na internet, utilizando os termos chave “eólica *offshore* no contexto brasileiro e global”, “eólica *offshore* e transição energética”, “ESG no setor

elétrico nacional”, “Hidrogênio Verde como uma solução para a transição energética” e “Hidrogênio como combustível”.

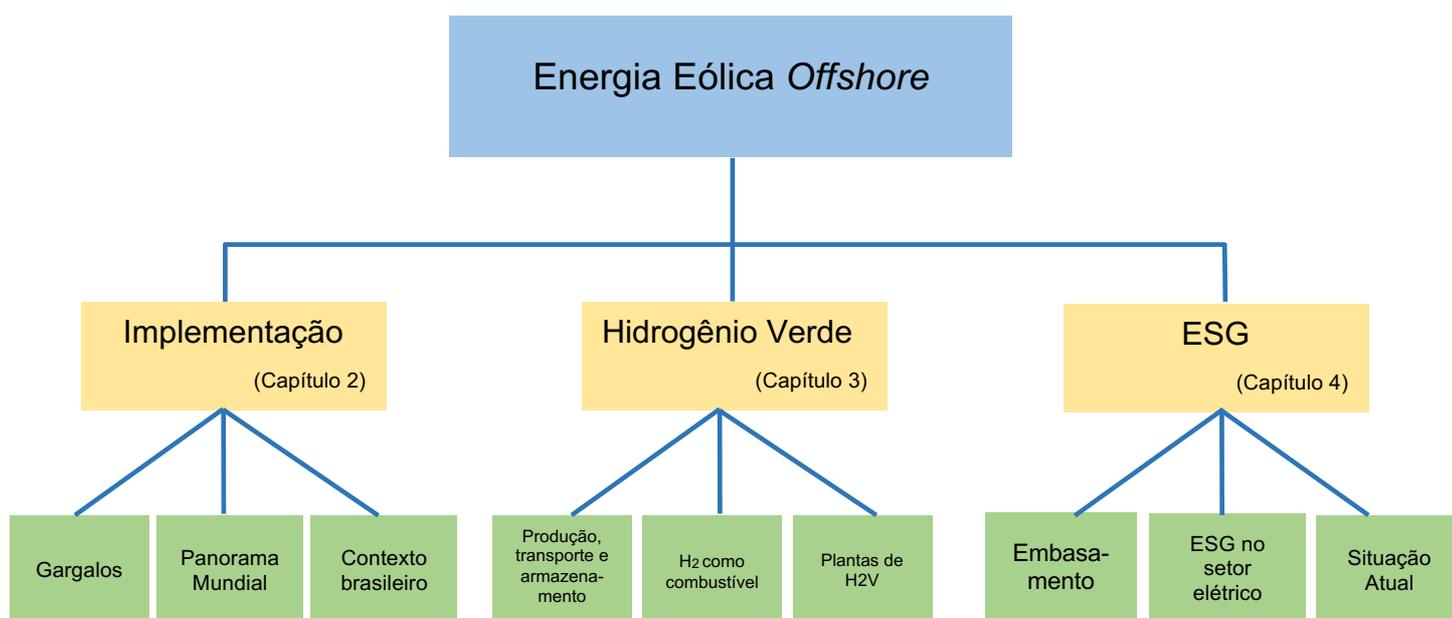
A partir das buscas, foi possível encontrar uma série de trabalhos publicados na área, notícias e documentos de cunho governamental, com o objetivo de subsidiar o futuro da tecnologia. Dentre os documentos encontrados, vale destacar o *Roadmap Eólica Offshore Brasil*, desenvolvido pela empresa de pesquisa energética (EPE), órgão governamental adjunto ao Ministério de Minas e Energia. Esse documento apresentou um olhar amplo da tecnologia de eólicas *offshore* e ainda uma estimativa do potencial *offshore* do país, servindo também de subsídio para os PDEs posteriores, também utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

Alguns documentos internacionais, tais como o *Global Wind Energy Report*, desenvolvido pelo *GWEC – Global Wind Energy Council*, permitiu uma visão global da tecnologia, enfatizando ainda mais a sua importância. No quesito ESG, documentos da ONU, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS foram de longe um dos melhores embasamentos para justificar a necessidade das políticas. Do mesmo modo, muitas colunas, como as publicadas por membros da ABEEólica, forneceram um olhar incisivo sobre a importância do ESG para a energia eólica *offshore*.

Nas pesquisas sobre o Hidrogênio Verde, o relatório da IRENA chamado *Hydrogen From the Renewable Power* e alguns textos científicos de universidades nacionais e internacionais, dentre outros documentos, foram utilizados para sustentar essa discussão, visto que o Hidrogênio Verde é uma tecnologia recente e a base científica ainda está sendo estabelecida.

Para o melhor entendimento dos temas deste trabalho no decorrer dos capítulos, foi desenvolvido o diagrama da Figura 2. Desta forma, pode-se perceber mais claramente a conexão dos temas.

Figura 2: Diagrama organizacional do presente trabalho



Fonte: O autor.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, incluindo este primeiro capítulo, introdutório. Os capítulos 2, 3 e 4 foram estruturados de forma a abrangerem cada um dos temas predefinidos (Figura 2). A estrutura destes capítulos compreende a revisão bibliográfica, o desenvolvimento do tema e resultados, embora não haja uma separação explícita destes tópicos como subseções do trabalho. Desta forma, os três capítulos são:

Capítulo 2: Aspectos da implementação da Energia Eólica Offshore

– Nesta parte serão abordados o histórico, as tecnologias e o cenário atual da energia eólica *offshore*. Vale destacar aqui que o tema principal deste trabalho é a energia eólica *offshore*, e os demais tópicos abordados serão expostos como um complemento importante para o futuro desta tecnologia no mundo – tal como é visto atualmente.

Capítulo 4: H2V – Hidrogênio Verde – Aqui será considerado uma das mais recentes tecnologias em armazenamento de energia e sua aplicação como combustível do futuro, em complemento à cadeia de geração eólica *offshore*.

Capítulo 3: ESG – *Environmental Social and Governance* – Nesta parte se tomará como premissa as questões Ambientais, Sociais e de Governança Corporativa em relação ao novo estilo de mercado mundial, tendo como aplicação principal a energia eólica *offshore*.

Por fim, no Capítulo 5 é feita uma Conclusão acerca do futuro destas tecnologias, levando em conta o cenário atual e suas premissas para o futuro. O referido trabalho não tem o objetivo de adivinhar ou prever o futuro das tecnologias citadas, mas sim, parafrasear o que se tem hoje como premissa de sustentabilidade, levando em conta a necessidade e importância de novas tecnologias menos poluidoras e que contribuam também na sociedade, com a menor quantidade de impactos negativos em alguma das partes.

2 ASPECTOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA OFFSHORE

O primeiro parque eólico *offshore* instalado no mundo foi o *Vindeby Offshore Wind Park* (Figura 3a). Construído em 1991, na Dinamarca, ele contava com 11 turbinas de 450,0 kW, somando um total de 4,95 MW de potência instalada (*OffshoreWIND.biz*, 2016). Tal projeto tinha como objetivo provar que seria viável a implementação da energia eólica *offshore* como parte da matriz elétrica do país. O parque manteve-se operante por vinte e cinco anos, cumprindo seu importante papel de provar a viabilidade destes empreendimentos de geração e sendo, desta forma, o precedente para projetos similares, introduzindo uma possibilidade mundial de mercado com uma variedade de soluções relacionadas ao funcionamento de turbinas eólicas *offshore*.

No ano 2000, novamente na Dinamarca, a três quilômetros da costa de Copenhague, foi construído o parque eólico de *Middelgrunden* (Figura 3b), que era até então o maior parque eólico *offshore* do mundo, contando com vinte turbinas de 2,0 MW de potência (*OffshoreWIND.biz*, 2020) e capacidade instalada total de 40,0 MW (LARSEN, 2001). No mesmo ano, foi comissionado o parque *Blyth offshore*, no Reino Unido. Este parque contava com uma capacidade de 4,0 MW e duas turbinas eólicas, e foi descomissionado em 2019. Vale ressaltar que este parque foi o primeiro a utilizar turbinas com a tecnologia “*Float and Submerge*”, eliminando a necessidade de estruturas no fundo do oceano para sua fixação, facilitando a montagem e reboque quando necessário (EDF, 2019).

Figura 3: a) *Vindeby Offshore Wind Park*, b) *Middelgrunden*.



a)

b)

Fonte: *OffshoreWIND.biz*, 2016, 2020,

A Europa foi pioneira no desenvolvimento da tecnologia que possibilitou o início da implementação de parques eólicos *offshore*, e até os dias de hoje colhem os benefícios destas iniciativas, tanto em sua matriz elétrica como no mundo dos negócios. A maioria dos empreendimentos *offshore* no mundo é gerenciada por empresas europeias, e grande parte da produção dos componentes necessários para a construção dos aerogeradores é também produzida por empresas desta região do mundo (seja em território europeu ou não). Empresas como *Equinor* (norueguesa) e *Siemens* (alemã) são muito conhecidas no mercado, em todas as fases de vida de um parque eólico, por exemplo (VAICBERG, VALIATT, QUEIROZ, 2021)

O reconhecimento do recurso eólico *offshore* pelos órgãos brasileiros responsáveis, foi feito inicialmente pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética. O primeiro documento publicado pela EPE que continha essa temática foi o caderno de Recursos Energéticos, estudo que integra o Plano Nacional de Energia – PNE 2050 (EPE, 2020b) e que trouxe o mapeamento dos recursos energéticos disponíveis no país no horizonte de longo prazo. Nesse estudo consta o primeiro esforço institucional de mapeamento do recurso eólico *offshore* ao longo do litoral brasileiro. Mais recentemente, a fonte eólica *offshore* também foi inserida no horizonte de médio prazo, tendo sido considerada pela primeira vez como fonte candidata à expansão nas análises conduzidas no âmbito do Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2029 (EPE, 2020).

O crescimento da energia eólica *offshore* no cenário mundial, juntamente a processos de licenciamento ambiental abertos no Brasil em 2018, fez com que se iniciassem estudos em diversos âmbitos, de forma a identificar os possíveis futuros gargalos para o desenvolvimento da fonte eólica *offshore* no Brasil. Neste sentido, um estudo elaborado pela EPE, chamado “*Roadmap Eólica Offshore Brasil*” indicou tais desafios, além de apontar possíveis recomendações e direcionamentos para aqueles que viriam a se tornar os futuros *players* do setor (VAICBERG, VALIATT, QUEIROZ, 2021).

A seguir, são apresentados os panoramas mundial e nacional da energia eólica *offshore*, e os principais aspectos relacionados às tecnologias envolvidas neste tipo de geração.

2.1 CUSTOS

O desenvolvimento de um projeto eólico *offshore* pode ser um processo longo e complexo. Para que este seja bem-sucedido, é fundamental que haja um bom planejamento operacional desde a parte de projeto, até a implementação e operação das centrais. Além disso, o envolvimento e alinhamento de todas as partes interessadas é de suma importância para o bem desenrolar do projeto. Para tal, é essencial que se tenha o mapeamento e disponibilidade de toda a cadeia de suprimentos necessária para cada uma das etapas do projeto. Na Tabela 1 é mostrado um exemplo de comparação entre prazos médios para cada etapa do ciclo de vida da implementação de projetos eólicos *onshore* e *offshore* (PUPPIM, 2018)

Tabela 1: Prazos médios para as diferentes etapas dos projetos eólicos *Onshore* e *Offshore*.

Etapa	<i>Onshore</i>	<i>Offshore</i>
Desenvolvimento	2 a 5 anos	3 a 5 anos
Pré-construção	1 a 2 anos	2 a 4 anos
Construção	Até 1 ano	Até 2 anos

Fonte: PUPPIM, 2018.

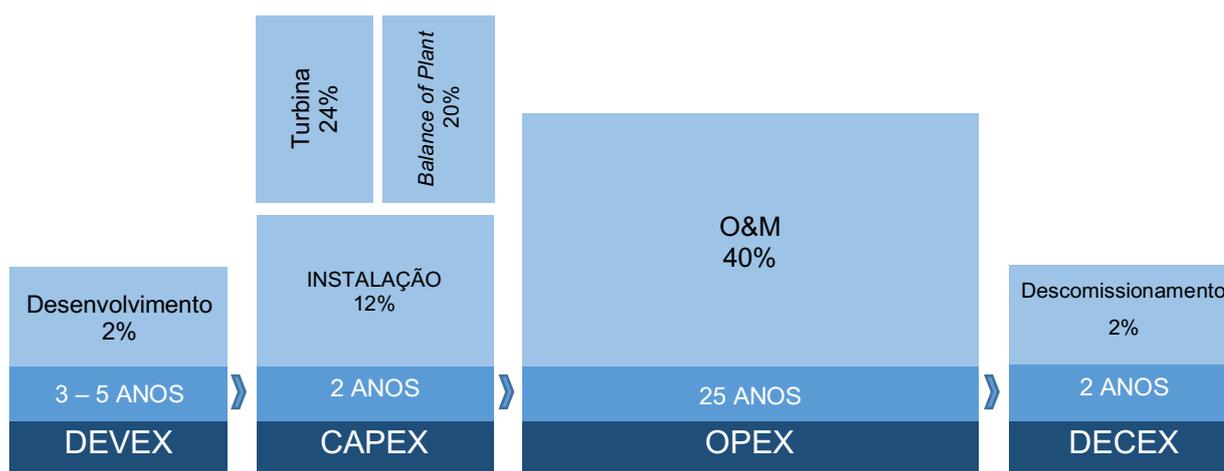
Na etapa de desenvolvimento podem estar incluídas as atividades referentes a planejamento, licenciamento ambiental (do projeto e da conexão), além de realização de estudos para viabilidade do projeto, entre outros. Por demandar maiores esforços de engenharia, envolvendo concepção das fundações, análise das condições oceanográficas e análise de condições ambientais mais complexas, o desenvolvimento de projetos *offshore* exige inicialmente mais tempo que projetos *onshore*.

Existe uma série de custos atrelada à construção de um parque eólico *offshore*, especialmente quando comparado aos processos utilizados na instalação de um parque *onshore*. A complexidade aumenta grandemente: as condições do vento são superiores às encontradas no continente e, além do mais, a presença de uma atmosfera mais oxidante (pela presença da água salgada), exige revestimentos a

materiais mais resistentes. Também, a depender da profundidade do local, exigirá fundações ou sistemas de ancoragem avançados, além de toda a infraestrutura para a transmissão de energia. Tais fatores, junto às condições de mercado, são peças determinantes para definir a rentabilidade de um parque eólico *offshore*, para que a decisão de ser ou não construído seja tomada (EPE, 2020).

A Figura 4, mostra uma divisão típica dos custos totais de um projeto eólico *offshore*, desde a fase de desenvolvimento, que corresponde a 2% dos custos, até o descomissionamento da planta, no fim da sua vida útil, que assim como a primeira etapa, também tem percentual estimado em 2%. Os custos com Operação e Manutenção - O&M (OPEX) durante a operação do parque (em torno de 25 anos) representam o maior percentual dos custos – cerca de 40%. Na fase de construção, estima-se uma duração em torno de dois anos, com um percentual de custos no processo de instalação - em torno de 12%. O custo da turbina eólica é em torno de 24%, e a BoP (Balance of Plant) - aproximadamente 20%. Os custos de BoP incluem estruturas de suporte à turbina, como infraestrutura elétrica, cabeamento, subestação, projetos, etc (VAICBERG, VALIATT, QUEIROZ, 2021).

Figura 4: Divisão típica de custos durante o ciclo de vida de um projeto eólico *offshore*.



DEVEX - *Developer Exchange*, CAPEX - *Capital Expenditures*, OPEX - *Operational Expenditure*, DECEX - *Decommissioning Expenditure*.

Fonte: ORE Catapult / *Offshore Wind Industry Council*, 2018.

Algo importante a atentar-se nos projetos dos parques *offshore* é a vida útil dos aerogeradores, que demandam uma análise de repotenciação do parque depois de um certo tempo. Um bom exemplo é o caso do parque citado no início desta seção, o *Vindeby* na Dinamarca. A vigência do seu contrato encerrava-se em 2017, sendo assim a empresa utilizou-se da situação de descomissionamento, de forma a entender melhor acerca da situação e possibilidades, tornando também um aprendizado na área. Na ocasião, a empresa responsável pelo parque eólico solicitou propostas para o mercado a fim de encontrar a solução técnica e econômica mais viável para o descomissionamento do empreendimento (EPE, 2020).

O processo de descomissionamento do *Vindeby* foi dividido em três etapas; a primeira delas foi a desmontagem das turbinas eólicas, na qual alcançou-se um tempo recorde de 4 horas por aerogerador, tendo este tempo sido considerado como um ótimo resultado. A etapa seguinte foi em relação à desmontagem das fundações, onde foram encontradas algumas dificuldades, por causa de um volume de concreto superior ao especificado nos desenhos (divergências entre o desenho do projeto e o projeto construído). A etapa final, considerada não tão complexa quanto às anteriores, foi a realização do desenterramento dos cabos submarinos (EPE, 2020).

2.2 AEROGERADORES

Os Aerogeradores são basicamente compostos por cinco elementos principais: fundação, torre, rotor, *nacelle* e conversor.

2.2.1 Fundações

Entende-se por fundação a estrutura física responsável por dar sustentação à turbina. Quando se fala de energia eólica *offshore*, a fundação é uma parte muito importante, de forma a assegurar que os esforços estáticos e dinâmicos da torre sejam suportados. De acordo com Ribeiro (2015) classificam-se os tipos de fundações *offshore* da seguinte forma:

- 1) Relativo à fundação, os sistemas estruturais se dividem em dois tipos:
 - a) Fixos – em que o aerogerador transfere as forças estáticas e dinâmicas até o solo oceânico;

b) Flutuantes – em que se permite a mobilidade do aerogerador, pois a estrutura está somente ancorada, atuando como uma boia;

2) Relativo ao sistema estrutural fixo, os métodos de fixação ao leito se dividem em dois:

a) Por gravidade – baseia-se na dimensão da base e no peso para garantir a fixação e estabilidade;

b) Por estacas – utilizando a cravação de estacas que resistam aos esforços transmitidos ao fundo oceânico;

Os principais tipos de estruturas de suporte são:

a) Gravidade (*Gravity-based structure*)

b) Estaca única (*Monopile structure*)

c) Tripé (*Tripod structure*)

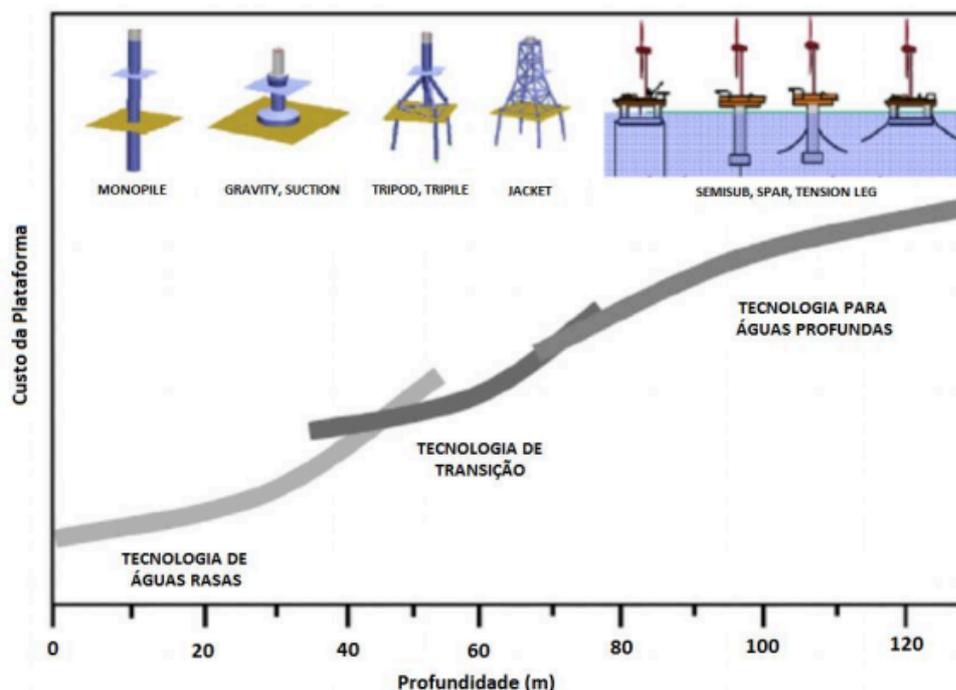
d) Treliça (*Jacket / Lattice structure*)

e) Sução (*buckled-type foundation*)

f) Flutuantes (*Semi-submersible, Spar-buoy, Tension-leg platform*)

A Figura 5 mostra a relação de custos entre os diferentes tipos de estruturas de suporte, bem como a faixa típica de aplicação de cada uma, em função da profundidade do local de instalação.

Figura 5: Custo relativo *offshore* de acordo com a tecnologia.



Fonte: BARRETO, 2019

A exemplo das plataformas de perfuração de petróleo, os aerogeradores podem ser fixos ou flutuantes, e a forma como as unidades geradoras serão alocadas está diretamente relacionada à profundidade das águas locais. De forma simplificada, quando mais profundas as águas, mais complexo tornam-se as estruturas de fixação em solo oceânico, passando neste caso para estruturas do tipo flutuantes. A estrutura a ser utilizada na fixação do aerogerador impacta diretamente na viabilidade econômica do projeto, podendo representar até trinta por cento do custo total de construção da unidade geradora (STRUCTURAL ANALYSIS, 2017).

Ainda hoje, as fundações fixas são tidas como predominante nos parques eólicos *offshore* no mundo, sobretudo as do tipo *monopile*. Geralmente as fundações fixas são implementadas em águas de até sessenta metros de profundidade. Para cada nível de lâmina d'água e para as cargas hidrodinâmicas inertes existe um tipo adequado de fundação fixa para assegurar uma boa ancoragem, de modo a garantir a estabilidade estrutural e prover condições ideais para o funcionamento do aerogerador.

Os aerogeradores flutuantes, devido ao seu sistema de ancoragem, têm o potencial de ampliar a área de atuação das turbinas eólicas de forma substancial. Os sistemas de ancoragem, também usados pelas plataformas de prospecção de petróleo e gás, permitem que as operações possam ser executadas em locais cada vez mais distantes da costa, ampliando desta forma a área útil para captar a energia do vento, e ainda acessando ventos de velocidades mais altas, na medida em que se adentra no oceano. Ainda, sobre custo, estima-se que cerca de dezoito por cento do custo gerado com a plataforma flutuante seja advinda dos guinchos necessários para o ajuste na tensão dos cabos que a fixam no solado oceânico. (FULTON et. Al., 2005)

2.2.2 Torres

As torres são as estruturas responsáveis por suportar as *nacelles*, onde encontra-se o rotor e demais sistemas responsáveis pela geração de energia. É uma estrutura de aço ou concreto que sustenta a turbina eólica no ar e a mantém estável mesmo em ventos fortes. A altura da torre é importante porque a velocidade do vento aumenta com a altura acima do solo, ou mar, neste caso. Desta forma, uma torre alta permite que a turbina eólica capture ventos de maior intensidade, gerando mais energia.

As torres de aço são as mais comuns, pois são duráveis, resistentes à corrosão e relativamente fáceis de fabricar. As torres de concreto são mais pesadas e mais caras, mas são adequadas para aplicações *offshore* em áreas com ventos muito fortes. As torres são projetadas para suportar o peso da turbina eólica, bem como resistir a forças de vento, gelo e outras condições ambientais adversas. Elas também têm sistemas de acesso, como escadas e elevadores, para permitir a manutenção e reparação da turbina eólica (BARRETO, 2019)

2.2.3 Nacelle

Segundo Barreto (2019), a *nacelle* é a estrutura que contém as principais partes mecânicas de uma turbina eólica, incluindo o gerador, a caixa de engrenagens e o sistema de controle e aquisição de dados anemométricos. É localizada no topo da torre da turbina eólica e é projetada para proteger os componentes internos de vento, chuva, e outras condições ambientais adversas como a corrosão devido ao ambiente

salino, no caso *offshore*. Ela é construída com materiais resistentes, como aço e fibra de vidro, e pode ter até 8 metros de comprimento e 4 metros de largura.

A caixa de engrenagens é um dos principais componentes da *nacelle*; ela conecta a turbina eólica ao gerador aumentando a velocidade angular do sistema, e permitindo que o gerador produza eletricidade com maior eficiência. O gerador converte a energia cinética da rotação do rotor em energia elétrica utilizável. Também é possível que a *nacelle* possua um sistema denominado conversor de potência plena, o que permite que a caixa de engrenagens e o gerador convencional sejam dispensados, substituindo-se por um gerador de baixa velocidade, acoplado ao próprio rotor e trabalhando em conjunto a sistemas eletrônicos de potência, convertendo a energia gerada para os requisitos estabelecidos na rede. Além disso, a *nacelle* possui os sistemas necessários para monitoramento do desempenho da turbina eólica e ajuste da orientação do rotor para maximizar a produção de energia. O sistema de controle também inclui sensores para medir a velocidade do vento e a direção, bem como outras condições ambientais. O Quadro 1 lista os componentes da *nacelle* e suas respectivas funções.

Quadro 1: Componentes da *nacelle*. (continua)

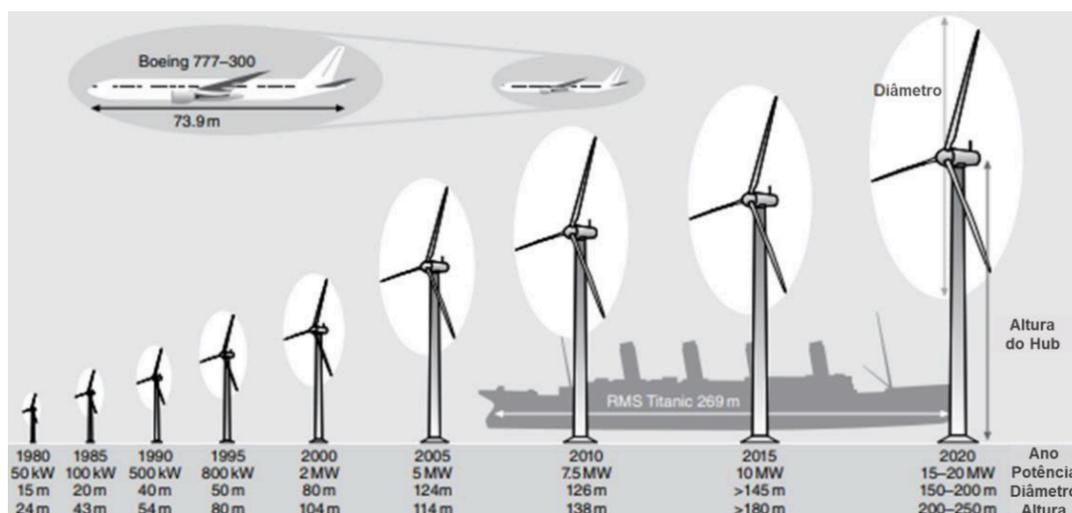
Componente	Função
Eixo principal	Recebe a energia mecânica da rotação das pás
Eixos	Guia o movimento de rotação a uma parte ou um conjunto de peças
Amortecedores	Diminuem os ruídos e vibrações transmitidos dos componentes para estrutura
Sinais de luz externos	Sinalizam a presença da nacelle devido à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

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

Fonte: Ribeiro, 2019. (fim)

O desenvolvimento tecnológico é fator crucial para a queda no custo médio da energia produzida no caso das plantas *offshore*, especialmente ao que diz respeito ao *designer* da turbina, responsável por até 45% dos custos totais de instalação de uma unidade geradora *offshore*. As turbinas vêm ganhando um poder de geração cada vez maior (Figura 6), especialmente nas últimas décadas, aumentando o seu *output* em 5% no período entre 2010 e 2018 (BARRETO, 2019)

Figura 6: Evolução das turbinas eólicas comerciais.



Fonte: Barreto, 2019

A queda no custo das máquinas é de longe um fator muito importante para o sucesso e posterior desenvolvimento da indústria. Ainda que as condições do vento nas áreas oceânicas tenham características evidentemente melhores (características como velocidade e constância dos ventos) quando comparado com o vento *onshore*, a implantação de turbinas *offshore* tem custos bem elevados e inerentes às condições climáticas impostas. Os aerogeradores representam uma parcela menor do custo total de implantação, mas comparado com a *onshore*, o custo nominal é maior (IRENA, 2019).

2.2.4 Rotor

O rotor de uma turbina eólica é composto por um conjunto de pás aerodinâmicas projetadas para capturar a energia cinética do vento e convertê-la em energia mecânica rotativa. Cada pá é conectada a um cubo central por meio de um sistema de fixação denominado *hub*, que permite que a pá tenha o ângulo de ataque (*pitch*) ajustado, de forma a otimizar o desempenho da turbina. A forma das pás do rotor é cuidadosamente projetada para maximizar a eficiência da turbina em uma ampla gama de condições de vento. Os rotores das turbinas eólicas modernas são construídos com materiais leves e resistentes, como fibra de vidro. O *design* das pás é um ponto de elevada atenção, sendo atualmente o modelo de três pás o mais empregado no mundo, tanto em *onshore* como em *offshore*, devido a justificativas

especialmente operacionais e econômicas. A tendência é que aerogeradores com áreas de varredura cada vez maiores sejam adotados, aumentando a potência extraída do vento.

Grande parte dos avanços tecnológicos relacionados aos aerogeradores advém do *design* das pás, que podem gerar grandes ganhos de eficiência produtiva. Iniciativas de pesquisa para o desenvolvimento de *smart blades* (pás inteligentes) como a ADAPWING, gerida por uma organização dinamarquesa, busca novas formas de aumentar as eficiências e reduzir os custos de produção e manutenção dos aerogeradores (BUHL et. al., 2007).

2.2.5 Conversores

Os conversores nas turbinas eólicas são componentes que fazem parte do sistema de controle e potência da turbina. Eles são responsáveis por converter a energia elétrica gerada pela turbina na frequência (Hz) e tensão (V) corretas para ser injetada na malha elétrica local. São componentes grandes e pesados, que geram custos significativos para a construção da torre, instalação e manutenção. A base de desenvolvimento tecnológico atual, relacionada aos conversores, está focada na busca de semicondutores e materiais magnéticos, visando diminuir o peso e as dimensões dos sistemas empregados nas máquinas (ISLAM, 2013).

2.3 TRANSMISSÃO DE ENERGIA

A transmissão de energia de parques eólicos *offshore* é um processo crítico na produção de energia elétrica a partir do vento. Uma vez que as turbinas eólicas *offshore* estão localizadas no mar, a energia gerada precisa ser transmitida para a costa através de cabos submarinos, antes de ser integrada na rede elétrica. Segundo Tavares (2010), existem duas principais tecnologias de transmissão utilizadas para conectar parques eólicos *offshore* à rede elétrica: a transmissão em corrente contínua de alta tensão (HVDC) e a transmissão em corrente alternada de alta tensão (HVAC).

A transmissão em HVDC é geralmente utilizada para conectar parques eólicos *offshore* a longas distâncias, pois a tecnologia é capaz de transmitir energia elétrica de alta tensão com baixas perdas de transmissão. A energia elétrica é convertida em corrente contínua através de conversores de alta potência instalados no parque eólico, antes de ser transmitida através de cabos submarinos para um conversor de corrente

alternada de alta tensão (AC) na costa. O conversor AC converte a energia de volta em corrente alternada antes de ser integrada na rede elétrica.

A transmissão em HVAC é a tecnologia mais amplamente usada pois, como é mais antiga, passou por uma série de melhorias que otimizaram seu processo. É utilizada para conectar parques eólicos *offshore* a distâncias menores (de até cinquenta quilômetros), pois a tecnologia apresenta maior perda de transmissão em longas distâncias. A energia elétrica gerada pelas turbinas eólicas é transmitida através de cabos submarinos para uma subestação na costa, onde a tensão é convertida para os níveis da rede elétrica na qual será integrada.

Os cabos submarinos são os componentes que geram as maiores preocupações para aos gestores dos parques. É necessário que os cabos venham a tornar-se cada vez mais robustos, na medida em que a implantação vai se distanciando da costa. Ainda que a tecnologia tenha sido amplamente desenvolvida nos últimos anos, estima-se que cerca de oitenta por cento dos custos das seguradoras é advindo de problemas com os sistemas de transmissão submarinos. Os problemas, nestes casos, são duplamente custosos, pois além de ser necessário a manutenção do sistema – o que exigirá uma equipe absolutamente especializada, já que o cabo está disposto no solo oceânico, a produção de energia do parque será prejudicada, resultando na inviabilidade de escoamento desta potência (BURDOCK, 2020).

Ambas as tecnologias de transmissão têm seus benefícios e desafios, e a escolha entre elas depende das condições específicas do projeto, incluindo a distância do parque eólico até a costa, a capacidade de carga da rede elétrica local e os custos envolvidos na instalação e operação dos sistemas de transmissão.

2.4 EMBARCAÇÕES PARA USO OFFSHORE

Um dos grandes desafios, no que diz respeito à energia eólica *offshore*, é o fato de que todas as operações de instalação, reparos e manutenção dependem exclusivamente de embarcações capazes de chegar até os aerogeradores, transportando as estruturas e o pessoal necessário para executá-las. Algumas das embarcações são utilizadas em operações específicas para parques eólicos *offshore*, enquanto outras servem também a outras indústrias, como a do petróleo. Nesse último caso, pode haver um aumento significativo no custo, por motivos de disponibilidade

ou simplesmente pelo fato de que a faixa de preços praticada advem da indústria de óleo e gás, por exemplo (VAICBERG, VALIATT, QUEIROZ, 2021).

Estima-se que hoje, no mundo, não há mais que 5 tipos de grandes embarcações capazes de realizar a instalação dos aerogeradores no oceano. Devido a essa carência de embarcações unicamente voltadas para a indústria *offshore*, algumas restrições operacionais são observadas, o que atrasa a conclusão dos projetos e conseqüentemente aumenta seu custo. Fatores climáticos, especialmente no oceano, onde as intempéries atuam de forma mais intensa, podem causar sérios problemas à operação de transporte. Ondas com mais de um metro e meio de altura, ventos de velocidade acima de dez metros por segundo, correntes marítimas que prejudicam a confiabilidade dos sistemas de posicionamento dinâmico, e variações de maré são verdadeiros desafios, podendo causar riscos às operações. (AHN, 2016).

A seguir, será apresentada uma descrição dos tipos de embarcações que atendem parques eólicos *offshore*.

2.4.1 Wind Farm Support Vessels (WFSV)

Wind Farm Support Vessels (Figura 7) são projetadas especificamente para o transporte de carga e da equipe operativa entre os aerogeradores e a costa, responsável pela manutenção e execução dos reparos nas turbinas/torres eólicas *offshore* (AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, 2018).

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

A *American Bureau of Shipping* (ABS), fundada em 1862 em Nova York, com o intuito de proteger a propriedade do mar, diferencia os WFSV entre *offshore support vessels* (OSV) e *high-speed craft*, cada um com suas respectivas características e pré-requisitos operacionais. (AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, 2018)

As embarcações do tipo *high-speed craft*, ou embarcações de alta velocidade, são embarcações especialmente projetadas para transportar equipes de manutenção e suprimentos para as turbinas eólicas *offshore* em alto mar (IMO, 2000). Essas

embarcações são projetadas para serem rápidas e manobráveis, permitindo que cheguem rapidamente aos aerogeradores para realizar reparos e manutenção, reduzindo o tempo de inatividade e maximizando a produção de energia.

Figura 7: Wind Farm Suport Vessels



Fonte: Mecgregor, 2018.

Esses barcos também são projetados para serem resistentes às condições adversas do mar, com cascos resistentes a impactos e outros recursos de segurança para garantir a segurança da tripulação e dos passageiros. Além disso, essas embarcações podem ser equipadas com tecnologia avançada, como sistemas de navegação e comunicação, para ajudar a tripulação a navegar com segurança e eficiência no mar. Também podem ser equipadas com equipamentos de combate a incêndio e salvamento, bem como outros equipamentos de segurança para proteger a tripulação e os passageiros em caso de emergência. São, na sua grande maioria, catamarãs (VAICBERG, VALIATT, QUEIROZ, 2021).

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

transferência de pessoal por *gangways*, passarelas ou pontes que são usadas para permitir que as pessoas entrem e saiam de embarcações e tenham acesso às instalações *offshore*, como os aerogeradores ou *flotéis* por exemplo. Essas passarelas são projetadas para fornecer uma conexão segura e estável entre dois pontos que estão em alturas ou níveis diferentes, podem ser dobráveis ou retráteis para economizar espaço a bordo de uma embarcação e podem ser ajustadas para se adaptar às variações na altura do convés ou no mar, além de equipadas com corrimãos, trilhos e iluminação para garantir que as pessoas possam se movimentar com segurança, mesmo em condições de baixa visibilidade (SCHWARZ, 2014).

2.4.2 Barcaças

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

- *Cargo barges* são barcaças simples de carga, normalmente não possuem sistema de propulsão próprio e, portanto, necessitam do auxílio de rebocadores. Dos tipos citados acima, é o de maior simplicidade, ainda que precise de rebocadores para seu deslocamento.
- *Crane barges* são barcaças de grande porte que possuem guindastes e são mais adaptadas para construção de estruturas menores como subestações *offshore*.
- *Jack-up barges* são barcaças mais robustas, com uma base mais sólida para operações de içamento de cargas. Possuem bom custo-benefício em áreas com ondas maiores, mas também têm suas limitações: a operação é demorada, pode operar apenas em distâncias de até no máximo cinquenta quilômetros e requer embarcações de apoio. Algumas delas possuem pernas hidráulicas ajustáveis que permitem que a plataforma seja elevada acima da superfície da água. Essas pernas hidráulicas são chamadas de "*jacking system*" e permitem que a plataforma seja fixada com segurança no fundo do mar. (DALGIC; LAZAKIS; TURAN, 2013)

2.4.3 Heavy Lift Vessels (HLV)

Heavy Lift Vessels são embarcações capazes de içar e transportar cargas muito pesadas, em grande quantidade, possuem bom perfil de estabilidade e devem ser projetadas e construídas com os mais altos padrões de segurança e confiabilidade, a fim de garantir a segurança das cargas e da tripulação a bordo. Seu custo (*day rate*) é mais alto e apresentam obstáculos como a disponibilidade comprometida pela indústria de óleo e gás e a dificuldade de demandar certos portos devido ao seu tamanho. Para a indústria eólica *offshore* duas subcategorias de *heavy lift* são empregadas: semissubmersíveis e *project cargo vessels*.

- *Heavy lift* semissubmersíveis, são capazes de submergir em parte. O convés submersível fica entre o passadiço (geralmente localizado na proa do navio) e um castelo de popa que geralmente abriga maquinário. Por meio de um sistema de lastro avançado, o navio é capaz de submergir seu convés principal, possibilitando a acomodação de cargas impossíveis de içar com o uso de guindastes. Cargas comuns para esse tipo de embarcação incluem plataformas de exploração e outros navios. O método de instalação do aerogerador, relacionado ao tipo de fundação ser fixa ou flutuante, determinará se vale a pena demandar esse tipo de embarcação, que tem um custo bastante elevado.
- *Project cargo* são embarcações monocasco de grande porte que possuem em seu convés principal guindastes de alta capacidade, para içar cargas não rodantes e que não são flutuantes e, portanto, não poderiam ser acomodadas em uma semissubmersível. As cargas podem ser embarcadas em porões ou no convés principal, o que gera preocupações com a peçação das cargas, a fim de evitar que rolem e, com seu grande peso, acabem por inclinar a embarcação. Reforços estruturais são feitos em seu costado lateral para suportar o peso dos grandes guindastes e evitar esforços de torção exagerados (MENON, 2020).

2.4.4 Cable Laying Vessels (CLV)

CSVs, também conhecidos como *Cable Layers*, são embarcações projetadas para operações de lançamento de cabos submarinos em águas profundas ou rasas, incluindo cabos de diferentes tamanhos e tipos, como fibra óptica e cabos de cobre. Tais instalações são geralmente utilizadas para transmissão de energia elétrica,

telecomunicações, internet, sistemas de monitoramento submarino e outras aplicações.

Devido à delicadeza da operação, os CSVs possuem equipamentos de ponta e podem ser empregados como navios de pesquisa científica, já que não são empregados todo o tempo para sua atividade primária. Essas embarcações são equipadas com sistemas de posicionamento dinâmico (DP), guinchos de cabo e equipamentos de perfuração, que permitem a instalação com precisão dos cabos no leito do mar. Além disso, *Cable Laying Vessels* são frequentemente equipadas com um sistema de armazenamento de cabos a bordo (Figura 8), que permite o transporte de grandes volumes de cabos para o local de instalação.

Figura 8: Cable Laying Vessels, operando em alto mar com armazenamento de cabos.



Fonte: Energy Focus, 2019

CSVs possuem todo tipo de equipamento de controle de avarias aos cabos submarinos como, por exemplo, *Linear Cable Engines* (LCEs), que controlam a tensão dos cabos a serem lançados através sistemas de rodas aos pares, tanto hidráulica quando elétrica. Essas embarcações também podem ser equipadas com ferramentas de corte e soldagem, que permitem a reparação e manutenção dos cabos submarinos já instalados; para tal requerem uma equipe altamente especializada e experiente para operá-las com segurança e eficiência. Além disso, *Cable Laying Vessels* devem ser projetadas e construídas com os mais altos padrões de segurança e

confiabilidade, a fim de garantir a integridade dos cabos submarinos e a segurança da tripulação a bordo. O cabo é geralmente estivado no “carrossel” e CSVs modernos de grande porte podem estivar e operar mais de nove mil toneladas de cabos (VAICBERG, VALIATT, QUEIROZ, 2021).

2.4.5 Flotel

Para auxiliar na logística de pessoal nas campanhas de construção e manutenção das instalações *offshore*, e a fim de reduzir a necessidade do emprego de WFSVs, embarcações tipo *flotel* (Figura 9) passaram a ser utilizadas. A característica principal destas embarcações é dispor de uma grande capacidade de acomodações de pessoas e, em alguns casos, recursos adicionais como oficinas, área para armazenamento de materiais e equipamentos de movimentações de carga. Os trabalhadores ficam acomodados no *flotel* e são transferidos diariamente para a plataforma em que irão executar os serviços de manutenções necessários. É um tipo de embarcação muito empregado na indústria do petróleo (SCHWARZ, 2014).

Figura 9: Flotel utilizado no setor de Óleo e Gás da Petrobrás.



Fonte: Kinkaid, 2022

2.4.6 Air Range Diving Support Vessel (ARDSV)

Os ARSDVs são embarcações de suporte a operações de mergulho. Para que tais operações sejam possíveis e seguras, certas condições de mar calmo devem ser respeitadas. É necessário também garantir que o convés não seja alagado, devido ao risco de acidentes para os profissionais que auxiliam na operação, entre outros fatores. Sistemas de posicionamento dinâmico são especialmente importantes para esse tipo de embarcação, já que o suporte aos mergulhadores a bordo é essencial para sua segurança quando submersos. Portanto, é crucial que a embarcação se mantenha na posição correta. Além do sistema de posicionamento dinâmico, a ancoragem bem feita mostra-se uma aliada de peso para a segurança desse tipo de operação (GILES, 1991).

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

2.5 ELEMENTOS DE TERRA RARA – ETR

Algo atualmente muito considerado na cadeia produtiva dos aerogeradores, tanto *offshore* como *onshore*, é a disponibilidade da matéria prima para o desenvolvimento de seus componentes. Em particular, os ETR são essenciais para a produção dos geradores, especialmente nos ímãs destes equipamentos.

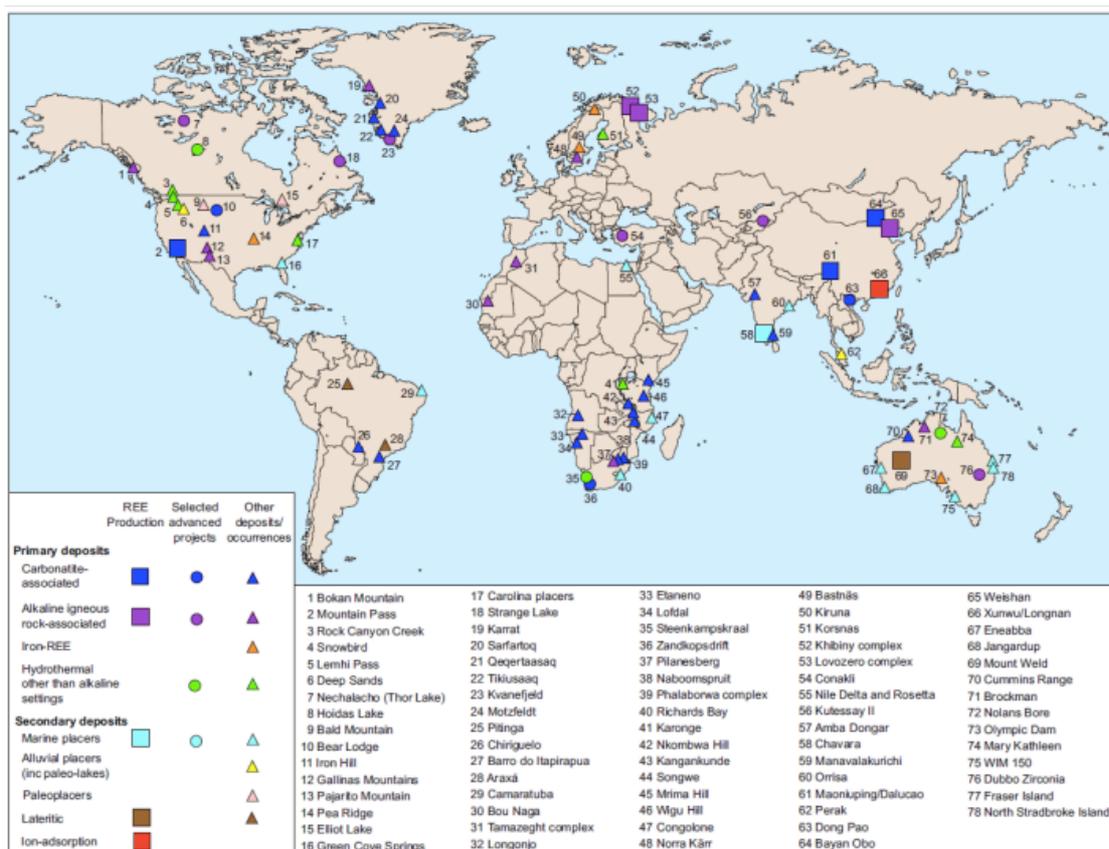
Tecnicamente, os ETRs são definidos como os quinze elementos da família dos lantanídeos - elementos com o número atômico (Z) entre 57 e 71 - e mais dois associados, o Ítrio (Y) e o Escândio (Sc). Ítrio e Escândio, ainda que não pertencentes à família dos lantanídeos, são considerados ETR por estarem presentes nos mesmos depósitos e possuírem propriedades químicas e físicas similares (GUPTA e KRISHNAMURTHY, 2005, JAIRETH et al., 2014). Tais elementos são importantes pois dispõem de características físicas e químicas de elevada importância na indústria tecnológica.

No passado, os ETRs, tiveram seu primeiro uso na fabricação de camisas para lâmpadas, ainda antes da energia elétrica. Com o tempo, sua utilização foi tornando-se cada vez mais ampla, como no mercado nuclear e na construção de componentes

das bombas atômicas. Hoje, os ETRs estão destinados a uma gama de tecnologias cotidianas, como lâmpadas, baterias, lasers, ímãs de muitos tipos, etc.

Em 2002, o USGS (United States Geological Survey) lançou uma compilação de dados sobre minas, depósitos e ocorrências de terras raras. Para tal, os dados foram coletados de uma variedade de fontes. Vale frisar que os dados de ocorrência foram incluídos juntamente com os depósitos de potencial econômico conhecido, para mostrar o espectro geológico de concentração de ETR. Muitas das ocorrências não foram bem estudadas e o potencial econômico não é conhecido. Nessa compilação foram listadas cerca de 800 ocorrências espalhadas por mais de 70 países (ORRIS e GRAUCH, 2002). A figura 10 apresenta alguns dos depósitos de ETRs espalhados pelo Mundo.

Figura 10: Mapa mundial de distribuição das reservas de terras raras



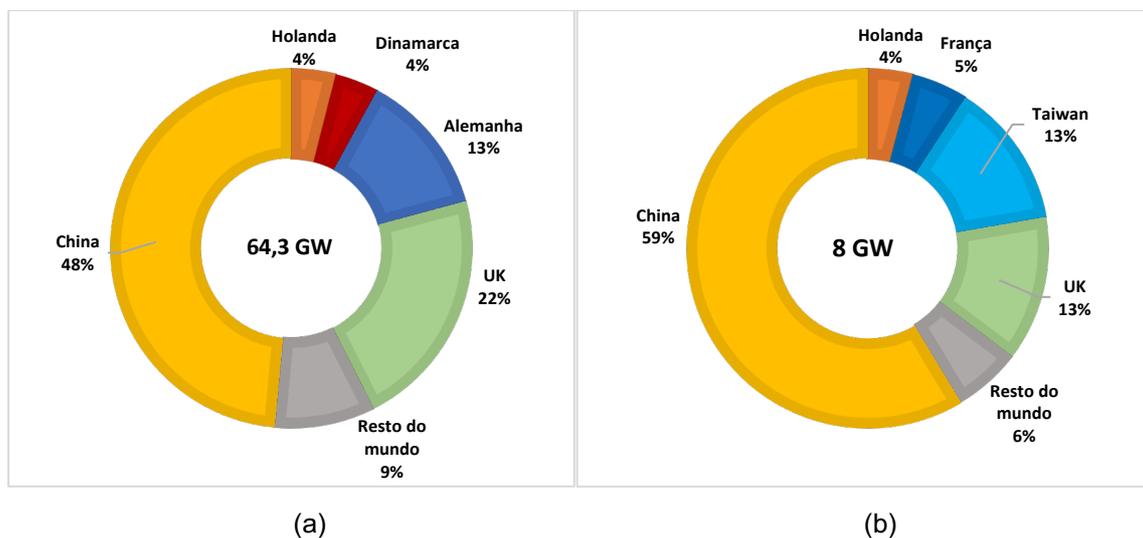
Fonte: WALTERS, et. al (2011)

Para a energia eólica, a produção de ímãs potentes, de forma a aumentar a eficiência dos sistemas e também diminuir o peso das estruturas, torna as terras raras um ponto chave. Alguns elementos, como o Neodímio (Nd), são de elevada importância para esse ramo. A exemplo, uma turbina eólica com capacidade de 3 MW utiliza cerca de 2 t de ímã NdFeB (PAVEL et al., 2017). Para essa aplicação, o ímã contém de 29 a 32% de Pr-Nd (Praseodímio-Neodímio) e são adicionados 3-6% de Dy (Disprósio) para aumentar a coercividade em temperaturas mais elevadas (LACAL-ARÁNTGUI, 2015). Assim, uma turbina pode conter até 760 kg de ETR em seu gerador.

2.6 PANORAMA ATUAL DA ENERGIA EÓLICA *OFFSHORE*

O Global Wind Energy Report de 2023 (GWEC, 2023), estimou uma capacidade instalada *onshore* total de aproximadamente 841,9 GW no ano de 2022. No cenário *offshore*, houve uma capacidade nova instalada de 8,8 GW em 2022, de um total instalado de 64,3 GW. A China segue sendo líder do ranking mundial de produção total de energia eólica, e também na produção de energia eólica *offshore* de energia, representando 49% da geração, seguida pelo Reino Unido com 22% da capacidade instalada. (Figura 11). O Brasil ocupa atualmente o sexto lugar no ranking geral de produção de energia eólica *onshore*, subindo de posição em relação aos anos anteriores, e embora não haja nenhuma instalação de produção de energia eólica *offshore* em funcionamento no país, no momento da elaboração do presente trabalho.

Figura 11: a) Capacidade total de energia eólica *offshore* instalada acumulada no mundo; b) Novas instalações *offshore* no ano de 2022.



Fonte: GWEC – Global Wind Report, 2023

A seguir serão discutidos os diferentes aspectos que rondam a implementação da energia eólica *offshore* no Brasil, como: o potencial produtivo do país, os projetos existentes em fase embrionária, a questão jurídica e regulatória para a energia eólica *offshore* no Brasil, e a legislação sobre o tema em outros países. Além disso, também será abordada a relação com a Marinha Mercante brasileira, notadamente os armadores, e as medidas necessárias para adequar a frota nacional à nova demanda que os parques eólicos *offshore* representam.

2.6 POTENCIAL PRODUTIVO DO BRASIL

Como citado anteriormente, o primeiro documento sobre energia eólica *offshore* de elevada importância criado no Brasil foi o *Roadmap Eólica Offshore Brasil* (EPE, 2020). Os primeiros estudos da EPE sobre o potencial eólico *offshore* foram realizados no âmbito do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050). Após a publicação deste estudo, com estimativa do potencial de 1.780 GW para a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) (EPE, 2018), a EPE continuou analisando o assunto e foi verificada a necessidade de atualizar as estimativas iniciais. Os principais fatores motivadores para essa nova análise foram:

- Disponibilidade de novas bases de dados; e
- Mudança no tamanho e capacidade dos aerogeradores *offshore* no mercado.

Para se ter um levantamento preciso, a EPE levou em conta dados de velocidade de vento confiáveis das regiões oceânicas a serem levantadas juntamente a um software de geoprocessamento, de forma a considerar as áreas aproveitáveis do oceano. Uma vez que se tenha uma estimativa de áreas disponíveis, deve-se levar em conta as premissas relacionadas aos fatores de ocupação dos parques.

Inicialmente a EPE baseou-se em três banco de dados, o Atlas Eólico Brasileiro (CEPEL, 2013), o DTU *Global Wind Atlas* (IRENA, 2015) e a base de dados do ERA5 (C3S, 2017), disponibilizado pela ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Destaca-se aqui o ERA5 cuja abrangência ficava na ZEE. Através destes dados, foi possível estimar, por região, qual a potência disponível em eólica offshore no país, levando também em conta dados de altitude do rotor, e profundidade oceânica. O estudo da EPE apontou para um potencial aproximado de 697 GW na costa brasileira (considerando a faixa de velocidade de vento de 7 m/s por ser mais atrativa), em locais com profundidade de até 50 m, como pode-se ver na Tabela 2, nas lacunas em destaque (EPE, 2020).

Tabela 2: Potencial eólico *offshore* acumulado no Brasil

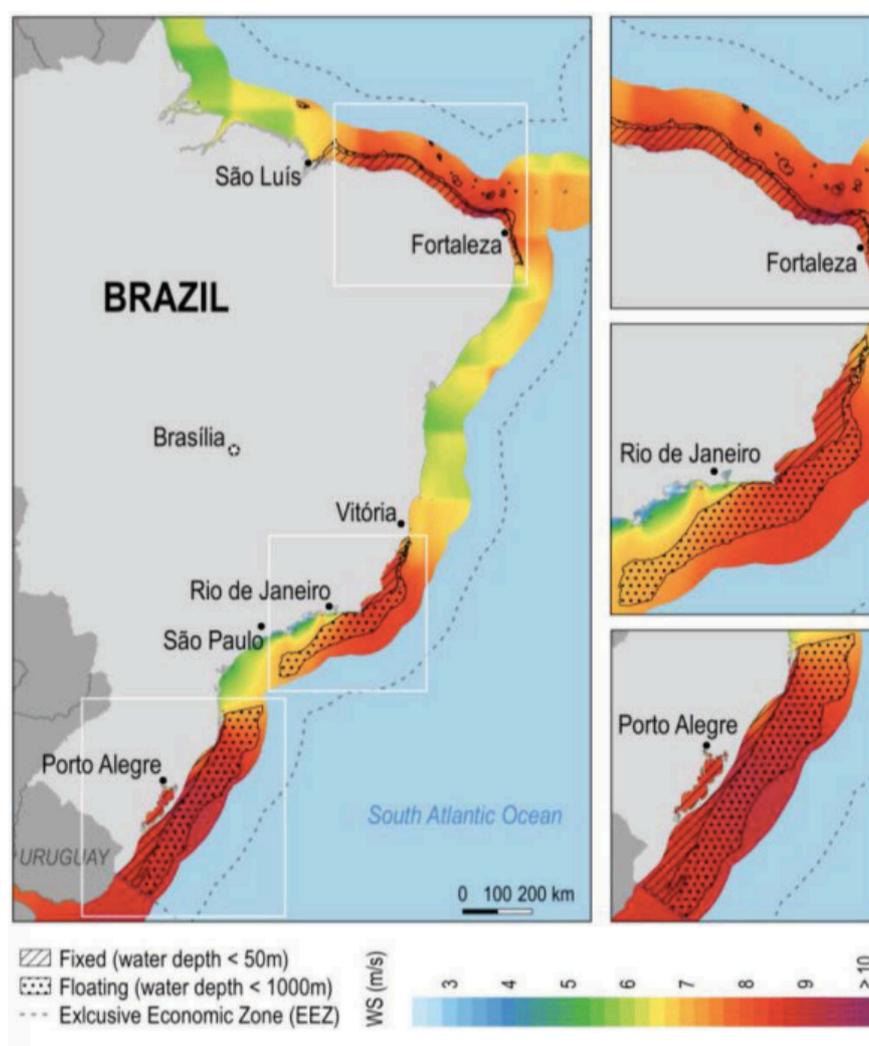
Velocidade (m/s)/ Batimetria (m)	Áreas Aproveitáveis (km ²)				Potencial (GW)				Potencial (TWh)			
	0 - 20	20 - 50	50 - 100	>100	0 - 20	20 - 50	50 - 100	>100	0 - 20	20 - 50	50 - 100	>100
≥6,0	175754	186188	171923	2784706	628	641	531	9100	1789	2048	1576	30140
≥6,5	147234	171441	147519	2602599	522	591	467	8420	1582	1949	1450	28793
≥7,0	79869	123078	79907	1765981	276	421	237	5833	1008	1528	902	21872
≥7,5	38637	64276	57360	1236126	129	209	159	4014	566	890	667	16101
≥8,0	29017	46109	50429	674430	100	147	137	2056	456	664	587	8934
≥8,5	16835	22227	31507	333324	63	81	87	993	308	398	383	4612
≥9,0	3996	7337	1852	143039	15	28	7	399	82	149	38	1929
≥9,5	729	560	154	2971	3	2	1	11	16	12	3	63
≥10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de *Roadmap Offshore Brasil* – EPE, 2020.

Outro estudo muito relevante, publicado pelo Banco Mundial – *GOING GLOBAL REPORT* (WORLD BANK, 2018), estimou a potência *offshore* da costa brasileira, da região Nordeste – São Luís a Natal, região Sudeste – sul de Vitória e o litoral Sul – de Florianópolis até a fronteira com o Uruguai, lugares indicados como proveitosos para

a exploração eólica *offshore*. Tal estudo retornou uma estimativa de potência *offshore* de 1,2 TW para o Brasil, cenário ainda melhor quando comparado com o *Roadmap* da EPE. Na Figura 12, pode-se ver o mapa com a batimetria das áreas de interesse e velocidade de vento, utilizada para estimativa da potência no estudo levantado pelo World Bank.

Figura 12: Batimetria das áreas de interesse e velocidade do vento na costa brasileira.



Fonte: World Bank, 2019

Em termos de capacidade *onshore*, segundo o Boletim Anual de Geração Eólica (ABEEÓLICA, 2023), no ano de 2022, no Brasil, foram instalados 109 novos parques eólicos, num total de 4,054 GW. A potência instalada no final de 2022 era de

25,63 GW, valor correspondente a 13,4% de toda a potência instalada no país. Nesse panorama, o Brasil é o país com a sexta maior capacidade instalada acumulada de energia eólica *onshore*, e o terceiro país em maior capacidade nova instalada (ABEEÓLICA, 2023).

De volta ao viés *offshore*, a elevada capacidade do Brasil está ligada a fatores como a extensa costa litorânea, com cerca de 7.000 km e velocidade média dos ventos com altura superior a cinquenta metros da superfície. Tais prerrogativas tornam os ventos do Brasil excelentes para a produção de energia elétrica. Em SILVA (2019 b) o potencial foi analisado em estudos por multiparâmetros, tendo em vista os valores econômicos, sociais e ambientais vigentes no Brasil. O potencial teórico estimado do Brasil é de cerca de 1700 GW considerando o aproveitamento máximo dos recursos. No entanto, considerando as limitações técnicas do país, estimou-se o potencial técnico de pouco mais de 1050 GW. Em decorrência das leis ambientais e sociais vigentes no país, o potencial ambiental e social, que acumula todas as limitações empregadas é de cerca de 330 GW.

Em outros estudos foram estimados os custos da produção da energia eólica em comparação às tradicionais fontes de energia. Estima-se que os custos iniciais são extremamente elevados, mesmo em áreas com os melhores recursos eólicos, batimetrias baixas e com menores distâncias logísticas. Porém, a longo prazo, os custos operacionais tendem a diminuir com a melhoria da tecnologia empregada e o avanço da produção de suprimentos pela indústria nacional. Para indústrias de grande porte, os elevados custos são diluídos com a receita obtida pela diminuição da utilização das energias tradicionais. (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012).

2.7 LEGISLAÇÃO

A transição energética, hoje também chamada de transição energética justa, surge no Brasil a partir da necessidade de se buscar novas rotas renováveis que diminuam a emissão dos gases aceleradores do efeito estufa e que sejam menos dependentes das crises nos setores tradicionais. Em 2019, o Governo Federal desenvolveu o mapeamento de modelos decisórios ambientais com base em países europeus, a fim de desenvolver os empreendimentos em energias renováveis, principalmente nos parques eólicos *offshore* (Vasconcelos, 2019). O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) é responsável pela aplicação e averiguação das diretrizes no Brasil. Estas diretrizes

orientam o país com o aprendizado advindo de países como a Alemanha e Dinamarca sem, entretanto, se afastar das premissas da Constituição da República Federativa do Brasil. Alemanha e Dinamarca são países que apresentam grande *expertise* no setor e são os maiores geradores de energia eólica na Europa.

O primeiro item a ser analisado é a concessão de áreas de exploração pelo governo, utilizando uma metodologia que possa suprir os interesses privados de forma justa, a exemplo, um leilão de área. Com isto, é produzida uma consulta pública envolvendo todos os agentes, sejam autoridades, associações ou indivíduos da área a ser explorada. A área explorada deve ser concedida pelo Estado para que assim possa se criar um planejamento e avaliação dos impactos ambientais durante a construção, operação, e descomissionamento dos projetos eólicos *offshore*. Na Dinamarca, este estudo é fornecido pelo governo à empresa ganhadora, além de delimitar a capacidade de energia produzida pelo parque (EPE, 2020).

As normas legais vigentes estão ligadas a diretrizes, nas quais o proponente deve avaliar os impactos do projeto sobre o meio ambiente, a geração de energia, os efeitos nocivos e a extração de minerais nestas áreas. A avaliação de impacto ambiental deve ter base científica, e é necessária para projetos de estabelecimento de parques de geração de energia elétrica no mar - em particular os impactos em peixes, aves, mamíferos marinhos, áreas e biótipos protegidos. e os grandes recifes de corais, seres extremamente susceptíveis às mudanças fisiológicas do meio em que vivem. Os estudos devem estar ligados também às consequências socioeconômicas causadas pela implantação destes parques, como a diminuição dos peixes nas áreas costeiras, impactando diretamente a renda de pescadores artesanais por exemplo. A partir dessa avaliação é possível identificar, descrever e avaliar adequadamente os efeitos diretos e indiretos de um projeto.

Na Quadro 2 é possível avaliar os impactos mais comuns provenientes da criação de parques eólicos *offshore* na Alemanha e Dinamarca.

Quadro 2: Principais impactos ambientais dos parques eólicos *offshore* na Alemanha e Dinamarca

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

Fonte: Adaptado de Vasconcelos, 2019

Após os encaminhamentos por meio de consultas públicas e projetos de lei, são analisadas, as leis vigentes do Estado, e as etapas entre a autorização e o licenciamento ambiental, este que, por sua vez, está relacionado à presença ou não de competitividade entre áreas em poder do Estado ou por empresas particulares. O

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

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

Ressalta-se também que outros órgãos federais devem aprovar o licenciamento ambiental, segundo a Portaria Interministerial Nº 60/2015. Este é o caso da Fundação Nacional dos Povos Indígenas (Funai), da Fundação Cultural Palmares (FCP), do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) e da Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde (SVS/MS). Estas entidades, estão relacionadas ao contexto socioeconômico dos possíveis impactos que justifiquem a viabilidade do projeto.

2.8 PROJETOS NO BRASIL

Segundo Ferreira (2022), até janeiro de 2021, no Brasil, apenas seis projetos de eólicas *offshore* estavam em fase de licenciamento ambiental, e pelo menos um deles estava sendo licenciado por meio do RAS. Os estudos ambientais requeridos para estes projetos levam como base a avaliação dos impactos gerados, delimitando, assim, a viabilidade dos empreendimentos. Para se ter um panorama amplo do

horizonte de projetos, a Tabela 3 apresenta os empreendimentos de geração *offshore* em licenciamento no país.

Tabela 3: Empreendimentos de geração *offshore* em licenciamento no Brasil.

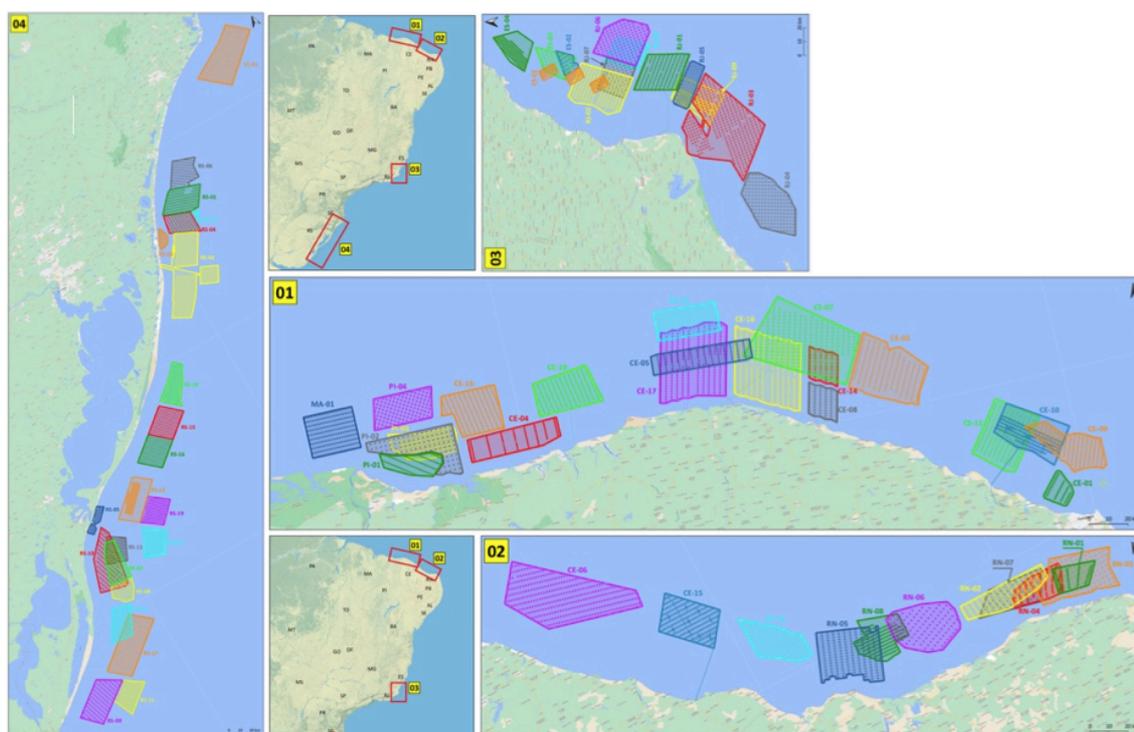
Complexo Eólico	Estado	N de Aerogeradores	Potência de máquina (MW)	Potência total (MW)	Área total (ha)	Ano de início da licença
Parque Eólico Offshore Caucaia Parazinho	CE	59	2 e 6	310,0	6700,0	2016
Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I	CE	50	8	400,0	7224,33	2017
Complexo Eólico Marítimo Jangada	CE	200	15	3000,0	95800,0	2019
Complexo Eólico Maravilha	RJ	200	15	3000,0	77096,0	2019
Complexo Eólico Marítimo Água claras	RS	200	15	3000,0	84220,0	2019

Fonte: Adaptado de EPE, 2020.

Os parques eólicos apresentados na Tabela 3 foram licenciados previamente pelo estudo ambiental EIA/RIMA. O único parque que obteve a licença pelo estudo RAS foi a Planta Piloto de Geração Eólica *Offshore*. Esta planta está situada no Estado do Rio Grande do Norte, e teve início em 2018. O projeto terá capacidade de produzir 5 MW a partir de um parque eólico *offshore*, com conexão via cabos submarinos até uma plataforma de exploração de petróleo. A área total do projeto é de 84.220 ha, com mais 4.560 ha destinados aos cabos submarinos, com linhas de transmissão (LT) submarinas de 34,5 kV e 1 km de extensão. O parque também conta com a instalação de uma torre anemométrica a 350m do aerogerador (EPE, 2020). Atualmente, o projeto está suspenso pela Petrobras, a fim de esperar melhores parcerias e oportunidades nos projetos eólicos *offshore* no Brasil (MACIEL *et. al.*, 2020).

Segundo relatório do IBAMA, atualizado em março de 2023, há no Brasil, 182,9 GW em processo de licenciamento ambiental. A disposição destes projetos pode ser vista na Figura 13.

Figura 13: Projetos com licenciamento ambiental abertos no IBAMA.



Fonte: IBAMA, 2023.

A viabilização de tais processos ainda depende da estruturação da legislação brasileira, que está atualmente sendo desenvolvida através dos *players* do setor e associações representantes, como a ABEEólica, juntamente aos órgãos governamentais no âmbito do Ministério de Minas e Energia.

2.9 CUSTO NIVELADO DE ENERGIA - *LEVELIZED COST OF ENERGY (LCOE)*

O *Levelized Cost Of Energy (LCOE)* é uma estimativa da receita média necessária por unidade de eletricidade para cobrir os custos de implantação e operação de uma planta de geração de energia durante seu ciclo de vida. (*US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION*, 2019). Essa ferramenta é comumente usada para medir a competitividade dos métodos de produção de energia e influência na tomada de decisões no momento de implementação ou não de um parque eólico por parte de empresas e governos.

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

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

Há controvérsias quanto a subsidiar ou não os projetos de eólica *offshore*. Por um lado, o caminho natural é a ocorrência cada vez maior de projetos sob o regime de subsídio zero, o que evidencia uma maior maturidade do mercado. Além disso, não subsidiar esses projetos significa uma redução importante de custo para o

governo, que se traduz, finalmente, numa potencial redução de custo para o consumidor final, já que parte dos encargos são refletidos no preço final do consumo de energia. Por outro lado, órgãos como o *Global Wind Energy Council* (GWEC) e a *International Renewable Energy Agency* (IRENA) pregam cautela com o regime de subsídios.

2.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou um panorama de implementação da energia eólica *offshore* no Brasil, tendo como embasamento parques eólicos já estabelecidos em outros países, e com foco na identificação dos principais gargalos.

Do ponto de vista de tecnologias e respectivos custos, foram enfatizados aspectos do projeto e implantação dos parques, transporte e materiais. Também foram enfatizados aspectos relacionados à legislação sobre o tema no Brasil, em especial as questões ligadas ao licenciamento ambiental.

Dentre os pontos de possíveis gargalos no Brasil, destacam-se: i) a regulamentação dos parques eólicos *offshore*, que atualmente ainda se encontra em fase de estruturação, ii) a necessidade de atenção aos materiais para construção dos equipamentos, especialmente de forma a priorizar tecnologias e recursos nacionais, iii) a logística de infraestruturas de apoio, como embarcações para a construção e manutenção dos parques eólicos *offshore* e iv) ETR.

O próximo capítulo traz a abordagem de um tema proeminente no setor energético e que se relaciona diretamente à forma de condução dos projetos eólicos *offshore*, que são as políticas ESG – *Environmental, Social and Governance* (Ambiental, Social e Governança Corporativa).

3. HIDROGÊNIO VERDE

O Hidrogênio (H_2) é o primeiro elemento da tabela periódica, com massa atômica igual a 1, possuindo um próton, um elétron e um nêutron em seu núcleo. Geralmente encontrado no estado gasoso nas condições normais de temperatura e pressão, é um gás incolor, inodoro e insípido, que carrega em suas características físico-químicas uma grande quantidade de energia (FIGUEIREDO; CESAR, 2021).

Quando em estado líquido, o Hidrogênio ocupa cerca de 700 vezes menos espaço quando comparado ao espaço ocupado no estado gasoso. Para que se obtenha Hidrogênio em estado líquido é necessário atingir temperaturas criogênicas da ordem de $-253\text{ }^\circ\text{C}$ (BARBOSA, 2020). Por outro lado, o Hidrogênio é o elemento com maior abundância no universo, representando cerca de 75% dos átomos existentes. Constitui uma diversidade de moléculas, dando origem a muitas substâncias diferentes, como a água, compostos inorgânicos como ácidos e bases, e também os compostos orgânicos, constituindo a gama dos hidrocarbonetos. Do ponto de vista energético, considera-se o Hidrogênio uma alternativa promissora, especialmente devido à grande quantidade de energia de combustão por unidade de massa. Mesmo sendo o elemento mais leve do universo, é capaz de fornecer de duas a três vezes mais energia que combustíveis convencionais (GOMES, 2011; FIGUEIREDO; CESAR, 2021).

3.1 PRINCIPAIS FONTES DE H_2

O Hidrogênio pode ser classificado de acordo com a forma de obtenção. Nesta classificação, adotou-se uma nomenclatura com base em cor, onde cada cor indica a matéria prima e processo pelo qual ele foi obtido. Na Quadro 3, dispõe-se os principais tipos de Hidrogênio e sua obtenção.

Quadro 3: Tipos de Hidrogênio com base na sua fonte.

	H ₂ Cinza	H ₂ Azul	H ₂ Turquesa	H ₂ Rosa	H ₂ Musgo	H ₂ Verde
Matéria Prima	Gás Natural	Gás Natural	Metano	Água	Biomassa ou Biocombustível	Água
Processo de Produção	Dividir o gás natural de H ₂ e CO ₂	Similar ao Cinza, mas com sequestro de CO ₂	Pirólise do Metano	Eletrólise em um eletrolizador movidos a energia Nuclear	Reforma catalítica, gaseificação ou digestão anaeróbica	Eletrólise em um eletrolizador movidos a energia renovável
Emissões de CO₂ CO ₂ Kg/H ₂ Kg produzidos	~10	~1 – 3 (maior parte do CO ₂ armazenado)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a. (assumindo fontes eólicas e solar)

Fonte: Governo RS, 2023; Propeq, 2023.

O Hidrogênio cinza, apesar de não renovável, é o mais utilizado no mercado atual. Sua obtenção é baseada na reforma ou craqueamento do gás natural ou de outros hidrocarbonetos. Sua produção não contribui para a redução na emissão dos gases de efeito estufa, muito pelo contrário, este Hidrogênio depende de um processo no qual o carbono disponível no gás natural é separado, e ligado com dois átomos de oxigênio, gerando grandes quantidades de CO₂.

O Hidrogênio azul é obtido de maneira muito semelhante ao Hidrogênio cinza, contudo há a captura de carbono neste caso. Apesar de parecer uma fonte limpa, vazamentos de metano do processo podem acabar intensificando o aquecimento global, ainda mais que o gás carbônico. Ademais, o CO₂ capturado do processo deve ser armazenado de uma maneira que não apresente vazamentos (em cavernas, por exemplo). Não se conhece uma maneira viável de armazenar esse gás indefinidamente. Tais incertezas acerca de sua rota geram controvérsias sobre se realmente pode ser classificado como uma fonte limpa, tornando sua utilização pouco provável.

O Hidrogênio turquesa se assemelha ao Hidrogênio azul, mas neste caso utiliza-se o gás metano, e a captura de carbono é feita através da solidificação do

mesmo por meio do próprio processo. Ainda que não emita carbono, tal método ainda precisa ser comprovado em larga escala.

O Hidrogênio rosa é obtido através de um processo denominado eletrólise, que consiste em expor a água a uma corrente elétrica, ocorrendo neste caso a quebra da molécula, com a separação de Hidrogênio e oxigênio. A energia utilizada para este processo é proveniente de fontes de energia nucleares.

O Hidrogênio musgo pode ser obtido de forma biológica, expondo a matéria orgânica (biomassa) à digestão anaeróbica de microrganismos, ou através da reforma de biocombustíveis (processo semelhante ao Hidrogênio cinza), ou ainda através de enzimas catalíticas. Tal processo, por se basear na ciclagem de carbono, é entendido como sustentável.

Por sua vez, o Hidrogênio Verde é obtido também através da eletrólise, mas neste caso, a energia utilizada no eletrolisador deve ser proveniente de empreendimentos de geração que gerem energia limpa, como as fontes eólicas e solar. Este tipo de Hidrogênio, além de não emitir ou em geral não contribuir com a emissão de gases de efeito estufa, apresenta-se com uma alternativa ao armazenamento de energia. Como será considerado adiante, isso contribui grandemente para operar a variabilidade dos empreendimentos de geração eólicos e solares (PROPEQ, 2023).

3.1.2 Hidrogênio Verde – Fontes de energia para sua produção

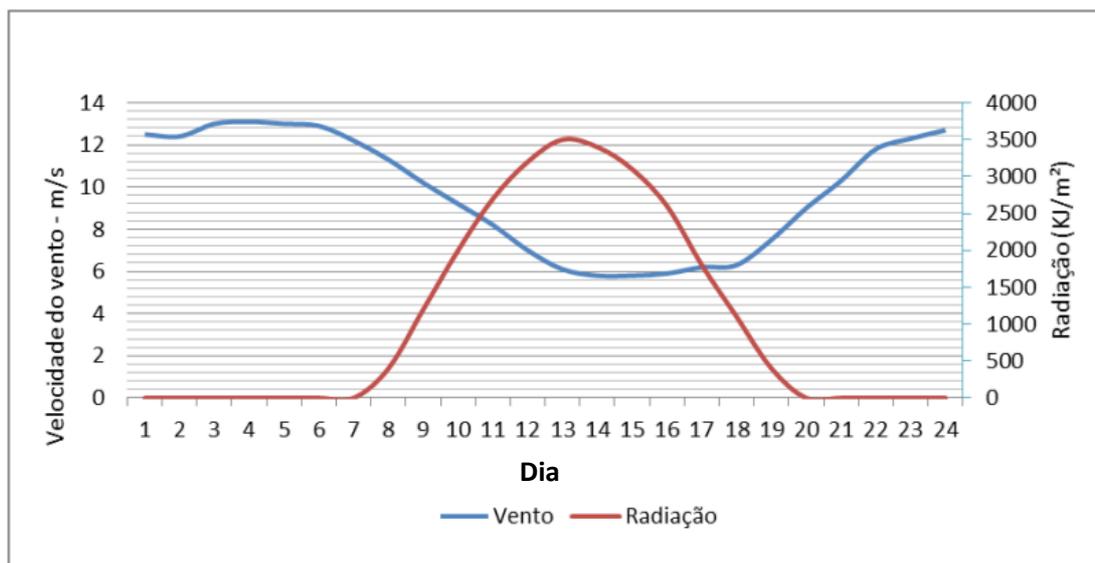
O Hidrogênio Verde, atualmente denominado H2V, advém da utilização de fontes de energia renovável em seu processo de obtenção. Neste caso, são considerados empreendimentos de geração como eólica, solar, hidrelétrica e outras provenientes da biomassa, por exemplo, ou seja, em que não há emissão de CO₂ no ciclo de utilização da energia elétrica (PORTAL HIDROGÊNIO VERDE, 2021).

A energia Solar fotovoltaica é uma alternativa, renovável, abundante e sustentável para ser utilizada neste caso. Ela é derivada da incidência da radiação solar nos dispositivos denominados módulos fotovoltaicos, que convertem essa radiação em corrente elétrica (PORTAL SOLAR, 2021). A energia eólica, é obtida através da conversão da energia cinética disponível no movimento das massas de ar. Essa energia é captada e convertida através de máquinas denominadas aerogeradores ou turbinas eólicas, conforme visto no Capítulo 2. Estas fontes de energia são caracterizadas pela variabilidade, devida à inconstância de

disponibilidade do recurso. A energia solar por exemplo, tem uma curva bem acentuada de geração, onde tem seu pico a zênite, estando sujeita apenas às horas de sol e ainda a interrupções pela presença de nebulosidade e outros fenômenos climáticos. Tais características acabam exigindo sistemas de armazenamento de energia, pelo menos quando se pensa em um sistema estável e não variável. De modo semelhante, se tem a energia eólica, que depende da disponibilidade dos ventos, ainda que se possa operar durante a noite. A presença de ventos é mais característica e intensa em determinadas horas do dia, a depender da região em que o parque está situado (PAIVA, 2022).

Tanto no caso solar quanto no eólico, se observa um vetor para sistemas de armazenamento de energia, que permitam operar a variabilidade. Ainda mais a fundo, pode-se obter complementaridade, quando utilizado estes sistemas em conjunto, obtendo ainda mais estabilidade. Conforme a Figura 14, pode-se perceber a complementariedade das duas fontes de energia, considerando um dia ensolarado de geração e considerando a melhor hipótese de geração. Nestes termos, o Hidrogênio ganha força, por ter sua utilização voltada justamente a auxiliar a operar a variabilidade, seja suprindo nos momentos de baixa geração ou absorvendo o excedente de energia gerada para fins de armazenamento (RAMPINELLI, GIULIANO ARNS; JUNIOR, CELSO GENEROSO DA ROSA, 2012).

Figura 14: Complementariedade das fontes eólicas e solar (melhor hipótese).



Fonte: RAMPINELLI, GIULIANO ARNS; JUNIOR, CELSO GENEROSO DA ROSA, 2012

3.2 ARMAZENAMENTO DO HIDROGÊNIO

Diferentemente de armazenar um líquido, armazenar um gás tende a ser geralmente mais complexo, e no caso do Hidrogênio se tem de fato um desafio. Como já mencionado no início deste capítulo, o Hidrogênio possui elevada quantidade de energia, mas reduzida densidade ($0,089 \text{ kg/m}^3$) no estado gasoso e temperatura de ebulição de $-253 \text{ }^\circ\text{C}$. Com isso, surge uma série de dificuldades de armazená-lo, seja no estado líquido ou gasoso. Para fazê-lo no estado gasoso, é necessário um sistema de grande volume e elevadas pressões, já para armazená-lo no estado líquido, faz-se necessário um sistema criogênico (OLIVEIRA, 2021; AMBIENTE BRASIL, 2021). Devido a tais características, o Hidrogênio acaba por envolver uma série de riscos no seu manuseio. Defeitos nos materiais, como corrosão e escavação, nos dutos de transporte e transferência podem ocasionar vazamentos, gerando precedente para explosões e incêndios (CPG, 2022).

Atualmente, o método mais utilizado comercialmente para armazenamento de Hidrogênio é em tanques pressurizados. Esses tanques armazenam o Hidrogênio em estado gasoso. São tanques cilíndricos em aço de alta pressão, suportando pressões superiores a 20 MPa (Figura 15). Novas tecnologias em materiais ultraleves, como

polímeros e compósitos de fibra de carbono podem operar a pressões entre 35 e 70 MPa (POVEDA, 2007; BARBOSA, 2020).

Figura 15: Tanque de armazenamento de Hidrogênio em projeto de P&D Pecém H2V, da EDP, no Ceará.



Fonte: EDP/Divulgação, 2022

3.2.1 Armazenamento Geológico

O armazenamento geológico, como o nome já diz, baseia-se em utilizar formações naturais como cavernas de sal, aquíferos e jazidas exauridas de hidrocarbonetos. Para a viabilidade deste método, é necessário que se tenha um montante mínimo de Hidrogênio na estrutura responsável pela manutenção do reservatório. O armazenamento geológico apresenta baixos custos operacionais, e as pressões de armazenamento variam de 2 MPa até 18 MPa. Torna-se mais viável quando pretende-se armazenar o Hidrogênio por longos períodos de tempo, devido a limitações na drenagem do gás (PINHO, 2017).

A Petrobras tem um papel importante nas pesquisas nacionais em armazenamento de gás em formações geológicas. Alguns projetos são vinculados ao CCS – *Carbon Capture And Storage*, como o Campo de Petróleo *Offshore* Lula, baseado na reinjeção de CO₂ por meio de uma plataforma de extração de gás *offshore*, no qual o CO₂ é proveniente de reservatórios naturais dentro do Campo de

Lula. Esse método auxilia a intensificação da extração do gás natural nas jazidas (PETROBRAS, 2022).

3.2.2 Armazenamento de Hidrogênio Líquido.

O Armazenamento do H_2 no estado líquido torna-se viável quando pretende-se armazenar grandes quantidades de gás. Para que seja possível, é necessário armazenar o Hidrogênio em temperaturas baixíssimas, na ordem de 20 K (-253,15 °C). Nesta temperatura, o Hidrogênio possui uma massa específica de 0,007 kg/L. As desvantagens desta metodologia de armazenamento encontram-se na energia necessária para fazê-lo, sendo necessário cerca de 40% da energia contida no Hidrogênio para que a liquefação seja feita (FERREIRA, 2022; LEITE, 2021).

3.2.3 Outras tecnologias

Existem outras tecnologias possíveis, de forma a facilitar o armazenamento de Hidrogênio como hidretos metálicos, baseados em fenômenos de absorção quando expostos em temperaturas moderadas e altas pressões resultando na formação de hidretos metálicos, e dessorção quando expostos a temperaturas elevadas e baixas pressões, recuperando o gás. A desvantagem encontra-se na baixa capacidade de armazenamento (AMBIENTE BRASIL, 2021). O armazenamento em nanomaterias também vem sendo estudado, possibilitando armazenar o gás por adsorção sem alterar a estrutura química existente por meio de nanoestruturas de carbono, vidro ou metais de transição (NIAZ; MANZOOR; PANDITH, 2015; BARBOSA, 2020).

3.3 TRANSPORTE DO HIDROGÊNIO

Como já falado anteriormente, um dos grandes desafios do Hidrogênio está em seu armazenamento, deste modo, o transporte relaciona-se quase que diretamente com este problema. O H_2 necessita de uma estrutura absolutamente especializada para favorecer o transporte, desde o local onde será produzido, até o local onde será posteriormente utilizado. Atualmente existem três maneiras de se transportar o Hidrogênio, seja no estado gasoso ou líquido (FERREIRA, 2022; AMARAL, 2021; LINS, 2013):

- Caminhão de gás comprimido: Adequado para transporte em pequenas quantidades e distâncias reduzidas. Os custos envolvidos baseiam-se no capital para os caminhões e reboques, O&M – Operação e Manutenção e combustível. Esse tipo de transporte será adequado para a introdução do combustível no mercado, em que sua demanda ainda será reduzida (LINS, 2013).
- Caminhões de líquidos criogênicos: Adequados para quantidades maiores e longas distâncias de transporte. Os custos principais estão relacionados na liquefação do gás (LINS, 2013).
- Gasodutos: São a opção mais adequada para o transporte de grandes quantidades de gás. Os custos estão relacionados especialmente na construção do gasoduto; os custos com O&M são relativamente baixos neste caso (LINS, 2013).

3.4 AMÔNIA VERDE – UMA POSSÍVEL SAÍDA

A amônia verde tem sido observada como um possível vetor para solucionar alguns dos problemas atrelados a armazenamento e logística do Hidrogênio. A amônia (NH_3) pode ser produzida a partir do Hidrogênio, é menos inflamável e pode ser armazenada em temperaturas mais elevadas, o que facilita a logística e estocagem. No local de utilização, a amônia pode ser facilmente reconvertida em Hidrogênio, ou em alguns casos usadas diretamente em sistemas para geração de vapor, adaptados para se alimentarem diretamente com amônia verde (CANAL ENERGIA, 2021)

A amônia já foi um dos principais fluidos refrigerantes utilizados em sistemas de compressão de vapor no mundo, devido às suas características excepcionais. Porém, devido à sua toxicidade relacionada ao uso em ambientes com concentrações populacionais, ou na indústria alimentícia, seu uso como fluido refrigerante tem diminuído (EPBR, 2021; INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2018). Já existem no mundo alguns projetos relacionados à utilização da amônia diretamente como combustível. Um deles é da empresa sul-coreana Daewoo Shipbuilding e Marine Engineering Co, que está projetando um porta-contêineres que deve entrar em funcionamento até

2025. A Norueguesa Equinor, está convertendo um navio chamado *Viking Energy* que usa GNL, em uma embarcação movida a amônia até 2024. No Brasil, a Vale está desenvolvendo um tanque multi-combustível que será capaz de armazenar e consumir metanol, amônia, e GNL. Um estudo preliminar da companhia, indica que se espera uma redução na emissão de gases aceleradores do efeito estufa de cerca de 40% a 80%, com o uso dos navios que transportam minério (EPBR, 2021).

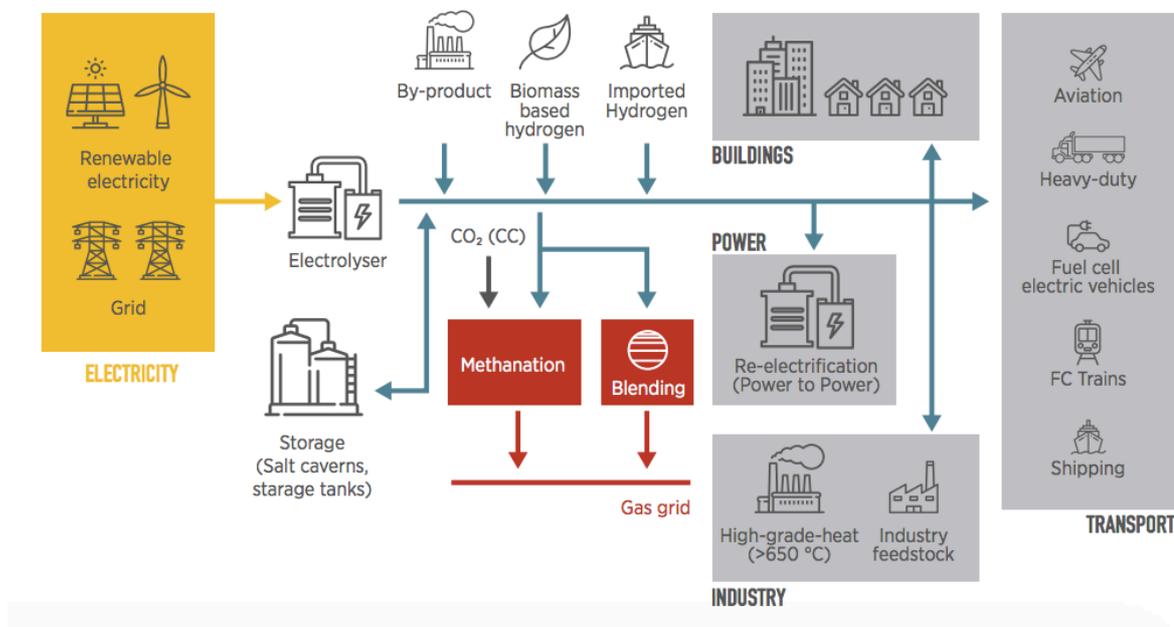
3.5 APLICAÇÕES DO HIDROGÊNIO

O Hidrogênio tem se tornado um vetor energeticamente amplo (Figura 16), levando consigo um conjunto de aplicações possíveis que podem beneficiar diferentes setores. Atualmente, o Hidrogênio se faz presente no refino de petróleo, produção de amônia, metanol e nafta sintética, na indústria alimentícia para a hidrogenação de óleo vegetal, por exemplo, na indústria siderúrgica para a redução direta do minério de ferro, no setor de transporte e no setor elétrico em células de combustível, armazenamento de energia e outros fins. A maior parte do Hidrogênio utilizado nos processos supracitados é proveniente de processos que utilizem matéria prima fóssil, tendo neste caso a liberação de gases aceleradores do efeito estufa (FERNANDES B., 2022).

A produção de amônia merece destaque, especialmente devido à utilização da mesma como combustível e meio de transporte do Hidrogênio. Atualmente produz-se mais de 180 milhões de toneladas de amônia anualmente no mundo, seja para o uso como fertilizantes, fármacos, têxteis, explosivos ou em sistemas de refrigeração (IEA, 2021). No setor de transportes, o uso de amônia ainda se restringe especialmente a foguetes e naves espaciais.

A utilização de Hidrogênio em transportes terrestres ainda possui custo elevado e inviável, embora o Hidrogênio possua elevado poder calorífico (superior a todos os combustíveis usuais) e elevada densidade energética (superior às baterias eletroquímicas). Outro fator limitante são os tanques - grandes, pesados e com densidade volumétrica baixa para armazenamento gasoso. Contudo, existem projetos experimentais de ônibus e outros transportes movidos com Hidrogênio (IEA, 2021).

Figura 16: Hidrogênio como vetor energético em relação a variabilidade de geração das fontes renováveis



Fonte: IRENA, 2018

O mercado de Hidrogênio Verde vem crescendo e ganhando destaque em diversos setores da indústria, como âmbito siderúrgico por exemplo, um dos maiores vetores para a liberação de CO₂, responsável por cerca de 9% do total de emissões (Hydrogen Europe, 2020; Heinrich Boll Stiftung, 2021). No setor elétrico pode-se destacar primeiramente o uso de células combustíveis, dispositivo que catalisa a reação entre o Hidrogênio e oxigênio, gerando como produto água e energia elétrica. Diferentemente das baterias (acumuladores), as células combustíveis geram a energia através de uma reação eletroquímica. A célula combustível pode se tornar uma tecnologia com nenhuma emissão de gases de efeito estufa, sendo assim, um dispositivo atrativo, visto o cenário global atual. Para tal é necessário que se empregue o uso do Hidrogênio Verde, para que não haja dependência de fontes advindas de combustíveis fósseis (Acar; Beskese; Temur, 2022; Dhimish; Vieira; Badran, 2021).

3.6 CENÁRIO MUNDIAL DO HIDROGÊNIO VERDE

O primeiro destaque do Hidrogênio é a evolução na qual o setor cresce, especialmente devido às promessas de que virá a se tornar algo com enorme potencial lucrativo. Os novos projetos são anunciados quase que diariamente, ainda que sejam projetos ainda muito incipientes, nos quais os maiores projetos de eletrizadores estão próximos à escala de 20 MW. Atualmente o mundo soma cerca de 260 GW em 26 projetos. O pensamento por trás do salto da escala de megawatts para gigawatts é que a demanda futura por Hidrogênio Verde será gigantesca, visto que os custos podem ser rapidamente reduzidos por meio de economias de escala, visando tornar o Hidrogênio Verde mais barato que o Hidrogênio cinza altamente poluente, embora custe de 2 a 6 vezes menos que o Hidrogênio Verde. Afinal, cerca de 70 milhões de toneladas de Hidrogênio cinza são produzidas a cada ano, especialmente na indústria de fertilizantes e refino de petróleo, como mencionado anteriormente. Tal produção emite cerca de 830 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera anualmente (DS NEW ENERGY, 2022).

Dentre os projetos em execução e operação, destacam-se os países que possuem abundância em recursos de energia renovável e ambiente político favorável (BNAMERICAS, 2022). Em especial, destacam-se seis países no cenário de expansão do mercado de Hidrogênio Verde, são eles: Austrália, Holanda, Alemanha, China, Arábia Saudita e Chile (BBC, 2021).

3.7 PANORAMA BRASILEIRO

O Brasil apresenta condições excepcionais para se tornar um líder na produção de Hidrogênio Verde no mundo, devido apresentar condições singulares para geração de energia renovável. Atualmente 84% da matriz elétrica brasileira é renovável (ABEEólica, 2023) o que contribui enormemente para a produção do combustível. O potencial de energia eólica e solar do Brasil está em torno de 1,3 milhão de megawatts (MW); esse potencial apresenta baixa possibilidade de ser utilizada pelos mercados internos latino-americanos, permitindo que a região se torne um grande hub global de exportação de renováveis (UM SÓ PLANETA: ENERGIA E CIÊNCIA, 2022).

Acordos internacionais, políticas públicas, planejamento energético e ações empresariais estão cada vez mais direcionadas ao mundo tecnológico verde, com ênfase em energia eólica e solar e posterior geração de Hidrogênio Verde. Neste contexto o Brasil tem recebido uma atenção especial. A Alemanha por exemplo, vê o

Brasil com um grande potencial de exportação de Hidrogênio Verde. Um fator importante para essa parceria se dá à presença de subsidiárias alemãs em território brasileiro. Desta forma, o Brasil passa a considerar o Hidrogênio Verde como um importante fator para a transição energética e descarbonização da matriz. Recentemente o governo publicou e aprovou uma resolução do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que institui o Programa Nacional do Hidrogênio, com o objetivo de fortalecer o mercado e a indústria do Hidrogênio enquanto vetor energético no Brasil, e cria o Comitê Gestor da Política Pública (GOV, 2022; UM SÓ PLANETA: ENERGIA E CIÊNCIA, 2022).

3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou o Hidrogênio como um potencial vetor para armazenamento e produção de energia. O Hidrogênio Verde, obtido a partir da eletrólise da água por meio de fontes renováveis, tem ganhado atenção e desponta como o combustível do futuro.

A associação do Hidrogênio Verde com a energia eólica se dá tanto na produção e armazenamento, quanto na posterior utilização como forma de complementar a variabilidade da geração. O potencial de geração eólica *offshore*, e os custos envolvidos, levam a uma clara tendência de parques com operação na faixa de mega a gigawatts. Tal potência pode ser utilizada na produção de Hidrogênio, via eletrólise da água, com o posterior armazenamento deste combustível. O Hidrogênio armazenado pode ser usado para produzir eletricidade e calor, em um processo reverso à eletrólise, ou como gás combustível em veículos automotivos.

Algumas dificuldades relacionadas ao uso do Hidrogênio como fonte de energia podem ser citadas. Embora existam mecanismos para o armazenamento e transporte do combustível, as características físico-químicas do elemento exigem soluções que atualmente apresentam alto custo. Dessa forma, pode-se dizer que as circunstâncias técnicas de armazenamento e transporte do Hidrogênio implicam em custos que, atualmente, não são atrativos no setor de energia.

O próximo capítulo encerra o presente trabalho com conclusões acerca dos objetivos previamente estabelecidos, e relacionando as abordagens feitas nos capítulos anteriores.

4 ESG - ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND GOVERNANCE

O termo ESG é originário do Inglês (*Environmental, Social and Governance*), e foi usado publicamente pela primeira vez em 2006, em uma publicação chamada “*Who Cares Wins*” da ONU – Organização das Nações Unidas, em parceria com o Banco Mundial, e em um relatório *Frencksfield* da UNEP-FI. Tais relatórios expressavam a importância da Integração do ESG nos mercados de capital (VIEIRA, 2022). Segundo Willard (2002), os riscos relacionados com a reputação são o principal direcionador dos investidores financeiros, pois a análise de risco previne a gestora de ativos de financiar atividades que não respeitem as legislações vigentes, ou ainda que coloquem em risco o meio ambiente ou a sociedade.

A adoção de práticas que estejam de acordo com as esferas ambiental, social e governamental no setor de energia ajuda a reduzir os impactos negativos e tornar mais saudáveis as maneiras pelas quais os objetivos finais são atingidos. ESG é uma sigla que representa as áreas de preocupação ambiental, social e governança corporativa. Esses três fatores são usados para avaliar o desempenho de empresas e organizações em relação a questões de sustentabilidade e responsabilidade social.

Ambiental (E - *Environmental*): As questões ambientais incluem a gestão de resíduos, o uso eficiente de recursos naturais, a redução das emissões de gases de efeito estufa, a adaptação às mudanças climáticas e a minimização do impacto ambiental. As empresas que se destacam em questões “E” tendem a ter práticas mais sustentáveis, como a implementação de programas de reciclagem, a redução do uso de energia e a adoção de tecnologias limpas.

Social (S): As questões sociais incluem a diversidade e inclusão, a segurança no trabalho, o engajamento comunitário, os direitos humanos, a proteção da privacidade e a transparência. As empresas que se destacam em questões “S” tendem a ter uma cultura organizacional mais inclusiva, com políticas de equidade salarial e benefícios para funcionários, bem como práticas de engajamento comunitário.

Governança Corporativa (G - *Governance*): As questões de governança corporativa incluem a transparência, a ética nos negócios, a

estrutura de governança, a remuneração dos executivos e a gestão de riscos. As empresas que se destacam em questões “G” tendem a ter uma estrutura de governança mais sólida, com conselhos de administração independentes e políticas transparentes de remuneração e gestão de riscos.

Neste âmbito pode-se falar um pouco sobre cada parte do setor de energia, a começar pelos investidores, que estão cada vez mais interessados em empresas que adotam práticas sustentáveis e responsáveis:

- A adoção de práticas ESG pode ajudar a atrair investimentos e melhorar a reputação da empresa;
- A Conformidade Regulatória faz com que as empresas de energia estejam sujeitas a regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas;
- A Eficiência Operacional busca a redução de custos e o aumento da produtividade, de forma a manter a conformidade regulatória;
- E, por fim, a Responsabilidade Social faz com que as empresas de energia tenham uma responsabilidade social importante em relação ao acesso à energia, segurança no trabalho e interação com as comunidades locais.

A avaliação ESG tem sido cada vez mais importante para investidores, consumidores e outras partes interessadas que desejam garantir que as empresas e organizações estejam tomando medidas responsáveis em relação a essas questões importantes. As empresas que se destacam em questões ESG tendem a ser mais bem avaliadas pelos investidores e a ter um desempenho financeiro melhor a longo prazo.

4.1 ESTRUTURAS E FERRAMENTAS DE APOIO A POLÍTICAS ESG NO ÂMBITO DA ENERGIA ELÉTRICA

4.1.1. Plano Nacional de Energia – PNE 2050

O Plano Nacional de Energia 2050 - PNE 2050 é um documento elaborado pelo governo brasileiro, que estabelece as diretrizes e metas para o setor energético do país até o ano de 2050. O PNE 2050 tem como objetivo principal garantir o fornecimento de energia para a população brasileira de forma segura, confiável e sustentável, promovendo o desenvolvimento econômico e social do país. O

documento foi desenvolvido a partir de um amplo processo de consulta pública, envolvendo diversos setores da sociedade, como empresas, organizações não-governamentais, academia e sociedade civil. O plano leva em consideração as tendências e desafios do mercado energético global, bem como as políticas públicas brasileiras para o setor.

O principal viés, o que o diferencia dos demais documentos do setor, é a abordagem com visão mais estratégica, que procura antever os impactos de longo prazo da expansão de um setor de infraestrutura cujos ativos podem se estender, entre seus estudos de implantação e o fim da vida útil, por décadas. Neste contexto, seu enfoque consiste em embasar o posicionamento do governo de modo a orientar e direcionar as estratégias dos agentes do setor de forma a se atingir os objetivos gerais de expansão no longo prazo, com adequação dos recursos, com confiabilidade, modicidade e sustentabilidade. Além disso, ao trazer a visão estratégica do governo, o PNE 2050 é o alicerce a partir do qual todos os Planos, Políticas, Programas e Iniciativas são elaborados (EPE, 2020b).

Desta forma, pode-se entender o PNE como um farol que orienta para onde os PDEs (Planos Decenais de Expansão) devem indicar a expansão do setor de energia no horizonte decenal. Nesse sentido, enquanto o PDE incorpora em seu cenário de referência (ou nas análises de sensibilidade) as políticas energéticas vigentes relativas às diversas fontes e tecnologias na sua análise, bem como o histórico de desempenho dessas fontes nos leilões de energia elétrica e a evolução recente do mercado consumidor, o PNE pode alterar as políticas vigentes, desde que devidamente fundamentadas em análises consistentes de custo-benefício, de modo a reorientá-las na direção desejada (EPE, 2020b).

Entre as principais metas estabelecidas pelo PNE 2050, destacam-se:

- Aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira, com destaque para a energia eólica, solar, biomassa, hidrelétrica e geotérmica;
- Redução das emissões de gases de efeito estufa, com a meta de atingir a neutralidade carbônica até 2060;
- Melhoria da eficiência energética, com o estabelecimento de metas de redução do consumo de energia por unidade de PIB;

- Modernização da infraestrutura energética, com investimentos em redes inteligentes de distribuição de energia, sistemas de armazenamento de energia e outras tecnologias avançadas;
- Promoção da inovação e da pesquisa científica para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis.

Para alcançar essas metas, o PNE 2050 prevê a implementação de políticas públicas que estimulem o investimento em energia renovável, a modernização da infraestrutura energética e a promoção da eficiência energética em diversos setores da economia, como indústria, transporte, agricultura e construção civil. O plano também prevê a adoção de incentivos fiscais e financeiros para estimular a inovação e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis, estabelecendo a necessidade de uma maior integração regional da matriz energética, com a cooperação entre países da América Latina para o desenvolvimento de projetos conjuntos de energia renovável e a criação de uma rede de interconexão elétrica regional (EPE, 2020b).

4.1.2 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um conjunto de 17 objetivos estabelecidos pela Organização das Nações Unidas – ONU, para guiar ações de desenvolvimento sustentável em todo o mundo. Esses objetivos foram estabelecidos em 2015 como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

Os ODS abrangem uma ampla gama de questões sociais, econômicas e ambientais que influenciam e norteiam a sustentabilidade global. Na Figura 17 é possível verificar todos os objetivos propostos pela ONU.

Figura 17: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ONU



Fonte: ONU, 2015.

Os ODS visam alcançar um futuro mais sustentável e igualitário para todas as pessoas, sem deixar ninguém para trás. Cada objetivo é composto por metas específicas e indicadores de desempenho para medir o progresso e garantir que as ações tomadas estejam alcançando os resultados desejados. Alcançar esses objetivos requer ação coletiva e colaboração entre governos, organizações internacionais, setor privado, sociedade civil e indivíduos em todo o mundo.

A energia eólica tem um papel fundamental no que diz respeito aos ODS. Pode-se analisar tal papel de duas maneiras, a primeira delas é que para atingir os ODS é também necessário o uso da energia eólica, e a sua implementação contribui para outros Objetivos.

Os ODSs que relacionam-se mais diretamente à energia eólica são:

- ODS 7 - Energia Limpa e Acessível;
- ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima;

O ODS 7 visa garantir o acesso à energia confiável, sustentável e moderna para todos, enquanto o ODS 13 busca combater as mudanças climáticas e seus impactos negativos. A energia eólica desempenha um papel importante no cumprimento desses objetivos, pois é uma fonte de energia renovável, limpa e de

baixo custo. A implementação de projetos de energia eólica pode contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, a melhoria da qualidade do ar e a mitigação das mudanças climáticas.

Além dos ODS 7 e 13, a energia eólica pode ajudar a promover o desenvolvimento econômico e a redução da pobreza em comunidades rurais, fornecendo eletricidade confiável e de baixo custo, e pode também contribuir para o desenvolvimento de infraestrutura e inovação tecnológica em países em desenvolvimento, contribuindo para alguns dos outros Objetivos da ONU.

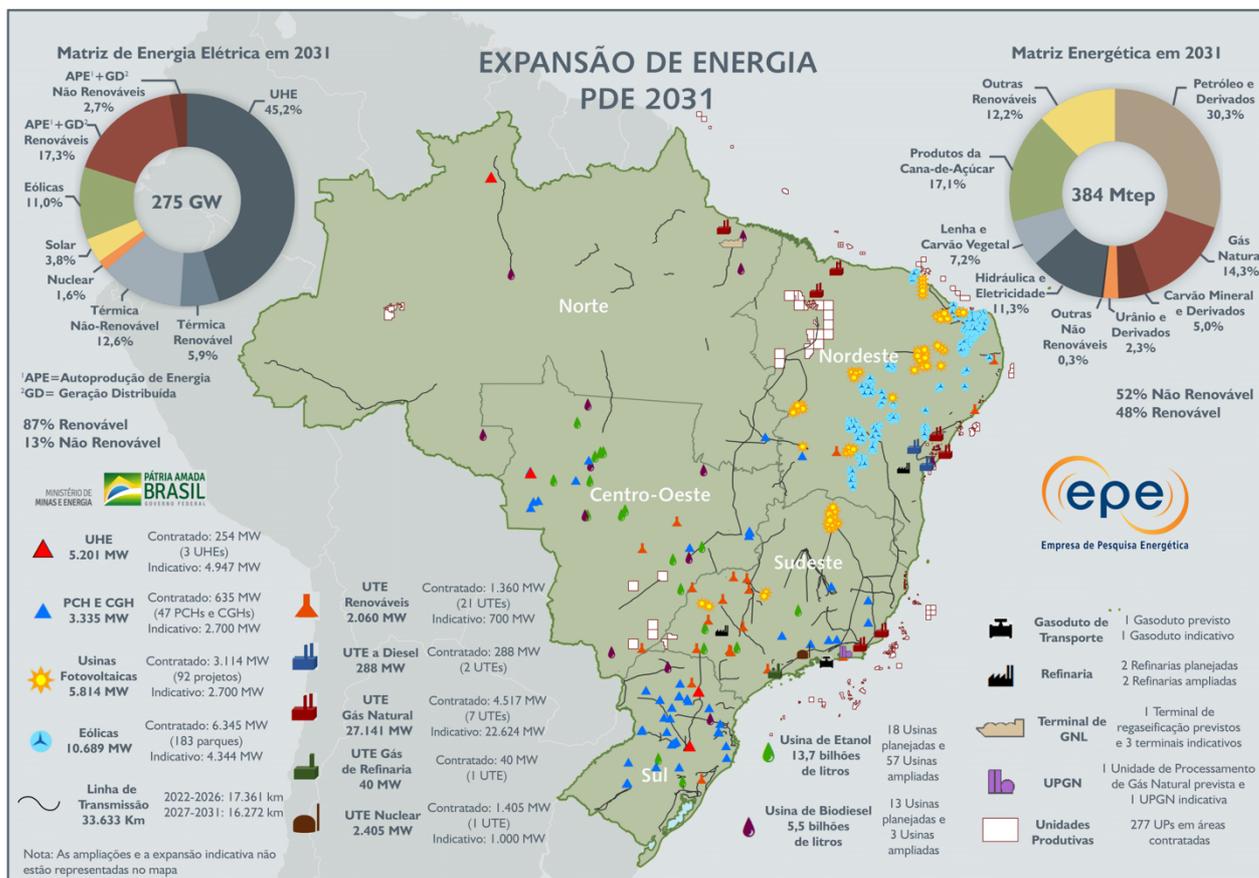
4.1.3 Plano Decenal de Expansão de Energia 2031

O Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2031 - indica as perspectivas de expansão do setor de energia para os próximos 10 anos, referindo-se aos anos de 2022 até 2031, contemplando uma visão íntegra dentro de todo o escopo energético nacional. O documento foi elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, sob as diretrizes e apoio das equipes técnicas das agências do Ministério de Minas e Energia – MME, coordenadas pela SPE/MME Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético e a SPG/MME – Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

O Objetivo do PDE é subsidiar decisões relacionadas à política energética nacional, a partir do fornecimento de informações ao mercado que permitam a análise do desenvolvimento do sistema elétrico e das condições de adequabilidade de suprimento para os futuros cenários possíveis. Este documento é também resultado das publicações chamadas “Cadernos de Estudo PDE”, obtidas por meio da Consulta Pública Nº 119/2021 – CP Nº119/2021, e levando em conta mais de 500 contribuições recebidas por mais de 50 instituições, as quais foram aprimoradas e por fim incorporadas à versão final do PDE 2031.

O PDE 2031 prevê um aumento da capacidade instalada no país, de 170 GW em 2021 para 275 GW em 2031. O Principal destaque é a expansão das fontes renováveis, como eólica, solar e hidrelétrica, que segundo o plano deverão representar cerca de 87% da matriz elétrica, em termos de capacidade instalada, como mostra a Figura 18. Também se destacam algumas medidas previstas, como leilões de energia renovável e aprimoramento no mercado de energia, incentivando desta forma a participação de novos investidores e a expansão e modernização da infraestrutura de transmissão existente no país.

Figura 18: Mapa síntese do PDE 2031.



Fonte: EPE, 2022.

O PDE destaca, também, a importância da eficiência energética no uso e gestão dos recursos naturais, reforçando o compromisso do Brasil com o Acordo de Paris sobre as mudanças Climáticas, estabelecendo metas ambiciosas na redução da emissão de gases nocivos e aceleradores do efeito estufa, com expectativa de que o setor elétrico brasileiro seja neutro em carbono até 2050 (PDE, 2022).

4.1.4. Acordo de Paris

O Acordo de Paris é um tratado internacional firmado em dezembro de 2015 durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21), realizada em Paris, França. O objetivo do acordo é limitar o aumento da temperatura global em até 2,0 °C acima dos níveis pré-industriais e buscar esforços para limitar o aumento em 1,5 °C. Para que esse acordo entrasse em vigor, era necessário que os países responsáveis por em torno de 55% da emissão de gases de efeito estufa ratificassem-no. Em 12 de dezembro de 2015, o acordo foi assinado, após várias

negociações, entrando em vigor em 4 de novembro de 2016. Até 2017, 195 países assinaram e 147 ratificaram o acordo.

O Brasil, por ser também responsável pelas emissões dos gases de efeito estufa, assumiu algumas metas, relacionando a evolução da indústria, e tomando tais metas como subsídio para esse crescimento. As principais metas assumidas pelo Brasil no Acordo de Paris são:

- Redução das emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, até 2025;
- Aumento da participação de fontes renováveis de energia na matriz energética para 18%, até 2030;
- Eliminação do desmatamento ilegal na Amazônia até 2030;
- Recuperação e restauração de 12 milhões de hectares de florestas até 2030;
- Adoção de políticas para promover a agricultura de baixo carbono;
- Fortalecimento das ações de adaptação aos impactos das mudanças climáticas, especialmente em áreas vulneráveis, como o Semiárido.

A importância das metas assumidas pelo Brasil e pelo mundo são de elevada importância no que tange o crescimento sustentável, o que uma vez mais leva às políticas de ESG, que são também fundamentadas nos objetivos do Acordo de Paris. Espera-se que as empresas possam tomar os subsídios de forma a gerenciar os fatores de maneira sustentável, com as políticas de ESG, tornando-as mais atrativas aos olhos dos consumidores conscientes e contribuindo, desta forma, para a transição para uma economia de baixo carbono.

4.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

No Brasil, em termos de eficiência energética, um dos principais instrumentos de regulamentação é a Lei Nº 10.295/2001, também conhecida como Lei da Eficiência Energética. Outro instrumento também importante é o Decreto Nº 4.059/2001 que embasou a Lei da Eficiência Energética e que criou o Comitê Gestor de Indicadores de Níveis de Eficiência Energética (CGIEE). Esse comitê tem por objetivo desenvolver um conjunto de metas a serem alcançadas no desenvolvimento de cada um dos produtos regulamentados.

Na Lei da Eficiência Energética, o Artigo 1º destaca a necessidade de se alocar de maneira eficiente os recursos naturais disponíveis para energia, e também menciona a preservação do meio ambiente. O Artigo 2º dispõe que fica a cargo do Poder Executivo estabelecer os níveis máximos de consumo específicos de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos que necessitem de energia elétrica e que sejam fabricados ou comercializados dentro do território nacional (BRASIL, 2001).

Como se sabe, o consumo de energia e o tipo de energia consumida é um dos principais indicadores da qualidade de vida em uma sociedade. Além do mais, a eficiência energética está relacionada a muitos aspectos que contribuem de forma a impulsionar o crescimento econômico de maneira sustentável (IAE, 2019). A busca pela eficiência energética e pela redução dos impactos ao meio ambiente são questões que têm se mantido em alta em todos os setores industriais do país e do mundo. Tais fatores são cruciais para auxiliarem a reduzir o uso dos recursos naturais, manter ou aumentar os lucros e a produtividade da indústria.

A utilização racional dos recursos energéticos é equivalente ao conceito de eficiência energética. Tais expressões significam utilizar a energia da maneira mais eficiente possível ao se executar uma tarefa que necessite de energia, ou seja, utilizando a menor quantidade possível do recurso disponível, atendendo aos requisitos de saúde, conforto e segurança, sem que a qualidade do produto seja afetada.

4.2.1. Programa de conservação de Energia Elétrica e Programa Brasileiro de Etiquetagem.

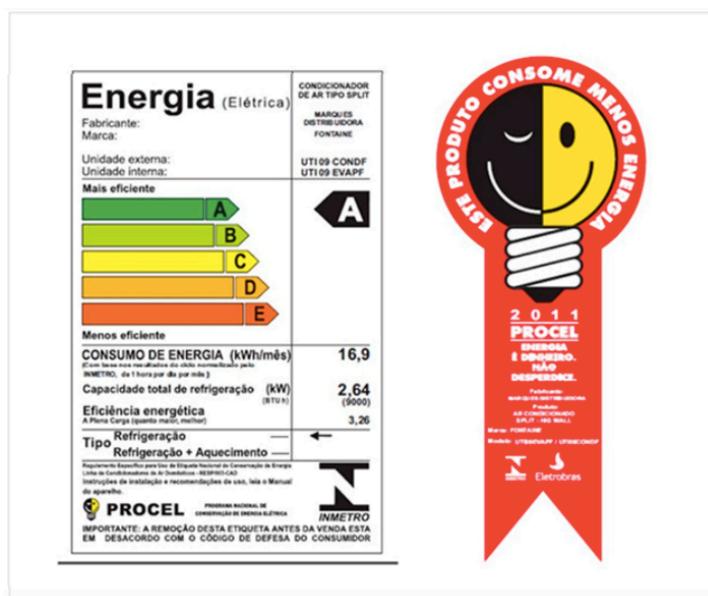
O Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE - foi desenvolvido no ano de 1984 pelo Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO. Somente em 2001, o INMETRO, que até então desenvolvia de maneira voluntária os programas de etiquetagem, passou a ter a responsabilidade de criar programas de conformidade compulsória na área de desempenho energético (INMETRO, 2022). Algo também de elevada importância é o Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica - PROCEL. Tal programa está sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia - MME e é posto em prática pela Eletrobras. De forma geral, o objetivo do PROCEL é promover o uso eficiente da energia e reduzir os desperdícios. O conhecido selo que se tem hoje, e que acompanha a maioria dos produtos que necessitem de uma fonte

de energia, foi criado no ano de 1993, com o intuito de permitir que o consumidor tenha consciência das características relacionadas à eficiência energética do produto que ele está adquirindo. Isso permite que o consumidor opte por equipamentos com maior eficiência, o que geralmente reflete em um maior valor agregado, mas que é posteriormente recompensado, devido ao consumo reduzido da energia (PROCEL, 2022).

O PBE também tem como premissa fornecer informações a cerca do desempenho dos produtos. Os critérios que são levados em conta para emissão de tal parecer são, por exemplo a própria eficiência citada anteriormente, o nível de ruído emitido pelo produto na sua operação e alguns outros pontos relevantes que possam influenciar o consumidor na compra, levando-o a tomar uma decisão consciente, embasada em dados reais. Esta prática cria consumidores mais exigentes para com as características técnicas e operacionais dos produtos, estimulando que a indústria também cada vez mais busque a elevar a eficiência destes.

Para os índices de eficiência energética, utiliza-se uma classificação alfabética que inicia em “A”, como sendo mais eficiente, indo até “G”, menos eficiente (a depender do produto). Entende-se que quanto mais próximo ao “A”, como disposto na Figura 11, maior é a eficiência do produto, menor seu impacto ambiental e menores os custos atrelados ao consumo do recurso energético durante a sua operação (INMETRO, 2022).

Figura 19: Selo PROCEL



Fonte: PROCEL, 2022

Conforme a Figura 19, as informações dispostas no selo permitem ao consumidores estimar o consumo médio de energia elétrica consumido pelo produto. Segundo Santos (2020), os principais benefícios que um desempenho energético adequado pode apresentar são:

- Diminuição do desperdício de energia;
- Otimização do consumo;
- Economia devido ao uso consciente;
- Incentivos à competitividade da tecnologia industrial para criar equipamentos que apresentam melhor índice de eficiência energética;
- Aumento da produtividade, redução de custos e aumento da qualidade dos produtos.

Segundo dados do relatório do Procel divulgado no ano de 2022, estima-se que em 2021, foram economizados cerca de 22,73 bilhões de kWh advindos das implementações referentes ao selo Procel, representando uma redução de 4,54% do consumo total de energia elétrica no Brasil. Essa energia poupada fez com que 2,87 milhões de toneladas de CO₂ fossem parar na atmosfera (PROCELINFO, 2022).

4.2.2. PEE - Programa De Eficiência Energética

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tem uma série de competências relacionadas à eficiência energética, e metas traçadas de forma a incentivar o combate ao desperdício de energia elétrica no âmbito que lhe compete, ou seja, as formar de gerar, transmitir, distribuir e comercializar a energia elétrica. No âmbito das concessionárias de energia, é obrigatório por lei (Lei Nº 9.991 de 24 de julho de 2000) que regularmente sejam levantados dados para avaliar o desenvolvimento e eficiência energética, sendo que pelo menos 0,5% de suas receitas líquidas deve ser destinada a estes fins.

A ANEEL também previu uma penalidade, na forma de aplicação de uma multa, para aqueles agentes do setor elétrico que não apresentarem anualmente algum programa de incentivo à eficiência no uso da energia elétrica, bem como não promoverem pesquisas para contribuir com o desenvolvimento do setor brasileiro. Além disso, foi determinado que parte da receita das distribuidoras deve ser destinada obrigatoriamente a ações de combate ao desperdício de energia elétrica, pesquisa e desenvolvimento do setor, determinando limites operacionais para tais ações, relacionados ao setor residencial, industrial, prédios públicos e P&D tecnológico do setor elétrico.

4.3 OS TRÊS PILARES DO ESG E O CONTEXTO BRASILEIRO

A partir de 2014, o Brasil iniciou uma exigência para com as empresas de capital aberto, para que essas tenham uma Política de Responsabilidade Social (PRSA), por meio da resolução Nº 4.327 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2014). Essa ação acabou por estimular a publicação de relatórios com a temática sustentabilidade. Entende-se que o interesse por parte das corporações com as preocupações ambientais, sociais e de governança corporativa no universo de investimentos tem dois principais movimentos: a movimentação dos investimentos para portfólios em acordo aos fatores ESG, e a adoção dessas práticas nas empresas.

Apesar de que a sustentabilidade tem se tornado um viés comum, apenas 11,0 % das empresas no Brasil apresentam uma área específica para tratar as questões de ESG e cerca de 27,0% apresentam algum tipo de documento relacionado a estas questões. A capacidade das empresas que adotam critérios ESG atraírem mais investidores para o seu capital tem sido objeto de estudo. De acordo com o estudo *Global Institucional Investor Survey*, cerca de 77% dos fundos soberanos,

seguradoras e fundos de pensão, entre outros, com ativos entre US\$ 25 bilhões e US\$ 100 bilhões, visavam aumentar seus investimentos em práticas ESG em resposta a Covid-19 (ANBIMA, 2020).

A implementação de práticas ESG vem ganhando grandes proporções no mundo. Já existem escolas de negócios que foram estabelecidas com módulos independentes, que lidam com questões ambientais, sociais e de governança, integrando os aspectos ESG em todo o quadro de programas disponíveis, e alternado a visão das escolas de negócios para a sustentabilidade (NHAMO; NHAMO, 2014). Desta forma além dos consumidores e/ou clientes receberem investidores, eles passam a perceber valores ético na atuação da companhia, como temas de diversidade, preocupação ambiental e práticas trabalhistas justas. Esta imagem contribui para atrair talentos e contribui para favorecer a empresa no seu ramo de mercado.

4.3.1 Viés Ambiental

Uma empresa que gere seus serviços/produtos em observância às práticas de ESG retrata a consciência ambiental, como a conservação do meio ambiente, o uso racional dos recursos ambientais, a redução dos impactos ecológicos, redução das emissões de carbono na atmosfera, redução no uso da água e riscos regulatórios (AMEL-ZADEH; el al, 2019). Os Relatórios Ambientais Corporativos (CER), um dos aspectos das práticas ESG, vieram a se tornar prioridade no desempenho das empresas ao redor do mundo. A lista abaixo apresenta alguns dos princípios ambientais que atendem aos principais requisitos deste tema:

- Tecnologia limpa;
- Não poluição do ar;
- Não poluição do solo;
- Não poluição da água;
- Uso adequado de recursos naturais;
- Conservação da biodiversidade.

4.3.2. Viés Social

A parte social, no que diz respeito ao ESG, é uma parte de suma importância pois envolve questões relacionadas aos direitos humanos, como: o

desenvolvimento das relações humanas dentro e fora da empresa, a capacidade de atrair e reter pessoas e a garantia do desenvolvimento de talentos. A adoção de políticas de diversidade e inclusão foi assunto amplamente tratado durante os anos da pandemia da Covid-19, onde as desigualdades se destacaram ainda mais (OLIVEIRA et al, 2021). Nestes termos, metodologias institucionais, como processos seletivos e concursos públicos, não consideram uma sociedade onde existem muitos conflitos estruturais de classes, raça e gênero, por falta de representatividade nos diversos setores da empresa (MARTINS ELIETE; ZIBAS RICARDO, 2020).

Empresas que negam as desigualdades por decorrência da construção social na qual foram construídas - quando se fala de racismo, machismo, LGBTfobia, capacitismo e diversas outras formas de discriminação e preconceito - acabam por demonstrar que a culpa é das próprias pessoas que vivem tais preconceitos, justificando com uma falta de esforço para buscar serem contratadas ou para poderem ocupar cargos de liderança, o que pode acabar reforçando ainda mais a desigualdade.

Percebe-se que em uma empresa onde as práticas ambientais e de governança estão bem desenvolvidas, mas não dispõem atenção às questões sociais em respeito à equidade de gênero no seu quadro de colaboradores e lideranças, está de fato ainda distante de aplicar as práticas de ESG. Isso é ressaltado em uma pesquisa divulgada em 2019, pelo *Getting to Equal 2019: Creating that drives innovation*, que demonstra uma capacidade para inovação 11 vezes maiores em empresas que possuem diversidade e inclusão em seu quadro de colaboradores, com colaboradores até 6 vezes mais criativos. Alguns dos princípios que norteiam o aspecto social do ESG são:

- Privacidade;
- Diversidade e inclusão;
- Valores da empresa;
- Saúde e segurança do trabalho;
- Relação com os colaboradores;

4.3.3. Viés Governança Corporativa

O Instituto Brasileiro de Governança Corporativa (IBCG) rege a forma como as instituições são administradas e incentivadas perante as práticas pertinentes à

governança corporativa, associando as relações entre os *stakeholders*, como sócios, diretorias, conselho, colaboradores, órgãos de fiscalização e controle. Quando a política de boa governança é estabelecida entre estes setores e está bem definida, cria-se uma conversa, nos quais os objetivos convergem para um mesmo ponto, resultando em aumento da *performance* nos negócios.

Pode-se propor três fatores que contribuam para que a governança seja funcional: a autonomia, o tamanho do conselho e a participação feminina no conselho da diretoria. Desta forma, é possível perceber que existe uma demanda de estudos relacionados à heterogeneidade em muitos fatores de governança, tais como as competências humanas, estratégias organizacionais e quais os impactos destes tópicos, os quais são relacionados abaixo:

- Gerenciamento de riscos;
- Práticas Anticorrupção;
- Diversidade na composição de membros administrativos;
- Estabilidade
- Ética e transparência.

É perceptível, em diversos setores, como as vertentes sociais e ambientais podem ser aplicadas e gerar resultados; contudo, quanto se trata do setor financeiro, tais ações podem ficar mais complicadas. Para que as práticas de ESG sejam bem aceitas e tornem-se eficientes de fato, é necessário que elas sejam aplicadas o mais breve possível, segundo o que indica Prorokowski (2016). Essas práticas são compreendidas como um compromisso da instituição para com práticas sustentáveis, para então esta receber os benefícios financeiros. Dispor de uma de certificação ESG tem vistas a estimular as organizações a se adaptarem às questões ambientais, sociais e de governança em suas atividades. Por exemplo, a importância de se falar de mudanças climáticas e soluções para isso, é e continuará sendo uma pauta comum para as escolas de negócio do mundo todo. Implementar a gestão corporativa no ESG vem crescendo em tamanho e importância, buscando associá-la à eficiência energética, e tornando-a ainda mais emergente.

Por fim pode-se dizer que para o ESG ter uma boa aplicação dentro da empresa, é importante e necessário que se tenha uma boa gestão, avaliando com

inteligência os riscos e oportunidades provenientes da implementação do sistema, pois é possível que tais políticas possam criar situações negativas quando não aplicadas de maneira correta.

4.4 ECONOMIA E ESG – O CASO DA B3

Em 29 de setembro de 2022, a B3, a Bolsa de Valores do Brasil, lançou o novo guia de investidores, que busca compartilhar com todas as empresas conhecimentos, reflexões e caminhos para a adoção de melhores práticas nessa agenda. O relatório chama-se *Sustentabilidade e Gestão ESG: Como Começar, Quem Envolver e O que Priorizar*. Esta publicação atualiza edições anteriores, publicadas em 2011 e 2016, e mostra de forma clara e didática como a sustentabilidade e o ESG estão mudando o mundo dos negócios.

O relatório destaca quatorze passos rumo à sustentabilidade, com conteúdo que visa auxiliar as companhias no processo de incorporação dessa agenda, de forma a orientar de maneira ampla, podendo ser encaixado de maneira focada no contexto de cada empresa. Ele também apresenta os conceitos de Sustentabilidade e ESG ao longo do tempo, a importância das iniciativas para a adoção de padrões globais de divulgação de informações e o papel das bolsas de valores na inserção dessas questões no mercado de capitais (GRAND THORNTON, 2022). Nesse contexto, as bolsas de valores internacionais têm sido protagonistas no desenvolvimento e implementação de ações que busquem o aprimoramento de boas práticas de mercado, relacionando as políticas de governança corporativa nas companhias, no suporte à criação de novos mercados e no incremento à agenda socioambiental.

Uma pesquisa feita pelo Grand Thornton Brasil, em 2022, com dados levantados a partir de 328 empresas de capital aberto no Brasil, mostrou que, embora 75% dos participantes considerem os aspectos ESG como prioridade, apenas 14% os utilizam na tomada de decisão, e apenas 48% divulgam seus relatórios de sustentabilidade (GRAND THORNTON, 2022). Adjunto a isso, a pesquisa Retrato da Sustentabilidade no Mercado de Capitais mostrou que 86% das mais de 900 instituições financeiras consultadas, classificaram com nota 7, ou mais, a importância do tema sustentabilidade (ANBIMA, 2022).

4.5 IMPLEMENTAÇÃO DO ESG

Uma pequena parte das empresas utilizam os fatores ESG de forma a identificar uma proposta de valor mais holística e ambientada dentro da instituição. Contudo, grande parte destas organizações costumam utilizar tais políticas apenas como uma fachada, sem aplicar de fato tais políticas em sua organização (CAPPUCCI, 2018). Em uma análise mais a fundo, é possível identificar os fatores responsáveis por isso:

- Primeiro porque a adoção da palavra ESG no escopo de comunicação da empresa já se faz suficiente para que se tenham reflexos positivos no mercado financeiro, o que em verdade não significa que de fato tais políticas estão sendo aplicadas na empresa;

- Segundo porque o mercado consumidor está cada vez mais consciente e ativo quanto ao papel das empresas em desempenhar o combate perante os desafios sociais e ambientais, sabendo que as políticas ESG mostram as respostas de como as demandas mais urgentes podem ser atingidas.

Vale dizer que existe uma distância real sobre o que está descrito nos relatórios contábeis e o que é realmente realizado pelas empresas (CAPPUCCI, 2018). O processo deve ser estrategicamente planejado em todos os setores da empresa, a fim de evitar ameaças. Ainda que em um primeiro olhar possa-se assumir que as políticas de ESG façam mais sentido aos setores produtivos das instituições, as práticas devem ser aplicadas de maneira integrada em todos os setores das instituições. Desta forma, o processo pode ser separado em três passos, descritos a seguir.

4.5.1 Passo 1 – Introspecção

A primeira parte de uma agenda ESG dentro de uma instituição baseia-se em uma autoanálise, de forma a identificar quais pontos são mais relevantes para serem trabalhados e realmente aplicáveis. Em suma, resume-se em analisar os impactos econômicos, sociais e ambientais gerados na companhia, bem como as necessidades, propósitos e perspectivas. Deve-se identificar os *stakeholders* que interagem com a instituição, os riscos a serem afetados pelos produtos, serviços e atividades que possam influenciar na aplicação do ESG.

Conhecer as partes interessadas é importante pois pode-se entender melhor sobre as demandas e as expectativas que estão sendo procuradas para incorporá-las no escopo das atividades que visam produzir os resultados esperados. Também dentro deste passo, desenvolve-se um mapa de risco dentro de cada um dos focos do ESG, de modo a identificar as dificuldades em potencial nas vertentes ambientais, sociais e de governança, de forma a identificar maneiras mais eficientes de aproveitá-lo (MIGALHAS, 2021).

4.5.2 Passo 2 – Estruturação

Uma vez que a autoanálise dentro de uma instituição é concluída, é necessário que se faça uma estruturação metodológica, estabelecendo metas claras, objetivas, razoáveis e definitivas dentro de cada foco do ESG, levando em conta as particularidades intrínsecas de cada negócio. É extremamente importante que a missão, visão e os valores da instituição sejam considerados por conta do planejamento estratégico. O Plano de ação deve considerar os riscos mais danosos, levando em conta as ânsias da instituição. Vale dizer que as políticas de ESG e sua implementação devem compreender a criação e implementação das políticas da companhia, alinhadas a valores que compreendam o viés da instituição. Construir metas e objetivos de maneira específica garante o envolvimento com o programa ESG além de atualizar e assegurar o mesmo.

É também necessário que se defina os responsáveis pela condução do programa, buscando por colaboradores capacitados e que tenham entendimento nas vertentes do ESG, para que se possa levantar dados para o acompanhamento do programa, das práticas e das metas a serem alcançadas. Todas estas políticas deveram refletir uma cultura de sustentabilidade ambiental, social e de governança, visando não apenas responder a uma exigência do mercado, mas também obter uma excelência operacional (MIGALHAS, 2021).

4.5.3 Passo 3: Monitoramento

Por último, mas não menos importante, é necessário que se tenha um sistema que monitore e divulgue os passos e resultados da implementação, para que se obtenha de fato sucesso na agenda ESG, por meio de sistemas de coleta de dados que tenham sido determinados na etapa de estruturação. Os relatórios de indicadores

de ESG auxiliam na obtenção dos benefícios gerados pelas práticas em questão, como a boa reputação, tanto em valores como em ativos, em seus investimentos e geração de interesse de novos talentos. A divulgação clara e objetiva destes resultados permite influenciar outras instituições a também adquirirem estas práticas em seu escopo de trabalho. Estes resultados devem fluir naturalmente, relacionados a uma cultura sólida dentro da empresa. Além do mais, estes relatórios de resultados auxiliam na identificação e reconhecimento de possíveis atualizações nas métricas do ESG (MIGALHAS, 2021).

4.6 ESG NO SETOR ELÉTRICO

As energias renováveis, entendidas por energias de baixo impacto ambiental, tais como as fontes solar e eólica, oferecem um risco ambiental reduzido, além de menores custos para as investidoras. Tais pontos têm sido cada vez mais considerados e valorados pelos *players* do setor e governos, de forma a acelerar a busca pelo desenvolvimento sustentável e descarbonização, refletindo também diretamente como um mecanismo propulsor para o ESG. (NORONHA M., MELVIN S., E VIEIRA F., 2022).

O ESG possui suas raízes nos tripés da sustentabilidade (*Triple Bottom Line*), que considera a perspectiva econômica sob um viés socioambiental dos negócios. Sob este olhar, o ESG, carrega requisitos operacionais em cada uma das suas frentes. No âmbito da energia, pode-se citar a transição para tecnologias de energia renovável que emitam menos gases nocivo e poluentes, bem como mecanismos para controle dos impactos ao efeito estufa e mudanças climáticas, juntamente a práticas responsáveis na cadeia produtiva e suprimentos, conservação dos ecossistemas, mão de obra capacitada, títulos de financiamento verde (*green bonds*), entre outros.

Nos fatores ambientais, leva-se em conta as premissas associadas com menores impactos ambientais. De uma maneira muito simples, pode-se citar a utilização de energias renováveis, financiamentos verdes, tecnologias para captura de carbono, gestão do ciclo de impacto nos processos produtivos, preservação das florestas e da biodiversidade e atenção e realização de inventários de carbono para as emissões de gases causados pelas cadeias produtivas. Nos fatores sociais, levam-se em conta, de maneira primordial, a instituição de políticas inclusivas, visando a equidade de gêneros, certificação de trabalho e qualidade de vida, direitos trabalhistas, impactos sociais e modificação do bem-estar social. A implementação de

fontes de energia em determinadas comunidades acarreta necessidades, como a criação de projetos sociais de impacto inclusivo e a capacitação e democratização da educação. Por fim, os fatores de governança devem permear a ética, a diversidade e um ambiente sem corrupção. De modo mais específico, pode-se relacionar a implementação de políticas anticorrupção, transparência e *compliance* empresarial, de forma a mitigar os riscos que envolvam as frentes social e ambiental. As políticas de boa governança devem transparecer a ética nos conselhos administrativos e das frentes de gestão (NORONHA M. CARVALHO I., 2022).

Segundo um estudo publicado pelo Instituto Escolhas, no ano de 2022, foram consideradas alternativas para energia que são consideradas atrativas e direcionadoras no que diz respeito a investimentos das organizações. Este estudo, denominado *Rating ESG: o socioambiental vem primeiro*, avaliou fontes como solar, eólica, térmica a gás natural e óleo, e hidrelétricas na região da Amazônia. Os dados levantados neste estudo demonstraram que a relevância considerada pelos *players* se dá primeiramente no aspecto ambiental, com 40,0%, seguido do social, com 35,0%, e governança com cerca de 25,0%. Neste ponto, pode-se perceber que as fontes eólica e solar ficaram adequadamente dispostas nos números sociais e ambientais, demonstrando que a transição energética traça um caminho criterioso no âmbito da sustentabilidade, dispondo de tecnologias para reduzir o impacto ambiental.

Os critérios ESG são necessários para que se trilhe o caminho da transição energética justa, especialmente, pois irão direcionar os investimentos estrangeiros de forma a aliviar a dependência energética dos Estados que estão fadados a compra e venda de energias poluentes. O ESG deverá impulsionar os investimentos na direção de um sistema elétrico mais limpo e confiável, direcionando a mentalidade das empresas com disposição financeira a verem a energia renovável como uma saída alternativa, juntamente a novas tecnologias em estudo no mercado, como o as tecnologias de armazenamento com baterias e Hidrogênio Verde, projetos de eficiência energética e redes elétricas inteligentes.

As frentes ambiental, social e de governança não devem ser consideradas apenas como um critério dentro das empresas, e sim um “manual” direcionador para as estruturas regulatórias que irão corroborar com a valoração dos atributos ambientais das fontes de energia renovável (NORONHA M. CARVALHO I., 2022).

4.6.1 Certificados de Energia Renovável

Certificados de Energia Renovável ou RECs (em inglês, *International Renewable Energy Certificates*), são instrumentos de mercado, como selos certificadores, que têm por finalidade representar os direitos aos atributos ambientais e sociais das fontes de geração de energia, neste caso as fontes entendidas como renováveis. Por exemplo, para cada 1 MWh de energia renovável gerada, pode-se emitir um REC. No Brasil, os Certificados de Energia Renovável são geralmente normatizados no padrão internacional, chamado *REC Standard* ou *I-RECs*, plataforma de registro e emissão sem fins lucrativos. Desta forma, é possível garantir que os certificados tenham validade não apenas no Brasil, pois seguem uma padronização internacional.

Para o funcionamento do mercado dos RECs, se tem dois tipos de agentes: o registrante, que é a empresa responsável pelo registro da usina; e o participante, empresa que tem o poder de transacionar os RECs que são emitidos pelos registrantes. Neste último caso, pode ser uma comercializadora, por exemplo, que fará a negociação dos RECs com o consumidor final.

- **Registrantes:** Para que os certificados sejam válidos e internacionalmente reconhecidos, é necessário que se siga uma série de regras, regulações e boas práticas, podendo, a partir destas, serem aplicados em qualquer país ou região. A empresa que deseja emitir I-RECs, deve primeiramente aderir ao código I-REC, sendo necessário uma auditoria documental feita pelo emissor de certificados local, que no Brasil é o Instituto Totum. São passíveis de emissão de certificado os empreendimentos de geração que utilizem fontes renováveis para gerar energia, tal como o sol, vento, água, biomassa e calor da terra. Também é necessário que o empreendimento esteja adequado a alguns critérios básicos da certificação para que possa gerar RECs dentro da plataforma *I-REC Standard*. É necessário que ele esteja regularmente instalado e em operação comercial fornecendo energia para o SIN – Sistema Interligado Nacional. Além da energia ser proveniente de fontes renováveis, deve ser registrada na plataforma REC. Também não deve haver dupla contagem ou duplo beneficiário dos atributos ambientais de energia renovável.

Para que o processo de registro seja feito, é necessário que o registrante assine um contrato com o Instituto Totum, selecionando o empreendimento de geração, e pagando uma taxa relativa ao serviço, garantindo uma validade por cinco anos. Por fim deve, o registrante deve enviar os documentos comprobatórios que atestem a

regularidade dos critérios *I-REC Standard*. Se toda a documentação estiver de acordo com a regulamentação, em um prazo de até dez dias ela deve receber a certificação, e a cada dois anos será necessária uma auditoria documental.

O programa de Certificação de Energia Renovável oferece aos certificados emitidos como I-RECs, a certificação *REC Brasil*. Ambas as iniciativas são geridas pelo Instituto Totum, especializado em programas de autorregulamentação e selos setoriais. Para o selo REC Brasil, o empreendimento de geração deve ter iniciado a sua operação recentemente e atender pelo menos cinco dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Por exemplo, usinas hidrelétricas com mais de 30 MW de potência não podem participar da certificação REC Brasil, mas podem emitir I-RECs.

Assim que uma empresa estiver certificada, ela pode fazer uma solicitação formal para então emitir os RECs, indicando o período de geração e quantidade de energia gerada, o que pode ser feito por meio de um relatório da CCEE (Câmara Comercializadora de Energia Elétrica). Feito isso, o Instituto Totum enviará a cobrança referente à taxa de emissão, verificará as evidências, e se estiver em conformidade, enviará os RECs para a plataforma (MEGAWHAT, 2021).

- **Participantes:** O consumidor de energia elétrica pode comprar o certificado de energia renovável, de forma a zerar ou reduzir as suas emissões de gases poluentes, sendo que para isso é necessário que ele demonstre que toda a energia usada veio de matriz renovável. Para que essa contabilização seja feita, é necessário que a empresa adquira I-RECs na mesma quantidade de energia gerada. Por exemplo, se determinada empresa consumiu 300.000 MWh de energia em um determinado ano, ela deve adquirir 300.000 I-RECs ainda naquele ano.

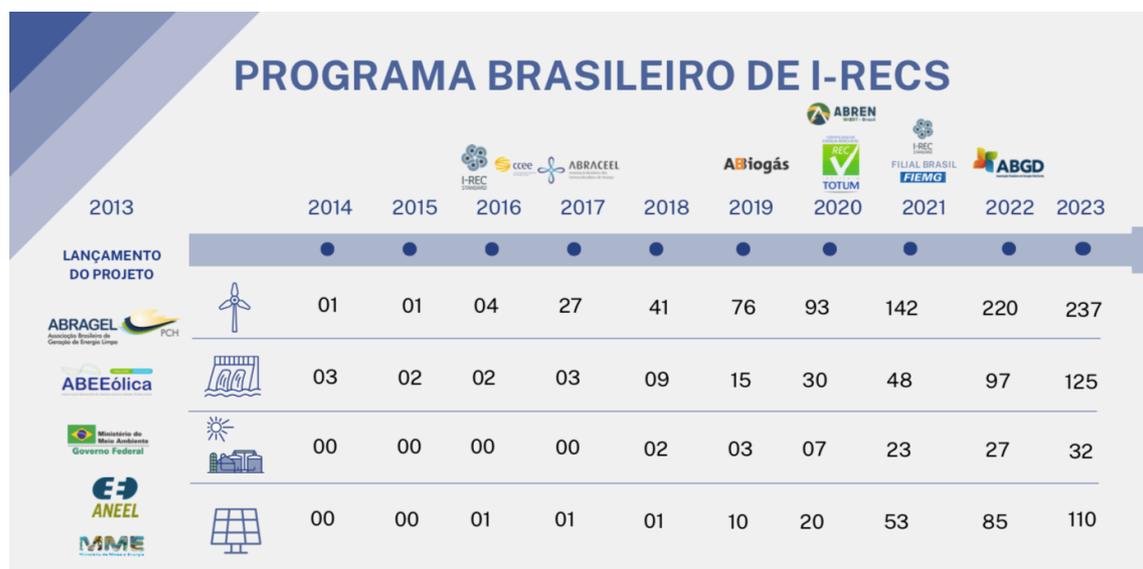
Vale dizer que um consumidor de energia não tem a obrigação de adquirir os certificados, mas pode optar por fazê-lo, vinculado ou não a um contrato de energia, comprando de um terceiro. Desta forma através de tais certificados é possível que a empresa obtenha padrões operacionais, que serão vistos com bons olhos pelo mercado. Um gerador pode certificar a usina e vender REC-s atrelados ou não à energia, através de leilões para venda exclusiva de RECs. Também é possível que uma empresa consumidora final possa demonstrar ao mercado que fez a compra dos certificados por meio de uma declaração detalhada, com sua emissão através do Instituto Totum (MEGAWHAT, 2021).

A RECS Internacional foi fundada em 2001 na Europa, com o intuito de criar um sistema para negociar certificados de energia renovável internacionais. Desta forma, foram instituídas regras e padrões para emissão e comercialização destes certificados, tais regras visam garantir que o consumidor final de fato esteja usando energia renovável.

No Brasil, a certificação de energia renovável, programa REC Brasil, surgiu em 2011, por meio de uma iniciativa conjunta da ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica e da Abragel – Associação Brasileira de Energia Limpa, com o apoio da CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, da Abracel – Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia e da Abiogás – Associação Brasileira de Biogás e de Biometano. Em 2019, os critérios do programa foram revistos, para que passassem a atender os critérios dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS da ONU (TOTUM, 2021).

Mensalmente o Instituto Totum emite um relatório dos projetos certificados (Figura 20) e dos I- RECs comercializados.

Figura 20 – Projetos Certificados por ano (unidade).

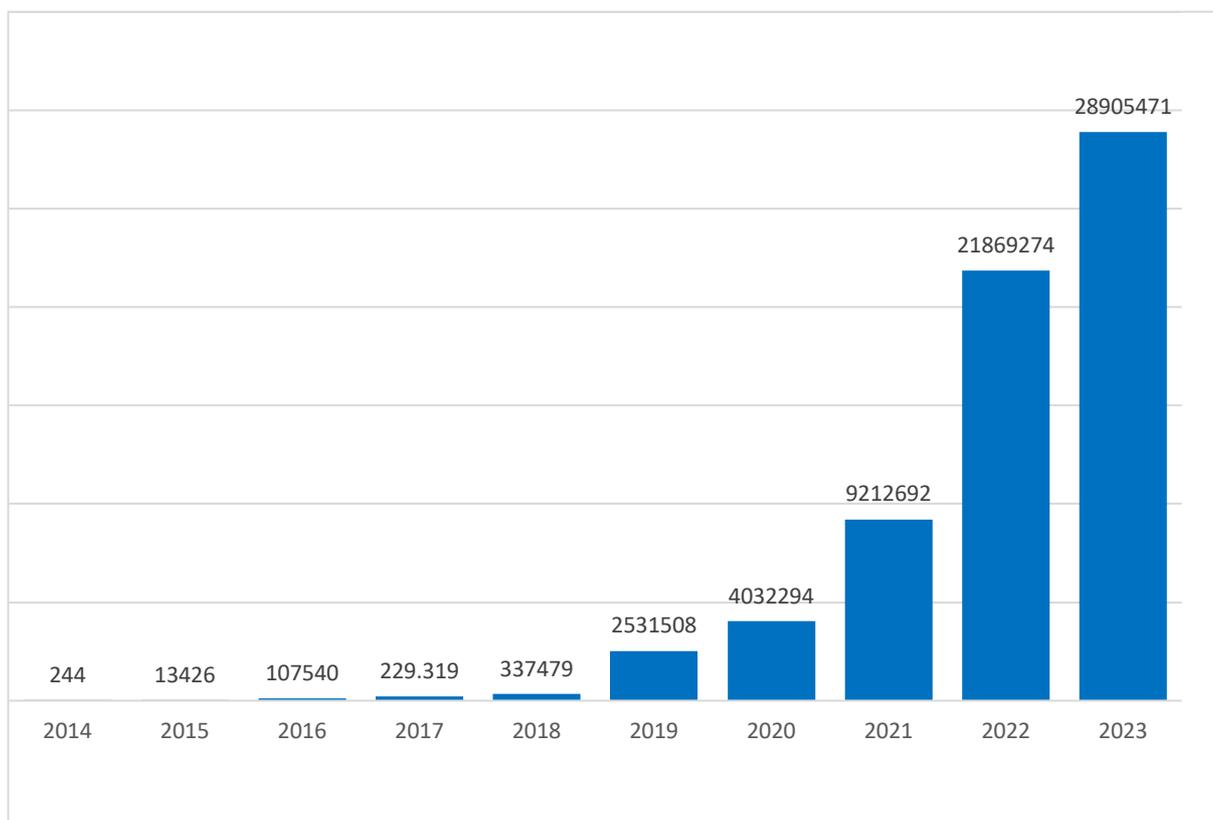


Fonte: Instituto Totum, maio de 2023.

Ressalta-se que a certificação I-REC é de longe o meio mais prático e confiável de comprovar a origem da energia, e ainda evidenciar os investimentos em sustentabilidade. Além de que esses certificados viabilizam o cumprimento das metas de sustentabilidade das empresas, trazem o reconhecimento a quem consome energia limpa e apoiam o desenvolvimento de mais energia renovável.

Outra vantagem atrelada aos certificados é que, a partir de 2018, tais certificados podem ser utilizados para reporte das emissões de escopo 2 (emissões indiretas pelo consumo de energia, baseando-se em abordagens baseadas na localização e na escolha da compra de energia). Desta forma, as organizações que desejam incluir em seus inventários as informações sobre a compra e venda de energia renovável podem apresentar seus RECs no processo de verificação, subtraindo a quantidade de energia renovável referente aos RECs adquiridos na quantia total de energia comprada da rede pública.

Por fim ressalta-se que os Certificados de Energia Renovável estão diretamente relacionados aos critérios de ESG, especialmente no quesito ambiental, envolvendo direta ou indiretamente vários dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, que também são critérios para o ESG. Os RECs relacionam-se com os Objetivos 1, 8, 14, 9, 15, 7, 13, 17 e 4, da Figura 17 apresentada anteriormente. Nos últimos três anos, a emissão de certificados, bem como a compra e venda, tem aumentado exponencialmente (Figura 21), o que demonstra a procura do mercado em estar de acordo com os padrões internacionalmente normatizados, visando a sustentabilidade e eficiência, e que podem ser resumidos como práticas ESG.

Figura 21: Crescimento da compra e venda de RECs (em unidades).

Fonte: Instituto Totum, março de 2023.

4.6.2 ESG na Energia Eólica

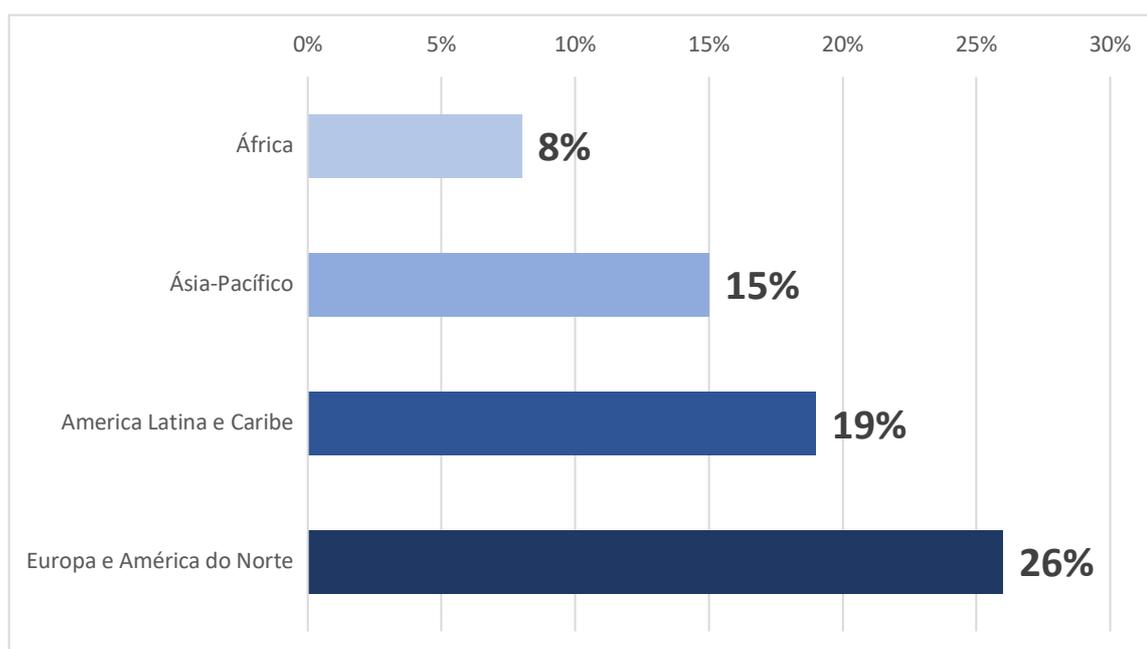
Como já destacado anteriormente, a agenda ESG deve estar de acordo com alguns critérios que norteiem e embasem as ações. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis – ODS, da ONU, têm um papel fundamental neste processo. Este Norte está construindo uma coalização social, desenvolvendo os negócios e fazendo com que a preocupação com os impactos sociais das empresas ganha destaque. Nesse contexto, a energia eólica não foge à regra, especialmente por ser umas das frentes da transição energética no mundo. Eventos no setor como o *Brasil Windpower*, evento promovida pela ABEEólica, têm trazido esses assuntos de forma ampla, e gerado muitas discussões acerca do cenário atual. A avaliação geral é que o caminho começou a ser trilhado por todos os *stakeholders*, contudo, entende-se que ainda há muito trabalho a ser realizado para que se obtenha um cenário melhor no país.

Segundo Fabio Alperowitch, sócio fundador da Fama Investimentos, não há mais tempo para que haja uma transição suave; é necessário que a mudança ocorra de maneira radical e imediata. E tal situação de lentidão deriva, em termos globais da

lentidão na tomada de decisões. Elbia Gannoum, presidente executiva da ABEEólica, mostra-se otimista com o atual momento, ainda que o proposto pelo executivo da Fama demonstre uma situação um pouco diferente (CANAL ENERGIA, 2021).

O relatório *Wind Energy: a gender perspective*, desenvolvido pela IRENA – *International Renewable Energy Agency (2019)*, (Agência Internacional de Energia Renovável), fundamentado em enquetes levantadas nos continentes, mostra que a participação feminina se dá especialmente em funções administrativas, mas muito poucas em condição de liderança. As pesquisas feitas com base em determinar o percentual de participação das mulheres no setor energético internacional revelou que a maior participação das mulheres está na América do Norte e Europa, representando 26,0% dos trabalhadores. A América do Sul é vista em segundo lugar juntamente ao Caribe, com 19,0% de participação do público feminino no setor. A Figura 22 demonstra o percentual de outras regiões do mundo. Percebe-se que os maiores números vão de encontro com os países desenvolvidos, demonstrando que o próprio processo de evolução necessita que tais políticas de ESG sejam mais amplamente aplicadas.

Figura 22: Representação do público feminino por região do mundo no setor de energias renováveis.

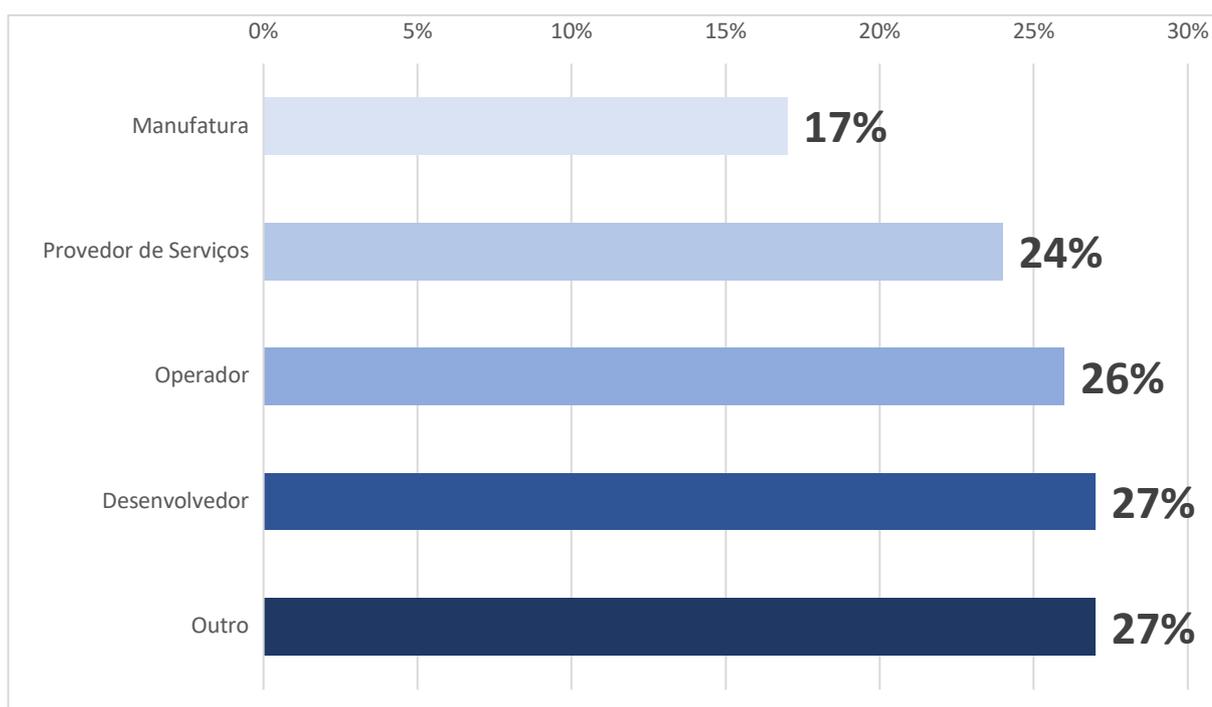


Nota: América do Norte exclui México. A correspondência com o México está inclusa na América Latina.

Fonte: IRENA, 2019

Uma análise da participação feminina na cadeia de valor levantado pela IRENA, levando em conta as atividades desenvolvidas na energia eólica, mostrou que a maior participação mundial está no desenvolvimento da tecnologia e em outros serviços, entendido no estudo como prestação de consultorias, estudos, pesquisas acadêmicas e institucionais, centros de educação, instituições governamentais e etc, representando um empate de 27,0% de representação feminina nas atividades desenvolvidas. Em segundo lugar ficou a operação dos sistemas de energia eólica, representando 26,0% de representação feminina. A Figura 23 mostra demais atividades desenvolvidas na cadeia de valor.

Figura 23: Representação do público feminino por região do mundo nas áreas do setor de energias renováveis.

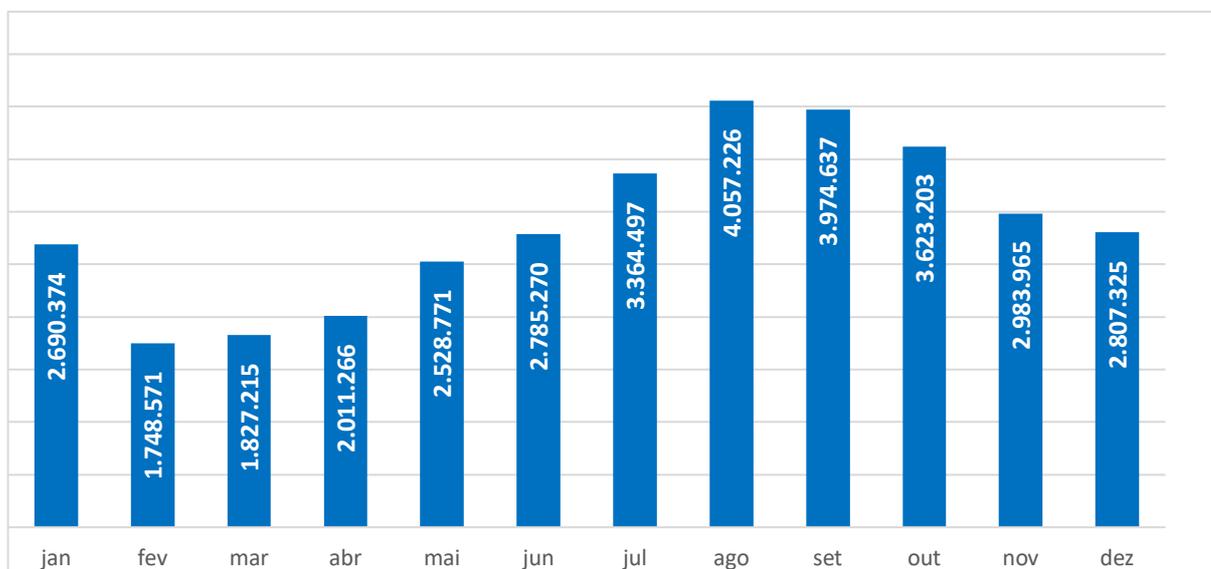


Fonte: IRENA, 2019

No aspecto ambiental, dados do relatório anual da ABEEólica de 2023 indicam que a energia eólica evitou a emissão de 24,48 milhões de toneladas de CO₂, o que equivale a emissão produzida por de cerca de 20 milhões de carros de passeio, em um comparativo. Além de ser uma fonte de energia com reduzido impacto na emissão

de gases nocivos e aceleradores do efeito estufa, a energia eólica não emite CO₂ durante a sua operação. A Figura 24 mostra a curva de CO₂ mensal evitada em 2021.

Figura 24: Emissão de CO₂ evitada por mês em 2023 (Toneladas).



Fonte: Boletim Anual ABEEólica, 2023

Também vale destacar que a implementação da Energia Eólica contribui ativamente para o aumento do Produto Interno Bruto (PIB) e do Índice de Desenvolvimento Humano do Município (IDHM). Um comparativo entre o grupo de municípios que receberam a instalação de parques eólicos com outros que não receberam mostrou tais afirmações. De tal maneira, pode-se perceber que nos municípios que receberam a instalação de parques eólicos, o PIB real aumentou 21,15% entre os anos de 1999 e 2017, e o IDHM cresceu cerca de 20% de 2000 até 2010 (GO Associados, 2020).

Outro estudo de elevada importância no aspecto social, foi desenvolvido pelo economista Braulio Bórges, economista associado do FGV-IBRE e economista sênior da LCA Consultores, que mostrou a importância da energia eólica na geração de empregos no Brasil. O estudo mostrou que entre 2011 e 2021, as fontes eólicas movimentaram R\$ 321,00 bilhões na economia, gerando quase 196 mil novos postos de trabalho (BORGES, 2022). Esses são dados positivos para o setor, embasando assim o comentário de Elbia Gannoum na coluna do Canal Energia supracitado.

4.6.3 Casos destaques de participação feminina no setor elétrico e na eólica

Na frente social do ESG, alguns destaques tornaram-se referência no setor elétrico, como o caso da AES Brasil, investidora do setor eólico que decidiu contratar um grupo de operadoras femininas para operar um de seus parques eólicos, o parque Tucano na Bahia. Para isso a empresa realizou uma parceria com o Senai na elaboração de um curso gratuito de especialização em técnicas de Operação e Manutenção (O&M) de parques eólicos, com o intuito de capacitar as futuras funcionárias locais.

Uma iniciativa similar foi feita pela Neoenergia, empresa internacional do setor (Iberdrola), que apostou na criação de turmas exclusivas para mulheres na Escola de Eletricistas de distribuidoras do grupo, após perceber que as turmas destinadas a público misto tinham baixa adesão do público feminino. Em 2020 foram abertas 200 vagas para mulheres eletricistas na Coelba e Celpe (concessionárias de energia da Bahia e Pernambuco). O projeto recebeu tamanho destaque que foi reconhecido pelo *WeEmpower* da ONU Mulheres, junto à Organização Mundial do Trabalho (OIT) e a União Europeia, que estimula boas práticas nas empresas.

A EDP Brasil anunciou o nome de Fernanda Pires para ocupar a recém-criada vice-presidência de Pessoas e ESG. Com isso, ela se tornou a primeira mulher a ocupar um cargo de vice-presidente na empresa. Além disso, o Conselho de Administração da EDP Brasil, que já contava com a participação de Juliana Rozenbaum, passou a ser composto também por Vera Pinto Pereira e Ana Paula Marques, elevando a 33% a representação feminina nessa instância administrativa. Ainda dentro do grupo de origem portuguesa, foi estabelecido o compromisso de ter ao menos 20% de mulheres na liderança e 30% de mulheres no quadro geral de colaboradores até 2022. No mesmo intervalo, 50% dos novos contratados pela empresa deverão ser provenientes de grupos ainda pouco representados (mulheres, pretos, pessoas com deficiência, 50+, LGBTI+, etc).

A Engie, empresa de origem franco-belga, possui duas mulheres atualmente na frente global de liderança: a CEO Catherine MacGregor e a CFO, Judith Hartmann. O Grupo assumiu o compromisso global de atingir 50,0% do número de mulheres em cargos de liderança até 2030 (atualmente em 24%). A representante brasileira do grupo, a Engie Brasil Energia, possui atualmente em seu Conselho administrativo, duas mulheres em posições titulares (CanalEnergia, 2021).

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

As políticas de ESG são estreitamente relacionadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável promovidos pela ONU. Em termos da energia eólica *offshore*, tal relacionamento se dá principalmente pelas questões relacionadas à geração de energia limpa e acessível, e às contribuições às ações de mudanças climáticas.

Esse capítulo embasou algumas relações da energia eólica *offshore* com as políticas de ESG:

- E (*Environmental*): a preocupação com o meio ambiente e o fortalecimento das energias renováveis de baixo impacto ambiental; a importância de políticas de eficiência energética e uso racional da energia gerada.
- S (*Social*): os impactos sociais da construção e operação dos parques eólicos *offshore*; a importância da valorização de aspectos como diversidade e bem estar, e ambientes de trabalho seguros.
- G (*Governance*): a necessidade de eficiência na gestão corporativa, seja dos processos quanto das pessoas.

Pode-se considerar o ESG como uma ferramenta segura para a transição energética, no âmbito da energia eólica. A concordância com os ODS e a relevância que o tema tem recebido no mundo demonstram que, de fato, o mundo está interessado em modificar a maneira como as coisas são feitas. Políticas administrativas que estejam de acordo com a ética e transparência, o bem-estar social, e a atenção ao meio ambiente são um dos pontos mais destacados nas discussões mundiais e uma das premissas para a transição energética. Ademais, pode-se perceber que o setor de energia tem respondido de maneira positiva a estas novas políticas. Os casos apresentados demonstram que as buscas por tais maneiras de realizar as ações acabam resultando em ações afirmativas para as entidades, o que reflete em destaque no mercado. A partir disso, espera-se um futuro promissor pela frente, onde o ESG seja o mínimo necessário para o funcionamento das empresas, mantendo a busca pelo carbono zero e políticas sociais que visem a coletividade em todas as esferas.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um panorama da energia eólica *offshore*, no cenário mundial e nacional, em uma abordagem dividida em três tópicos: as tecnologias e gargalos, a relação do setor com as políticas ESG (Meio Ambiente, Social e Governança Corporativa), e a perspectiva da produção/utilização do Hidrogênio Verde no contexto de armazenamento/complementaridade da energia proveniente de fontes renováveis. Deste modo, foi possível compreender uma série de fatores que podem se tornar um gargalo para a implementação da tecnologia de geração de energia eólica *offshore* no Brasil. Tais fatores foram percebidos em análise aos principais materiais, processos e estruturas necessárias, que vão desde a fabricação do produto até a implementação dos parques e sua posterior operação.

Vale destacar que o Brasil se encontra ainda em um momento de estabelecimento do arcabouço legal para a implementação da tecnologia eólica *offshore*. Este arcabouço vem sendo construído pelos *players* do setor e pelas suas instituições representantes, como a ABEEólica. Preocupações técnicas com matérias primas, como os Elementos de Terras Raras, já vem sendo discutidas, de forma a evitar possíveis problemas futuros. Adjunto a isso, do ponto de vista operacional, especialmente no que diz respeito às etapas de Implementação e Comissionamento (I&C) e Operação e Manutenção (O&M), a necessidade de suporte marinho através de embarcações apropriadas também já vem sendo discutida e desenvolvidas, de forma a mitigar os possíveis atrasos. Ainda que o Brasil tenha uma vasta experiência marítima herdada do mercado de óleo e gás, tais pontos são vistos atualmente com um possível gargalo tecnológico.

Ainda, diante dos desafios do desenvolvimento eólico *offshore*, as exigências sociais e ambientais têm crescido grandemente nos últimos anos, e em todas as esferas do mundo moderno. Tais exigências são vistas de forma a contribuir na construção de um sistema que respeite as partes envolvidas, levando em conta um entendimento coletivo. O ESG ganha espaço nesta questão. Ainda que a atenção ao Meio Ambiente, ao desenvolvimento Social e à Governança Corporativa venha sendo discutida há tempos, apenas recentemente ela ganhou um nome, e vem tomando proporções globais, seja na indústria ou ainda nos meios sociais.

Levando as questões supramencionadas para a área de energia, já é bem entendido que toda forma de geração de energia exige a exploração de um recurso

natural, que pode ocasionar uma série de impactos ambientais se não for bem planejada. Do mesmo modo, esses impactos também podem ser vistos nas esferas sociais, pois é necessário que se considere as partes afetadas, buscando construir um mercado inclusivo, em consideração às realidades locais.

Administrar os investimentos na área energética de maneira transparente e levando em conta a administração coletiva, mostra-se importante para manter uma imagem correta das instituições, contribuindo desta forma para o seu crescimento e desenvolvimento. Infelizmente, muitas das instituições no setor não têm sido condizentes no estabelecimento destas diretrizes, utilizando-se dos critérios apenas como propaganda positiva para elevar sua avaliação. Por outro lado, a modernização das operações tem feito com que as exigências sejam criteriosamente comprovadas, garantindo assim que as premissas de ESG sejam atingidas, como as bolsas de investimento, que exigem uma série de fatores para abertura de capital, por exemplo.

Por fim, vale destacar as soluções operacionais que a ciência tem buscado, de forma a tornar mais eficiente a implementação dos parques eólicos *offshore*. Em termos operacionais, o Hidrogênio Verde vem como uma solução a longo prazo para o armazenamento de energia. Além disso, esta tecnologia é vista como uma forma de operar a variabilidade imposta pelo vento, e também com finalidade de integrar o sistema elétrico, além da possibilidade de ser utilizado como um combustível para abastecer frota veicular, diminuindo o montante das emissões de gases aceleradores do efeito estufa. Além disso, o Hidrogênio Verde é entendido como um caminho seguro para transição energética, levando em conta as características deste combustível e sua disponibilidade abundante na natureza. Adjunto a isto vêm também os desafios, que são hoje os principais motivos desta tecnologia ainda não estar sendo amplamente utilizada, sendo estes especialmente o transporte e o armazenamento.

A certeza de um futuro verde está totalmente relacionada com as decisões do hoje. A busca por novas formas de gerar energia, como a eólica *offshore*, a operação destes sistemas com as novas tecnologias, como o Hidrogênio Verde e o desenvolvimento destes, em conjunto aos princípios de ESG podem garantir um futuro verdadeiramente melhor, como um caminho para a transição energética. Os desafios neste caminho serão superados apenas a partir da coletividade e pelo seguimento dos critérios estabelecidos, olhando de maneira específica para todas as esferas existentes.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA. **Boletim Anual de Geração Eólica**. São Paulo, 2023

ACAR, C., BESKESE, A., TEMUR, G., T. **Comparative fuel cell sustainability assessment with a novel approach**. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 47, p. 575-594, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.034>. Acesso em: abril de 2023

Acesso em: Acessado em: maio de 2023

ADAPWING OVERVIEW. In **Scientific proceedings**. **Bruxelas: European Wind Energy Association (EWEA)**. 2007. p. 20-23. Acesso em: março de 2023.

AHN, D. et. al. **Comparative evaluation of different offshore wind turbine installation vessels for Korean west-south wind farm**. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, [s.l.]. Elsevier. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209267821630437X?via%3Dihub>. Acesso em: março de 2023.

AMARAL, M. M. do. **Avaliação técnica do transporte e do armazenamento de hidrogénio visando a descarbonização do sistema energético nacional**. Dissertação (Engenharia Mecânica - Mecatrónica) — Universidade Nova de Lisboa, 2021. Acessado em: maio de 2023

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. **'Safehull-Dynamic Loading Approach' For Vessels**. 2018.

AMBIENTE BRASIL. **Armazenamento De Hidrogênio**. 2021. Disponível em: https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/celula_combustivel/armazenamento_de_hidrogenio.html Acesso em: 10/05/2023

AMEL-ZADEH, A.; SERAFEIM, G. **Why and how investors use ESG information: Evidence from a global survey**. *Financial Analysts Journal*, 74(3), 87-103, 2018.

ANBIMA. **Guia ASG: Incorporação dos aspectos ASG nas análises de investimento.** 2020. Disponível em:

<https://www.anbima.com.br/data/files/1A/50/EE/31/BFDEF610CA9C4DF69B2BA2A8/>

ANBIMA-Guia-ASG-2019.pdf. Acesso em: 15 de abril de 2023

ANBIMA. **Retrato Da Sustentabilidade No Mercado De Capitais.** São Paulo, 2022.

Disponível em:

<https://www.anbima.com.br/data/files/3C/C2/CA/05/72EBD71032ADBBD76B2BA2A8/Retrato%20da%20sustentabilidade%20no%20mercado%20de%20capitais.pdf>.

Acesso em: 23/04/2023

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução Nº 4.327, De 25 De Abril De 2014.** 2014.

Disponível em:

https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2014/pdf/res_4327_v1_O.pdf. Acesso em:

maio de 2023

BARBOSA, H. A. **Processos de produção e estocagem de Hidrogênio: uma revisão da literatura.** 81 p. Monografia (Engenharia Química) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2020. Acesso em: meio de 2023.

BARRETO, FERNANDA DE MELO. **Mapeamento tecnológico da geração de energia eólica offshore.** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.

Disponível em:

<https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/27409/1/Mapeamentotecnol%c3%b3gicogera%c3%a7%c3%a3o%20Barreto%202019.pdf>. Acesso em: maio de 2023.

BBC. **Hidrogênio Verde: os 6 países que lideram a produção do combustível do futuro.** 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-56604972>.

Acessado em: meio de 2023

BLYTH. **Offshore demonstrator wind farm.** EDF Renewables, [S.I.], 2019.

Disponível em: <https://www.edf-re.uk/our-sites/blyth>. Acesso em: março de 2023.

BNAMERICAS. **Hidrogênio Verde: a situação na América Latina e os líderes em projetos**. 2022. Disponível em: <https://www.bnamericas.com/pt/feature/hidrogenio-verde-a-situacao-naamerica-latina-e-os-lideres-em-projetos>. Acesso em: maio de 2023

BORGES, Bráulio. **Estimativas dos impactos dinâmicos do setor eólico sobre a economia brasileira**. ABEEólica, 2022. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Estudo-Braulio_final.pdf. Acesso em: abril de 2023

BRASIL. **Decreto nº 10.946/2022**. Brasília – DF, 2022.

BUDROCK, LIZ. **Offshore wind subsea cable: insights from the experts**. Disponível em: <https://www.offshorewindus.org/2020/01/16/osw-cable-insights/>. Acesso em: março de 2023.

BUHL, T. et al. **Load alleviation through adaptive trailing edge control surfaces**. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228975986_Load_alleviation_through_adaptive_trailing_edge_control_surfaces_ADAPWING_overview

BURDOCK, Liz. **Offshore Wind Subsea Cable: Insights From The Experts**. Business Network for *Offshore* Wind, [s.l.], 2020.

C3S. **Copernicus Climate Change Service. ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate**. 2017. Disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>.

CANAL ENERGIA. **Agenda ESG tem acelerado evolução de indicadores sociais da eólica**. 2021b. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53193405/agenda-esg-tem-acelerado-evolucao-de-indicadores-sociais-da-eolica>

CANAL ENERGIA. **Solar, eólica, Hidrogênio e amônia verdes – quarteto que pode brilhar na questão climática**. 2021. Disponível em:

<https://www.canalenergia.com.br/artigos/53178648/solar-eolica-hidrogenio-e-amonia-verdes-quarteto-que-pode-brilhar-na-questao-climatica>. Acesso em: maio de 2023

CAPPUCCI, M. **The ESG integration paradox**. *Journal of Applied Corporate Finance*, v. 30, n. 2, p. 22-28, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jacf.12296>. Acesso em: abril de 2023

CEPEL. **Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Atlas do potencial eólico brasileiro – Simulações 2013**. 2013. Disponível em: <http://novoatlas.cepel.br/>.

CPG. **Quais os perigos do Hidrogênio?**. 2022. Disponível em: <https://clickpetroleoegas.com.br/blog/hidrogenio/quais-os-perigos-do-hidrogenio/#:~:text=Armazenamento%20de%20hidrog%C3%AAnio%20pode%20causar%20riscos&text=Entretanto%2C%20por%20ser%20mais%20vol%C3%BAvel,riscos%20no%20armazenamento%20de%20hidrog%C3%AAnio>. Acesso em: maio de 2023

DALGIC, Y.; LAZAKIS, I.; TURAN, O. **Vessel charter rate estimation for offshore wind O&M activities**. In: **15th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean IMAM 2013 - Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources, 2013, La Coruña. Anais [...]** La Coruña: International Maritime Association of the Mediterranean, 2013. Acesso em: março de 2023.

DHIMISH, M., VIEIRA, R., G., BADRAN, G. **Investigating the stability and degradation of hydrogen PEM fuel cell**. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 46, p. 37017-37028, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.08.183>. Acesso em: Maio de 2023.

DS NEW ENERGY. **Os 27 maiores projetos de Hidrogênio Verde em escala de Gigawatt**. 2022. Disponível em: <https://pt.dsisolar.com/info/the-27-largest-gigawatt-scale-green-hydrogen-p-76893346.html>

DTU. **Technical University of Denmark. Reference wind turbine project site.** 2013. Disponível em: <https://dtu-10mw-rwt.vindenergi.dtu.dk/>. Acesso em: março de 2023.

ENERGYFOCUS. **Jan De Nul Group – Cable Laying Vessel Willem de Vlamingh.** 2019.

EPBR. **Brasil pode ser produtor e exportador de amônia verde, diz diretor da Siemens Energy para AL. 2021.** Disponível em: <https://epbr.com.br/brasil-pode-ser-produtor-e-exportador-de-amonia-verde-diz-diretor-da-siemens-energy-para-al/>. Acesso em: 13/05/2023

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2031.** Brasília, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal_v2.pdf. Acesso em: abril de 2023

EPE. **Plano Nacional de Energia - PNE 2050.** 2020b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: abril de 2023

EPE. **Roadmap Eólica Offshore Brasil.** Brasília, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf. Acesso em: março de 2023

FERNANDES B., ANA C. **Hidrogênio Verde: alternativa para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e contribuir com a transição energética.** 2022. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/238476/borges_acf_tcc_rosa.pdf?sequence=4. Acessado em: maio de 2023

FERREIRA, M. A. **Utilização de Fontes de Energia Renováveis para a Produção de Hidrogênio**. 118 p. Dissertação (Engenharia Eletrotécnica) — Instituto Politécnico de Coimbra, 2022. Acesso em: meio de 2023

FIGUEIREDO, B. B.; CESAR, F. I. G. **Hidrogênio como fonte alternativa de combustível automotivo: uma pesquisa bibliográfica exploratória**. *Revista científica acertte*, v. 1, n. 6, p. 1 – 19, 2021. ISSN 2763-8928. Disponível em: <https://acertte.org/index.php/acertte/article/view/49>. Acesso em: maio de 2023

GILES, R. **Air Range Diving Support Vessel Guidance**. Londres: HMSO. 1991. Disponível em: <https://www.hse.gov.uk/research/othpdf/200-399/oth336.pdf>. Acesso em: março de 2023.

GO ASSOCIADOS. **IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL**. EPBR, 2020. Disponível em: https://epbr.com.br/wp-content/uploads/2021/02/ABEEolica_GO-Associados-V.-Final.pdf. Acesso em: abril de 2023

GOMES, W. Z. **Elaboração de protocolo de testes para células a combustível Portáteis**. 101 p. Dissertação (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA PRODETEC) — IEP-INSTITUTO DE ENGENHARIA DO PARANÁ, 2011.

GOV. **Despacho Do Presidente Da República**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-419972141>

GOVERNO RS. **Hidrogênio Verde: um novo caminho para o Rio Grande do Sul**. Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202302/15225417-2-cartilha-imprensa-h2v-rs.pdf>. Acesso em: maio de 2023

GRAND THORNTON. **Sustentabilidade E Gestão ASG Nas Empresas**. B3 - São Paulo, 2022. Disponível em:

https://www.b3.com.br/data/files/C9/27/46/11/220838101E311E28AC094EA8/Guia_B3_Sustentabilidade_ASG_v2209_VF.pdf. Acesso em: abril de 2023

GUPTA, C. K.; KRISHNAMURTHY, N. **Extractive metallurgy of rare earths**. International Materials Reviews, [s.l.], v. 37, n. 1, p.197-248, jan, 1992. Acesso em: março de 2023.

HEINRICH BOLL STIFTUNG. **Desafios e oportunidades para o brasil com o Hidrogênio Verde**. 2021. Disponível em: <https://br.boell.org/pt-br/2021/05/21/desafios-e-oportunidades-para-obrasil-com-o-hidrogenio-verde?dimension1=suche>. Acesso em: maio de 2023
<https://www.h2verdebrasil.com.br/oque-e-hidrogenio-verde/#:~:text=Hidrog%C3%AAnio%20Verde%20%C3%A9%20aquele%20produzido,sem%20emiss%C3%A3o%20de%20CO2>. Acesso em: maio de 2023

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

HYDROGEN EUROPE. **Hydrogen Europe Vision on the Role of Hydrogen and Gas Infrastructure on the Road Toward a Climate Neutral Economy. A Contribution to the Transition of the Gas Market**. Bélgica: Hydrogen Europe, 2019. Acesso em: maio de 2023

IBAMA. **Complexos eólicos offshore projetos com processos de licenciamento ambiental abertos no ibama**. 2023. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/2022-08-11_Usinas_Eolicas_Offshore_Ibama.pdf. Acesso em: Abril de 2023

IEA. **Hidrogênio na América Latina**. 2021. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/760f6626-19c4-42d3-b830-9d2a0d897323/IEA_HydrogeninLatinAmerica_ES_BrazilianPortuguese.pdf. Acesso em: maio de 2023

IMO. **HSC Code**. Londres: IMO Publishing, 2000. Disponível em: <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/282657/msis34_hsc_code_2000_2008_itos_rev1.01-full-2.pdf>. Acesso em: março de 2023.

INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conhecao-programa>. Acesso em: novembro de 2022

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **O elo perdido para a economia do Hidrogênio é... amônia**. 2018. Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=o-elo-perdido-economia-hidrogenio-amonia&id=010115180206#.ZF-e9OzMJao>. Acesso em: maio de 2023

INSTITUTO ESCOLHAS. **RATING ESG: o socioambiental vem primeiro**. 2022. Disponível em: https://www.escolhas.org/wp-content/uploads/Sum%C3%A1rio-Rating-ESG_Final.pdf. Acesso em: abril de 2023

INSTITUTO TOTUM. **Relatório mensal**. São Paulo, 2023.

IRENA. **Future of Wind**. 2019. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf. Acesso em: março de 2023

IRENA. **Hidrogen From Renewable Power, Technology Outlook for de Energy Transition**. 2018. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf?rev=817ffa3e16dd4aebb89098bdf69be6a8. Acesso em: junho de 2023

IRENA. **International Renewable Energy Agency. Global wind atlas**. 2015. Disponível em: <https://irena.masdar.ac.ae/gallery/#tool/10>.

IRENA. **Wind Energy: a gender perspective**. 2019. disponível em: <https://www.irena.org/->

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jan/IRENA_Wind_gender_2020.pdf?rev=270b62baad3c40a5b289a4f47eb8c5a9](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jan/IRENA_Wind_gender_2020.pdf?rev=270b62baad3c40a5b289a4f47eb8c5a9). Acesso em: abril de 2023

ISLAM et. al. **Power converters for wind turbines: Current and future development**. [s.l.]:[s.n.]. 2013. Acesso em: março de 2023.

JAIRETH, SUBHASH; HOATSON, DEAN M.; MIEZITIS, YANIS. **Geological setting and resources of the major rare-earth-element deposits in Australia**. Ore Geology Reviews, [s.l.], v. 62, p.72-128, out. 2014

KINKAID. **Prosafe e OOS arrematam novos afretamentos de UMS**. 2022. Disponível em: <https://www.kincaid.com.br/prosafe-e-oos-arrematam-novos-afretamentos-de-ums/>. Acesso em: maio de 2023.

LACAL-ARÁNTEGUI, R. **Materials use in electricity generators in wind turbines e stateof-the-art and future specifications**. Journal of Cleaner Production, v. 87, n. 1, p. 275– 283, 2015.

LARSEN, JENS H. **The world's largest off-shore windfarm, Middelgrunden 40 MW. Wels: Copanhamen Environment and Energy Office**. 2001. Disponível em: https://www.middelgrunden.dk/wp-content/uploads/2021/01/Artikel_WORLD-SUSTAINABLE-ENERGY-DAY-2001.pdf. Acesso em: março de 2023.

LINS, P. H. C. **Análise multidimensional de riscos em gasodutos de Hidrogênio**. 60 p. Dissertação (ENGENHARIA DE PRODUÇÃO) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, 2022. Acesso em: maio de 2023

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

MARTINS ELIETE; ZIBAS RICARDO. **A covid-19 como impulsionadora das práticas de ESG.** KPMG, 2020. Disponível em: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/br/pdf/2020/08/covid-19-como-impulsionadora-praticas-esg.pdf>. Acesso em: 15 de abril de 2023

MECGREGOR. **Windfarm vessels and inspection service vessels.** 2018. <https://www.macgregor.com/Products/Offshore-oil-and-gas-and-renewables/windfarm-vessels--isv/>. Acesso em: Maio de 2023.

MEGAWHAT. **Certificados de energia Renovável (RECs).** Disponível em: <https://megawhat.energy/verbetes/69728/certificados-de-energia-renovavel-recs> Acesso em: 23/04/2023

MEIRELLES DE P. J.SÉRGIO E. **Criticidade das terras raras para aplicação em veículos elétricos e na energia eólica no Brasil.** 2017. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/10091/1/877664.pdf>. Acesso em: abril de 2023

MIGALHAS. **ESG: primeiros passos, em especial para empresas públicas.** 2021.

NASCIMENTO, THIAGO CAVALCANTE; MENDONÇA, ANDRÉA TORRES BARROS BATINGA DE; CUNHA, SIEGLINDE KINDL DA. **Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil.** Cad. EBAPE.BR, v.10, n.3, artigo 9, Rio de Janeiro, scometiet. 2012. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/cadernosebape/article/view/5488/4208>. Acesso em: março de 2023.

NHAMO, S.; NHAMO, G. **Assessing progress in implementing UN PRME: international perspectives and lessons from South Africa.** Problems and perspectives in management, n. 12, Iss. 1, p. 94-108, 2014.

NIAZ, S.; MANZOOR, T.; PANDITH, A. H. **Hydrogen storage: Materials, methods and perspectives.** Elsevier, v. 50, p. 457 – 469, 2015. Acesso em: maio de 2023

NORONHA M. CARVALHO I. **ESG Impulsiona Setor De Energia Renovável.** #TRENDINGS, 2022. Disponível em: <https://trendings.com.br/negocios/esg-impulsiona-setor-de-energia-renovavel/>. Acesso em: abril de 2023

NORONHA M., MELVIN S., E VIEIRA F., **Diversidade e inclusão no setor de energia renovável: conheça desafios e oportunidades.** #TRENDINGS, 2022. Disponível em: <https://trendings.com.br/negocios/diversidade-e-inclusao-no-setor-de-energia-renovavel-conheca-desafios-e-oportunidades/>

OFFSHOREWIND.BIZ. - **Denmark's Iconic Offshore Wind Farm to Get a New Lease on Life.** 2020. Disponível em: <https://www.offshorewind.biz/2020/12/23/denmarks-iconic-offshore-wind-farm-to-get-a-new-lease-on-life/>. Acesso em: maio de 2023.

OFFSHOREWIND.BIZ. - **Second Offshore Wind Farm Decommissioning on the Way.** 2016. Disponível em: <https://www.offshorewind.biz/2016/02/09/second-offshore-wind-farm-decommissioning-on-the-way/>. Acesso em: maio de 2023.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável,** 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: abril de 2023

ORE CATAPULT. **Offshore Wind Industry.** 2018. Disponível em: https://cdn.ymaws.com/www.renewableuk.com/resource/resmgr/publications/catapult_prospectus_final.pdf. Acesso em: maio de 2023.

ORRIS, G.J., GRAUCH, R.I. **Rare Earth Element Mines, Deposits and Occurrences.** US Department of the Interior, US Geological Survey, 2002. Acesso em: março de 2023.

PAIVA, S. DA SILVA MENDONÇA DE. **Produção de Hidrogênio Verde ambientalmente sustentável.** Dissertação (Engenharia Química) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/47548#:~:text=O%20g%C3%A1s%20hi>

drog%C3%AAnio%20pode%20ser,como%20base%20os%20combust%C3%ADveis%20f%C3%B3sseis. Acesso em: maio de 2023

PAVEL, C. C.; LACAL-ARÁNTGUI, R.; MARMIER, A.; et al. **Substitution strategies for reducing the use of rare earths in wind turbines**. Resources Policy, v. 52, n. January, p. 349–357, 2017.

PEREIRA, DANIEL DE D. **ESG: demanda por certificados de energia renovável cresce exponencialmente**. 2021. Disponível em: https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/10_pereira_2021_03_01.pdf. Acesso em: abril de 2023

PETROBRAS. **Pré-sal: Produção de petróleo e gás natural**. 2022. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/busca/#?cludoquery=Campo%20de%20Petr%C3%B3leo%20Offshore%20de%20Lula&cludopage=1&cludorefurl=https%3A%2F%2Fpetrobras.com.br%2Fpt%2F&cludorefpt=P%C3%A1gina%20Inicial%20%7C%20Petrobras&cludoinputtype=standard>. Acesso em: maio de 2023

PINHO, L. L. R. de. **Avaliação da produção de Hidrogênio a partir de excedentes de energia eólica utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo**. 2017. 234 p. Dissertação (Planejamento Energético) — Universidade Federal do Rio de Janeiro. Acesso em: maio de 2023

PORTAL HIDROGÊNIO VERDE. **O que é Hidrogênio Verde? Sobre o Hidrogênio Verde e as Tecnologias**. 2021.

PORTAL SOLAR. **O que é energia solar? Tudo o que você precisa saber**. 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar.html>. Acesso em: maio de 2023

POVEDA, G. I. D. **Armazenamento De Hidrogênio Em Ligas Metálicas A Base De Magnésio**. Tese (Engenharia Metalúrgica E De Materiais) — Universidade Federal Do Rio De Janeiro, 2007. Acesso em: maio de 2023

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **LEI Nº 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001.** Brasília, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm. Acesso em: abril de 2023

PROCEL. **Resultados Procel 2022, ano base 2021.** 2022. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2022/Procel_rel_2022_web.pdf. Acesso em: abril de 2023

PROPEQ. **Tipos e Produção de Hidrogênio combustível.** 2023. Disponível em: <https://propeq.com/producao-de-hidrogenio/>. Acesso em: maio de 2023

PROROKOWSKI, L. **Environmental Risk Index for financial services firms.** Qualitative Research in Financial Markets, 2016. Disponível em: <https://econpapers.repec.org/article/emeqrmp/qrfm-04-2015-0018.htm>. Acesso em: abril de 2023

RAMPINELLI, GIULIANO ARNS; JUNIOR, CELSO GENEROSO DA ROSA. **Análise da Geração Eólica na Matriz Brasileira de Energia Elétrica.** Criciúma, 2012. Disponível em: https://www.google.com.br/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Frevistas.unicentro.br%2Findex.php%2FRECEN%2Farticle%2Fdownload%2F2298%2F2138&psig=AOvVaw1zmBXYIP6QgVcvIJ427AGv&ust=1683842781581000&source=images&cd=vfe&ved=0CBMQjhqxqFwoTCICU06nh6_4CFQAAAAAdAAAAABAE. Acesso em: maio de 2023

RIBEIRO, C. M. S. **Construção de parques eólicos marítimos: processos e direção de obra.** Porto: Universidade do Porto, 2015. Acesso em: maio de 2023.

SCHWARZ MARIO. **Análise da operação entre uma plataforma flotel e um fpos com foco nos limites operacionais da passarela de conexão (gangway).** 2014. Disponível em: https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-peno_upl/THESIS/6000191/2014_mestrando_mario_schwarz_20200405110344701.pdf. Acesso em: março de 2023.

SILVA AMANDA JORGE VINHOZA DE CARVALHO. **Potencial eólico offshore no brasil: localização de áreas nobres através de análise multicritério.** 2019. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Dissert_AJVCSilva.pdf. Acesso em: junho de 2023

SILVA M. DE P. SUELYA DA. **Produção de Hidrogênio Verde ambientalmente sustentável.** 2022. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/47548/1/ProducaoHidrogenioVerde_Paiva_2022.pdf. Acesso em: maio de 2023

STRUCTURAL ANALYSIS. In: **University of Strathclyde, Glasgow**, 2017. Disponível em: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/16-17/WindAndTidal/structuralAnalysis.html#intro. Acesso em: março de 2023.

TAVARES, BRUNO JOSÉ LOPES. **Parques Eólicos Offshore: Estudo de soluções de interligação do tipo HVAC e HVDC.** Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto – PT, 2010.

TJIU, W. et al. **Darrieus vertical axis wind turbine for power generation II: Challenges in HAWT and the opportunity of multi-megawatt Darrieus VAWT development.** *Renewable Energy*, 75, p. 560-571, 2015. Acesso em: maio de 2023.

TOTUM. **Regulamento Técnico – “Certificado de Energia Renovável – Conjunto REC Brazil e I-REC”.** Instituto TOTUM, São Paulo, 2021. Disponível em: https://www.institutototum.com.br/images/totum/arquivos/Regulamento_REC_Brazil_e_I-REC.pdf. Acesso em: abril de 2023

U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, **Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office.** “H2@Scale,” 2020. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/h2-scale>. Acesso em: 17/05/2023

UM SÓ PLANETA: ENERGIA E CIÊNCIA. **Brasil pode se tornar maior hub de exportação de Hidrogênio Verde do mundo.** 2022. Disponível em: <https://www.energia.gov.br>

//umsoplaneta.globo.com/energia/noticia/2022/09/08/brasil-pode-se-tornar-maior-hub-deexportacao-de-hidrogenio-verde-do-mundo.ghtml. Acessado em: 17/05/2023

US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2020**. Washington: [s.n.]. 2019. Disponível em: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf>. Acesso em: março de 2023.

Vaicberg H., Valiatt G. L. de C., Ferreira M. de Q. **Energia eólica offshore: um overview do cenário global e o contexto brasileiro**. 2021. Disponível em: <https://mlawreview.emnuvens.com.br/mlaw/article/view/6/69>. Acesso em: março de 2023.

Vasconcelos, R. de M. **Complexos eólicos offshore estudo sobre avaliação de impacto**. Brasília: [s.n.]. 2019. Acesso em: março de 2023.

Vieira Gabrielle V. **Eficiência energética através da implementação da cultura ESG**. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO", 2022. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/238455/vieira_gv_tcc_rosa.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Walters, A.; Lusty, P.; Hill, A. **Rare earth elements - Commodity Profile**. British Geological Survey, n. November, p. 54, 2011. Acesso em: março de 2023.

Willard, B. **The New Sustainability Advantage**. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002.

WORLD BANK. **Going global expanding offshore wind to emerging markets**. 2019. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/716891572457609829/pdf/Going-Global-Expanding-Offshore-Wind-To-Emerging-Markets.pdf>. Acesso em: abril de 2023