



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA GERAÇÃO DE ENERGIA
EÓLICA *OFFSHORE*

FERNANDA DE MELO BARRETO

Natal-RN

2019

FERNANDA DE MELO BARRETO

**MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA GERAÇÃO DE ENERGIA
EÓLICA *OFFSHORE***

Dissertação de mestrado apresentada à Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Engenharia de Produção.

Subárea: Ergonomia, Engenharia do Produto e Engenharia da Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Mario Orestes Aguirre González.

Natal-RN

2019

Reitora da Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Profa. Dra. Ângela Maria Paiva Cruz

Diretor do Centro de Tecnologia

Prof. Dr. Luiz Alessandro Pinheiro da Câmara de Queiroz

Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção

Prof. Dr. Mario Orestes Aguirre González

Orientação

Prof. Dr. Mario Orestes Aguirre González

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA
OFFSHORE**

por

FERNANDA DE MELO BARRETO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE

MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FEVEREIRO, 2019

© 2019 FERNANDA DE MELO BARRETO
TODOS DIREITOS RESERVADOS.

A autora aqui designada concede ao Programa de Engenharia de Produção da
Universidade Federal do Rio Grande do Norte permissão para reproduzir,
distribuir, comunicar ao público, em papel ou meio eletrônico, esta obra, no
todo ou em parte, nos termos da Lei.

Assinatura do Autor:

Fernanda de Melo Barreto

APROVADA POR:

Mário Orestes Aguirre González

Prof. Dr. Mário Orestes Aguirre González – Presidente

Mariana Rodrigues de Almeida

Prof. Dr. Mariana Rodrigues de Almeida – Examinadora Interna ao Programa

Humberto Dionísio de Andrade

Prof. Dr. Humberto Dionísio de Andrade – Examinador Externo à Instituição

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Barreto, Fernanda de Melo.

Mapeamento tecnológico da geração de energia eólica offshore / Fernanda de Melo Barreto. - 2019.
121f.: il.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Natal, 2019.

Orientador: Dr. Mario Orestes Aguirre González.

1. Turbina eólica offshore - Dissertação. 2. Usina eólica offshore - Dissertação. 3. Mapeamento Tecnológico - Dissertação. 4. Análise de Patentes - Dissertação. I. González, Mario Orestes Aguirre. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 621.311.245

Barreto, F. M. **Mapeamento Tecnológico da Geração de Energia Eólica *Offshore***. 2019. 121 p. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2019.

RESUMO

A energia dos ventos vem sendo utilizada desde o final do século XIX. Na Dinamarca, por exemplo, ocorreu o grande desenvolvimento da energia eólica a partir da fabricação das primeiras turbinas por pequenas empresas de equipamentos agrícolas. Por volta de 1980, países como Alemanha e EUA através de políticas de incentivo, desencadearam investimentos com diversos estímulos em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Além de se tratar de uma alternativa limpa, a energia eólica é capaz de produzir eletricidade a preços competitivos com relação às fontes tradicionais de energia. O ano de 2016 ficou marcado pela redução do custo da fonte eólica *offshore*, em algumas circunstâncias, esta fonte torna-se menos custosa do que *onshore*. O Brasil ainda não possui usinas de energia eólica *offshore* e ainda são poucos os estudos nesta área. Assim, o objetivo deste estudo foi mapear as tecnologias existentes e as tendências tecnológicas de turbinas para energia eólica *offshore*, explorando diferentes tecnologias do rotor e da estrutura de uma turbina eólica *offshore*. A pesquisa foi realizada em duas etapas: a fundamentação teórica, seguida de uma análise de patentes, possibilitando um mapeamento tecnológico das tecnologias. Utilizou-se a base Derwent Innovations Index (DII) para a busca de patentes e essas foram analisadas com uma abordagem quantitativa e qualitativa desde 1998 até 2018. Como conclusão, cita-se que as turbinas eólicas *offshore* possuem quase o dobro de potência do que as turbinas *onshore*, apresentam pás com fibra de vidro e a fundação mais utilizada é a *monopile*. No futuro, as turbinas *offshore* tendem a aumentar ainda mais em potência e tamanho, espera-se que os materiais utilizados nas pás apresentarão características de baixa densidade, alta resistência e possam ser reciclados e as torres e as fundações estão com tendência híbrida de materiais e modelos. Além disso, nota-se uma tendência no desenvolvimento de tecnologias para as turbinas serem implementadas em águas com maior profundidade.

Palavras-chave: Turbina eólica *offshore*. Usina eólica *offshore*. Mapeamento Tecnológico. Análise de Patentes.

Barreto, F. M. **Offshore Wind Power Generation Technology Roadmap**. 2019. 121 p. Master's Dissertation in Production Engineering - Federal University of Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2019.

ABSTRACT

Wind energy has been in use since the end of the 19th century. In Denmark, for example, there was the great development of wind power from the manufacture of the first turbines by small agricultural equipment companies. Around 1980, countries such as Germany and the USA through incentive policies, triggered investments with diverse stimuli in R&D. In addition to being a clean alternative, wind power is capable of producing electricity at competitive prices relative to traditional sources of energy. The year 2016 was marked by the cost reduction of the offshore wind energy, in some circumstances, this source becomes less expensive than onshore. Brazil does not yet have offshore wind power plants and there are still few studies in this area. Thus, the objective of this study was to map the existing technologies and technological trends of turbines for offshore wind energy, exploring different rotor technologies and the structure of an offshore wind turbine. The research was carried out in two stages: the theoretical basis, followed by a patent analysis, enabling a technological mapping of the technologies. The patent base Derwent Innovations Index (DII) was used and analyzed with a quantitative and qualitative approach to patents from 1998 to 2018. It is concluded that offshore wind turbines have almost twice the power than onshore turbines, the blades are reinforced with glass fiber and the most commonly used foundation is the monopile. In the future, turbines tend to increase further in power and size, it is expected that the materials used in the blades will feature low density, high strength and can be recycled, and the towers and foundations are in a hybrid trend of materials and model. In addition, there is a trend in the development of technologies for turbines to be implemented in deeper water.

Key Words: Offshore Wind Turbine. Offshore Wind Farm. Technology Roadmap. Patent Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Capacidade mundial acumulada de energia eólica <i>offshore</i> nos anos de 2011 a 2017.....	16
Figura 1.2 - Esquema da estrutura da dissertação.....	21
Quadro 2.1 - Caracterização da Pesquisa.....	22
Figura 2.1 - Procedimento da Pesquisa.....	24
Figura 3.1 - Curva S da Tecnologia.....	29
Figura 3.2 - Processo de Mapeamento.....	30
Quadro 3.1 - Inovação e desenvolvimento de turbinas eólicas de 1930 a 1960.....	35
Figura 3.3 - Turbina eólica Gedser.....	37
Quadro 3.2 - Componentes e subcomponentes de um aerogerador <i>offshore</i>	39
Figura 3.4 - Aerogerador Haliade 150-6MW.....	41
Figura 3.5 - Parque eólico <i>offshore</i> Horns REV no Mar do Norte em Esbjerg, Dinamarca.....	42
Figura 3.6 - Elementos da cadeia de valor.....	47
Figura 3.7 - Prospecção da capacidade eólica <i>offshore</i> por região.....	48
Figura 3.8 - Interconexão entre as dimensões.....	51
Quadro 3.3 - Elementos de Mercado.....	55
Quadro 3.4 - Elementos de Custos.....	57
Quadro 3.5 - Elementos de Recursos Ambientais.....	58
Quadro 3.6 - Elementos de Políticas governamentais de apoio.....	59
Quadro 3.7 - Elementos de Inovação Tecnológica.....	61
Quadro 3.8 - Elementos de Produção Científica.....	62
Quadro 3.9 - Elementos de Viabilidade de Implantação do Parque.....	63
Quadro 4.1 - Bases de Informação Tecnológica.....	65
Figura 4.1 - Distribuição cronológica dos depósitos de patentes realizados no período de 1998 a 2018.....	68
Figura 4.2 - Publicações de artigo por ano.....	69
Figura 4.3 - Número de patentes por país depositante no período de 1998 a 2018.....	70
Figura 4.4 - Principais empresas depositantes de patentes.....	72
Figura 4.5 - Número de patentes e depositantes por quantidade de patentes depositadas.....	73
Figura 4.6 - Árvore hierárquica IPC.....	75
Quadro 4.2 - Distribuição do número de patentes por seções do IPC.....	76

Quadro 4.3 - Distribuição do número de patentes por subclasse do IPC.....	76
Figura 5.1 - Evolução no tamanho de turbinas eólicas comerciais.....	86
Figura 5.2 - Fatores médios de tamanho e capacidade da turbina eólica <i>offshore</i> entre os anos de 2010 e 2022.....	87
Figura 5.3 - Número de turbinas por fabricantes no Reino Unido.	87
Figura 5.4 - Quantidade de aerogeradores por modelo da turbina.	88
Figura 5.5 - Tipos e quantidade de fundações acumuladas na Europa em 2017.....	93
Figura 5.6 - Tipos de fundação e sua profundidade adequada.	93
Figura 5.7 - Parques eólicos <i>offshore</i> por Intervalo de Lâmina d'água e tipo de Fundação.	95
Figura 5.8 - Fundação de múltiplas pilhas.	97
Figura 5.9 - Fundação GBS auto-flutuante.	98
Figura 5.10 - Fundação monopile híbrida.	99
Quadro 5.1 - Comparação entre materiais para fundação.	100
Quadro 5.2 - Mapeamento tecnológico de turbinas eólicas <i>offshore</i>	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Combinações de palavras com seus respectivos números de artigos.	25
Tabela 3.1 - Classificação da rugosidade da superfície de alguns tipos de superfície....	34
Tabela 3.2 - Comparação da produção de energia <i>offshore</i> e <i>onshore</i>	35
Tabela 3.3 - Primeiras grandes turbinas eólicas europeias.....	38
Tabela 3.4 - Principais aerogeradores <i>offshore</i>	43
Tabela 3.5 - Meta para capacidade instalada e/ou geração de energia eólica <i>offshore</i> por país.	49
Tabela 3.6 - Quota de energia eólica <i>offshore</i> de 2005 a 2050.	49

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Potência fornecida pelo vento.....	33
Equação 2 – Área varrida pela pá.	34

LISTA DE SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
CAPES	Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
C&T	Ciências e Tecnologia
DII	Derwent Innovations Index
EPO	European Patent Office
ESPACENET	Escritório Europeu de Patente
EUA	Estados Unidos da América
FOWIND	Facilitating offshore wind in india
GWEC	Global Wind Energy Council
IEA	International Energy Agency
IPC	Classificação internacional de patentes
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Intelectual
IRENA	International Renewable Energy Agency
JPO	Escritório Japonês de Patentes
LCOE	Levelized Cost of Energy
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
NEEDS	New Energy Externalities Developments for Sustainability
NREL	National Renewable Energy Laboratory
OCED	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
O&M	Operação e Manutenção
PCT	Tratado de Cooperação de Patentes
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática
REN21	Renawble Energy Policy Network for the 21st Century
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
USPTO	United States Patent and Trademark Office's
VCPI	Vilela Coelho Propriedade Intelectual
WIPO	World Intellectual Property Organization
WWEA	World Wind Energy Association

SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	6
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE EQUAÇÕES	9
LISTA DE SIGLAS	10
SUMÁRIO.....	11
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	14
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
1.2. OBJETIVOS.....	18
1.2.1. Geral.....	18
1.2.2. Específico.....	18
1.3. JUSTIFICATIVA.....	18
1.4. ESTRUTURA	20
CAPÍTULO 2 - MÉTODO DA PESQUISA.....	22
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	22
2.2. PROCEDIMENTO DA PESQUISA	23
2.2.1. Fundamentação Teórica.....	24
2.2.2. Análise de Patentes.....	26
CAPÍTULO 3 – MAPEAMENTO E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA ENERGIA EÓLICA	28
3.1. PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA.....	28
3.1.1. Estudo Prospectivo	30
3.1.2. Métodos Prospectivos.....	32
3.2. ENERGIA EÓLICA.....	33
3.2.1. Geração da energia eólica	33
3.2.2. Tecnologias das turbinas eólicas	35
3.2.3. Tecnologia eólica <i>offshore</i>	38

3.3. MAPEAMENTO E PROSPECÇÃO NO CONTEXTO DA TECNOLOGIA EÓLICA.....	49
3.3.1 Mercado	52
3.3.2 Custos.....	55
3.3.3 Recursos ambientais	57
3.3.4 Políticas governamentais de apoio	58
3.3.5 Inovação Tecnológica	59
3.3.6 Produção Científica	61
3.3.7 Viabilidade de Implantação do Parque	62
3.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO	63
CAPÍTULO 4 – TURBINA EÓLICA <i>OFFSHORE</i> : ANÁLISE DE PATENTES	65
4.1. Análise Quantitativa	67
4.1.1. Histórico.....	67
4.1.2. Região	69
4.1.3. Depositantes	71
4.1.4. Classificação Internacional de Patentes	74
4.2. Análise Qualitativa	77
4.2.1. Motores de Vento	78
4.2.2. Fundações e Estruturas	79
4.2.3. Navios, Equipamentos e Transporte	81
4.2.4. Materiais.....	83
CAPÍTULO 5 - MAPA ATUAL E FUTURO DAS TECNOLOGIAS DE TURBINAS EÓLICAS <i>OFFSHORE</i>	85
5.1. Rotor	85
5.1.1. Capacidade, Dimensão e Design	85
5.1.2. Sistema de Geração.....	88
5.1.3. Material	90
5.2. Estrutura.....	92
5.2.1. Fundações.....	92
5.2.2. Torre.....	100

5.3 Tecnologia promissora para turbina eólica <i>offshore</i>	101
5.4. Síntese do Capítulo	103
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	106
6.1. CONCLUSÕES	106
6.2. LIMITAÇÕES	108
6.3. RECOMENDAÇÕES	108
REFERÊNCIAS	109

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Os ventos são gerados pelas diferenças de temperatura e pressão de massa de ar (CHRISTÓFARO, 2010). A quantidade de energia disponível neles depende de diversos fatores, dentre eles, estações do ano, horas do dia, topografia e a rugosidade do local, sua frequência e velocidade. Desde o passado, a energia dos ventos ou eólica já era utilizada, mas na atualidade devido ao seu desenvolvimento tecnológico e maior conscientização pelo uso de energias renováveis e limpas o seu aumento em capacidade instalada no mundo é significativo.

Charles Brush, em 1888 iniciou a adaptação dos cata-ventos existentes para a geração de energia elétrica (BUTTERBY; FERREIRA, 2009). Ainda esses autores afirmam que na Dinamarca ocorreu o grande desenvolvimento da energia eólica para a geração de eletricidade a partir da fabricação das primeiras turbinas por pequenas empresas de equipamentos agrícolas. Por volta de 1980, diversos países através de políticas de incentivo, desencadearam investimentos com diversos estímulos em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Assim, a tecnologia eólica teve um aumento significativo de interesse público e empresarial (BUTTERBY; FERREIRA, 2009).

O aumento do preço do petróleo, no período de 1973-1986, reacendeu essa tecnologia, além de se tratar de uma alternativa limpa como baixa emissão de CO₂ (VARELA FILHO, 2013; GONZÁLEZ et al., 2017), dando início aos atuais aerogeradores, capazes de produzir eletricidade a preços competitivos com relação às fontes tradicionais de energia, vista como uma das mais promissoras fontes de energia renováveis pela sua crescente utilização e investimentos. Entretanto, a implantação de parques eólicos ainda exige um alto investimento inicial. Esse fato justifica o incentivo à realização de pesquisas e a busca de inovações nesta área (DUARTE, 2004; FALANI, 2014; GONZÁLEZ et al., 2012; SANTOS; GONZÁLEZ, 2019).

No final de 2017, a indústria global de energia eólica instalou 52,492 GW, acumulando uma capacidade energética de 539,123 GW. A Europa, a Índia e o setor *offshore* apresentaram anos recordes, porém as instalações chinesas caíram 19,66 GW, mas o resto do mundo equilibrou a maior parte disso. O mercado anual teve uma redução

em 3,8% de capacidade instalada em relação ao ano de 2016 e o total acumulado foi de 11% em relação ao total no fim do ano de 2016 (GWEC, 2018).

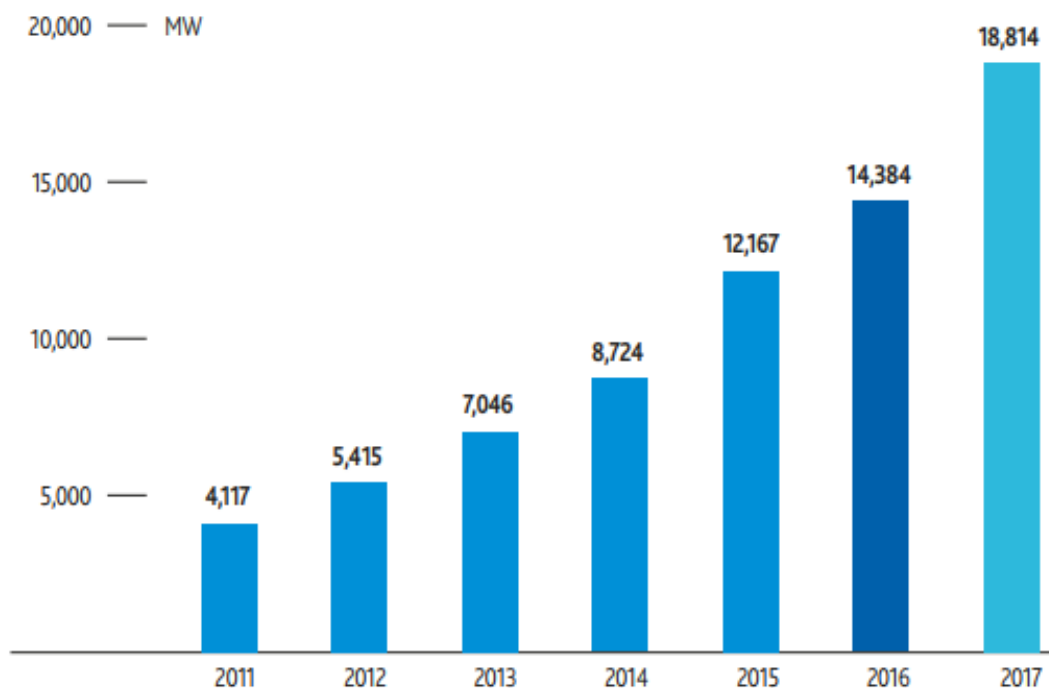
O número de países com mais de 1 GW de capacidade instalada até 2017 foi de 30, incluindo 18 na Europa, 5 na Ásia-Pacífico, 3 na América do Norte, 3 na América Latina e 1 na África. Enquanto isso, nove países tinham mais de 10 GW, incluindo a China (188,392 GW), os EUA (89,077 GW), a Alemanha (56,132 GW), a Índia (32,848 GW), a Espanha (23,170 GW), o Reino Unido (18,872 GW), França (13,759 GW), Brasil (12,763 GW), e Canadá (12,239 GW) (GWEC, 2018).

Em 2018, o Brasil atingiu a marca de 14,71 GW de capacidade instalada de energia eólica, em 583 parques eólicos e mais de 7.000 aerogeradores em 12 estados: Rio Grande do Norte (3875,8 MW), Bahia (3525,0 MW), Ceará (2050,5 MW), Rio Grande do Sul (1831,9 MW), Piauí (1638,1 MW), Pernambuco (782,0 MW), Maranhão (274,8 MW), Santa Catarina (238,5 MW), Paraíba (157,2 MW), Sergipe (34,5 MW), Rio de Janeiro (28,1 MW) e Paraná (2,5 MW). Além dos 14,71 GW de capacidade instalada, há outros 4,33 GW já contratados em construção ou projeto, o que significa que, ao final de 2024, serão pelo menos 19,04 GW considerando apenas contratos já viabilizados em leilões e com outorgas do mercado livre publicadas e contratos assinados (ABEEÓLICA, 2019).

No Nordeste acontece uma geração muito próxima à geração total do sistema. Em 2017 84,0% da geração total ocorreu no Nordeste, enquanto no Sul foi de 14,4%, no Norte 1,4% e no Sudeste 0,2%. O estado com maior geração no período de 2017 foi o Rio Grande do Norte com 13,24 TWh, seguido da Bahia (7,79 TWh), Rio Grande do Sul (5,58 TWh), Ceará (5,10 TWh) e Piauí (4,59 TWh). (ABEEÓLICA, 2018).

Os dados das usinas apresentados acima consistem de usinas eólicas *onshore* (em terra). No mar é conhecido como usina eólica *offshore*. Até 2016, a capacidade de energia eólica *offshore* instalada ao redor do mundo acumulava 14.384 MW. O setor *offshore* apresentou um recorde no ano de 2017 com 4.334 MW de instalações, elevando o total de instalações globais para 18.814 MW e representando um aumento de 30% na capacidade acumulada. A capacidade mundial acumulada nos anos de 2011 a 2017 é ilustrada na Figura 1.1 (GWEC, 2018).

Figura 1.1 - Capacidade mundial acumulada de energia eólica *offshore* nos anos de 2011 a 2017.



Fonte: GWEC, 2018.

Quase 84% dessas instalações localizam-se em águas da costa de onze países europeus. Os 16% restantes estão localizados em grande parte na China, seguidos pelo Vietnã, Japão, Coreia do Sul, Estados Unidos e Taiwan (GWEC, 2018).

No entanto, o que marcou em 2016 foi à redução significativa do custo da produção deste tipo de energia, em que, em algumas circunstâncias, *offshore* torna-se menos custosa do que *onshore*. Os motivos são muitos: o amadurecimento da indústria, a melhoria e amadurecimento da tecnologia e sua gestão, a crescente confiança dos investidores, a qualidade do vento no mar e a introdução e implantação de turbinas com maior potência (GWEC, 2017).

Apesar do maior custo de implantação, quando comparada com a eólica *onshore*, esta apresenta algumas vantagens, tornando-a economicamente viável e gerando um maior retorno financeiro. Algumas dessas vantagens são: há mais constância de vento no mar do que em terra, devido à superfície marítima ter uma menor rugosidade comparada com a terrestre; menos turbulências e mais estabilidade, diminuindo a fadiga das turbinas e aumentando seus tempos de vida; menor impacto visual para a sociedade e população vizinha; maior facilidade no transporte dos elementos dos aerogeradores do que por rodovias, possibilitando a fabricação de componentes com maior porte, permitindo uma produção de mais energia (MEDEIROS, 2014).

Pryor e Barthelmie (2001) e Tempel e Molenaar (2002) compararam a geração de potências em turbinas *onshore* e *offshore*. Em seus estudos, verificaram que os fatores de capacidade são mais elevados para o *offshore* do que para o *onshore*, sendo o fator de capacidade anual *offshore* o dobro. Também encontraram que os sítios *offshore* possuem uma maior produção de energia, devido uma menor rugosidade que proporciona maiores velocidades, maior previsibilidade da produção de energia e menores quantidades de turbina para a mesma produção energética que as usinas *onshore*, indicando que a saída de energia para cada uma das turbinas é maximizada nos sítios *offshore* (PRYOR E BARTHELMIE, 2001).

O Brasil ainda não possui usinas de energia eólica *offshore* e também não tem muitos estudos nesta área. Lima et al. (2015) estimaram os recursos eólicos *offshore* no nordeste brasileiro. O potencial de vento foi avaliado em três períodos representativos, La Nina, El Niño e Neutro, analisando a estação seca e chuvosa para cada período. Velocidade média do vento, densidade de potência média, direção do vento e a intensidade de turbulência estão entre os indicadores avaliados nos três períodos, com valores apropriados. Além disso, a batimetria do nordeste é superficial e a grande rota dos navios está muito além da costa, não oferecendo restrição para empreendimentos futuros.

Conhecido o potencial eólico *offshore*, principalmente nos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará e a não existência de usinas eólica *offshore* no Brasil há a necessidade de planejar a sua adoção similar ao da energia eólica *onshore*, desta vez com maior planejamento, especificamente com maior conhecimento das tecnologias disponíveis e outras que se encontram na fase do desenvolvimento.

A inovação pode ser ocasionada tanto por um aperfeiçoamento de tecnologias existentes, como por uma quebra dessas tecnologias, obtendo-se nesse caso avanços importantes (MDIC, 2001). A atividade de desenvolvimento da tecnologia é constantemente dificultada pela velocidade nos avanços tecnológicos e por seus longos prazos para definição de padrões, além da incerteza em relação aos resultados técnicos e econômicos obtidos. Dessa forma, a gestão tecnológica necessita da elaboração de uma visão do futuro juntamente com uma avaliação de suas perspectivas e a objetos da atividade de prospecção de tecnologia (FALANI, 2014).

Kupfer e Tigre (2004) conceituam o mapeamento e a prospecção tecnológica como um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar significativamente um setor industrial, a economia de uma região ou a sociedade.

Analisar o mapa atual e a prospecção em aerogeradores *offshore* torna-se importante, pois fornece um crescimento às pesquisas na área, tentando prever se a situação estudada se enquadrará à realidade, resultando no surgimento de ferramentas capazes de planejar a tecnologia futura. Assim a pesquisa apresenta a seguinte problemática:

Quais seriam as opções tecnológicas para geração de energia eólica *offshore*?

Visando responder tal pergunta, a dissertação possui os objetivos a seguir.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Geral

O objetivo desta pesquisa é mapear as tecnologias existentes e as tendências tecnológicas de turbinas para energia eólica *offshore*.

1.2.2. Específico

- ✓ Estruturar o estado da arte a respeito dos temas: mapeamento e prospecção tecnológica e tecnologias de turbinas *offshore*, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática.
- ✓ Identificar as diferentes tecnologias do rotor e estrutura de uma turbina eólica *offshore*.
- ✓ Analisar as patentes depositadas em tecnologias de turbinas eólicas *offshore*.
- ✓ Identificar tendências tecnológicas para turbinas eólicas *offshore*.

1.3. JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa se justifica por três aspectos: acadêmico, ambiental e econômico. No âmbito acadêmico há poucas pesquisas sobre tendências e opções de tecnologias para energia eólica *offshore*. Com isso, este trabalho reforçará tal bibliografia, podendo ser utilizado como referência para trabalhos futuros, sendo uma fonte de pesquisa escrita em português.

Apresentará como resultado a identificação das tendências tecnológicas dos aerogeradores *offshore*, auxiliando os pesquisadores quanto à melhor compreensão dos fatores envolvidos. Torna-se necessário realizar um estudo de um modelo que servirá

como referência de tecnologia mais adequada para seu empreendimento antes das futuras instalações, e assim obter a capacidade energética da forma mais eficiente possível.

No setor ambiental e da sustentabilidade do planeta, este estudo indiretamente contribui para o desenvolvimento da indústria eólica *offshore*, cuja fonte é considerada limpa e renovável. Uma vez que as fontes convencionais de energia são aquelas oriundas de combustíveis fósseis e a eólica é uma energia limpa e renovável, atinge os objetivos das demandas socioambientais. A energia produzida pelos ventos não polui, possui baixo impacto ambiental e não emitem CO₂. Em um ano, a fonte eólica evitou a emissão de CO₂ equivalente à quantidade produzida por praticamente toda a frota de veículos comerciais da cidade de São Paulo (ABEEÓLICA, 2017).

No contexto econômico, este estudo contribuirá para a implantação de usinas eólicas *offshore* e como consequência espera-se a estruturação dessa cadeia produtiva.

Historicamente, as grandes hidrelétricas têm o custo de energia mais baixo quando comparado com o setor eólico, mas considerando-se que há questões de meio ambiente que impedem novos projetos de grandes hidrelétricas, as eólicas passam a representar hoje a fonte mais barata. Com os preços extremamente competitivos, a fonte eólica contribui para uma tarifa final (paga pelos consumidores) menos custosa (ABEEÓLICA, 2017).

A energia eólica mundial passa por um momento de expansão em países emergentes, além de já ser realidade nos países desenvolvidos. No mundo, em 2016, 486,7 GW de potência instalada foi acumulada, um crescimento de 12,4% em comparação com os 432,7 GW de 2015 (ABEEÓLICA, 2017). A associação ainda afirma que a proporção da eletricidade global proveniente de fontes renováveis passou de 10,3% em 2015 para 11,3% em 2016.

O setor de energia renovável empregou 9,8 milhões de pessoas em 2016, aumentando em 1% em relação ao ano de 2015. Cerca de 1 milhão de pessoas trabalharam no setor de energia eólica em 2016, representando um aumento de 7% em relação a 2015 (REN21, 2017).

No Brasil, o setor da energia eólica atravessa um momento de estruturação, em que sua cadeia de suprimentos se desenvolve de forma acelerada. Em 2016, US\$ 5,4 bilhões foram investidos na fonte eólica brasileira. O Brasil já tem 10,75 GW de capacidade instalada, com mais de R\$ 70 bilhões de investimento acumulado, foi o 3º melhor colocado como País atrativo para destino de investimentos em energia renovável entre 58 países pesquisados. Além disso, ocupou a 9ª colocação entre os maiores

produtores de energia eólica do mundo, com 2,2% da capacidade global (ABEEÓLICA, 2017).

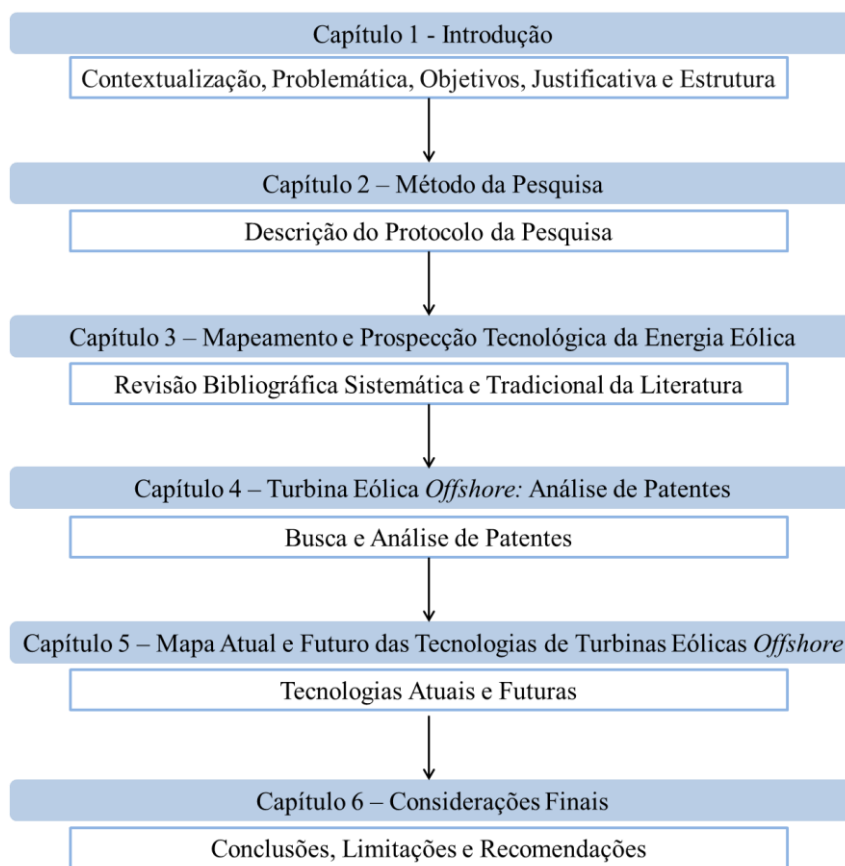
1.4. ESTRUTURA

A dissertação é composta por seis capítulos como mostrado na Figura 1.2. Esse capítulo introdutório apresentou uma contextualização sobre o tema, bem como sua problemática, os objetivos da pesquisa, sua justificativa e a estrutura da dissertação. O capítulo 2 trata de como a pesquisa será desenvolvida, contemplando o desenvolvimento em cada etapa.

Nos próximos dois capítulos, começa o processo de uma fundamentação teórica mais detalhada. No capítulo 3, realizou-se uma revisão bibliográfica tradicional a respeito da energia eólica, a partir de artigos, relatórios e outras fontes confiáveis. Também contém uma revisão bibliográfica sistemática acerca da prospecção tecnológica no contexto da tecnologia eólica. O capítulo 4 trata de uma análise quantitativa e qualitativa de patentes sobre as tecnologias das turbinas eólicas *offshore*.

Em seguida, o capítulo 5 traz um mapeamento das tecnologias estudadas na dissertação e finalizando, temos o capítulo 6 que encerra a pesquisa expondo as conclusões, limitações e recomendações do trabalho.

Figura 1.2 - Esquema da estrutura da dissertação.



Fonte: Elaboração própria.

CAPÍTULO 2 - MÉTODO DA PESQUISA

O capítulo descreve o método da pesquisa, por meio de sua caracterização e pela descrição do seu procedimento desenvolvido.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa científica necessita seguir um procedimento formal, precisando de um método de pensamento reflexivo, com cunho científico, para conhecer a realidade e descobrir novos fatos, relações ou leis (DEMO, 2000; GONZÁLEZ, 2010). As pesquisas apresentam características próprias, assim torna-se necessário que essas sejam classificadas para um melhor entendimento de seus propósitos (FALANI, 2014). González (2015) apresenta uma forma de caracterizar uma pesquisa. O Quadro 2.1 caracteriza os métodos desta pesquisa.

Quadro 2.1 - Caracterização da Pesquisa.

Critério	Tipo/Classificação	Escolha
Quanto a Natureza	Básica	
	Aplicada	X
Quanto a Abordagem do Problema	Quantitativa	
	Qualitativa	
	Qualitativa - Quantitativa	X
Quanto aos Objetivos	Exploratória	X
	Descritiva	X
	Explicativa	
Quanto aos Procedimentos Técnicos	Pesquisa Bibliográfica	X
	Pesquisa Documental	
	Pesquisa Experimental	
	Survey	
	Estudo de caso	X
	Pesquisa Expost-Facto	
	Pesquisa-Ação	
	Pesquisa Participante	

Fonte: Elaboração própria.

A pesquisa a qual descreve este trabalho caracteriza-se, no que se refere à natureza da pesquisa, como sendo uma pesquisa **aplicada** uma vez que busca solucionar um problema específico e objetiva gerar conhecimentos, para uma aplicação prática do mapeamento e prospecção tecnológica das turbinas eólicas *offshore*.

Quanto à abordagem, a dissertação é considerada **quali-quantitativa**. A abordagem quantitativa é observada no momento da análise de patentes a partir de tratamentos estatísticos simples para se chegar aos resultados. Há algumas análises que não podem ser quantificáveis, ressaltando a forma qualitativa da abordagem.

Em relação ao objetivo desta pesquisa, essa também pode ser classificada em duas faces, **descritiva e exploratória**. Considerando o mapeamento da evolução tecnológica das turbinas, a pesquisa é descritiva. Já ao analisar os dados propondo um cenário futuro da tecnologia estudada, apresenta-se com características do tipo exploratória.

No que se refere aos procedimentos técnicos, classifica-se em **pesquisa bibliográfica e estudo de caso**. Ao estudar-se os assuntos abordados nessa dissertação a partir de documentos já publicados, como artigos de periódicos, livros, teses, dissertações e outros materiais confiáveis estar-se realizando uma pesquisa bibliográfica. O estudo de caso contempla o setor de energia eólica durante seu mapeamento através da análise de patentes, construindo um mapa futuro específico do seu desenvolvimento tecnológico.

2.2. PROCEDIMENTO DA PESQUISA

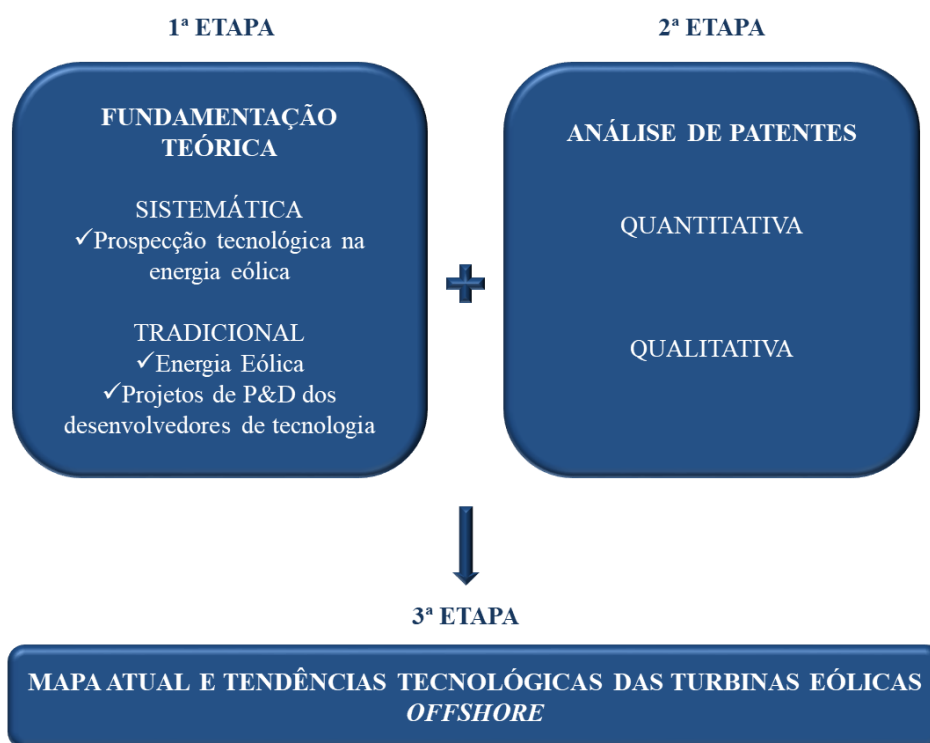
A pesquisa teórica contempla uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) e uma revisão tradicional da literatura. A sistemática ocorreu com o tema “prospecção tecnológica na energia eólica”. A revisão tradicional foi realizada de forma macro, buscando informações sobre o setor eólico *offshore*, conceitos de prospecção tecnológica e outros temas pertinentes a essa dissertação. Ambas foram realizadas através de pesquisas com auxílio do portal Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, como também documentos em sites especializados.

Após a pesquisa teórica, iniciou-se a segunda etapa da pesquisa, a busca e análise de patentes. O Derwent Innovations Index (DII), da Thomson Derwent, foi a base de dados utilizada nessa etapa, devido às características de cobertura mundial em documentos de patentes. Este sistema de busca e análise de patentes apresenta informações de patentes extraídas de 40 órgãos emissores de patentes em todo o mundo organizadas em três categorias, ou seções: *Chemical* (Química), *Engineering* (Engenharia) e *Electrical and Electronic* (Eletricidade e Eletrônica). Apresenta, ainda, referências citadas e citações recebidas de seis principais órgãos emissores de patente (PCT-Tratado de Cooperação de Patentes, Estados Unidos, Europa, Alemanha, Grã Bretanha, Japão) desde 1973.

A busca de dados é um processo baseado em estratégias que procuram recuperar um conjunto de patentes representativo da área de interesse da pesquisa, para o período de tempo desejado. Uma análise dessa busca juntamente com a fundamentação teórica realizada nesse trabalho, possibilita um mapeamento tecnológico das tecnologias

estudadas, finalizando a etapa três dessa pesquisa. O procedimento das três etapas pode ser observado na Figura 2.1.

Figura 2.1 - Procedimento da Pesquisa.



Fonte: Elaboração Própria.

2.2.1. Fundamentação Teórica

Conduzir uma fundamentação teórica contempla diferentes métodos e uso de diferentes fontes bibliográficas (GONZÁLEZ, 2010). Pai et al. (2004) apresentaram a estrutura de uma revisão sistemática. Seus principais passos são: (1) formulação de uma questão de revisão focada; (2) uma pesquisa abrangente e exaustiva e inclusão de estudos primários; (3) avaliação da qualidade dos estudos incluídos e extração de dados; (4) síntese dos resultados do estudo; e (5) interpretação e redação dos resultados.

Ainda, segundo Pai et al. (2004), o objetivo central de uma revisão sistemática é resumir as evidências sobre a problemática proposta e os objetivos secundários são avaliar criticamente a qualidade dos estudos primários, verificar e identificar fontes de heterogeneidade nos resultados em todos os estudos e, se necessário e possível, determinar as fontes de heterogeneidade. Idealmente, todo estudo de pesquisa deve começar com uma revisão sistemática e fundar-se na base de evidências existente.

Nessa dissertação, a revisão sistemática ocorreu para o tema “Prospecção Tecnológica e Energia Eólica”. Foram realizadas 12 combinações de palavras, exibidas na Tabela 2.1, juntamente com a quantidade de artigos encontrados no Portal periódicos CAPES e a junção desses. Na junção, foram excluídos os artigos repetidos e os arquivos que não eram artigos estendidos. Utilizaram-se os mesmos filtros no portal em todas as 12 combinações. Esses foram: data de publicação (até 28/04/18), tipo de material (artigos) e idiomas (inglês). Além disso, as palavras chaves referentes à prospecção tecnológica podiam estar em qualquer parte do texto e precisavam aparecer da forma exata (como foi escrita), já as palavras chaves referentes à energia eólica, precisavam estar no título e não precisavam estar da forma exata como foram escritas. Esses termos foram correlacionados pelo conectivo *AND*.

Tabela 2.1 - Combinações de palavras com seus respectivos números de artigos.

1ª Palavra Chave	Conectivo	2ª Palavra Chave	Número de Artigos Encontrados	Junção
<i>Technological Forecasting</i>	AND	<i>Wind Energy</i>	20	28
		<i>Wind Power</i>	15	
		<i>Wind Turbine</i>	2	
<i>Technological Foresight</i>		<i>Wind Energy</i>	0	0
		<i>Wind Power</i>	0	
		<i>Wind Turbine</i>	0	
<i>Technology Roadmap</i>		<i>Wind Energy</i>	20	30
		<i>Wind Power</i>	10	
		<i>Wind Turbine</i>	7	
<i>Technology Roadmapping</i>		<i>Wind Energy</i>	3	3
		<i>Wind Power</i>	0	
		<i>Wind Turbine</i>	0	
TOTAL			77	61

Fonte: Elaboração Própria.

Após a junção do resultado, o total de 61 artigos, diminui para 51, devido a presença de artigos repetidos após unir os quatro macrotópicos. Esses 51 artigos foram analisados pelos seus títulos e resumos, encontrando 38 artigos que realmente abrangem o assunto desejado e retirando 13 da tabela a ser preenchida. Desse total, fez-se uma leitura completa considerando dados, como: tipo do estudo usado, abordagem da pesquisa, objetivo da pesquisa, objetivo do artigo, resultados encontrados, tipo de tecnologia estudada, entre outros tópicos.

2.2.2. Análise de Patentes

O mapeamento tecnológico das tecnologias das turbinas eólicas *offshore* é a etapa de construção do conhecimento acerca desse tema a partir das tecnologias existentes, bem como sua evolução através da busca de patentes. Para Alencar (2008), a primeira etapa para prospecção tecnológica é conhecer a evolução do objeto estudado. Concordando com isso, nesse trabalho realizou-se a descrição das informações tecnológicas a partir de patentes publicadas das tecnologias da energia eólica *offshore*.

A seleção da base de dados a ser adotada na busca e análise das patentes precisa levar vários aspectos em consideração, como: o escopo do estudo, a forma com que os dados recuperados serão tratados, o intervalo de tempo a ser analisado e a disponibilidade de acesso. Para realizar a busca, o procedimento seguido está exemplificado a baixo:

1. Definição dos termos de busca: a palavra-chave definida para busca no banco de dados foi “turbina eólica *offshore*” que deveria estar presente no campo tópico (TS). A nomenclatura utilizada na busca foi selecionada da etapa 1, a revisão bibliográfica. Fez-se a busca com as palavras-chave na língua inglesa (língua utilizada na base), correspondendo a: $TS=(offshore\ wind\ turbine)$. A partir da estratégia de busca foram recuperados 764 documentos publicados de 1998 a 2018. A busca foi realizada na data de 26 de janeiro de 2019.

2. Tratamento dos dados: os 764 documentos foram exportados em arquivo do tipo *txt*, com todos os campos disponibilizados pela base DII (inventor, título, resumo, número da patente, classificação internacional de patentes, etc.). Para que os documentos recuperados pudessem ser tratados e analisados, os mesmos foram importados para o *software* Excel o qual possibilitou a organização e tratamento dos dados brutos, deixando os documentos em um formato mais filtrado e específico, possibilitando uso de ferramentas gráficas e tabelas dinâmicas para organização dos dados e posterior análises.

3. Análises de primeiro nível: nessa etapa, procura-se responder três questões principais: quando, onde e quem, a partir dos primeiros resultados na busca de uma análise prospectiva. O “quando” refere-se a análise da tendência histórica. O “onde” refere-se análise geográfica. E, por fim, o “quem” procura identificar os depositantes da patente (ALENCAR, 2008).

4. Análises de segundo nível: nesta análise, utilizou-se da classificação da patente pela *International Patent Classification* - IPC, de acordo com a classificação dos

componentes tecnológicos normatizados na IPC. Esta consiste no envolvimento dos resultados das primeiras análises com outros parâmetros para aprofundar na compreensão do desenvolvimento tecnológico.

CAPÍTULO 3 – MAPEAMENTO E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA ENERGIA EÓLICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica sobre a prospecção tecnológica e a energia eólica, resultado de uma revisão bibliográfica tradicional e uma revisão bibliográfica sistemática. O capítulo está dividido em 3 seções. A primeira aborda conceitos de prospecção tecnológica, a segunda traz considerações sobre a energia eólica e a terceira seção compreende o estado da arte de estudos prospectivos no contexto da tecnologia eólica.

3.1. PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

O termo prospecção tecnológica designa atividades centradas nas mudanças tecnológicas, capacidade funcional ou no tempo e significado de uma inovação (COELHO, 2003). No inglês, os termos mais frequentemente utilizados para a tradução de prospecção tecnológica são: “*Technological Forecasting*”, “*Technological Foresight*”, “*Technology Roadmap*” e “*Technology Roadmapping*”.

Para Paananen e Mäkinen (2013), *Technological foresight* pretende fornecer informações oportunas sobre as perspectivas de mudança tecnológica. Piirainen, Nygaard e Alkaersig (2017) usam a definição de *Foresight* como um processo sistemático, participativo, multidisciplinar, de coleta de informações e um processo de construção de visão de médio a longo prazo, visando descobrir possíveis caminhos futuros.

Daim, Amer e Brenden (2012), afirmam que o *Technology Roadmap* é utilizado para o planejamento estratégico e tecnológico, sendo conceituado como um dispositivo de planejamento estratégico baseado no futuro que descreve os objetivos, barreiras, estratégias necessárias para alcançar uma visão de avanço tecnológico e penetrações no mercado, sendo uma ferramenta de planejamento de alto nível usada para apoiar o desenvolvimento e a implementação de estratégias e planos.

Na pesquisa de Garde e Patel (1985) *Technological Forecasting* é analisada como uma técnica essencial para obter informações sobre possíveis inovações futuristas, podendo fornecer uma base para planejamento de longo prazo e formulação de políticas nas organizações. Ela é uma resposta parcial, nos últimos 10-15 anos, para o crescente conhecimento e mudança científica. Foi desenvolvido principalmente para prever uma conquista técnica dentro de um período de tempo especificado em um determinado nível de suporte com um determinado nível de confiança.

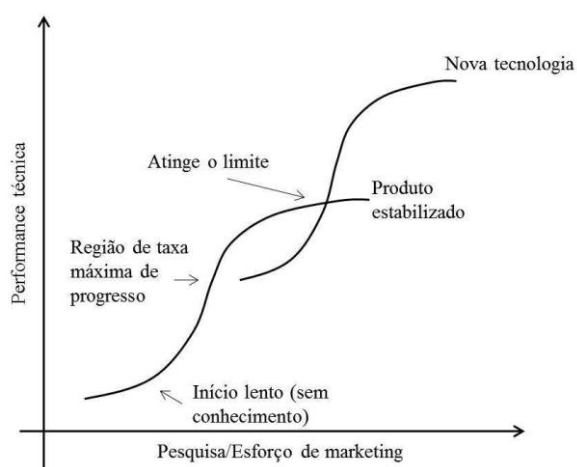
Technological Forecasting, de acordo com Sark (2008), baseia-se na extrapolação de uma tendência histórica para futuro, sendo usada no planejamento de possíveis soluções futuras para problemas socioeconômicos. O modelo *Forecasting* tem sido amplamente aplicado em várias áreas, incluindo os campos de energia, negócios e finanças, de engenharia e campo ambiental (LEE; SHIH, 2011).

A gestão tecnológica precisa de uma prospecção do futuro trazendo uma avaliação de suas perspectivas tecnológicas. Schumpeter (1934) estudou o progresso tecnológico como um elemento fundamental para o desenvolvimento econômico, descrevendo como “Inovação” uma série de novidades que podem ser introduzidas no sistema econômico capazes de alterar as relações entre produtores e consumidores.

O processo de desenvolvimento da tecnologia é constantemente dificultado pela velocidade nos avanços tecnológicos e por seus longos prazos para definição de padrões. Um instrumento que auxilia na identificação de inovações radicais é a curva em S da tecnologia, uma ferramenta introduzida por Foster (1986), que descreve a origem e evolução das inovações tecnologicamente descontínuas ou radicais (FALANI, 2014).

Esta teoria sugere que o desempenho tecnológico de um conjunto de produtos movimente-se ao longo de uma curva em S até suas limitações técnicas causar esforços de pesquisa e, tempo ineficiência de resultados, ocasionando o surgimento de inovações para substituir a tecnologia antiga, formando uma nova curva S, como observado na Figura 3.1 (FALANI, 2014).

Figura 3.1 - Curva S da Tecnologia

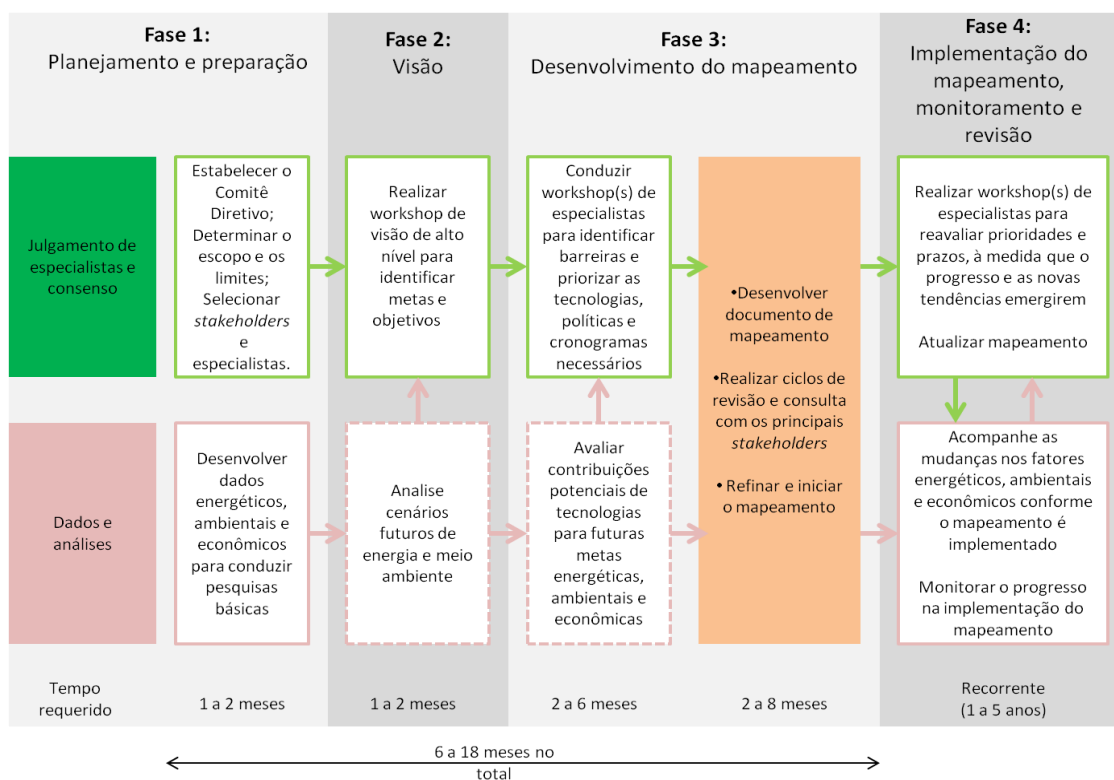


Fonte: Adaptado de Foster (1986).

3.1.1. Estudo Prospectivo

O objetivo geral de um mapeamento da tecnologia é acelerar a implantação de uma tecnologia específica ou grupo de tecnologias. Um mapeamento é simplesmente uma estratégia, um plano descrevendo as etapas a serem tomadas para atingir metas estabelecidas e acordadas em um cronograma definido. Esse define as barreiras técnicas, políticas, legais, financeiras, de mercado e organizacionais que se encontram antes desses objetivos, e o leque de soluções conhecidas para superá-las. Idealmente, um mapeamento será um documento dinâmico, atualizado à medida que o mercado em questão evoluir e incorporando métricas para permitir o monitoramento do progresso em direção aos objetivos declarados (IEA, 2014). A Figura 3.2 mostra o processo geral de desenvolvimento de um mapeamento.

Figura 3.2 - Processo de Mapeamento.



Fonte: Adaptado de IEA, 2014.

Um estudo prospectivo torna-se importante no meio econômico e social, pois é capaz de identificar áreas de pesquisa estratégica e tecnologias emergentes, gerando maiores benefícios à sociedade. Além disso, prevê oportunidades ou ameaças futuras; constrói um futuro, antecipando e entendendo mudanças necessárias; estabelece prioridades e avalia impactos possíveis; promove a circulação de informação e de

conhecimento estratégico para a inovação; e prospecta os impactos das pesquisas atuais e da política tecnológica (TEIXEIRA, 2013).

Para Porter et al. (1991), ao considerar-se um estudo prospectivo, alguns fatores devem ser levados em conta, como: maturidade da ciência e aplicações da tecnologia; limites físicos da taxa de desenvolvimento; sensibilidade do ritmo de inovação para altos níveis de decisão política; relevância para financiamentos de P&D e da difusão, além da área de conhecimento envolvida; abrangência do estudo; e tempo e custo disponível.

Basicamente existem três tipos de classificações para estudos prospectivos de acordo com Kupfer e Tigre (2004), são elas: Monitoramento (*Assessment*), Métodos de Previsão (*Forecasting*), Métodos de Visão (*Foresight*). O Monitoramento consiste no acompanhamento da evolução dos fatos e na identificação dos fatores portadores de mudanças, realizados de forma sistemática e contínua. Já os Métodos de Previsão é uma abordagem de caráter mais determinista, em que o futuro é visto como a extrapolação do passado, baseadas em informações históricas e modelagem de tendências, por meio de uma previsão probabilística. Métodos de Visão é um método qualitativo que consiste na antecipação de possibilidades futuras alternativas a partir da conjugação de forças do presente e do passado baseado em percepções de especialistas com construções subjetivas e interação não estruturada.

A prospecção tecnológica também pode ser classificada de acordo com seu prazo, podendo ser de curto, médio ou longo. As de curto e médio prazos podem ser bastante úteis às organizações e de particular importância para as empresas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), enquanto que as de longo prazo, servem para uma avaliação mais ampla das mudanças sociais, políticas, econômicas e tecnológicas (COELHO, 2003; TEIXEIRA, 2013).

Mayerhoff (2008) afirma que estudos de prospecção tecnológica constituem em quatro fases distintas: Preparatória, Pré-prospectiva, Prospectiva e Pós-prospectiva. A primeira fase, chamada Preparatória, constitui na definição de objetivos, escopo, abordagem e o método utilizado durante a prospecção. Na segunda, Pré-prospectiva, realiza-se o detalhamento do método e o levantamento da fonte de dados. A terceira fase, a Prospectiva, é marcada pela coleta, tratamento e análise dos dados obtidos durante a fase anterior. E a última etapa, a Pós-prospectiva, inclui a comunicação dos resultados, bem como a implementação das ações e o monitoramento.

3.1.2. Métodos Prospectivos

A literatura menciona nove famílias de métodos prospectivos. Esses podem ser quantitativos ou qualitativos. São classificados como quantitativos aqueles que usam dados e históricos confiáveis, por exemplo, busca de patentes. Os métodos qualitativos baseiam-se em preferências e conhecimentos de especialistas, como o método Delphi. As nove famílias comumente mencionadas são criatividade, métodos descritivos e matrizes, métodos estatísticos, opinião de especialistas, monitoramento e sistemas de inteligência, modelagem e simulação, cenários, análises de tendências, e sistemas de avaliação e decisão (COELHO, 2003; FALANI, 2014; KUPFER; TIGRE, 2004; SAMPAIO, 2015; TEIXEIRA, 2013).

Nesse trabalho utilizou-se como método prospectivo a análise de patentes. Essa classifica-se em duas das nove famílias existentes, a saber: monitoramento e sistemas de inteligência e métodos estatísticos (aplicado nessa pesquisa).

Métodos estatísticos procuram identificar e medir o efeito de uma ou mais variáveis independentes importantes sobre o comportamento futuro de uma variável dependente. O procedimento padrão é testar modelos simples de ajuste (linear, exponencial, quadrado ou cúbico) para a variável dependente, procurando definir os parâmetros do modelo de modo que o erro residual seja mínimo (FALANI, 2014; SAMPAIO, 2015; SAMPAIO et al., 2018).

Opinião de especialistas é um método de pesquisa, baseado na informação e lógica de indivíduos, conforme suas crenças e imaginação, com extrema familiaridade no tema em questão. A escolha daqueles que irão participar do estudo é muito importante. Neste caso, os participantes podem ser generalistas com uma gama de interesses e percepções da área, especialistas com conhecimento particular e profundo em campos específicos, assim como pessoas com uma posição que possa afetar a área ou tecnologia em estudo (COELHO, 2003; FALANI, 2014; SAMPAIO, 2015; TEIXEIRA, 2013).

O método deve ser usado sempre que a informação não puder ser quantificada ou quando os dados históricos não estão disponíveis ou não são aplicáveis. Mesmo quando existem dados históricos, tal método deve ser usado como uma forma de complementar as informações obtidas garantindo a qualidade da prospecção. Uma limitação do método é o fato de poder haver divergências entre especialistas da mesma área (COELHO, 2003; FALANI, 2014; SAMPAIO, 2015; TEIXEIRA, 2013).

3.2. ENERGIA EÓLICA

3.2.1. Geração da energia eólica

O vento, fonte do sistema de energia eólica, é o movimento do ar na atmosfera terrestre. Este movimento é gerado pela circulação do ar das superfícies frias dos polos em direção ao Equador, que possui superfícies aquecidas, substituindo esse ar quente tropical, o qual se desloca para os polos (LOPEZ, 2012).

Este recurso vem sendo usado como fonte de energia por mais de 1500 anos (BEURSKENS, 2014). Historicamente, as pessoas utilizavam a força do vento na propulsão de navios a velas, em moinhos para triturar grãos e também para bombear água. Pode-se dividir a história da energia eólica em quatro períodos de sobreposição. De 600 a 1890 existiam moinhos clássicos para unidades mecânicas. Esse período terminou após a descoberta da máquina a vapor e devido à disponibilidade pronta de madeira e carvão. Entre 1890 e 1930, a eletricidade entrou em uso e os moinhos de vento gradualmente se tornaram turbinas eólicas, conectando o rotor a um gerador elétrico, capaz de transformar a energia cinética do vento em energia mecânica, fornecida pelo eixo principal da turbina e posteriormente em energia elétrica, por meio de um gerador. A fase de desenvolvimento ficou estagnado devido ao óleo fóssil ter preço mais acessível (HANSEN, 2008; BEURSKENS, 2014). A potência P (W) fornecida pelo vento é dada pela Equação 1.

$$P = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}\rho Av_0^3 \quad (1)$$

Onde:

m é a massa do ar (kg);

v_0 é a velocidade do vento (m/s^2);

ρ é a densidade do ar (kg/m^3);

A é a área da seção transversal que é ultrapassada pelo vento (m^2).

A equação para a potência máxima disponível é importante, pois possibilita quantificar seu valor conhecendo a velocidade do vento e área transversal de passagem do vento. Se o vento duplicar seu valor de velocidade, a potência aumenta em 8 vezes (HANSEN, 2008; CUSTÓDIO, 2013).

No caso de uma turbina eólica de eixo horizontal, a área varrida por suas pás é a própria área transversal A . Com isso, essa área é dada pela Equação 2, que trata da área varrida pelo ar.

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2)$$

Onde:

A é a área varrida pelo rotor (m^2);

D é o diâmetro da pá (m).

Analisando as equações 1 e 2, conclui-se que quando a velocidade do vento for constante, a potência do vento é proporcional ao quadrado do diâmetro das pás de uma turbina eólica de eixo horizontal. Também é importante ressaltar que a densidade do ar, ρ , depende da altitude e da temperatura ambiente (PINTO, 2013; CUSTÓDIO, 2013).

A estimativa de geração de energia para uma área específica pode ser definida a partir das características do regime local do vento. Para isso, são utilizadas informações provenientes das curvas de potência da turbina eólica e da distribuição de Weibull, considerada como a mais adequada dentre as várias distribuições probabilísticas para descrever o regime dos ventos (CASTRO, 2003).

Outra característica que influencia na produção da energia eólica é a rugosidade da superfície onde serão instaladas as turbinas. O nível de irregularidade de uma superfície desempenha um importante fator para um melhor aproveitamento do recurso dos ventos, determinando qual área é mais ou menos indicada para a geração dessa energia. A Tabela 3.1 exibe a classificação da superfície quanto à rugosidade.

Tabela 3.1 - Classificação da rugosidade da superfície de alguns tipos de superfície.

Rugosidade $Z_0 (m)$	Descrição da superfície
1	Cidade, Floresta
0,50	Subúrbios
0,30	Plantação de proteção (quebra vento)
0,20	Muitas árvores e arbustos
0,10	Terras agrícolas com aparência fechada
0,05	Terras agrícolas com aparência aberta
0,03	Terras agrícolas com poucas construções e árvores, áreas de aeroporto com construções e árvores
0,01	Áreas de pista de decolagem, grama cortada
$5 \cdot 10^{-3}$	Solo descoberto
10^{-3}	Superfícies de neve planas
$3 \cdot 10^{-4}$	Superfícies de areia planas
10^{-4}	Áreas de água (lagos, fiorde, mar aberto)

Fonte: Adaptado de Troen e Petersen, 1989.

Analisando a Tabela 3.1, nota-se que a superfície de lagos e mares possuem baixa rugosidade, quando comparadas com áreas urbanas, por exemplo, caracterizando mais uma vantagem em parques eólicos *offshore*.

As localidades *offshore* também possuem da vantagem de ter maior velocidade e estabilidade de vento do que em terra (NEEDS, 2008). Esta velocidade do vento estável e superior leva a uma maior produção de energia no mar, conforme demonstra a Tabela 3.2, e a uma vida útil mais longa da turbina, devido a menores turbulências. Também, as turbinas eólicas *offshore* modernas podem ser monitoradas e controladas remotamente, o que oferece vantagens exclusivas ao regular a potência de saída (NEEDS, 2008).

Tabela 3.2 - Comparação da produção de energia *offshore* e *onshore*.

Tipo de Turbina Eólica	Usina	Carga total horas/anos	Produção [MWh/ano]
2 MW <i>Offshore</i>	Horns Rev (DK)	4.044	8.088
2 MW <i>Onshore</i>	Tjaereborg (DK)	2.817	5.634

Fonte: Adaptado de NEEDS, 2008.

3.2.2. Tecnologias das turbinas eólicas

A primeira fase marcada por inovações na tecnologia eólica ocorreu no período de 1930 a 1960, trazendo diferentes tecnologias apresentadas no Quadro 3.1. A necessidade de eletrificar as áreas rurais e a escassez de energia durante a Segunda Guerra Mundial estimularam novos desenvolvimentos, como avanços na aerodinâmica. Esta etapa ficou estagnada por causa do gás e óleo fósseis serem mais econômicos. A partir de 1973, iniciou-se a segunda fase de inovação e produção em massa, assegurando um avanço comercial devido ao aumento significativo do preço do petróleo e os problemas ambientais (BEURSKENS, 2014).

Quadro 3.1 - Inovação e desenvolvimento de turbinas eólicas de 1930 a 1960.

Descrição	Inventor	País	Aplicação hoje
Máquina de alta velocidade: rotor com três pás	Smidth (1942)	-	Sim
	Jacobs (1932)	Estados Unidos	Sim
Máquina de alta velocidade: rotor com duas pás	Smidth (1942)	Dinamarca	Sim
Controle de <i>stall</i> : rotor com três pás	Smidth	Dinamarca	Sim, turbinas de médio porte
Controle completo da configuração do ângulo da pá suportado pela pá auxiliar	Juul	-	-

Controle de <i>stall</i> : rotor com duas pás	Smidth (1942)	Dinamarca	Sim, tamanho limitado
Rotor de uma única pá	Bauer (1945)	Alemanha	Sim, limitado
Configuração completa do ângulo da pá ativa	John Brown	Reino Unido	Sim
	Neyrpic-Vadot (1962–64)	França	Sim
Controle completo da configuração do ângulo da pá suportado pela pá auxiliar	ZAGI	União Soviética (1930)	Não
	WIME	União Soviética (1932)	Não
Rotor de Flettner em navios	Flettner (1925)	Alemanha	Não
Rotor de Flettner em trilhos	Madaras (1932)	Estados Unidos	Não
Rotor de contra-rotação	Honnef (1940)	Alemanha	Não
Introdução de plástico com fibra de vidro nas pás do rotor	Hütter	Alemanha	Sim
> 1 MW de potência nominal, rotor com 4 pás	MAN-Kleinhenz (1942)	Alemanha	Não
> 1 MW de potência nominal, rotor com 2 pás	Smith-Putnam (1.25MW, em 1945)	Estados Unidos	Sim
> 1 MW de potência nominal, rotor com 3 pás	Neyrpic-Vadot (1MW, por volta de 1960)	França	Sim
Multirotor	Honnef (1932)	Dinamarca	Sim, tamanho fortemente limitado
Rotor de eixo vertical	Darrieus (Patente em 1930)	França	Sim, tamanho limitado
Polia	Kleinhenz (1942)	Alemanha	Sim, tamanho limitado
Torre de concreto	Smidth	Dinamarca	Sim
Rotor funciona como bomba centrífuga; Gera fluxo para o gerador acionado por turbina de ar; Rotor com duas pás.	Andreau Enfield	França; Reino Unido.	Não
Rotor funciona como bomba centrífuga; Gera fluxo para o gerador acionado por turbina de ar;	Hütter	Alemanha	Não

Fonte: Adaptado de Beurskens, 2014.

Como a Dinamarca não possuía seus próprios combustíveis fósseis, a energia eólica era uma das poucas formas de gerar energia, motivo pelo qual o país se destacou no desenvolvimento de tecnologias para esse fim. Smidth lançou projetos com rotores de

duas pás e ângulo de ataque fixo. Após problemas com as propriedades dinâmicas dos rotores de duas pás, Smidth introduziu um rotor maior com diâmetro de 24 m (potência nominal 70kW). Foi Juul quem usou o conceito de três pás de Smidth para construir uma versão de 200 kW com diâmetro de 24 m em Gedser, Dinamarca. A turbina eólica Gedser (Figura 3.3) tornou-se a "turbina eólica dinamarquesa" modelo padrão de uma geração de turbinas eólicas muito bem sucedidas após a crise de energia de 1973 (BEURSKENS, 2014).

As primeiras grandes turbinas eólicas foram postas em operação em 1979 (Nibe 1 e 2 na Dinamarca) e a última turbina eólica puramente experimental, não comercialmente operada, foi concluída em 1973. A Tabela 3.3 fornece uma visão geral de uma seleção dessas turbinas eólicas. Os protótipos comerciais também são mostrados. As turbinas eólicas mais bem sucedidas no início não eram os modelos mais avançados e de rápido funcionamento, mas sim aqueles que possuíam muitas características do conhecido "conceito dinamarquês". Este conceito foi baseado no modelo da turbina eólica Gedser (BEURSKENS, 2014).

Figura 3.3 - Turbina eólica Gedser.



Fonte: Beurskens, 2014.

Tabela 3.3 - Primeiras grandes turbinas eólicas europeias.

Turbinas Eólicas	Diâmetro do rotor (m)	Capacidade Nominal (MW)	Ano de início	Sucesso Comercial
Programa europeu WEGA I				
Tjæreborg (Dinamarca)	61	2	1989	Não
Richborough (Reino Unido)	55	2	1989	Não
AWEC-60 (Espanha)	60	1,2	1989	Não
Programa europeu WEGA II				
Bonus (Dinamarca)	54	1	1996	Sim
ENERCON E-66 (Alemanha)	66	1,5	1996	Sim
Nordic (Suécia)	53	1	1996	Não
Vestas V63	63	1,5	1996	Sim
WEG MS4	41	0,6	1996	Não
Programa de apresentação europeia THERMIE				
Aeolus II (Alemanha e Suécia)	80	3	1993	Não
Monopteros	56	0,64	1990	Não
NEWECs 45 (Holanda)	45	1	1991	Não
WKA-60 (Alemanha)	60	1	1989	Não
NEG-MICON (Dinamarca)	60	1,5	1995	Sim
NedWind (Holanda)	53	1	1994	Sim

Fonte: Adaptado de Beurskens, 2014.

Apesar da necessidade de reforçar as políticas nacionais e internacionais e de acelerar a implantação da energia eólica, é evidente que o interesse global pelo investimento em energia eólica é significativo, e muitos projetos de novas turbinas com maior capacidade nominal estão em desenvolvimento (WWEA, 2015).

Diferentes tecnologias de aerogeradores têm sido desenvolvidas nas últimas décadas, podendo haver componentes e/ou subcomponentes específicos, assim como diferenças em suas disposições no aerogerador. As diferentes tecnologias de aerogerador podem ser classificadas quanto sua velocidade de rotação (fixa, variável limitada, variável), regulagem de força ou mecanismo de controle (controle estol ou *stall*, controle de estol ativo, controle de passo ou *pitch*), trem de acionamento ou *drive train* (com caixa de engrenagem ou multiplicadora, sem caixa de engrenagem ou acionamento direto) e tipo de gerador (gerador assíncrono ou de indução, gerador síncrono ou alternador) (UPWIND, 2007; ABDI, 2014).

3.2.3. Tecnologia eólica *offshore*

Os aerogeradores *offshore* surgiram de uma adaptação dos *onshore*, porém com o passar do tempo, esses passaram a ter projetos de desenvolvimento específicos, principalmente no que tange às características relacionadas ao seu ambiente de instalação,

operação, manutenção e descomissionamento. Uma das principais diferenças entre os aerogeradores *offshore* e *onshore* são suas dimensões, sendo os aerogeradores *offshore* maiores. O tratamento superficial dos componentes é outra característica relevante, necessitando um aerogerador *offshore* de um tratamento que possibilite uma maior durabilidade e confiabilidade devido à salinidade, por exemplo (FOWIND, 2016).

Hoje, o conceito básico da tecnologia de energia eólica *offshore* é geralmente o mesmo de um fabricante ao outro, no entanto, existem tecnologias de design diferentes e a escolha de uma tecnologia específica no projeto atual dependerá de sua eficiência, confiabilidade e custos (NEEDS, 2008). Os principais elementos pertencentes a um aerogerador podem ser divididos basicamente em cinco componentes, detalhados no Quadro 3.2. Na Figura 3.4, pode-se identificar alguns dos principais componentes de um aerogerador *offshore*.

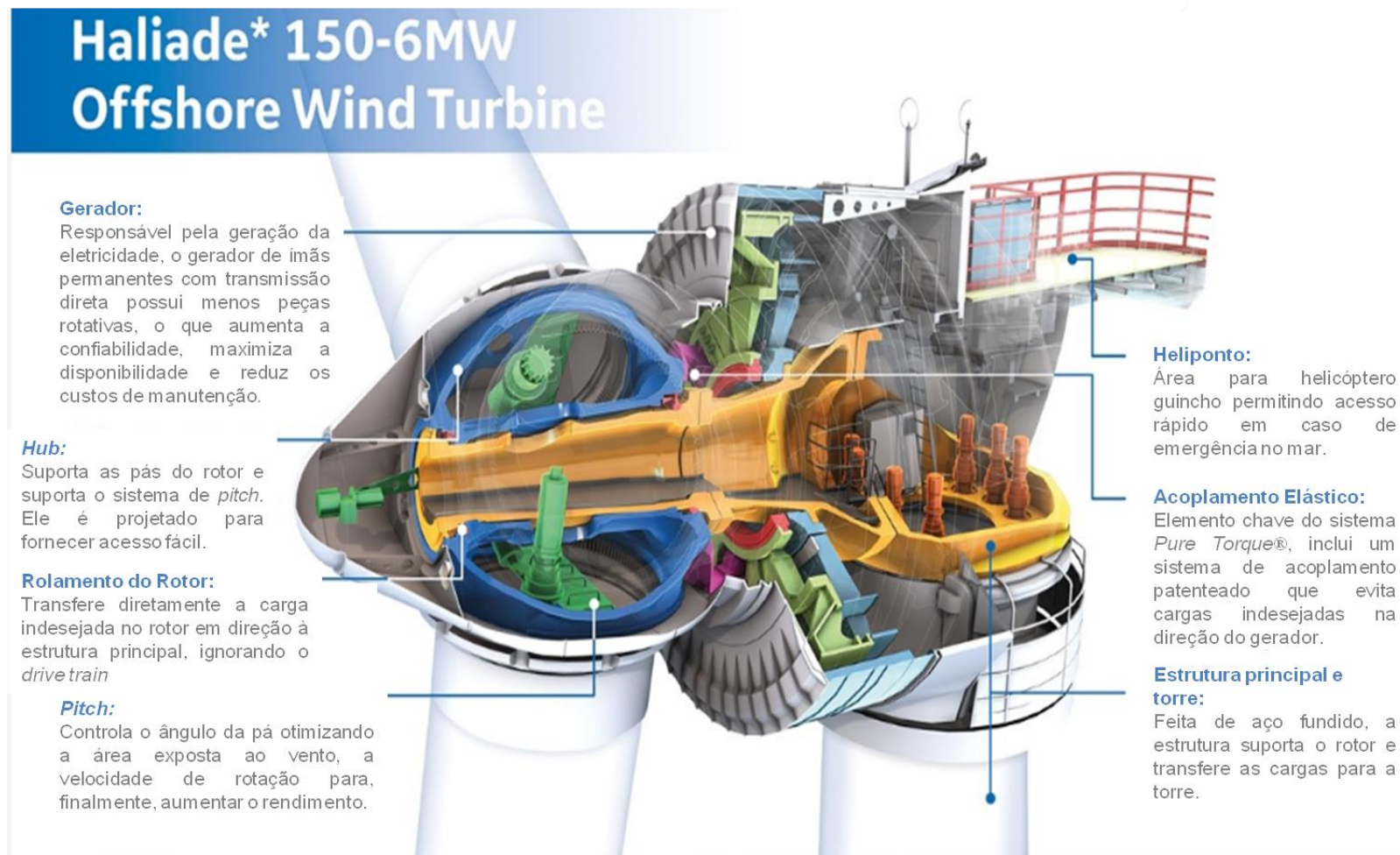
Quadro 3.2 - Componentes e subcomponentes de um aerogerador *offshore*.

Componente	Subcomponente	Função
Rotor	Pá	Converte a energia do ar em torque de rotação no eixo principal
	Suporte da pá	Suporta as pás por meio de buchas feitas de uma liga de aço cromo com uma rosca interna, embutidas na raiz da pá
	Sistema <i>pitch</i>	Ajusta o ângulo de inclinação das pás do rotor
	<i>Hub</i> /Cubo do rotor	Canaliza a energia de rotação do vento para o sistema de transmissão
	Cone do rotor	Liga as pás ao eixo de baixa velocidade da turbina eólica
	Parafusos	Elemento de fixação de duas ou mais superfícies
Torre	Estrutura torre	Sustenta o rotor e a nacela à altura desejada
	Elementos para junção e fixação	Conecta seções, fornecendo maior confiabilidade à torre
	Elevador	Aumentam a segurança dos trabalhadores, a produtividade e eficácia, diminuindo os tempos de subida e descida de empregados e ferramentas à nacela
	Parafusos	Elemento de fixação de duas ou mais superfícies
Nacela	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 nacela devido à altura
	<i>Gearbox</i> /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
	Carcaça	Serve de estrutura na qual são montados os componentes
	Sistema de orientação – <i>Yaw</i>	Posiciona o rotor da turbina para o vento
	Tomada de força/ <i>Power take-off</i>	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 <i>Yaw</i>	Peça central que liga a torre à nacela
	Sistema auxiliar da Nacela	Ventila equipamentos do gerador e da nacela
	Parafusos	Elemento de fixação de duas ou mais superfícies
	Sistemas de monitoramento de condição	Permitem a detecção precoce de falhas
Conversor de Energia	Gerador	Transforma a energia mecânica fornecida pelo eixo principal da turbina em energia elétrica
	Conversor	Controla e otimiza a energia gerada e injetada na rede através da velocidade do gerador para que a tensão tenha uma frequência constante
	Transformador	Elevar a tensão enviada pelo gerador a um nível que possa ser entregue a subestação, como também baixar a tensão de rede a um valor que possa ser utilizado pelos equipamentos na nacela
Fundações	As fundações são estruturas responsáveis por transmitir as cargas da estrutura às camadas do solo sem provocar ruptura do terreno de fundação. A escolha do tipo de fundação a ser utilizado ocorre em função da intensidade da carga e da profundidade da camada do solo	

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 3.4 - Aerogerador Haliade 150-6MW.



Fonte: Adaptado de GE RENEWABLE ENERGY, 2018.

Em 1991, o primeiro parque eólico comercial *offshore* foi construído a 2,5 km da costa de Vindeby, na Dinamarca. Com uma capacidade total de 4,95 MW, compreende 11 turbinas eólicas Bonus de 450kW cada. O segundo parque eólico dinamarquês entrou em operação em 1995, em Tuno Knob. Tem uma capacidade total de 5 MW e é composto por 10 turbinas eólicas Vestas de 500kW cada. Ambos os parques eólicos foram construídos em águas protegidas e planas. O primeiro parque eólico *offshore* perto de Copenhague, Middelgrunden, construído com a ajuda de arquitetos paisagistas e tem uma capacidade total de 40 MW. Compreende 20 turbinas eólicas Bonus com capacidade de 2 MW cada, estão dispostas em uma curva e a uma profundidade de água compreendida entre 5 e 10 metros (BEURSKENS, 2014; HAU, 2005; WINDEUROPE, 2018; NEEDS, 2008).

Em 2002 houve a construção do parque eólico *Offshore* de Horns, conforme apresenta a Figura 3.5. A capacidade instalada foi de 160MW. A usina compreendeu 80 turbinas eólicas de 2 MW cada, situando-se entre 14 e 17 km da costa a uma profundidade de 6-14 m de água. Em meados de 2012, haviam sido instaladas usinas eólicas pelo mundo somando uma capacidade total de 4100 MW (BEURSKENS, 2014; WINDEUROPE, 2018; NEEDS, 2008). Estas foram instaladas nos países: Dinamarca, Suécia, Holanda, Reino Unido, Irlanda, Bélgica, Alemanha e China.

Figura 3.5 - Parque eólico *offshore* Horns REV no Mar do Norte em Esbjerg, Dinamarca.



Fonte: Beurskens, 2014.

As turbinas com 2 a 5 MW de potência têm pás com 50 a 60 m de comprimento, enquanto os novos modelos de 6 MW, exigem pás na faixa de aproximadamente 70 m. Em 2016, a maior pá implantada era de 83,5 m pela Samsung, gerando até 7 MW (FOWIND, 2016). A Tabela 3.4 mostra a relação entre potência e tamanho da pá ou diâmetro para diversos fabricantes.

Tabela 3.4 - Principais aerogeradores *offshore*.

Empresa	Nome	Potência	Pá	Diâmetro
Samsung	S7.0	7MW	85m	
MHI	MHI SeaAngel	7MW		167m
MHI Vestas	V164	8 a 10 MW	80m	164m
Adwen	AD-180	8MW	88,4m	180m
Siemens-Gamesa	SWT-8.0-154	8MW		154m
Enercon	E-126	7.5MW		127m
Ming Yang	SCD (2 pás)	6.0MW		140m
Obs.: Projeto lançado em 2014 SCD 8MW e 168m de diâmetro				
Senvion	Senvion 6.2M152	6.15MW		152m
GE	Haliade 6MW	6MW		150.8m
Sinovel	SL600	6MW		155m
Hyunday	Dongfang	5.5MW	68m	
Adwen	AD5-135	5MW		135m
Alstom	Haliade 150	6MW	73m	

Fonte: Elaboração própria a partir de Wind Power Monthly, 2017; Portal Energia, 2015.

A potência nominal, o diâmetro do rotor e a altura média das turbinas eólicas aumentaram constantemente ao longo dos anos. Espera-se que essa tendência continue à medida que máquinas maiores e mais eficientes forem desenvolvidas para a indústria *offshore*, capazes de extrair a maior parte da energia.

Uma pesquisa, *survey*, realizada pela GWEC (2016) com especialistas, sobre os custos futuros de energia eólica reforça as tendências que os custos médios de eletricidade poderiam diminuir em 35% para a energia eólica *offshore* e 26% para a energia eólica *onshore* até 2025, à medida que a indústria amadureça. O estudo identificou cinco fatores principais para a redução de custos: investimento, despesas operacionais, desempenho das turbinas e vida útil do projeto.

O tamanho de turbina maior, diâmetros de rotor maiores e alturas de cubo mais altas são fatores-chave, mas a melhoria da operação, localização e melhores condições financeiras para os projetos eólicos também desempenham um papel importante para a redução de custos.

À medida que as turbinas eólicas crescem em capacidade, o tamanho da torre e das pás aumenta proporcionalmente. Para essa realidade é necessário que os fabricantes

considerem o peso dos componentes do rotor e da nacelle o mais baixo possível. Isso significa que novos materiais e novos métodos de fabricação são necessários para projetar e fabricar máquinas de maior potência, mais resistentes, com maiores dimensões e mais leves (NEEDS, 2008; FALANI, 2014).

O aumento do comprimento da pá resulta em maiores cargas no aerogerador, exigindo avanços na tecnologia de materiais para manter a massa das pás em conjunto com o design da turbina. Devido ao alto custo de transporte e custos de fabricação, existem pás modulares, essas são montadas apenas no local. O material de fabricação das pás é um compósito com matriz de poliéster ou epóxi, reforçada com vidro ou carbono (FOWIND, 2016).

As fibras de carbono têm a vantagem de fornecer uma estrutura da pá muito rígida combinada com um peso relativamente baixo em comparação com as fibras de vidro. As fibras de vidro, por outro lado, têm menores preços e, portanto, é o material mais usado para a fabricação de pás. De acordo com Needs (2008) até 2025, espera-se que a competição reduza o preço da fibra de carbono, o que tornará este material predominante para essa fabricação.

Na Europa, a capacidade média anual das novas turbinas *offshore* em construção foi de 4,8 MW, 15% acima de 2015 e 62% maior que uma década atrás. A MHI Vestas, a Siemens-Gamesa, a GE e a Adwen tinham turbinas de 8 MW no mercado ou quase comercializadas até o final do ano de 2016. No início de 2017, MHI Vestas *Offshore* Wind revelou que sua turbina de 8 MW poderia atingir uma potência nominal de até 10 MW. A área varrida dessa turbina é maior do que a roda gigante London Eye que possui um diâmetro de 120 m (REN21, 2017).

De acordo como NEEDS (2008), há um entendimento geral entre especialistas e fabricantes de que os futuros tamanhos de turbinas eólicas continuarão a aumentar. Ainda, de acordo com a previsão feita pela IEA, deverão existir turbinas com potência de 20 MW até 2030.

À medida que a ciência dos materiais continua avançando, grandes máquinas *offshore* serão projetadas. Provavelmente não demorará muito para que se tenham máquinas de 10, 12 e 15 MW. A partir dos materiais existentes, máquinas de até 20 MW poderiam ser construídas, embora essas turbinas ainda não sejam econômicas (GWEC, 2016).

Como já mencionado, espera-se que as turbinas eólicas se tornem maiores, embora a logística de lidar com essas grandes unidades em terra já tenha se tornado

bastante difícil. Hoje, o tamanho das turbinas para novos parques eólicos é muitas vezes limitado pelas características das estradas para o seu transporte. Portanto, essas grandes dimensões significam que os fabricantes enfrentam desafios físicos e logísticos, que exigem inovações tecnológicas, como o uso de materiais leves e resistentes para reduzir o peso total da turbina, diminuindo os custos de produção e transporte e permitindo fácil instalação. Isso também pode levar à redução dos custos de fundação (NEEDS, 2008).

A disponibilidade da nova gama de máquinas de 7 e 8 MW, é uma das razões para as recentes reduções nos preços das propostas para a energia eólica *offshore*, pois quanto maior e mais potente for a máquina, menos estruturas de suporte serão necessárias, reduzindo assim o custo de energia (GWEC, 2016).

Vários fatores específicos de *sites*, incluindo profundidade de água, condições do solo, tamanho da turbina e força das ondas ditam a escolha da base. O *monopile* é a tecnologia mais simples e barata, mas passa a ter limitações com profundidades da água acima de 40 m, principalmente para as maiores turbinas eólicas (6 a 10 MW). *Jackets* são usados para locais mais profundos com turbinas maiores. Fundações de concreto de base gravitacional são usadas onde as condições do solo tornam o empilhamento difícil (FOWIND, 2016).

Embora a maioria das turbinas instaladas na Europa em 2016 terem permanecido *monopiles* (88%), seguidas de *jackets* (12%), outras alternativas de fundações estão em demonstração e desenvolvimento. A Siemens-Gamesa, por exemplo, está desenvolvendo um conceito híbrido de gravidade. A indústria também continuou a desenvolver turbinas flutuantes (ancoradas por sistemas de amarração), adaptadas de plataformas de perfuração de petróleo e gás profundo (REN21, 2017).

A Siemens-Gamesa foi o principal fornecedor de turbinas *offshore* em 2016, representando quase 67% da capacidade adicional, seguido pela Sewind (China, 24,6%). Considerando todas as capacidades operando globalmente até o final do ano, a Siemens e a MHI Vestas combinadas forneceram quase três quartos do total. A empresa Orsted (Dinamarca), antiga Dong Energy, desenvolveu e construiu o maior portfólio de parques, representando mais de 16% das instalações cumulativas da costa da Europa (REN21, 2017).

A Orsted Energy possui a tecnologia de um radar '*Dual Doppler*'. Esse é capaz de mapear o recurso eólico através de uma faixa inteira de oceano, permitindo a otimização do projeto, localização e operação de parques eólicos *offshore*, reduzindo o

desgaste e fornecendo uma fonte de previsão de curto prazo para a produção da energia (GWEC, 2016).

Uma estratégia de instalação, operação e manutenção que pode ser preferida na montagem de uma turbina *offshore* é o rotor ser pré-montado no porto antes do carregamento para a instalação, e não como componentes individuais, processo comumente utilizado. Além disso, a torre pode montada no porto para que apenas um único elevador *offshore* seja necessário (NREL, 2013).

Outro detalhe que deve ser observado é o transporte da tripulação. Estudo da NREL (2013) verificou que uma melhora no barco de trabalho para transferência dessa equipe reduziria o período de espera de embarque da tripulação causado pelas condições climáticas, como por exemplo, a agitação do mar. Isso torna esse transporte permitido em condições a partir de uma altura de onda significativa de 0,9 m a 1,5 m (NREL, 2013).

Com as instalações de energia eólica no mar, o preço das turbinas, assim como o custo de operação e manutenção (O&M) aumentaram e, portanto, as turbinas *offshore* precisam ser mais confiáveis do que suas contrapartes *onshore*. Portanto, as turbinas são equipadas com sistemas de monitoramento que detectam quaisquer eventos incomuns e os reportam ao centro de controle por meio de um *link* sem fio. Esses alertas antecipados de uma falha iminente permitem que medidas corretivas sejam tomadas e, na maioria dos casos, evitam a falha completa (NEEDS, 2008).

Maior confiabilidade, disponibilidade e custo reduzido em O&M são particularmente importantes para o desenvolvimento *offshore*, já que o acesso pode ser difícil e caro. Dado seu estado anterior de desenvolvimento, a energia eólica *offshore* provavelmente sofrerá reduções mais rápidas nos custos. As fundações e a conexão de rede compreendem uma parcela maior do custo total de investimento (IEA, 2013).

Com forte apoio em alguns países, a energia eólica *offshore* progride significativamente até 2018, devendo chegar a 28 GW e fornecer 76 TWh de eletricidade globalmente. Mas a sua viabilidade no médio prazo depende, em última instância, da solução de desafios técnicos e financeiros (IEA, 2013).

O financiamento de projetos é particularmente desafiador no setor eólico *offshore*, que ainda enfrenta altos riscos tecnológicos e de construção. A principal restrição para a elevação de investimentos é a crescente escala e complexidade dos projetos inovadores, mas também há falta de capital para atender às crescentes necessidades do setor. O apoio financeiro é, portanto, de importância crucial. Podem ser

necessárias medidas específicas para financiar o setor *offshore* e evitar atrasos específicos em iniciar os projetos e obter financiamento (IEA, 2013).

Esse movimento em direção aos leilões, combinado com a rápida queda dos preços das grandes capacidades de projeto que estão sendo leiloadas, cria desafios para os desenvolvedores de projetos individuais ou menores garantirem financiamento atrativo de longo prazo nos mercados europeus. Nestes mercados, as receitas dependerão da produção global de energia e do preço vigente da eletricidade no mercado (FOWIND, 2017).

Os projetos eólicos *offshore* são investimentos de longo prazo e intensivos em capital. Além disso, a construção de parques eólicos *offshore* exige o desenvolvimento coordenado de diversos fluxos de trabalho diversificados e complexos. O desenvolvedor do projeto deve trabalhar diretamente com várias partes interessadas, desde o contratado da instalação e construção, as seguradoras e as autoridades portuárias, as concessionárias aos reguladores do setor de energia (FOWIND, 2017). A Figura 3.6 mostra alguns dos elementos importantes necessários para desenvolver com sucesso um parque eólico *offshore* para operação (FOWIND, 2017).

Figura 3.6 - Elementos da cadeia de valor.



Fonte: Adaptado de FOWIND, 2017.

Como exposto na Figura 3.6 a cadeia de valor eólica *offshore* tem seis áreas de grande importância: subestação, fundações, redes elétricas, transporte e instalação de equipamentos, fabricação e fornecimento. Cada item da lista está associado a interfaces complexas, riscos, saúde e segurança, mão de obra especializada e considerações ambientais. Essas implicações e interações devem ser cuidadosamente avaliadas durante o desenvolvimento do projeto (FOWIND, 2017).

A prospecção do *mix* de geração de eletricidade a longo prazo é um exercício útil para muitas partes interessadas. Os acadêmicos e a indústria privada usam a modelagem de longo prazo para entender melhor o crescimento de diferentes tecnologias de geração e, portanto, para impulsionar os planos de investimento (FOWIND, 2017). A Figura 3.7 mostra as adições de capacidade eólica *offshore* até 2050 em 10 regiões. Prevê-se que a capacidade global em alto mar exceda 2000 GW até 2050. A Tabela 3.5 mostra a meta para capacidade instalada e/ou geração de energia eólica *offshore* por país até 2030.

Figura 3.7 - Prospecção da capacidade eólica *offshore* por região.

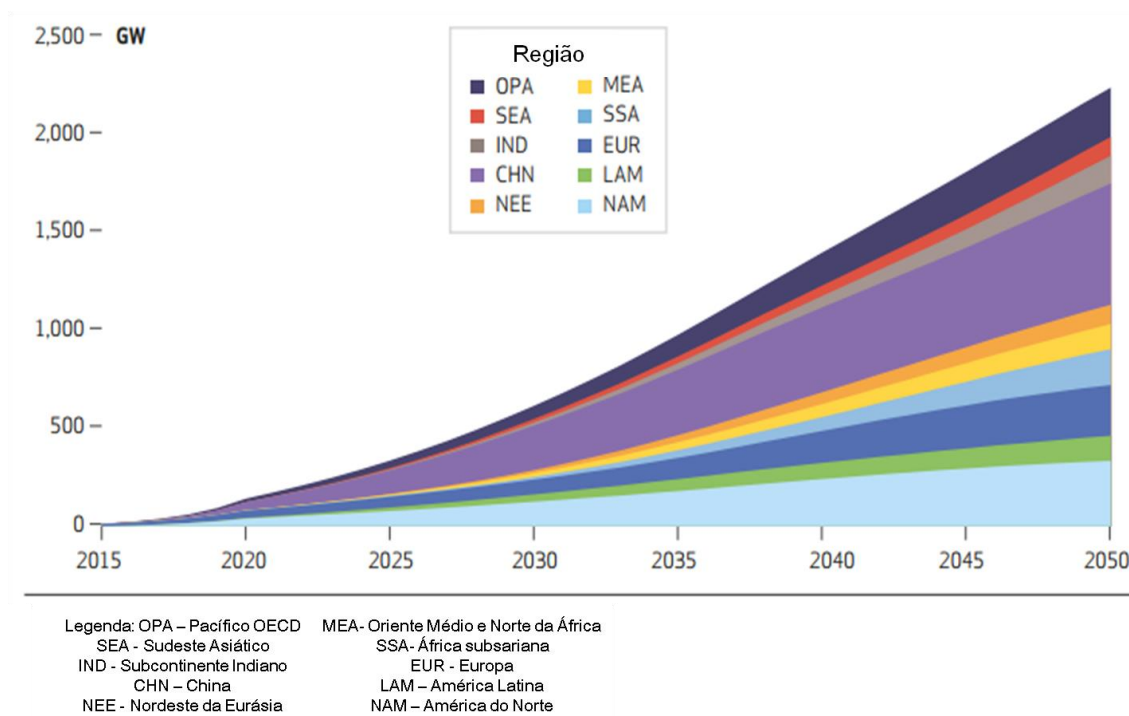


Tabela 3.5 - Meta para capacidade instalada e/ou geração de energia eólica *offshore* por país.

País	Capacidade instalada e/ou geração
China	5GW até 2020
Taiwan	520 MW até 2020 2 GW até 2025 4 GW até 2030
França	6 GW até 2020
Alemanha	6,5 GW adicionados até 2020
Itália	680 MW até 2020
República da Coreia	2,5 GW até 2019
Polandia	1 GW até 2020
Portugal	27 MW até 2020
Espanha	750 MW até 2020
Reino Unido	39 GW até 2030
Estados Unidos - Massachusetts	1,6 GW até 2027

Fonte: Adaptado de REN 21, 2017.

Com base nos parques eólicos *offshore* existentes e os resultados dos estudos de previsão, presume-se que o número de turbinas por parque eólico permanecerá em aproximadamente 60 turbinas em 2025 (NEEDS, 2008). Na Tabela 3.6 três cenários são apresentados em relação a capacidade *offshore* eólica instalada até 2050.

Tabela 3.6 - Quota de energia eólica *offshore* de 2005 a 2050.

Cenários	Energia eólica <i>offshore</i> global, % da capacidade total instalada de energia eólica			Energia eólica <i>offshore</i> global GW		
	2005	2025	2050	2005	2025	2050
Pessimista	1,2	10	20	0,7	30	115
Otimista – Realista	1,2	10	20	0,7	85	310
Muito Otimista	1,2	10	20	0,7	160	600

Fonte: Adaptados de NEEDS, 2008.

3.3. MAPEAMENTO E PROSPECÇÃO NO CONTEXTO DA TECNOLOGIA EÓLICA

Um estudo prospectivo analisa oportunidades ou ameaças futuras segundo alguns fatores importantes no meio econômico e social, gerando maiores benefícios à área estudada. O objetivo desta seção é compreender o estado da arte da prospecção tecnológica no contexto da energia eólica através de uma pesquisa bibliográfica sistemática, resultando em um modelo conceitual.

O artigo de Amer, Jetter e Daim (2011) fornece três cenários para a implantação de energia eólica em grande escala no Paquistão, que é um país em desenvolvimento, identificando diferentes alternativas do estado futuro das tecnologias, necessidades políticas e ambientais a partir de um mapeamento tecnológico.

No primeiro cenário, sob o modelo de crescimento econômico indicam um aumento da implantação da energia eólica no país, o que parece ser plausível. Para o segundo cenário, assumiram que o país está passando por um crescimento econômico e o governo formulou políticas favoráveis à energia eólica e, para o terceiro cenário, supuseram uma preocupação crescente entre o público com a degradação do meio ambiente e conscientização para utilizar a energia eólica. Esses três cenários resultam em um aumento da implantação da energia eólica no país, apesar do uso de diferentes conceitos que afetam essa implantação (AMER, JETTER E DAIM, 2011).

Amer, Jetter e Daim (2011) identificaram 15 conceitos. Esses são: crescimento econômico no país; demanda crescente de energia; redução das reservas de combustíveis fósseis; aumento do custo de energia / eletricidade (a partir de recursos existentes de energia no país); inovações de design em tecnologia de turbinas eólicas e outras tecnologias; fabricação local de turbinas eólicas e outros equipamentos associados no país; redução de custos de turbinas eólicas e outros equipamentos associado; favorecendo políticas do governo para a implantação de energia eólica; preocupações ambientais crescentes e conscientização para utilizar a energia eólica; implantação de energia eólica; necessidade de energia eólica; disponibilidade de pessoas treinadas para operações de parques eólicos; baixo custo de O & M dos parques eólicos; necessidade de controlar o custo de energia/eletricidade; crescimento da população.

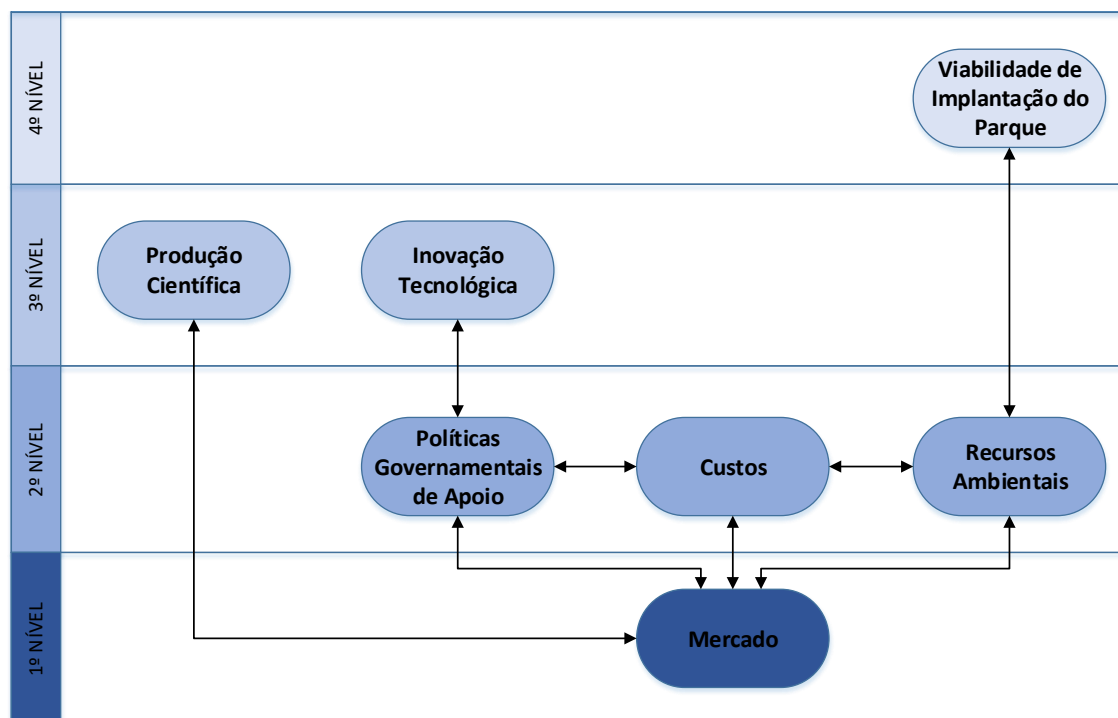
Semelhante ao estudo de Amer, Jetter e Daim (2011), esse trabalho apresentará elementos relevantes a um desenvolvimento do setor eólico. Analisou-se 38 artigos para a construção do estado da arte atual a respeito do tema Prospecção no contexto da energia eólica. Para a construção do modelo conceitual, foram considerados apenas 37 desses artigos, excluindo o artigo já citado anteriormente de Amer, Jetter e Daim (2011).

Na análise de cada fonte bibliográfica, identificou-se que os elementos influenciadores no desenvolvimento dessa energia podem ser agrupados em um diagrama de afinidade. Para Mizuno (1993), o diagrama de afinidade objetiva reunir fatos e ideias acerca de áreas desconhecidas e inexploradas que estão em estado de desorganização.

Como resultado agrupou-se os elementos nas seguintes dimensões: Inovação Tecnológica; Mercado; Políticas Governamentais de Apoio; Produção Científica; Custos;

Recursos Ambientais; Viabilidade de Implantação do Parque. Essas dimensões estão interconectadas através de elementos que representam relações de causa e efeito entre elas e refletem no comportamento dinâmico do sistema. As relações entre as dimensões são apresentadas na Figura 3.8 e os elementos pertencentes a cada uma, serão expostos mais a frente pelo diagrama de afinidade.

Figura 3.8 - Interconexão entre as dimensões.



Fonte: Elaboração Própria.

Mercado pode ser dito como a dimensão que mais reflete no comportamento dinâmico do sistema, pois tem uma conexão direta com outras quatro dimensões (Inovação Tecnológica, Políticas Governamentais de Apoio, Custos e Recursos Ambientais). Agrupamos as dimensões em níveis de acordo com o número de relações diretas com outras dimensões, criando uma espécie de pirâmide, onde o 1º Nível representa sua base. No 2º Nível, se encontram as dimensões, Políticas Governamentais de Apoio, Custos e Recursos Ambientais, essas se relacionam com outras três dimensões. No 3º Nível, Inovação Tecnológica e Produção Científica, se relacionam com duas dimensões e no 4º Nível, Viabilidade de Implantação do Parque, apenas com uma dimensão.

Essas conexões entre dimensões foram estabelecidas de acordo com semelhanças entre seus elementos. Por exemplo, um elemento que afeta o desenvolvimento da indústria eólica é a “Concorrência dos Preços”. Esse tem impacto tanto no Mercado,

quanto nos Custos, por isso essas dimensões estão ligadas. Cada uma das dimensões será abordada nas próximas subseções desse capítulo.

3.3.1 Mercado

Um Mapeamento Tecnológico do setor da energia eólica do Noroeste Pacífico foi feito por Daim, Amer e Brenden (2012). Eles identificaram que políticas governamentais, incentivos fiscais, poluição ambiental, oportunidades de negócios e o preço do combustível fóssil são impulsionadores desse mercado.

MacLaughlin e Scott (2010) estudaram o caso de Taiwan, país que embarcou em um programa para construir sua capacidade nacional inovadora em tecnologias de turbinas eólicas. Independentemente de qualquer turbina realmente atingir sucesso no mercado, os desenvolvedores de vento são propensos a escolher fornecedores estabelecidos com histórico comprovado. Embora as leis de *feed-in* estimulem historicamente os mercados de abastecimento de energia eólica da comunidade, Taiwan não possui o benefício de uma sofisticada base de usuários de turbinas eólicas como a Dinamarca. Os principais fabricantes de turbinas confiaram em aprender fazendo processos dentro de seus mercados domésticos de abastecimento. Esses processos aceleram a intensidade do capital da indústria, fortalecendo as perspectivas de sucesso nos mercados estrangeiros.

A inserção de empresas no mercado também foi estudada por Lehtovaara et al. (2012). Eles analisaram empresas *spin-off*, concluindo que para essas entrarem no mercado, devem colocar em marcha as negociações práticas somente quando o projeto de desenvolvimento estiver em uma fase apropriada, assim como a garantia dos direitos de propriedade intelectual da empresa.

A comercialização de energia eólica torna-se improvável de amadurecer em um produto comercial sem intervenções políticas significativas. Um sistema não pode ser efetivo sem haver equilíbrio entre incentivos e contribuições entre proprietários de empresas de energia eólica, empresas de energia elétrica e consumidores. Sem isso, o sistema evolui na direção de complementar outros sistemas de produtos. Porém, através de mudanças políticas, juntamente com avanços em C&T, a energia eólica torna-se uma realidade comercial (INOUE; MIYAZAKI, 2008; BRONSTEIN, 2011).

Desde o início dos anos 2000, os pedidos de patente relativos à regulamentação aumentaram em razão à crescente penetração de energia e ao rápido desenvolvimento da tecnologia de turbinas eólicas (DUBARIC et al., 2011).

Avaliar os vínculos entre o ambiente tecnológico, comercial e político é essencial para a difusão do mercado da energia eólica. Regimes adequados de apoio à energia e legislação são cruciais a essa difusão. Sem esquemas de apoio político adequados, a energia eólica não se torna competitiva em relação a outras fontes de energia, a menos que as condições do parque sejam favoráveis, por exemplo, custos moderados de investimento inicial e despesas operacionais e condições de vento adequadas (LEHTOVAARA et al., 2014).

Normann (2017) estudou sobre a energia eólica *offshore*. Essa nasceu na agenda política norueguesa entre 2007 e 2009. No final de 2009, era evidente que os mecanismos de suporte existentes para novas energias renováveis eram insuficientes para realizar a eólica *offshore* em larga escala na Noruega. Essa demanda foi articulada através de vários esforços por diferentes grupos de organizações industriais e de pesquisa. Apenas em 2010, iniciou-se à formação e o crescimento inicial dessa tecnologia, devido o Ministro do Petróleo e da Energia decidir que investimentos públicos em grandes projetos nacionais de energia eólica *offshore* seriam introduzidos uma vez que os custos desse vento foram reduzidos.

Dedecca, Hakvoort e Ortt (2016) separam o mercado eólico *offshore* em fases. A primeira, inovação, compreende a pesquisa sobre a adaptação de turbinas terrestres ao ambiente *offshore* e as primeiras instalações de turbinas em águas rasas, durando cerca de 11 anos. O desenvolvimento de grandes parques eólicos *offshore* com finalidade comercial marca o início da segunda fase, a adaptação do mercado (cresceram de 10 MW para 368 MW) com 8 anos de duração. A terceira fase (fase atual) é a estabilização do mercado em que parques eólicos comerciais de grande porte passaram a usar o projeto dominante de fundações *monopile* com geradores de ímãs permanentes.

Kirkegaard (2017) investigou algumas das condições definidoras da evolução industrial eólica chinesa, que podem ajudar a explicar o sucesso da China. Em quatro anos, a produção da indústria chinesa de fabricação de turbinas eólicas aumentou de forma significativa ficando na lista dos dez melhores do mundo. O autor identificou que os sistemas de energia futuros precisarão apresentar maior flexibilidade tanto no lado da demanda quanto no lado da oferta (TAN et al., 2013).

Segundo Kirkegaard (2017), há três fases distintas marcadas por movimentos rápidos de *upscaling* e *upgrade*. A primeira fase levou à extensa dependência dos fabricantes chineses de fornecedores estrangeiros e de seus produtos caros. A fase dois resultou em uma crise de qualidade na China e em limitações da abordagem de montagem.

A fase três culminou na virada para a qualidade, que em resposta à crise de qualidade potencialmente autodesequilibradora no setor da energia eólica chinês funcionou na prática até então, mas teve implicações para as relações estrangeiras entre cliente e fornecedor.

Os resultados de Lehtovaara et al. 2014 demonstram que as tecnologias de energia eólica estão no estágio acelerado da evolução e a propriedade intelectual chegou à linha de frente das estratégias corporativas para o sucesso na energia eólica atual. No entanto, como o setor de energia eólica ainda está em fase emergente em seu ciclo de vida, as empresas precisam de esquemas de apoio público bem planejados e implementados de forma eficiente para competir com sucesso nos mercados de energia.

Os níveis de difusão na maioria dos países são baixos, o que indica que a energia eólica parece estar no estágio inicial na maioria dos países. Essa difusão é mais avançada em três países: Dinamarca, Alemanha e Espanha. A Dinamarca é o mercado principal, mas seu processo de difusão parece ter atingido um teto. Isto é provável devido aos custos em oposição a uma restrição de recursos, ou seja, podem ser alcançados altos níveis de difusão como proporção da capacidade total instalada (DAVIES; RAINEY, 2011)

Lacerda e Bergh (2014) investigaram a formação de mercados líderes em tecnologias de energia eólica na China, Alemanha e EUA. O objetivo desta análise comparativa não foi extrair as "melhores práticas", mas entender como os contextos específicos dos países e as respostas políticas afetaram o desenvolvimento das indústrias de energia eólica, além de examinar o impacto das interações entre os três países em relação à difusão de tecnologias de energia eólica. A análise não ofereceu nenhum "vencedor" claro. No entanto, os EUA parecem ter a posição mais fraca. As vantagens podem ser identificadas para a China em termos de demanda do mercado interno e *mix* de políticas e para a Alemanha em termos de oferta do mercado interno e capacidade tecnológica.

O agrupamento das publicações na dimensão mercado por tipos de elementos está detalhado no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Elementos de Mercado.

Elementos	Autores	Número de autores
Emissão de poluentes	Daim, Amer e Brenden (2012).	1
Políticas Favoráveis	Normann (2017); Daim, Amer e Brenden (2012); Bronstein (2011).	3
Concorrência dos preços	Daim, Amer e Brenden (2012).	1
Legislação	Lehtovaara et al. (2014)	1
Vínculo (ambiental, comercial, político)	Lehtovaara et al. (2014); Lacerda e Bergh (2014).	2
Fornecedores Maduros	MacLaughlin e Scott (2010).	1
Patentes	Dubaric et al. (2011).	1
Oportunidades de Negócios	Daim, Amer e Brenden (2012).	1
Demanda e Oferta	Tan et al. (2013); Lacerda e Bergh (2014).	2
Capacidade Instalada	Lacerda e Bergh (2014); Davies e Rainey (2011).	2
Avanços em C&T	Bronstein (2011).	1
Estágios/Fase	Lehtovaara et al. (2014); Davies e Rainey (2011); Dedecca, Hakvoort e Ortt (2016); Kirkegaard (2017).	4
Inserção das empresas no setor	Inoue e Miyazaki (2008); Lehtovaara et al. (2012).	2

Fonte: Elaboração Própria.

3.3.2 Custos

Barbosa et al. (2017) verificaram que para o ano de 2030 na região da América do Sul e Central haverá uma diminuição de 11% no custo da geração da eletricidade. Isso se dará devido à diversificação da matriz energética, por exemplo, com a utilização da energia eólica de baixo custo.

Durante a década de 1970, as pesquisas já apontavam que turbinas eólicas com grandes rotores na escala de megawatt ofereciam menores custos de energia do que turbinas menores. É provável que a energia eólica continue a diminuir seu preço no futuro com o desenvolvimento de turbinas eólicas ainda maiores. Um estudo sobre a energia eólica *offshore*, assumido um fator de capacidade de 37,5%, mostrou que o custo desse vento deveria diminuir em aproximadamente 15% até o ano de 2015 (FLEMING; PROBEN, 1984; ESTEBAN et al., 2010).

O futuro desenvolvimento das turbinas eólicas parece ser assegurado, se houver um financiamento governamental suficiente, o que causa uma forte demanda do mercado interno, a uma unidade mais baixa de custo e conseqüentemente maior capacidade de competir nos mercados de exportação (FLEMING; PROBEN, 1984).

Voltando a falar sobre a energia eólica *offshore*, Baagøe-Engels e Stentoft (2016) afirmam que o desafio mais importante para a Operação e Manutenção (O&M) nesse setor é a inflexibilidade em seu planejamento. Baseados em artigos e documentos, a literatura existente identifica outros desafios para a O&M da eólica *offshore*. Esses desafios podem ser agrupados em quatro categorias: questões relacionadas à imaturidade da indústria, distância/profundidade da água, janela do tempo e questões políticas.

Além da revisão da literatura, citada anteriormente, Baagøe-Engels e Stentoft (2016) realizaram um estudo Delphi identificando três questões importantes que levam ao aumento dos custos de O&M, essas são: regras pré-definidas que limitam o desenvolvimento, falta de coordenação nos diferentes serviços oferecidos nos parques eólicos e a falta de uma abordagem comum sobre como a O&M deve ser gerenciada.

O alto custo de construção de parques junto com a concorrência dos preços mais baixos de outras energias são umas das principais fraquezas ao desenvolvimento industrial da energia eólica chinesa *offshore*. Devem ser feitos grandes esforços para resolver as ameaças, aproveitar as oportunidades e implementar uma série de estratégias específicas para promover o desenvolvimento rápido e estável dessa energia, como ocorreu na Noruega a partir de 2010 (HE et al. 2016; NORMANN, 2017).

O preço do aço no mercado mundial tem sido um importante determinante nos custos da energia eólica. Esse pode ser reciclado ou substituído por outros tipos de materiais a fim de reduzir custos. Os preços do gás natural e das tarifas *feed-in* também devem ser consideradas ao avaliar a viabilidade do custo de investimento (YANG; CHEN, 2016; GRAFSTRÖM; LINDMAN, 2017).

Os sistemas de energia necessitam de previsões precisas. Essas permitem um funcionamento confiável, gerenciamento efetivo e integração máxima da energia eólica, reduzindo custos operacionais do sistema por inatividade da turbina. O Sistema de Monitoramento de Condição (*Condition Monitoring System - CMS*) como técnica de detecção de falhas é preciso, prevendo-as e minimizando o tempo de inatividade do sistema (TAN et al., 2013; TAZI; CHÂTELET; BOUZIDI, 2017).

Em turbinas eólicas de 2 ou 3 MW, os subsistemas de controle e elétricos têm as maiores taxas de falha em um sistema de energia eólica. Porém, os causadores de maiores tempos de inatividade no sistema são os rolamentos das caixas de engrenagens e as pás do rotor, tornando-se os componentes mais críticos na geração de custos (TAZI; CHÂTELET; BOUZIDI, 2017).

O desgaste é a causa principal e mais comum de falha em sistemas de turbinas eólicas, sendo o ambiente o principal motivador. O desgaste abrasivo e corrosivo parece ser o tipo de desgaste mais frequentemente observado, enquanto a fadiga influencia mais nos componentes externos, como pás. O desgaste pode causar uma variedade de problemas operacionais, incluindo desalinhamento e vibrações do sistema. (TAZI; CHÂTELET; BOUZIDI, 2017).

Com base nesses critérios, os artigos foram analisados e agrupados (Quadro 3.4).

Quadro 3.4 - Elementos de Custos.

Elementos	Autores	Número de autores
Reciclagem de materiais	Yang e Chen (2016).	1
Políticas Favoráveis	Baagøe-Engels e Stentoft (2016).	1
Tamanho da turbina/Fator de Capacidade	Esteban et al. (2010); Fleming e Proben (1984).	2
Planejamento de O&M	Baagøe-Engels e Stentoft (2016).	1
Logística	Baagøe-Engels e Stentoft (2016).	1
Inatividade da turbina	Tazi, Châtelet e Bouzidi (2017).	1
Técnicas de detecção	Tazi, Châtelet e Bouzidi (2017); Tan et al. (2013).	2
Concorrência dos preços	He et al. (2016); Grafström e Lindman (2017); Normann (2017).	3
Diversificação da Matriz	Barbosa et al. (2017).	1
Financiamento Governamental	Fleming e Proben (1984).	1

Fonte: Elaboração Própria.

3.3.3 Recursos ambientais

Alamillos et al. (2012) analisaram os recursos ambientais disponíveis para as condições atmosféricas da região da Península Ibérica do Sul. Essas análises foram realizadas sazonalmente e durante um período completo. Os resultados mostram que os recursos eólicos disponíveis mudam de região para região de acordo com a estação do ano.

A emissão de poluentes está sendo evitada cada vez mais na sociedade. A energia eólica é uma fonte limpa, desempenhando um importante papel na mitigação do CO₂ por não emitir gases para o efeito estufa. Outra forma de diminuir a emissão desses gases é através da reciclagem de materiais no processo de fabricação dos equipamentos eólicos (PUROHIT; MICHAELWA, 2007; YANG; CHEN, 2016).

O vento possui uma natureza aleatória, com isso muitas vezes equações da energia eólica, baseadas no conceito de curva de potência e dados SCADA, diferem a

teoria da realidade. As técnicas de previsão da energia também são suscetíveis a erros. Essas variam muito e ainda não estão reguladas. O erro de previsão diminui quando vários parques eólicos são usados para prever energia em vez de apenas um. Isso é conhecido como um efeito de suavização espacial (SHETTY; SATHYABHAMA; PAI, 2018; MCKAY; CARRIVEAU; TING, 2011).

O Quadro 3.5 apresenta os tipos de elementos citados nos artigos ao envolver recursos ambientais.

Quadro 3.5 - Elementos de Recursos Ambientais.

Elementos	Autores	Número de autores
Sazonalidade Clima	Alamillos et al. (2012).	1
Condições Atmosféricas	Alamillos et al. (2012).	1
Reciclagem de Materiais	Yang e Chen (2016).	1
Confiabilidade Teórica	Shetty, Sathyabhama e Pai (2018); McKay, Carriveau e Ting (2011).	2
Emissão de Poluentes	Purohit e Michaelowa (2007); Yang e Chen (2016).	2

Fonte: Elaboração Própria.

3.3.4 Políticas governamentais de apoio

O processo de difusão do setor eólico sofre influência quando a política desempenha um papel de apoio ao seu desenvolvimento, através de investimentos públicos e incentivos fiscais, principalmente quando estão associados ao ambiente e comércio (LEHTOVAARA et al., 2014; DAVIES; RAINEY, 2011; NORMANN, 2017; DAIM; AMER; BRENDEN, 2012; MACLAUGHLIN; SCOTT, 2010).

Vega e Mandel (2018) identificaram ineficiências existentes na rede de difusão da tecnologia eólica, caracterizando como a política pode funcionar melhor, dada a estrutura de rede existente. Encontraram três tipos de medidas políticas que poderiam fomentar esse processo de difusão. A primeira seria acordos internacionais sobre tecnologia, comércio e meio ambiente que poderiam reformular a estrutura da rede. O segundo tipo de medida diz respeito à política interna nos países em desenvolvimento que devem proporcionar condições favoráveis à adoção e desenvolvimento de tecnologias. E uma terceira medida é a difusão subsidiada de tecnologias nos países em desenvolvimento.

No caso de Portugal, competências, recursos e redes internacionais foram os esforços que levaram ao desenvolvimento bem-sucedido de um sistema de inovação a partir de um forte compromisso político, tanto em termos de produção de energia eólica

como em termos de criação de um grupo industrial competitivo, sugerindo que este pode ser um caminho efetivo para a adoção e absorção de tecnologia rápida (BENTO; FONTES, 2015).

As políticas da Índia são propícias para o país alcançar seu potencial eólico. Tomando como base dados da capacidade instalada de energia entre os anos de 1991 a 2006, espera-se que até o ano 2030 a capacidade instalada de energia eólica na Índia possa atingir 51.249 MW. A influência tecnológica e o custo de capital da usina são considerados permanentes no futuro (MABEL; FERNANDEZ, 2008.)

Grafström e Lindman (2017) fornecerem uma análise econômica dos padrões de desenvolvimento tecnológico no setor da energia eólica europeia. Encontraram que algumas políticas relacionadas à essa energia não tiveram influência em algumas etapas desse desenvolvimento, mas essa mesma política teve efeitos em outras etapas importantes. Ou seja, nem todas as políticas se enquadram em todas as etapas, mas desempenham um papel importante no desenvolvimento tecnológico do setor.

O Quadro 3.6 apresenta os trabalhos publicados classificando-os por elementos para Políticas governamentais de apoio.

Quadro 3.6 - Elementos de Políticas governamentais de apoio.

Elementos	Autores	Número de autores
Políticas Favoráveis	Bento e Fontes (2015); Vega e Mandel (2018); Davies e Rainey (2011).	3
Legislação	Lehtovaara et al. (2014).	1
Capacidade Instalada	Mabel e Fernandez (2008).	1
Vínculo (ambiental, comercial, político)	Lehtovaara et al. (2014).	1
Incentivos Fiscais	Grafström e Lindman (2017); Normann (2017); Daim, Amer e Brenden (2012); MacLaughlin e Scott (2010).	4

Fonte: Elaboração Própria.

3.3.5 Inovação Tecnológica

No Mapeamento Tecnológico anteriormente citado de Daim, Amer e Brenden (2012), esses também estudaram sobre inovação tecnológica. Esses afirmam que nas futuras tecnologias da energia eólica serão necessárias inovação em materiais, rotores de turbinas, geradores, baterias e sistemas de controle de avanço.

Inoue e Miyazaki (2008) analisaram a difusão da energia eólica no Japão. Identificaram que houve um aumento no desempenho das turbinas eólicas devido a uma

inovação tecnológica nos subsistemas que constituem as turbinas. Essas tecnologias foram usadas em equipamentos de grande porte, aumentando a eficiência das turbinas eólicas e garantindo economias para esses equipamentos.

A indústria de fabricação de turbinas eólicas de Taiwan foi analisada por MacLaughlin e Scott (2010). Essa começou a se destacar pela sua inovação em criar turbinas para suas condições climáticas únicas, por exemplo, terremotos e tufões.

Na China, a produção na fabricação de turbinas eólicas também aumentou de forma significativa, com isso precisaram melhorar a tecnologia para atender às necessidades da cadeia de energia eólica e garantir a qualidade e a confiabilidade das turbinas eólicas. Isso se aplica inclusive na sua indústria eólica *offshore*, onde não há tecnologias básicas para fabricação de turbinas *offshore*, marcando uma das principais fraquezas ao desenvolvimento rápido e estável desse setor (TAN et al., 2013; HE et al., 2016).

Dubaric et al. (2011) e Benson e Magee (2014) estudaram o desenvolvimento do ciclo de vida tecnológico da energia eólica a partir da análise de patentes. Essas análises indicaram que o comportamento do sistema como um todo não pode ser previsto analisando os componentes separadamente. As análises ocorreram nas áreas de ajuste de passo e rotor. As patentes tiveram um aumento significativo nessas áreas a partir de meados da década de 1990. Isso pode ser explicado devido à crescente inserção da energia e ao rápido desenvolvimento de turbinas eólicas.

Zhang et al. (2014) propuseram uma inovação na suavização das flutuações da energia eólica nas turbinas. Utilizaram um método de controle para regular o estado de carga do armazenamento de energia magnética supercondutora, impedindo que o armazenamento dessa energia ocorra em um estado de sobrecarga ou a descarga profunda. Encontraram que tal método alcança um melhor efeito de suavização, em comparação com a estratégia de controle tradicional.

O agrupamento das publicações na dimensão Inovação Tecnológica por tipos de elementos está detalhado no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 - Elementos de Inovação Tecnológica.

Elementos	Autores	Número de autores
Tropicalização das Turbinas	MacLaughlin e Scott (2010).	1
Flutuações de Energia	Zhang et al. (2014).	1
Patentes	Dubaric et al. (2011); Benson e Magee (2014).	2
Componentes da turbina	Daim, Amer e Brenden (2012).	1
Eficiência da turbina	Inoue e Miyazaki (2008).	1
Adequação da Tecnologia	Tan et al. (2013); He et al. (2016).	2

Fonte: Elaboração Própria.

3.3.6 Produção Científica

Jeong et al. (2016) e Guan, Yan e Zhang (2015) estudaram a difusão da produção científica no setor eólico. De acordo com Jeong et al. (2016), estudos na área estão sendo conduzidos através da multidisciplinaridade científica abrangendo os campos de engenharia, energia, mecânica, meio ambiente e física. Guan, Yan e Zhang (2015) demonstraram que EUA, Canadá, Reino Unido, Espanha, China, Dinamarca, Taiwan e Alemanha contribuem bastante com a produção científica na área, devido à capacidade de pesquisa e políticas favoráveis ao desenvolvimento do setor, fazendo dessas regiões destaques em capacidade instalada.

Zhou et al. (2016) utilizaram análises de patentes para comparar as bases de conhecimento das principais empresas de turbinas eólicas na Ásia e na Europa. Algumas das principais empresas asiáticas desenvolveram plataformas que desafiam os líderes tecnológicos, isso explica por que as empresas chinesas e indianas têm desfrutado de um considerável sucesso no mercado nos últimos anos. Elas ainda adotam a tradicional abordagem interna de P&D com colaboração limitada em patentes, enquanto as principais empresas europeias se envolvem em uma colaboração muito mais patenteável com seus parceiros de cadeia de valor.

P&D e C&T são essenciais para tornar a energia eólica uma realidade comercial. As atividades de P&D precisam ser aprimoradas, como por exemplo, em projetos na construção de parques eólicos *offshore* de águas profundas na China (TAN et al., 2013; BRONSTEIN, 2011).

O Quadro 3.8 apresenta os elementos presentes nos artigos que citam a Produção Científica.

Quadro 3.8 - Elementos de Produção Científica.

Elementos	Autores	Número de autores
Multidisciplinariedade	Jeong et al. (2016).	1
Capacidade de Pesquisa	Guan, Yan e Zhang (2015).	1
Políticas Favoráveis	Guan, Yan e Zhang (2015).	1
Patentes	Zhou et al. (2016).	1
Atividade de P&D	Tan et al. (2013); Zhou et al. (2016).	2
Avanços em C&T	Bronstein (2011).	1

Fonte: Elaboração Própria.

3.3.7 Viabilidade de Implantação do Parque

Spiess et al. (2015) estudaram a implantação de um parque eólico na região dos Alpes. Eles verificaram que existe uma dificuldade de acesso a área, atrapalhando o transporte dos componentes, como também a parte de conexão e gerenciamento da rede. A partir da opinião de *stakeholders* e nativos da região, concluíram que haviam mais oportunidades e chances do que riscos de implantação da energia na região dos Alpes. O argumento de ser uma energia renovável e sustentável teve bastante força, como também o fato da geração de emprego, por mais que falte mão de obra qualificada e isso agrave os riscos da aplicação dessa energia na área de montanhas.

O desenvolvimento da energia eólica no mar também tem alguns desafios. Um deles é a capacidade de geração *offshore*. Essa algumas vezes é tão alta que acaba sendo um excesso, ocasionando problemas de qualidade (HE et al., 2016).

Mudanças climáticas não devem prejudicar nem favorecer o desenvolvimento da energia eólica na Europa. Espera-se que a energia eólica instalada por toda a Europa seja extremamente estável ao longo do século XXI, com uma amplitude máxima de mudança nunca superior a 5% para cada modelo individual em média anual e apenas excedendo 5% em uma escala sazonal (TOBIN et al., 2015).

A região da Noruega média tem déficit de energia e precisa importar mais eletricidade do que exporta, devido a modificações no balanço energético, ocasionado por mudanças climáticas. A geração semanal aumenta de 84 para 222 GWh no inverno e de 35 a 90 GWh no verão. Esse déficit de energia pode ser reduzido com um aumento na geração eólica e na capacidade da linha de transmissão, mesmo em cenários climáticos futuros em que tanto a temperatura média anual como a precipitação sejam alteradas. O equilíbrio de energia da Noruega média será reduzido e se tornará positivo nas próximas

décadas, permitindo que a região aumente sua exportação, especialmente durante a temporada de inverno, quando os preços são altos (FRANÇOIS et al., 2017).

Assim como na Noruega, os sistemas de energia futuros precisarão levar em conta problemas na integração da rede para permitir uma regulação flexível da carga, mecanismos de recuperação do sistema de transmissão e uma implantação mais ampla de tecnologias de redes de distribuição inteligentes (TAN et al., 2013).

Com base nesses critérios, os artigos foram analisados e agrupados (Quadro 3.9).

Quadro 3.9 - Elementos de Viabilidade de Implantação do Parque.

Elementos	Autores	Número de autores
Sazonalidade Clima	François et al. (2017); Tobin et al. (2015).	2
Condições Atmosféricas	Tobin et al. (2015).	1
Acesso a área de implantação	Spiess et al. (2015).	1
Capacidade de Geração	François et al. (2017); He et al. (2016).	2
Linhas de Transmissão	Spiess et al. (2015); François et al. (2017); Tan et al. (2013).	3
Falta de mão de obra qualificada	Spiess et al. (2015).	1
Opinião de <i>Stakeholders</i>	Spiess et al. (2015).	1

Fonte: Elaboração Própria.

3.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

O objetivo deste capítulo é apropriar-se do contexto geral da energia eólica em termos de como essa energia é gerada, as tecnologias já existentes na área e como se encontra o setor eólico *offshore*. Com isso, foi possível fundamentar-se tecnicamente acerca da tecnologia estudada, para então identificar os tipos de componentes e as diferenças tecnológicas entre os setores *onshore* e *offshore*.

Outra finalidade foi apresentar conceitos básicos acerca de prospecção tecnológica, que devem nortear este estudo na descoberta da melhor tecnologia para aerogeradores *offshore*. Para se chegar a esse modelo, foram estudadas definições, objetivos e fases para obtenção de uma previsão futura da tecnologia, além de observar suas classificações, para então identificar os métodos a serem utilizados nessa pesquisa. Essa pesquisa utilizou o método de análise de patentes citados nesse capítulo.

Por fim, apresentou-se um *framework* com os elementos influenciadores da prospecção no contexto da energia eólica, agrupando-os nas seguintes dimensões:

Inovação Tecnológica; Mercado; Políticas Governamentais de Apoio; Produção Científica; Custos; Recursos Ambientais; Viabilidade de Implantação do Parque.

Como resultado, Mercado pode ser dito como a dimensão que mais reflete no comportamento dinâmico do sistema, pois tem uma conexão direta com outras quatro dimensões. Agrupamos as dimensões em níveis de acordo com o número de relações diretas com outras dimensões, criando uma espécie de pirâmide.

CAPÍTULO 4 – TURBINA EÓLICA *OFFSHORE*: ANÁLISE DE PATENTES

Patentes são a concessão de um título de propriedade temporária de invenções de produtos, equipamentos, ferramentas e até mesmo de processos e métodos de negócio ou de produção, outorgado pelo Estado, por força de lei, que confere ao seu titular, ou seus sucessores, o direito de impedir terceiros, sem o seu consentimento, de produzir, usar, vender ou importar produto objeto de sua patente e/ ou processo ou produto obtido diretamente por processo por ele patenteado (VCPI, 2018; INPI, 2018). Ainda, de acordo com o INPI (2018), uma patente pode ser do tipo Patente de Invenção (PI) ou Patente de Modelo de Utilidade (MU).

Desde que a patente esteja na fase de projeto, o mercado e o inventor estão protegidos, pois não é possível patentear uma ideia. A proteção à invenção recompensa o esforço, tempo e dinheiro investido pelo inventor para solucionar um problema ou uma nova oportunidade de negócio. A patente é válida apenas nos países onde foi requerida e concedida a sua proteção. Cada país é soberano para conceder ou não a patente independentemente da decisão em outros países sobre pedidos de patentes correspondentes (VCPI, 2018; INPI, 2018).

Os documentos de patentes podem ser utilizados por qualquer empresa, instituição de pesquisa e órgão do governo, sobretudo por pesquisadores. Seu acesso ocorre através de bases públicas ou privadas. As principais bases estão listadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Bases de Informação Tecnológica

Bases públicas	
Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI)	Patentes depositadas no Brasil.
Escritório Europeu de Patente (ESPACENET)	Patentes do mundo todo, possibilidade de impressão do documento original.
Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO)	Informação bibliográfica, resumo e desenho dos pedidos de patente depositados via PCT, publicados a partir de janeiro de 1998.
Escritório Americano de Patentes e Marcas (USPTO)	Busca em todas as patentes americanas concedidas desde 1791.
Escritório Japonês de Patentes (JPO)	Pesquisa nos dados bibliográficos dos pedidos de patentes no Japão.
Free Patents online	Serviço gratuito contendo patentes norte-americanas e europeias.

Google Patents	Serviço gratuito contendo patentes norte-americanas ou patentes que tenham sido depositadas no escritório americano USPTO.
Bases comerciais	
Derwent World Patent Index (DII)	Derwent Innovations Index é uma poderosa ferramenta de pesquisa de patentes que combina Derwent World Patents Index®, Patents Citation Index™ e Chemistry Resource.

Fonte: Adaptado de Bittencourt; Pedrosa, 2010.

Alguns requisitos são necessários para verificar se uma invenção tem potencial de patenteamento, são eles: ter grau de inovatividade, ter melhor desempenho sobre aquele que já existente no mercado e, poder ser produzida em escala industrial. As invenções que atendem a esses requisitos podem ser patenteadas e ter garantia de todos os benefícios jurídicos e econômicos (VCPI, 2018).

A análise de patentes envolve uma série de etapas, incluindo a extração das patentes do banco de dados de patentes, seguida da coleta de informações das patentes e a análise dessas informações extraídas para inferir as conclusões lógicas. As patentes contêm vários tipos de conteúdo, como dados estruturados e não estruturados. Os dados das patentes não estruturadas compreendem texto narrativo incluindo o título da patente, resumo, reivindicações e descrição. Os dados de patentes estruturados contêm informações, como o inventor da patente, o depositante da patente e informações de citação. A apresentação dos dados de patente estruturados é representada na forma de gráficos e redes, enquanto os resultados dos dados de patente não estruturados são representados como mapas de patentes (LIU et al. 2011; TSENG; LIN; LIN, 2007; ABBAS; ZHANG; KHAN, 2014).

A análise de patentes parte do pressuposto de que o crescente interesse em tecnologias emergentes se refletirá no aumento das atividades de pesquisa e desenvolvimento e que isso, por sua vez, acarretará no aumento de depósito de patentes. Desse modo, acredita-se que tecnologias emergentes podem ser identificadas por meio de várias informações e oportunidades permitindo-lhe: analisar a invenção quanto ao aspecto de ser novidade; pesquisar avanços tecnológicos em sua área; identificar oportunidades para aquisições e licenciamento; evitar duplicação de iniciativas em P&D; monitorar a concorrência; encontrar lacunas potenciais no mercado; identificar os especialistas ou inventores para inteligência competitiva e recrutamento (SANTOS et al., 2004; DERWENT, 2004).

Com o acelerado desenvolvimento tecnológico, a análise de patentes desempenha um papel cada vez maior na definição de estratégias de negócios e no apoio à tomada de decisões em organizações. Ferramentas com recursos apropriados para recuperar e representar visualmente as informações de patentes são benéficas para organizações (ABBAS; ZHANG; KHAN, 2014).

As organizações, de acordo com Abbas, Zang e Khan (2014), estão interessadas em analisar patentes para: (a) determinar novidades em patentes, (b) analisar tendências de patentes, (c) prever desenvolvimentos tecnológicos em um domínio específico, (d) planejar tecnologia estratégica, (e) extrair informações de patentes para identificação de infrações; (f) determinação de patentes de qualidade para atividades de P&D; (g) identificação de patentes promissoras; (h) mapeamento tecnológico; (i) identificação de lacunas tecnológicas.

Existem dois tipos de abordagens para as análises de patentes. Uma abordagem funciona com citações de patentes, analisando assim as patentes citadas por uma patente referência (STERNITZKE; BARTKOWSKI; SCHRAMM, 2008). Outra abordagem envolve a identificação de semelhanças entre os documentos de patentes e a conversão do texto de patente não estruturado em texto de patente estruturada usando técnicas particulares de mineração de texto (LEE; SONG; PARK, 2013). Essa última técnica foi a utilizada nesse trabalho.

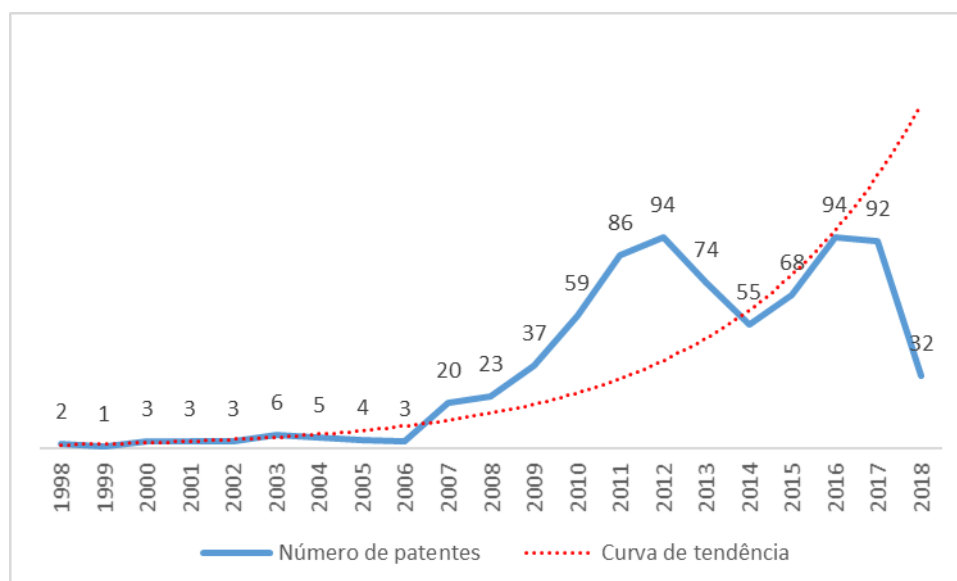
4.1. ANÁLISE QUANTITATIVA

As análises quantitativas mais usuais que podem ser feitas a partir das patentes são a respeito do histórico de depósito de patentes ao longo do tempo, as regiões que mais possuem registros de patentes, as principais empresas/instituições depositantes e como essas patentes estão sendo classificadas de acordo com o IPC. A palavra-chave utilizada para a busca e análise foi “*offshore wind turbine*”.

4.1.1. Histórico

Avaliar o comportamento do número de depósitos de documentos de patentes ao longo do tempo possibilita deduzir o interesse ou não no desenvolvimento de uma determinada tecnologia. A Figura 4.1 ilustra como as patentes na área de aerogeradores *offshore* se desenvolveram desde 1998, primeiro ano com depósito de patentes nessa área, até o ano de 2018.

Figura 4.1 - Distribuição cronológica dos depósitos de patentes realizados no período de 1998 a 2018.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados coletados na base Derwent Innovations Index.

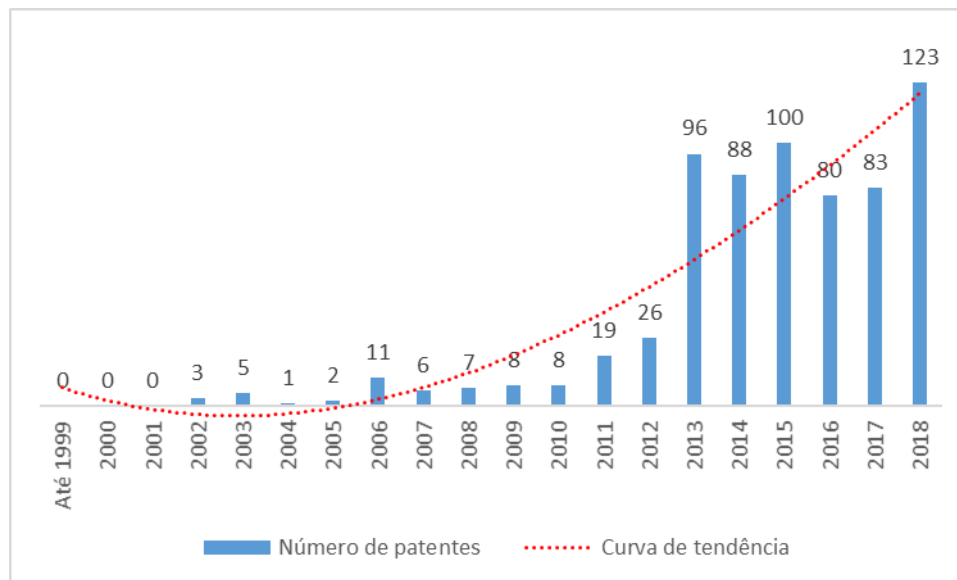
Analisando a Figura 4.1, percebe-se que houve um crescimento exponencial do número de patentes depositadas no período analisado, sendo esse acentuado a partir de 2007, devido um maior desenvolvimento do setor. O ano de 2012 apresentou o maior número de patentes depositadas, especificamente 94 depósitos. Em seguida, a distribuição cronológica ficou marcada por uma queda até o ano de 2014. Uma possível explicação para esse fato, seria a crise econômica na União Europeia iniciada no ano de 2011, derrubando índices das bolsas de valores e criando um clima de pessimismo na esfera econômica mundial. Como reflexo dessa crise, a diminuição de investimentos em P&D e consequentemente, depósitos de patentes.

Após 2014, o crescimento dos depósitos de patentes retornou. É importante ressaltar que esses dados foram coletados no início de 2019, assim, não se deve levar em consideração a queda aparente para o ano de 2018, em específico, visto que algumas patentes referentes ao ano de 2018 ainda não tenham sido registradas.

Analisar o comportamento do número de publicações de artigos ao longo dos anos, visando uma comparação entre o número de publicações científicas e o número depósitos de patentes se faz necessário. Assim, uma busca por publicações científicas foi feita com base na palavra-chave: “*offshore wind turbine*”, a mesma usada na busca de patentes. Utilizou-se como plataforma de pesquisa o portal Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, aplicando como filtros a seleção apenas de artigos, os quais podiam estar em qualquer idioma, publicados até a

data de 31/12/18. Além disso, a palavra-chave deveria estar no título do artigo e aparecer da forma exata (como foi escrita). O resultado é exposto na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Publicações de artigo por ano.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados coletados no Portal CAPES.

Com base nos dados, verificou-se uma evolução polinomial desde o início das publicações até o ano de 2018, conforme apresentado na Figura 4.2, o que corrobora com o número de patentes em termos de crescimento por ano.

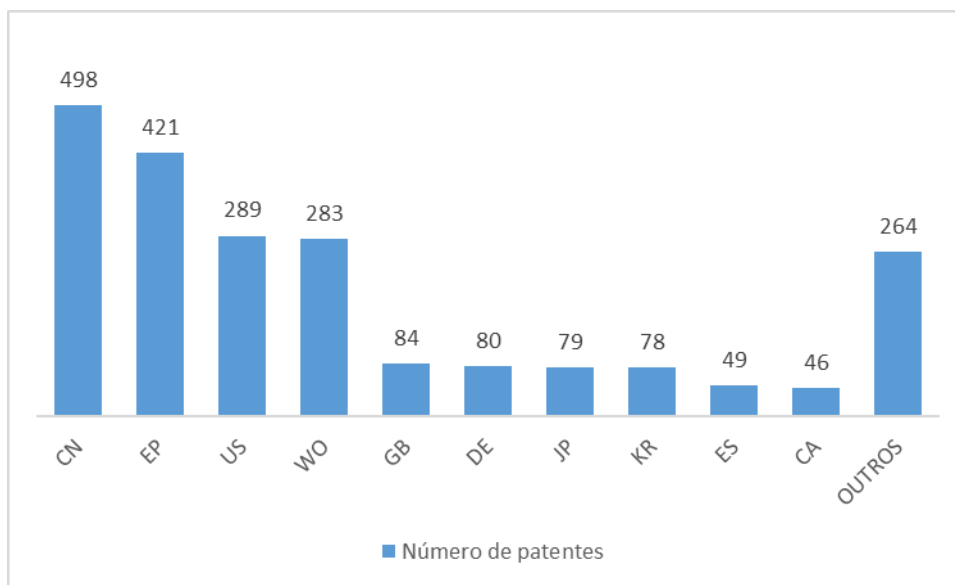
4.1.2. Região

Identificar quais regiões atuam na pesquisa e desenvolvimento desta tecnologia estudada mostra os detentores da tecnologia, ilustrando a evolução dos depósitos de documentos de patente. Como mencionando anteriormente, a patente é válida apenas nos países onde foi requerida e concedida a sua proteção. Para registrá-la em outro país é preciso depositar um pedido equivalente no país ou região onde se deseja obter a patente, traduzi-lo para o idioma do país/região onde se deseja depositar e nomear um procurador para representar a empresa naquele país. O procedimento de depósito em diferentes países pode ser simplificado, usando o Tratado de Cooperação de Patentes (PCT).

A Figura 4.3 relaciona o número de patentes registradas por regiões. As regiões foram selecionadas pelo número de registro das patentes. Como uma mesma patente muitas vezes é registrada em mais de uma região, precisou-se considerar isso, podendo uma mesma patente estar registrada em mais de um local. Encontramos 2171 registros de patentes. A China (CN) é o país com o maior número de registro, seguido pela

Organização Europeia de Patentes (EP)¹. O Estados Unidos (US) ocupa o terceiro lugar no *ranking*, a Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WO)² ocupa o quarto lugar, seguido do Reino Unido (GB), Alemanha (DE), Japão (JP), República da Coreia (KR), Espanha (ES), Canadá (CN) e outros 21 países.

Figura 4.3 - Número de patentes por país depositante no período de 1998 a 2018.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados coletados na base Derwent Innovations Index.

Em 2017, a indústria eólica *offshore* da Europa teve um ano recorde adicionando 3.148 MW, correspondendo a 560 novas turbinas eólicas *offshore* em 17 parques eólicos. No final de 2017, quase 84% (15.780MW) de todas as instalações *offshore* estavam localizadas nas águas ao longo de onze países europeus. Os 16% restantes estão localizados em grande parte na China, seguidos pelo Vietnã, Japão, Coreia do Sul, Estados Unidos e Taiwan (GWEC, 2018).

O Reino Unido possui a maior capacidade eólica *offshore* na Europa, com 6.836 MW, seguida pela Alemanha (5.355MW) e Dinamarca (1.271MW). O Reino Unido é o maior mercado eólico *offshore* do mundo e representa pouco mais de 36% da capacidade

¹ Organização Europeia de Patentes (EP): organização intergovernamental constituída em 1977 com base na Convenção sobre a Patente Europeia (EPC). Apoiar a inovação, a competitividade e o crescimento económico em toda a Europa. Formada por 38 Estados membros (Albânia, Alemanha, Antiga República Jugoslava da Macedónia, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Letónia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Mônaco, Noruega, Países Baixos, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Romênia, San Marino, Sérvia, Suécia, Suíça, Turquia).

² Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WO): fórum global para serviços de propriedade intelectual, política, informação e cooperação. Formado por 191 Estados membros.

instalada, seguido pela Alemanha com 28,5% e China com pouco menos de 15% (GWEC, 2018).

A indústria *offshore* da China está em ascensão. Em 2017, 1164 MW de novas instalações elevaram o total acumulado para 2.788, colocando a China em terceiro lugar globalmente, atrás do Reino Unido e da Alemanha (GWEC, 2018).

Embora não houvesse novas instalações *offshore* nos Estados Unidos em 2017, muita atividade ocorreu, garantindo um desenvolvimento sólido para os próximos anos. Existem planos ambiciosos e grande interesse de fabricantes, desenvolvedores e investidores europeus nesse segmento de mercado potencialmente enorme. O alto preço da eletricidade no atacado, a alta demanda de eletricidade junto com os governos estaduais que apoiam a indústria de energia renovável são os principais propulsores do desenvolvimento eólico *offshore* (GWEC, 2018). Ainda de acordo com esse relatório, uma meta definida nos Estados Unidos é ter até 2030 2,4 GW de capacidade instalada.

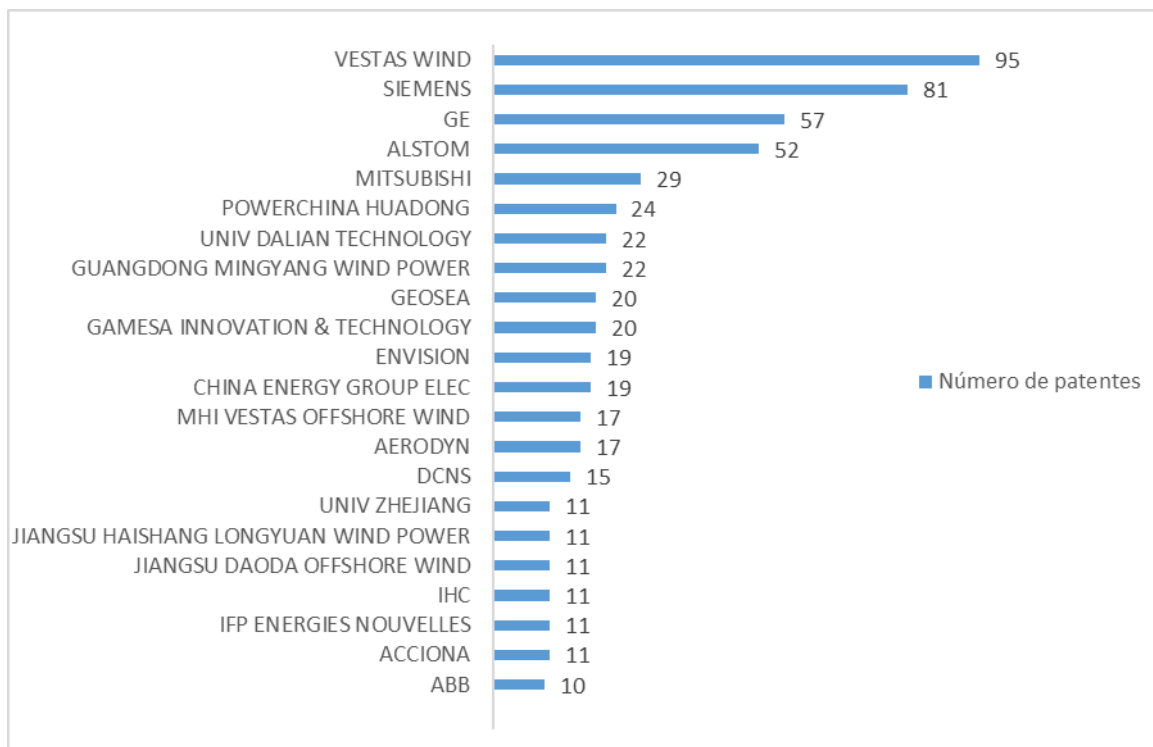
Os dados apresentados pela GWEC explicam o fato da China, Europa, Reino Unido, Alemanha e Estados Unidos serem os principais países a registrarem patentes, como mostrado na Figura 4.3, visto que estes se destacam no setor eólico *offshore*. A Dinamarca, considerada berço da tecnologia para energia eólica, registrou 17 patentes de forma independente, as quais entraram com sua parcela na coluna Outros da Figura 4.2. Ressaltamos que suas patentes são predominantemente registadas na EP e WO, o que explica o fato desse país não aparecer na Figura 4.3, mas isso não significa que esse país não possui um número considerável de registros de patentes, visto que a EP e WO apresentaram 421 e 283 registros, respectivamente.

4.1.3. Depositantes

Para identificar as organizações que lideram o desenvolvimento da tecnologia eólica *offshore*, foram consideradas na análise os proprietários que mais depositaram documentos de patente no período estudado. A Figura 4.4 exibe o nome das principais empresas com suas respectivas quantidades de patentes depositadas.

Da mesma forma que ocorreu na análise das regiões, também precisou-se considerar mais de um depositante por patente, pois para registrá-la em outro país é preciso depositar um pedido equivalente no país ou região onde se deseja obter a patente. Deve-se designar um procurador para representar o depositante em cada um dos países escolhidos. Encontramos 1604 depositantes nas 764 patentes analisadas.

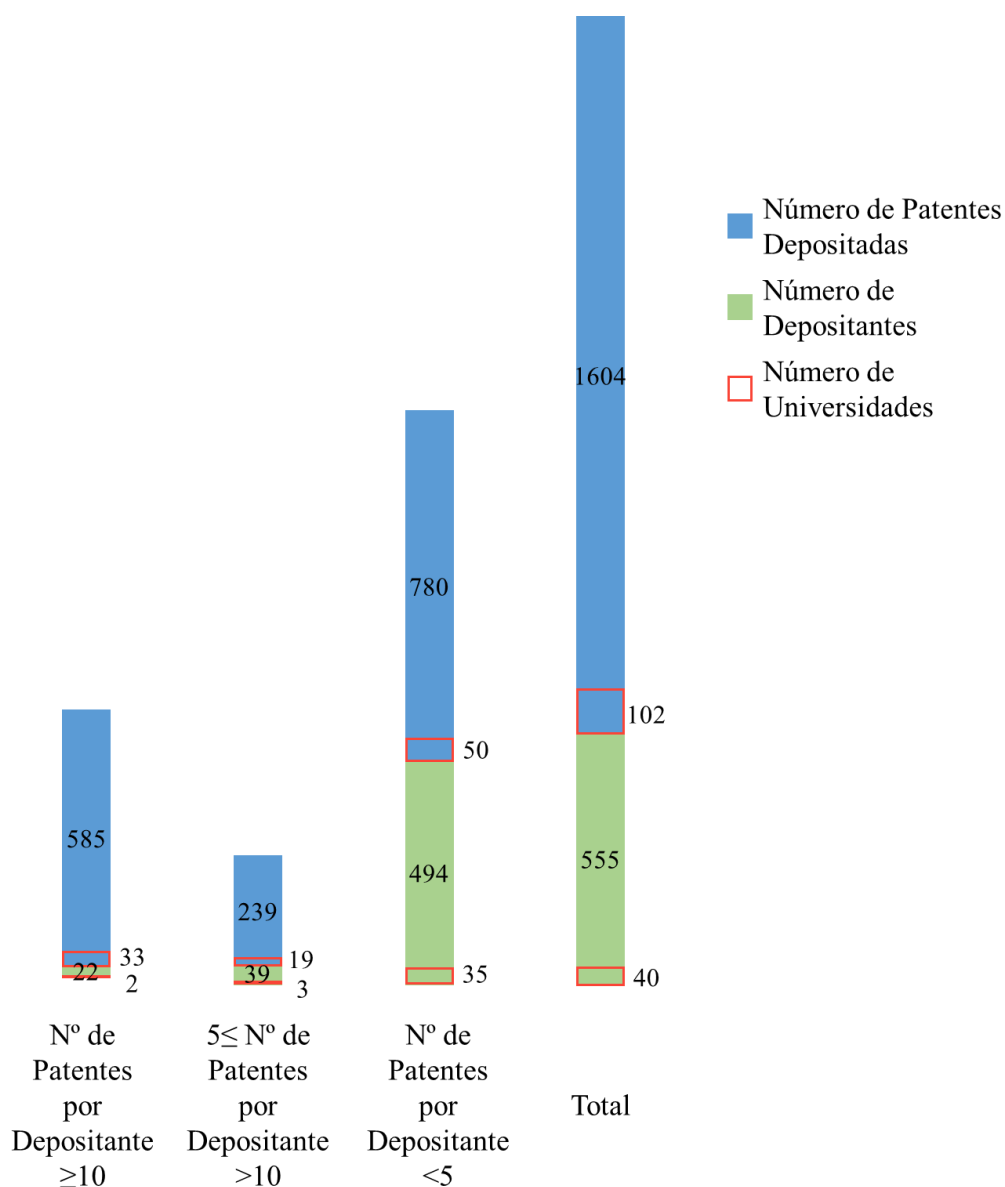
Figura 4.4 - Principais empresas depositantes de patentes.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados coletados na base Derwent.

As organizações apresentadas na Figura 4.4 caracterizaram-se como as mais importantes, pois as empresas/instituições com 10 ou mais depósitos de patentes, juntas, representam aproximadamente 37% do total analisado. As empresas/instituições com quantidade de depósitos de 5 a 10, apresentam cerca de 15% e as com menos de 5, acumulam quase os outros 50% restantes. A Figura 4.5 exibe os valores dessa divisão, acrescido com a parcela das universidades em quantidade de patentes e depositantes.

Figura 4.5 - Número de patentes e depositantes por quantidade de patentes depositadas.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados coletados na base Derwent.

Entre as universidades depositantes, a Dalian University of Technology e a Zhejiang University se sobressaíram, com 22 e 11 depósitos, respectivamente. Ambas universidades são chinesas.

Em relação as 22 empresas apresentadas na Figura 4.4, a Siemens, segunda empresa com mais número de depósitos de patente, é a principal fornecedora de turbinas eólicas *offshore* na Europa, com 64% do total da capacidade, seguida da MHI Vestas com 18% (GWEC, 2018).

A MHI Vestas é a principal empresa detentora das tecnologias de turbinas eólicas *offshore*. Surgiu em 2014, sendo um empreendimento conjunto entre a Vestas e

Mitsubishi. Por ser uma empresa relativamente nova, sua parcela na Figura 4.4 não parece ser tão representativa, mas se considerarmos a junção desse valor acrescido da parcela das empresas Vestas e Mitsubishi, separadamente, notamos sua representativa no setor.

A Vesta é uma empresa dinamarquesa que projeta, fabrica, instala e faz manutenção em turbinas eólicas em todo o mundo. Usam dados para interpretar, prever e explorar recursos eólicos e fornecer soluções de energia eólica. Em 1980, em resposta à crise do petróleo no Japão, a Mitsubishi construiu seu primeiro protótipo de turbina eólica, uma máquina de 40kW.

A General Electric (GE), assim como a Vestas, também fabrica e vende turbinas eólicas para o mercado internacional. Em 2016, a GE foi a segunda maior fabricante de turbinas eólicas *onshore* do mundo. Estão desenvolvendo a turbina eólica *offshore* mais potente do mundo, com capacidade de 12 MW, rotor de 220 m, pás de 107 m. Também será a mais eficiente das turbinas eólicas no oceano, apresenta um fator de capacidade de 63% (GE, 2019).

A GE chegou a um acordo com a Alstom, empresa francesa, em 2014 para comprar os negócios de energia e eletricidade da Alstom. A tecnologia complementar, a capacidade global, a base instalada da Alstom, aumentam o crescimento industrial da empresa, oferecendo aos clientes ofertas de tecnologia abrangentes do setor de energia devido à combinação de diferentes tecnologias da GE e da Alstom, incluindo os projetos como a Usinas de energia Exelon, no Texas, composto de turbinas a gás GE 7HA e geradores de vapor de recuperação de calor da Alstom (GE, 2015).

4.1.4. Classificação Internacional de Patentes

A Classificação Internacional de Patentes ordena os documentos de patentes, a fim de facilitar o acesso à informação tecnológica neles contida, podendo ser vista como uma etiqueta tópico para o conteúdo do documento de patente, determinando similaridade entre temas de duas ou mais patentes com base nos seus códigos IPC.

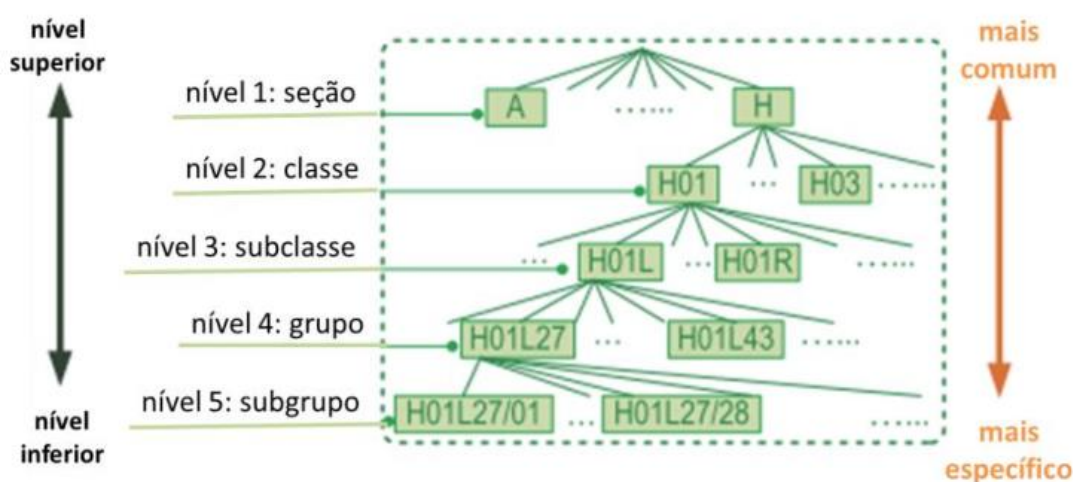
A classificação é um recurso dentro de documentos de patentes estabelecido pelo Acordo de Estrasburgo em 1971. Informações sobre a Classificação Internacional de Patentes, também conhecida como IPC, são publicadas pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO) (KANG, 2012).

Os documentos de patentes são mais similares, quanto mais prefixos tiverem em comum nos seus códigos IPC. Por exemplo, dado três patentes com códigos IPC E02B (engenharia hidráulica), E02D (fundações; escavações; aterrar; estruturas subterrâneas ou

subaquáticas), E04H (edifícios ou estruturas semelhantes para fins específicos; banhos de natação ou respingos ou piscinas; mastros; cerco; tendas ou dossel) as duas primeiras patentes são mais semelhantes do que as duas últimas.

A classificação tem uma estrutura hierárquica de cinco níveis, composto por seção, classe, subclasse, grupo e subgrupo. A hierarquia contém um total de oito seções, 131 classes, 645 subclasses, 7483 grupos principais, 67020 subgrupos e 74503 grupos (WIPO, 2018). A Figura 4.6 é um exemplo de código IPC.

Figura 4.6 - Árvore hierárquica³ IPC.



Fonte: Traduzido de CHEN; CHIU, 2013.

Analisando as 764 patentes, verifica-se que uma mesma patente pode apresentar mais de uma classificação. Considerando-se isto, fez-se uma análise de primeiro nível e encontramos os resultados exibidos no Quadro 4.2, onde a Seção F tem o maior destaque dentre as outras oito seções com aproximadamente 39% do número de patentes analisados, seguida da Seção E, com 28%. Ressalta-se o fato destas juntas apresentarem 67% do total de patentes analisadas, indicando que as tecnologias de aerogeradores *offshore* mais estudadas enquadram-se nas seções referentes a construções fixas e engenharia mecânica; iluminação; aquecimento; armas; explosão.

³ Tradicionalmente desenha-se a raiz na parte superior e todos os nós subordinados na parte inferior, mas o contrário também é possível. Linhas que unem dois nós indicam o relacionamento lógico entre eles.

Quadro 4.2 - Distribuição do número de patentes por seções do IPC.

Seção	Descrição	Nº de patentes	Porcentagem
A	Necessidades humanas	29	1%
B	Realizar operações; transporte	498	17,4%
C	Química; metalurgia	73	2,6%
D	Têxteis; papel	0	0%
E	Engenharia mecânica; iluminação; aquecimento; armas; explosão	795	27,8%
F	Construções fixas	1102	38,6%
G	Física	93	33,3%
H	Eletricidade	265	9,3%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados coletados na base Derwent.

Uma análise mais detalhada das classificações das patentes também foi feita, a de terceiro nível ou subclasse, mostrada no Quadro 4.3. As principais subclasses identificadas foram três: F03D, E02D e B63B, nessa ordem. Em um total de 137 subclasse, a classe F03D (motores de vento) representa aproximadamente 42% dos 2855 registros de patentes. Juntas, as três subclasses mencionadas representam 80% das patentes analisadas. Para cada seção selecionou-se pelo menos uma subclasse, aquela que apresentasse a maior quantidade de patentes naquela seção ou estivesse dentro das principais subclasses identificadas, exibidas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Distribuição do número de patentes por subclasse do IPC.

Seção	Subclasse	Descrição	Nº de patentes	Porcentagem
A		Necessidades humanas		
	A01K	Criação animal; cuidado de aves, peixes, insetos; pescaria; animais de reprodução ou de reprodução, não fornecidos por outra forma; novas raças de animais	19	0,9%
B		Realizar operações; transporte		
	B63B	Navios ou outros navios semelhantes; equipamento para o transporte	323	14,5%
	B66C	Guindastes; elementos ou dispositivos de engate de carga para guias, cabrestante, guinchos ou encaixes	75	3,4%
C		Química; metalurgia		
	C23F	Remoção não-mecânica de material metálico de superfícies; inibir a corrosão de material metálico; inibir a incrustação em geral	16	0,7%
D		Têxteis; papel		
E		Engenharia mecânica; iluminação; aquecimento; armas; explosão		
	E02B	Engenharia hidráulica	140	6,3%
	E02D	Fundações; escavações; aterrar; estruturas subterrâneas ou subaquáticas	520	23,4%
	E04H	Edifícios ou estruturas semelhantes para fins específicos; banhos de natação ou respingos ou	66	3,0%

		piscinas; mastros; cerco; tendas ou dossel, em geral		
F		Construções fixas		
	F03D	Motores de vento	939	42,3%
G		Física		
	G01N	Investigando ou analisando materiais por determinar suas propriedades químicas ou físicas	24	1,1%
H		Eletricidade		
	H02K	Dínamo - máquinas eléctricas	100	4,5%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados coletados na base Derwent.

As três principais subclasses referem-se a motores de vento, fundações, navios e equipamento para o transporte. Os motores têm função fundamental para a geração da energia eólica, convertendo a energia cinética do vento em energia elétrica. As fundações das torres eólicas constituem um elemento fundamental das estruturas que suportam, pois transmitem ao solo os esforços induzidos pela força do vento, por outras ações e pelo peso da estrutura e dos equipamentos. Quanto ao transporte dos componentes para o local da instalação, devem ser utilizadas embarcações e equipamentos de elevação, exemplo, guindastes, especializados para que isso torne-se possível.

4.2. ANÁLISE QUALITATIVA

A análise de patentes por meio de mapas para representar dados não estruturados fornece uma visão das tendências tecnológicas atuais, como também permite que os formuladores de políticas de P&D possam prever tecnologias futuras e identificar potenciais concorrentes. Outra aplicação útil de ferramentas de análise de patentes para apoiar tarefas de P&D para planejamento estratégico de tecnologia é chamada *Technology Roadmapping* (TRM) (PHAAL et al., 2003). O TRM é uma metodologia que é usada para apoiar as tarefas estratégicas de pesquisa e desenvolvimento de uma organização com o objetivo de mapear os desenvolvimentos tecnológicos com a evolução do produto e oportunidades de mercado (PHAAL et al., 2003).

O uso da classificação de patentes como uma ferramenta para organizar e buscar informações sobre patentes tem sido utilizado na pesquisa do estado da arte sobre um determinado campo tecnológico e suas inovações (KANG, 2012). Com base nos resultados da análise quantitativa obtidos no Quadro 4.3 da seção 4.1.4, realizou-se uma análise quantitativa, onde leu-se algumas descrições de patentes, tomando como base aquelas inseridas nas classificações com maior percentual, ou seja, as principais subclasses identificadas.

4.2.1. Motores de Vento

Como resultado, encontramos que nas patentes referentes a motores de vento, temos as turbinas eólicas de eixo horizontal com três pás, como as mais difundidas no mercado, devido sua maior potência. Porém também existem estudos em geradores de turbina eólica *offshore* de eixo vertical, onde as pás se dispõem ao redor da torre no sentido circunferencial (LI, 2018; GILLOTEAUX et al., 2014; GUPTA et al., 2013). As pás podem ser inclinadas e ajustadas como um “guarda-chuva”, de modo a mudar a área de sopro regulando uma carga de vento (WEN, YAN, ZHANG, 2014). Essas turbinas lidam muito melhor com condições de turbulência, assim, danos de maré em turbinas eólicas de eixo vertical *offshore* são reduzidos, aumentando a vida útil da turbina (MABILE, GILLOTEAUX, GILLOTEAUX, 2014; LACAZE et al., 2013; SARRAZIN, DAMAGEUX, 2013).

A respeito do número de pás, atualmente não existem usinas eólicas *offshore* de turbinas com duas pás, mas a indústria pode leva-las em consideração quando as pás ficarem muito compridas ou quando o vento estiver flutuante. Duas pás podem reduzir cargas de fadiga da subestrutura, quando comparadas a três (VAN, BOONSTOPPE, 2010).

Outra opção de substituição quando tivermos pás ainda mais longas, é a turbina de múltiplos rotores, reduzindo custos de transporte, fabricação, manutenção e montagem associados às grandes pás. Sua desvantagem é o efeito esteira causado pela proximidade das turbinas, mas se elas forem longe o suficiente, esse efeito pode ser minimizado (OFFSHORE WIND INNOVATION HUB, 2019).

Tentando solucionar esse problema de dimensão das pás, existem as pás segmentadas que facilitam o transporte, proporcionam maior controle de qualidade de fabricação e reduzem custos. Para regiões que sofrem com tufões, há pás segmentadas projetadas para esse fenômeno (ZHANG et al., 2018a; ZHANG et al., 2018b). O modelo realiza a dobragem da seção da pá quando o tufão se aproxima, reduzindo efetivamente a carga do vento no sistema do gerador. O uso de strakes também pode ser feito para reduzir a geração de vórtices (MOELLER et al., 2016).

Mais um modelo de pá segmentada compreende uma estrutura com três camadas (ZHANG et al., 2018b). A camada interna e a camada externa são feitas de fibra de vidro reforçada com plástico e a camada do meio de Policloreto de vinila (PVC). As seções de base e a seções de ponta são unidas por parafusos formando a pá inteira.

Adjacente à posição de conexão, ocorre uma região de fraqueza devido velocidades reais de vento maiores do que velocidades projetadas, com isso, áreas fracas devido à camada de PVC apresentam defeitos, de modo que tal seção se parta na área enfraquecida. Esse modelo impede que a pá inteira seja substituída, reduzindo o custo de manutenção e substituição (ZHANG et al., 2018b).

Uma tecnologia que vem sendo estudada é a de turbinas eólicas com o uso de pipas (OFFSHORE WIND INNOVATION HUB, 2019). A Kite Power Solutions, empresa localizada no Reino Unido, destina-se a implantar seu primeiro sistema de energia 3MW em águas *offshore*. Duas pipas que são fixadas em uma corda de fibra feita entre 500 m e 750 m de comprimento, são presa a um sistema gera eletricidade. Ao atingir velocidades de vôo de até 100 mph em ventos de 20 mph, a tensão da corda faz com que a linha saia rapidamente de um tambor, que é conectado a um gerador de eletricidade. Tal sistema reduz a quantidade de aço requerida em mais de 75%, e o sistema de ancoragem é um equipamento já usado na indústria de petróleo *offshore* para instalar embarcações flutuantes (OFFSHORE WIND INNOVATION HUB, 2019).

4.2.2. Fundações e Estruturas

Os projetos atuais de fundações fixas se concentram nos conceitos de monopile ou jacket. A fundação jacket compreende uma base de fundação de estacas, com luvas de múltiplos cantos, formando uma treliça. Fundações monopiles foram aumentando de tamanho (diâmetro e espessura da parede) juntamente com o crescimento da indústria eólica *offshore*, surgindo o termo XL Monopiles para monopile com aproximadamente 7 m de diâmetro. Ao aumentar o diâmetro e/ou a espessura da parede da monopile, maiores cargas, ou seja, maiores turbinas, ou maiores profundidades de água podem ser alcançadas.

Preencher a ligação da estrutura na face do leito do mar até uma certa altura da coluna do tubo de aço com rejunte (*grouting*), aumenta a força estrutural, resistência à flexão, capacidade anti-torção, podendo até diminuir o diâmetro da estaca, reduzindo custos de material, fabricação e construção de tubos de aço (XUN et al., 2015).

As turbinas eólicas *offshore* também podem ser instaladas sem o rejuntamento nas fundações de estacas. A estaca de tubos de aço é equipada com uma máquina de perfuração, a haste da máquina de perfuração passa através das estacas de tubos de aço e a extremidade inferior da máquina de perfuração é instalada com uma broca. Esse modelo

proporciona construção simples e conveniente com poucos procedimentos, alta eficiência de construção e reduz o custo de construção (GAO, TANG, LUO, 2017).

A monitoração de estacas pode ser realizada a partir de sensores óticos, instalados na parte interior da base da estaca, ao longo de sua direção, identificando com maior precisão deformações vertical, por exemplo. Esse *feedback* inteligente possui alta aplicabilidade, fabricação rápida e garantia de qualidade (HOU et al., 2015).

Fundações *offshore* também podem ser compostas por mais de um tipo de material e/ou por junção de modelos diferentes de fundações. Pode-se utilizar aço para o núcleo de uma coluna e fibra de basalto como o tubo desta coluna, ou ainda, a coluna central de concreto e o tubo de aço inoxidável. Essas estruturas podem efetivamente aliviar a vibração induzida por vórtices no oceano, como também reduzir a corrosão (CHEN, QIAN, 2018).

As Fundações Baseadas em Gravidade (GBS) são feitas de aço e concreto armado, otimiza o projeto pela utilização de menos aço e, como consequência reduz o custo de fabricação. Os GBS podem ser fabricados em terra antes de serem lançados para o mar. Um dos principais desafios para a sua fabricação é a área de terra necessária, como também o método de implantação e o tempo de fabricação. Usar embarcações para fabrica-los abre oportunidades, porque elas podem ter mais versatilidade na navegação e embarcação.

As estruturas de ancoragem só são necessárias no caso de turbinas eólicas flutuantes, para manterem a turbina numa área restrita e para permitirem a navegação de embarcações nessa zona, evitando acidentes. Nessas estruturas, um método é dispor a torre em um caixão central e um conjunto de linhas de ancoragem pré-tensionadas são fixados de forma flexível ao caixão central, proporcionando assim a estabilidade necessária e rigidez ao sistema de turbina eólica. O dispositivo de tensionamento em linha é disposto no nível de água ou abaixo dele para facilitar o ajuste da tensão nas linhas de ancoragem com base nas condições do local. O sistema é independente da profundidade da instalação (KOTHNUR et al., 2007).

As fundações compostas por um corpo de flutuação submerso podem ser providas de um mecanismo para restringir e/ou controlar o ângulo de inclinação do eixo longitudinal a torre em relação à direção vertical, definindo a posição *offshore* da turbina dentro de limites predeterminados (SIEG, 2003). Essas fundações flutuantes podem ter em sua estrutura um casco de seção imersa com um espaço interior preenchido por espuma (AGUILO, LANCA, MENENDEZ, 2017).

Outras estruturas *offshore* flutuantes são dispostas de tal forma que para permanecerem abaixo do nível do mar, canais de passagem são dimensionados de tal forma que a água do mar flui para dentro e para fora da estrutura de conexão de acordo com as variações do nível do mar, realizando o nivelamento automático da base do cano (BETRAN et al., 2015).

O uso de gás pressurizado em tanque flutuante, é outro método usado em fundações flutuantes. Esse permite equilibrar parcialmente a pressão hidrostática exercida pela água nas paredes do tanque (MENENDEZ, 2013).

Em relação as torres, uma torre típica de turbina eólica consiste atualmente em um cilindro oco de aço de 'parede fina', que é econômico e simples de fabricar e também permite o acesso/alojamento de sistemas dentro da torre. Torres de treliça e de concreto caracterizam-se como tecnologia disruptiva, ou seja, vão de ruptura com os padrões, modelos ou tecnologias já estabelecidos no mercado (OFFSHORE WIND INNOVATION HUB, 2019). Pelo mesmo, uma torre treliçada pode ser um facilitador para inovações disruptivas, como torres de múltiplas turbinas, onde mais de uma turbina é conectada à mesma torre. Uma torre de treliça por ser formada por vários de tubos de menor diâmetro, torna-se capaz de suportar maiores cargas, no entanto, são tipicamente mais complexas para projetar e fabricar.

As torres de concreto têm um custo relativamente baixo, em comparação as de aço, no entanto, isso deve ser avaliado com o aumento no volume que pode ser necessário para garantir que as cargas possam ser suportadas. O concreto tem uma alta resistência à compressão e pode ter alta resistência à tração se for reforçado com aço (ou outros materiais) (OFFSHORE WIND INNOVATION HUB, 2019).

Um modelo de turbina inovador, consiste em uma turbina com a tecnologia de dobragem telescópica. Essa possui uma plataforma flutuante *offshore* conectada com um poste vertical dobrável através de parafusos (LIN et al., 2017). A turbina executa o processo de dobragem telescópica de uma forma eficaz, reduz o volume e é conveniente para o processo de transporte e evita a desmontagem e o custo de instalação do fundo do mar.

4.2.3. Navios, Equipamentos e Transporte

Os parques eólicos *offshore* são implementados, em sua maioria, em locais longe da costa. A escassez em navios e equipamentos adequados para o transporte e instalação

são fatores encarecedores do custo dessas usinas, além das restrições de navegação e alojamento em áreas de proteção ambiental.

Para a implantação dos componentes, devem ser utilizadas embarcações especializadas, como barcaças, para que o transporte dos componentes seja possível. Também são necessários equipamentos mais especializado para a montagem, como guindastes. Um novo modelo de guindaste refere-se a um tipo de estrutura de dimensão portátil, compreendendo cilindro principal e braço treliçado, podendo alcançar alta altitude, levantar cargas pesadas e ser fácil de operar (BI et al., 2015).

O deslocamento de mão de obra especializada é outro fator fundamental da logística de transporte *offshore*, sempre prezando pela segurança do trabalhador. É extremamente caro e ineficiente enviar técnicos em pequenos navios diariamente. Uma solução para esse gargalo é a utilização de grandes embarcações como espécies de plataformas, podendo serem estacionadas em um local por várias semanas, com leitos, onde os trabalhadores possam repousar e através de embarcações menores serem transferidos para as turbinas.

Um método diferente para reduzir os custos de transporte de técnicos é usar helicópteros que apresenta um conjunto diferente de benefícios em comparação com os navios (ZELL, 2012), como por exemplo, o transporte de pessoas quando se tem ondas de alta altitude. Helicópteros também são menos propensos a sofrer desgastes por não passarem tantos dias consecutivos no mar quanto os navios (ZSCHÖGE et al., 2010).

Quanto às embarcações, uma solução para o manuseio das pás com maior segurança e custos reduzidos é um criar um arranjo de prateleiras de pás nos navios, podendo acomodar uma maior quantidade de pás (BOTWRIGHT et al., 2016). A respeito da instalação dessas, um método proposto é o de instalação com torre variável. Esse envolve o acoplamento de um componente na torre eólica e somente após, estende-la. Por exemplo, depois que todas as pás sejam fixadas à turbina, estende-se a torre para sua altura final.

Navios semissubmersível do tipo *Jack up* são muitos utilizados na montagem das turbinas. Podem se criar modelos menores, com rápida velocidade de elevação para montagens em águas pouco profundas, tornando-se conveniente a manutenção do mesmo, representando ampla perspectiva de mercado (HE et al., 2014).

Inovações no design de rebocadores também podem melhorar o custo de tempo, mão de obra, combustível, a propriedade de aeronavegabilidade, mantendo uma segurança equivalente ao design já utilizado. Este novo modelo traz um convés mais

extenso e firme, fornecendo mais segurança de operação e podendo ser usado para empilhamento de cargas, ao mesmo tempo que pode ser usado para realizar reparos de turbinas eólicas *offshore* (WANG, ZHANG, WU, 2015).

Outro fator capaz de reduzir custo de montagem, instalação, reparos e manutenção é o uso de plataformas flutuante, onde transportam um componente para o destino desejado após ser rebocada para a região de serviços, reparos e manutenção (PAO et al., 2009).

4.2.4. Materiais

Apesar de nenhuma das subclasses relevantes tratarem sobre materiais, os materiais utilizados nas turbinas eólicas *offshore* apresentam grande importância em fatores, como custo, resistência, peso, fabricação e impactos ambientais. Por esta razão, decidiu-se fazer uma análise neste tema.

Materiais compósitos são uma boa alternativa para esses problemas, diminuindo inclusive custos em manutenção. Esses podem ser aplicáveis a quaisquer componentes, como pás, torres, subestruturas, cabos.

O desenvolvimento de materiais que possam manter sua integridade e auto-cura também deve ser investigado para que esses sejam capazes de reparar-se sozinhos quando possíveis defeitos venham a ocorrer, como por exemplo, degradação do material. O material atualmente utilizado na pá não é recuperável, não é reciclável e não pode ser trocado quando for curado. Pás feitas com resinas termoplásticas podem ser repetidamente derretidas e re-curadas, permitindo fácil reparo de defeitos, reciclagem e colagem de juntas (MISHNAEVSKY et al., 2017; OFFSHORE WIND INNOVATION HUB, 2019).

A adição de aditivos à resina de compósitos reforçados com fibras permite a obtenção de novas aplicabilidades, como resistência à erosão e gelo. Areias, gotas de chuva e gelo causam erosão nas pás, soluções de fita e revestimento, como *sprays* térmicos de ligas de alumínio e zinco, são geralmente usados visando evitar tal problema. As soluções atuais podem durar de 1-16 anos com limitação de velocidades de 85 m/s (OFFSHORE WIND INNOVATION HUB, 2019). Métodos que forneçam o tamanho da gota e da intensidade da precipitação, podem prever de maneira mais precisa o início da erosão, quando comparado com o tamanho de gota estimado no projeto, melhorando o controle da turbina eólica (FUJIOKA, 2018).

Diminuir a umidade relativa do ar dentro da nacele, também minimiza a taxa de corrosão dos componentes. Pode-se usar como método de prevenção sistemas de controle climático que possuem circuitos de resfriamento adaptados para transportar o calor gerado por um componente de uma nacele (SABHAPATHY, 2013).

Nos componentes submersos, como fundações do tipo monopile, metais de sacrifício são geralmente usados para prevenir corrosões (CHE et al., 2015). Contra erosão em fundações, há um método que envolve o fornecimento de uma esteira de proteção contra erosão com um arranjo de elementos de sedimentação interconectados sobre a tubulação e ancorada no fundo do mar. Esses sedimentos são fabricados a partir de materiais prontamente disponíveis, simplificando o processo de fabricação e o processo de instalação e reduzindo o impacto no ambiente marinho e ecológico (DURRANT, 2011).

CAPÍTULO 5 - MAPA ATUAL E FUTURO DAS TECNOLOGIAS DE TURBINAS EÓLICAS *OFFSHORE*

Este capítulo descreve o mapeamento tecnológico das turbinas eólicas *offshore*, com a identificação das tecnologias existentes, bem como sua evolução tendo como base a análise de artigos científicos, as patentes, os relatórios técnicos e informações de sites especializados do setor de energia eólica *offshore*.

Para a descrição detalhada do mapa tecnológico foi necessário dividir a turbina eólica *offshore* em nacelle, rotor e estrutura de suporte (TEMPEL, 2006). Ainda, esta última compreende os componentes fundação e torre.

5.1. ROTOR

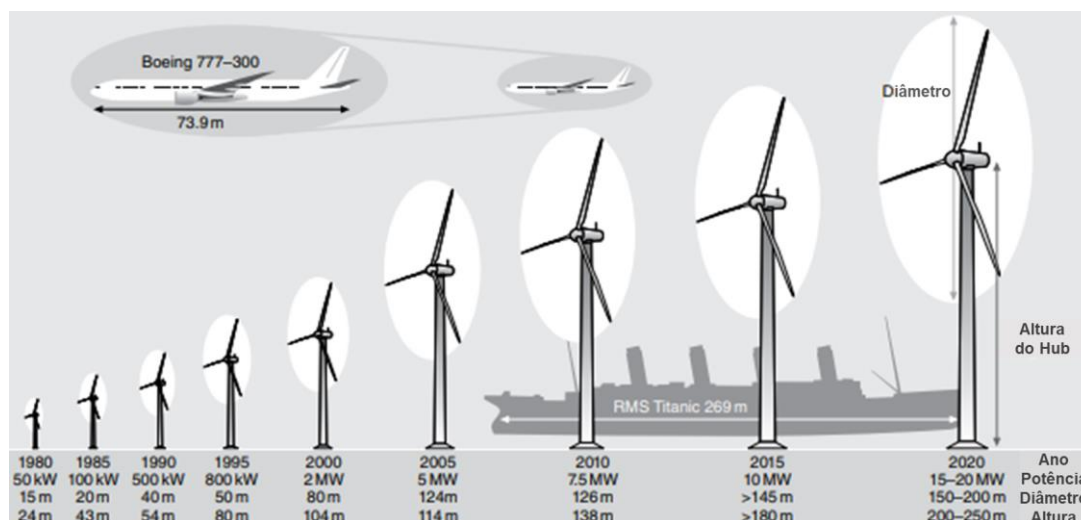
5.1.1. Capacidade, Dimensão e Design

As turbinas eólicas *offshore* atualmente instaladas têm uma capacidade nominal de 8.5 MW e diâmetro do rotor de 164 metros, porém, em meados de 2019 usinas eólicas entrarão em operação, com turbinas de 9.5 MW de capacidade nominal e diâmetro do rotor de 174 metros. Ainda está previsto a entrada em operação para 2021 de outras usinas eólicas *offshore* com turbinas de 10 MW de capacidade nominal (VESTAS, 2019). Esse avanço tecnológico continuará até 2022, devido a GE ter anunciado em 2018 o desenvolvimento da turbina *offshore* Haliade-X de 12 MW, com pás de 107 metros de comprimento, resultando em um diâmetro do rotor com 220 metros. Ela apresenta um fator de capacidade de 63%, cinco pontos acima do padrão da indústria (IRENA, 2018; GE, 2018).

A Siemens Gamesa apresentou para 2019 a nova SG 10.0-193 DD, turbina eólica *offshore* de 10 MW e 193 m de diâmetro. A MHI Vestas também já possui uma máquina de 10 MW, com 164 m de diâmetro a V164-10,0 MW, já disponível comercialmente e pronta para instalação a partir de 2021 (Siemens Gamesa, 2018; MHI Vestas, 2018).

As empresas continuam trabalhando em novos conceitos para turbinas ainda maiores, como 12 MW, 15 MW e até 20 MW, previstas até 2030 (NEEDS, 2008; GWEC, 2016). Em um estudo feito pela EWEA em 2009, já previa as turbinas de 20 MW (Figura 5.1).

Figura 5.1 - Evolução no tamanho de turbinas eólicas comerciais.

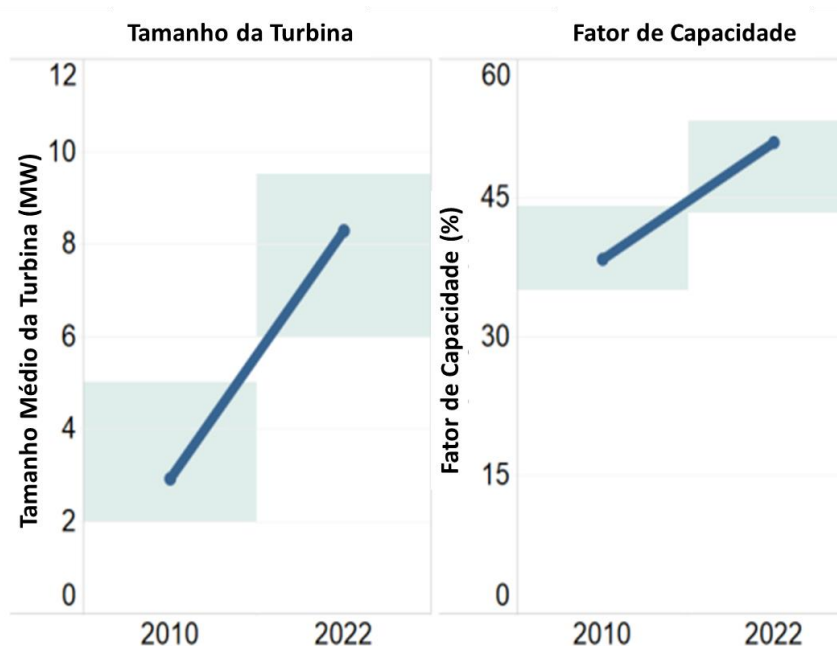


Fonte: Adaptado de Anaya-Lara, 2018.

O aumento de potência nominal das turbinas eólicas está contribuindo para a redução de custos. Turbinas maiores, com áreas de varredura maiores, geram fatores de maior capacidade para uma mesma qualidade de recursos. Até 2020, o tamanho médio das turbinas para os novos parques eólicos *offshore* está prospectado para uma potência de até 20 MW.

Ainda, considerando o fator de capacidade, como indicador fundamental no desempenho de uma usina eólica, pesquisas como as da IRENA (2018) confirmam que esse fator de capacidade média ponderada global de novos parques eólicos *offshore* poderia aumentar em um terço entre 2010 e 2022, de 37% para 51% (Figura 5.2).

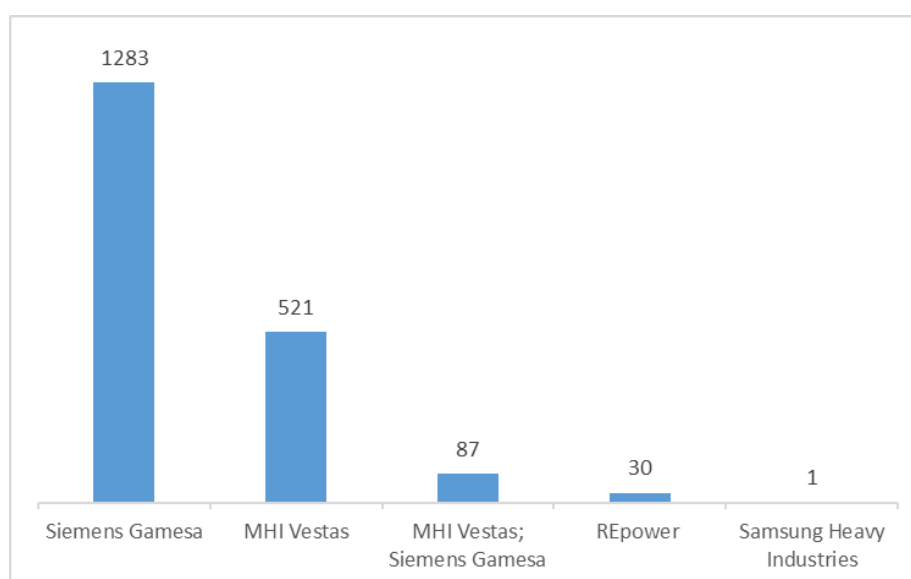
Figura 5.2 - Fatores médios de tamanho e capacidade da turbina eólica *offshore* entre os anos de 2010 e 2022.



Fonte: Traduzido de IRENA, 2018.

O Reino Unido é a região com maior capacidade eólica *offshore* instalada. Devido a isso, escolheu-se essa região para a realização de um mapeamento tecnológico dos seus parques comissionados, buscando informações sobre capacidade, modelos de aerogeradores, fundações e profundidade da lâmina d'água, visando uma comparação com o encontrado no referencial teórico. A Figura 5.3 mostra quais são as principais empresas fornecedoras de turbinas eólicas *offshore* aos parques do Reino Unido.

Figura 5.3 - Número de turbinas por fabricantes no Reino Unido.

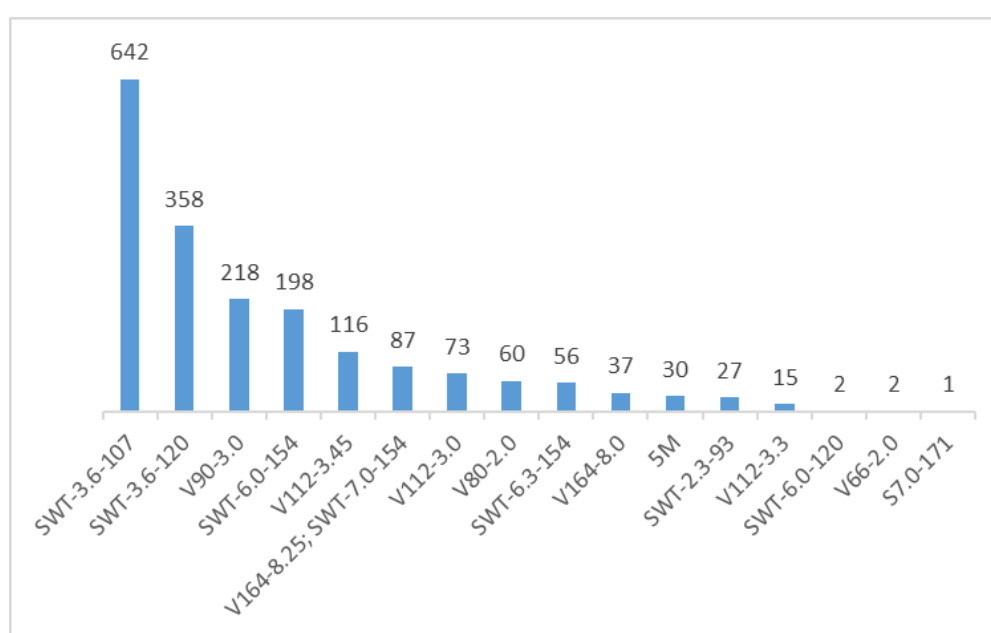


Fonte: Elaboração própria.

Comparando a Figura 5.3 com a Figura 4.3 (principais empresas depositantes de patentes), verificamos que as empresas Siemens, MHI Vestas e Samsung são as principais protagonistas no desenvolvimento de tecnologias assim como no fornecimento de turbinas eólicas *offshore* para este setor.

Em relação aos modelos de turbinas mais utilizados nos parques eólicos *offshore* do Reino Unido, encontramos turbinas de 2 MW a 8.25 MW de potência (Figura 5.4), sendo as turbinas de 3.6 MW de potência da fabricante Siemens Gamesa, a mais utilizada, com diâmetro do rotor que vai de 107 m a 120 m.

Figura 5.4 - Quantidade de aerogeradores por modelo da turbina.



Fonte: Elaboração própria.

Em relação ao design dos aerogeradores, atualmente o mercado eólico *offshore* adota turbinas de eixo horizontal com três pás. Porém, existem projetos de turbinas com duas pás (Seawind), ou uma única pá. Também existem estudos em geradores de turbina eólica *offshore* de eixo vertical, onde as pás se dispõem ao redor da torre no sentido circunferencial. Outra opção são as turbinas de múltiplos rotores ou turbinas eólicas com o uso de pipas, ao invés de pás. As pás das turbinas eólicas cada vez mais tendem a aumentar suas dimensões, tentando solucionar problemas causados por esse crescimento, como transporte e fabricação, existem projetos de pás segmentadas.

5.1.2. Sistema de Geração

Os sistemas de geração de turbinas eólicas de eixo horizontal podem ser categorizados em dois grupos principais, turbinas eólicas operadas por caixa de

engrenagem e turbinas eólicas de acionamento direto. As turbinas eólicas com caixa de engrenagem usam as pás do rotor para acionar o eixo principal que é conectado através de uma caixa de engrenagem ao gerador. A caixa de engrenagem converte a baixa velocidade rotacional do sistema em alta velocidade de rotação que o gerador precisa para gerar eletricidade. Esta transição de velocidade rotacional requer várias engrenagens e rolamentos. A turbulência do vento causa estresse e fadiga nesses componentes, o que torna a caixa de engrenagens um dos componentes de maior manutenção de uma turbina eólica (FAULSTICH et al. 2011).

Uma turbina eólica de acionamento direto, não usa caixa de engrenagem. Essa aciona diretamente o gerador, o que reduz o nível de ruído. No entanto, pode-se esperar que as turbinas eólicas de acionamento direto com geradores síncronos tenham geradores de baixa velocidade, alto torque e grande diâmetro, além de conversores com classificação completa, que podem causar alto peso e alto custo das máquinas (HU, 2018). As turbinas eólicas de acionamento direto podem ser do tipo ímã permanente. Essas são superiores em termos de confiabilidade, custo de operação e manutenção, rendimento energético e custo de fabricação do que os conceitos de aerogeradores acima mencionados (SEMKEN et al., 2012).

O gerador de acionamento direto por ímã permanente geralmente tem um grande diâmetro para produzir alto torque e potência, pois a potência é proporcional ao quadrado do diâmetro. Tanto o grande diâmetro quanto o alto torque resultam no aumento de massa para garantir o espaço de ar em uma deflexão adequada contra cargas estáticas e dinâmicas entre o rotor e o estator, aumentando o custo (HU, 2018). Os geradores de ímã permanente podem ser classificados em três categorias pelo caminho de fluxo: geradores ímã permanente de fluxo radial, geradores ímã permanente de fluxo axial e geradores ímã permanente de fluxo transversal, que produzem o fluxo magnético na direção radial, direção axial e perpendicular à direção da rotação do rotor (HU, 2018).

Os geradores de ímã permanente tradicionais geralmente têm ímãs no rotor, o que pode aumentar a temperatura nos ímãs devido à baixa dissipação térmica e causar a desmagnetização irreversível, limitando a densidade de potência do gerador. Em contraste, os geradores de estator com ímas permanentes têm ímãs no estator, o que facilita o controle de temperatura. Existem três tipos desses geradores: duplo ressalto, inversão de fluxo e comutação de fluxo (HU, 2018).

Outra configuração de gerador de ímã permanente é o de engrenagem magnética. Seu princípio básico é que os campos magnéticos produzidos pelos ímãs permanente em

um rotor são modulados por um modulador de fluxo, que gera um campo magnético harmônico com o mesmo número de pólos que o rotor magnético (HU, 2018). Um projeto típico desse gerador inclui um estator, um rotor, um anel estacionário entre o estator e o rotor e ímãs permanentes. As vantagens significativas desse gerador incluem redução de ruído acústico, vibração e manutenção, confiabilidade aprimorada, proteção contra sobrecarga inerente e isolamento físico entre os eixos de entrada e saída (HU, 2018).

5.1.3. Material

Novos materiais e processos de fabricação estão em desenvolvimento para produzir pás mais rígidas, mais leves, de menor custo e maior qualidade, com melhor resistência a raios, resistência ambiental e desempenho aerodinâmico. A fabricação de pás geralmente envolve um elemento significativo de moldagem por infusão de resina, com elementos estruturais construídos no casco da pá ou em uma longarina, unidos às carcaças aerodinâmicas. A maioria das pás de turbinas eólicas *offshore* usam fibra de vidro como principal material estrutural, juntamente com resinas e adesivos à base de epóxi e Alumínio e zinco como tratamento superficial (BVG, 2017; OFFSHORE WIND INNOVATION HUB, 2019). A resistência ao atrito dos compósitos poliméricos também pode ser melhorada pela adição de diferentes tipos de cargas, incluindo fibras curtas de aramida, vidro ou carbono, alumina, dióxido de titânio, dióxido de zircônio, carboneto de silício, polieteretercetona, poliamida, sulfeto de polifenileno, polioximetileno e politetrafluoretileno (LIANG et al., 2011).

Outros tipos de fibras com maior resistência representam uma melhoria desses materiais. Elas constituem fibras de vidro com composições modificadas (S-glass, R-glass, etc.) da usualmente usada (E-glass), fibras de carbono, basalto e aramida (MISHNAEVSKY et al., 2017).

As fibras de carbono são consideradas uma alternativa muito promissora para as fibras de vidro. Essas mostram rigidez muito maior e densidade mais baixa do que as fibras de vidro, permitindo assim pás mais finas, mais rígidas e mais leves. No entanto, eles têm tolerância a danos relativamente baixa, resistência à compressão e tensão final, e são muito mais caros que as fibras de vidro. Compósitos de fibra de carbono são usados pelas empresas Vestas e Siemens Gamesa (BVG, 2017; MISHNAEVSKY et al., 2017).

A rigidez dos compósitos é determinada pela rigidez das fibras e seu conteúdo volumétrico. Com o aumento do conteúdo volumétrico das fibras nos compósitos, a rigidez, a resistência à tração e à compressão aumentam proporcionalmente, mas com um

alto volume de fibras, pode ocasionar áreas secas, sem resina, entre as fibras e a resistência à fadiga da fibra do compósito reduzir.

Outra alternativa interessante é o uso de fibras de aramida e basalto. As fibras de aramida demonstram alta resistência mecânica, são resistentes a danos, mas têm baixa resistência à compressão, baixa adesão a resinas de polímero, absorvem umidade e degradam devido à radiação ultravioleta. As fibras de basalto apresentam boas propriedades mecânicas, são 30% mais fortes, 15-20% mais duras e 8-10% mais leves que o vidro tipo E, e mais baratas do que as fibras de carbono. A aplicação de fibras de basalto em pequenas turbinas eólicas mostrou resultados encorajadores (GRANDE, 2008; HABERKERN, 2006; MENGAL, KARUPPANAN, WAHAB, 2014; ABASHIDZE, MARQUIS, ABASHIDZE, 2015).

Pás de compósitos híbridos também são boas alternativas. Há estudos com pás híbridas formadas de fibras de basalto com fibras de carbono, vidro (E-glass) com carbono, vidro (E-glass) com aramida. Fibras naturais também estão sendo estudadas, como o sisal, linho, cânhamo, juta, bambu (MISHNAEVSKY et al., 2017).

Na matriz das pás, geralmente usa-se termofixos (epóxi, poliésteres, vinílicos), representam cerca de 80% do mercado, mas também pode ser usado termoplásticos. As vantagens dos termofixos são a possibilidade de cura em ambiente ou em baixa temperatura e menor viscosidade (o que facilita a infusão e, portanto, permite alta velocidade de processamento) (MISHNAEVSKY et al., 2017).

A resina poliéster comparada com a epóxi possui menor custo e maior facilidade no controle e produção por conta da sua secagem controlada por catalizador, porém tem como desvantagem a sua permeabilidade, pois na secagem, os solventes torna a resina porosa, absorvendo água lentamente com o uso, destruindo as características mecânicas. Com o desenvolvimento de turbinas eólicas grandes e extragrandes, as resinas epóxi substituíram o poliéster e agora são usadas com mais frequência na matriz das pás eólicas. (MISHNAEVSKY et al., 2017).

Uma vantagem dos compósitos termoplásticos em relação aos termofixos é sua reciclabilidade. Os termoplásticos têm temperaturas de fusão inferiores às suas temperaturas de decomposição e, portanto, podem ser remodelados após a fusão. Outras vantagens dos termoplásticos incluem o maior alongamento na ruptura, a possibilidade de processamento automático e a vida útil ilimitada das matérias-primas. Suas desvantagens são a necessidade de altas temperaturas de processamento e as dificuldades

para fabricar peças grandes e espessas, devido à viscosidade muito maior (LYSTRUP et al., 1998).

As possibilidades de melhoria das propriedades dos compósitos pela adição de nanopartículas de reforço (nanotubos de carbono, grafeno, nanoargila) na matriz polimérica podem permitir aumentar a resistência à fadiga, cisalhamento ou resistência à compressão, bem como tenacidade à fratura dos compósitos (DAI, MISHNAEVSKY, 2013; ZHOU et al., 2016; MA, ZHANG; 2014).

Alguns aspectos dessa inovação podem estar disponíveis com relativa rapidez, outras estão em um estágio inicial e podem exigir maior tempo de desenvolvimento, podendo ser isso decidido pelo mercado concorrencial na diversificação desses produtos.

5.2. ESTRUTURA

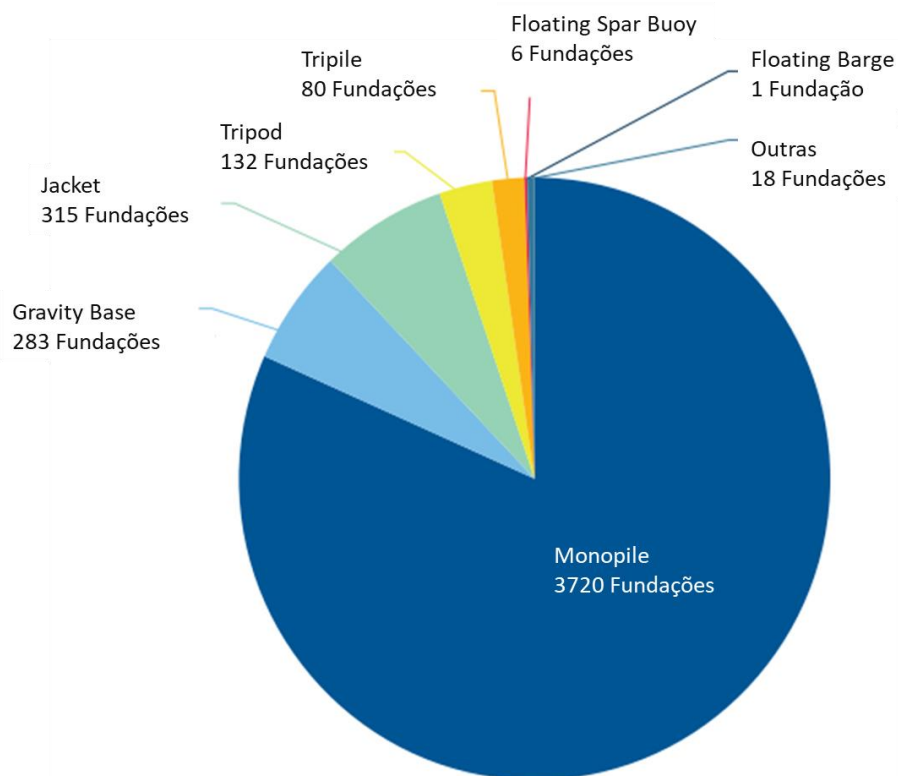
5.2.1. Fundações

Um dos desafios do setor eólico *offshore* é o tipo de fundação e o material usado para construí-la, especialmente em águas profundas. O foco tem sido em reduzir o peso e o tamanho dessas estruturas. Atualmente, existem vários tipos diferentes de fundações *offshore* usadas na indústria eólica, essas são espelho das fundações *offshore* do setor de petróleo e gás.

Quanto maior for a profundidade do mar o processo de instalação torna-se mais desafiador e os métodos de instalação colocam um limite de tamanho no tipo de fundação aplicada. Tomando como bases lições aprendidas na indústria de petróleo e gás, outros tipos de fundações, atualmente conhecidos, poderão ser úteis para a indústria eólica *offshore* no futuro (NEEDS, 2008).

A estrutura de suporte mais comum é o monopile. Embora o monopile tenha vantagens relacionadas à instalação, ele não é econômico para aplicações em águas profundas, nem possui grande capacidade de carga devido ao pequeno diâmetro, que deve ser aumentado para fornecer rigidez suficiente e frequência natural adequada no fundo do mar. A Figura 5.5 traz a quantidade de fundações por modelos usadas na Europa, enquanto que a Figura 5.6 exhibe os principais modelos existentes de fundações e sua profundidade adequada.

Figura 5.5 - Tipos e quantidade de fundações acumuladas na Europa em 2017.



Fonte: Traduzido de Wind in Europe, 2018.

Figura 5.6 - Tipos de fundação e sua profundidade adequada.



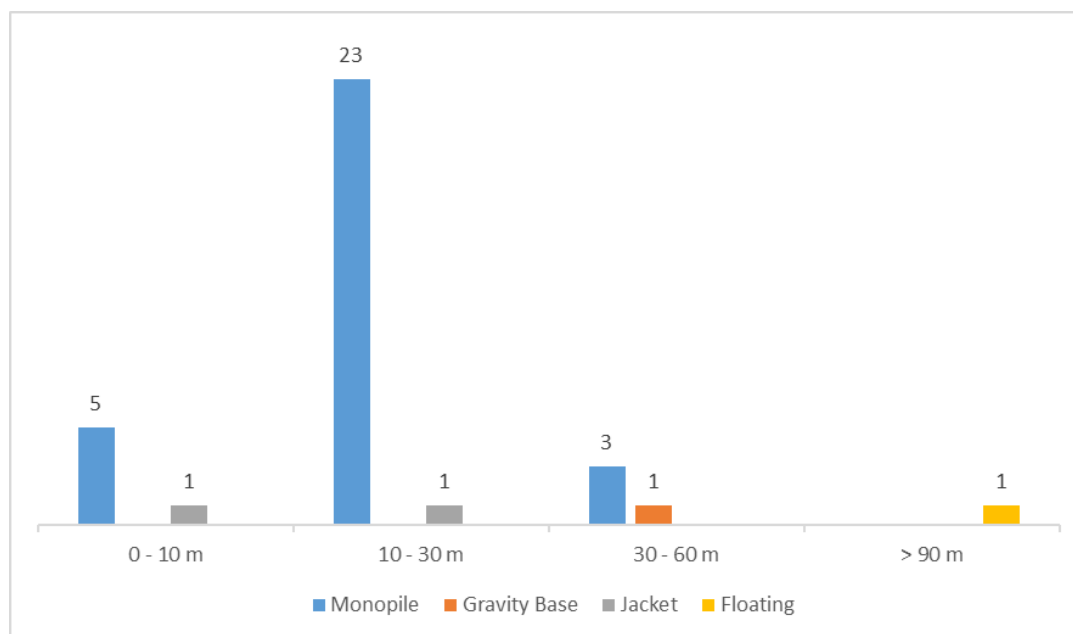
Fonte: Elaboração Própria.

Na Figura 5.6 apresentou-se os diferentes tipos de fundações para turbinas eólicas *offshore* agrupando-as de acordo com a profundidade da água. Em água rasas, monopiles e estruturas baseadas em gravidade (GBSs) são os tipos mais representativos de subestruturas. Fundações de águas de transição são considerados pela indústria, a fim de alcançar águas mais profundas. Elas incluem algumas tecnologias mais complexas, como: tripés, quadripés e jaquetas (estruturas treliçadas).

Águas profundas são a abordagem da indústria eólica para ir mais fundo no mar e, portanto, desenvolver um dispositivo apropriado para tais colocações. No entanto, as fundações flutuantes ainda estão em um estágio inicial de desenvolvimento, e muitos conceitos de protótipos diferentes estão sendo testados em nível de escala em condições reais ou de laboratório. É o caso da usina *offshore* Hywind Scotland Pilot Park, localizada a 25 quilômetros da costa de Peterhead, em Aberdeenshire, na Escócia, que foi comissionado em 2017 com 5 aerogeradores do modelo SWT 6.0 154 (Siemens-Gamesa) totalizando uma de potência 30 MW e fundações do tipo *Spar Floater*, em águas com aproximadamente 78 m de profundidade (EQUINOR, 2017; 4COFFSHORE, 2018). Os diferentes conceitos de fundações flutuantes podem ser classificados em três grupos: flutuadores de mastro, plataformas de perna tensionada e plataformas semissubmersíveis.

A partir do mapeamento, anteriormente mencionado, realizado com os parques comissionados do Reino Unido, conseguiu-se estabelecer uma relação entre a quantidade de parques por tipo de fundação usada e a profundidade da lâmina d'água desses, apresentado na Figura 5.7. Como resultado, identificamos mais uma vez a fundação monopile como a mais utilizada em profundidade de 30 m e o uso de fundações flutuantes para grandes profundidades de lâmina d'água.

Figura 5.7 - Parques eólicos *offshore* por Intervalo de Lâmina d'água e tipo de Fundação.



Fonte: Elaboração Própria.

A seguir é explicado os principais modelos de fundação. As fundações do tipo Monopile, Jaqueta e Tripé podem sofrer variações de fixação, podendo ocorrer por estacas, caracterizando-as como “*pile*” ou caixão, “*caisson*”.

5.2.1.1. Monopile

São a solução técnica mais simples para águas rasas, devido ao seu custo relativamente baixo e simples fabricação, sendo a fundação mais selecionados pelos desenvolvedores eólicos *offshore* na última década. Consiste em estrutura tubular de aço com diâmetro e espessura do tubo determinados a partir das características da turbina e profundidade de penetração no fundo do mar. Lembrando que com o aumento dessas estruturas, surgiu o termo XL Monopile. Essas fundações são incorporadas no solo usando martelos grandes e, se necessário, brocas. Os monopiles não são sensíveis à erosão e às mudanças no leito do mar e requer apenas uma manutenção modesta.

5.2.1.2. Gravity Base (GBS)

Grandes estruturas feitas de concreto armado que utilizam seu peso total para proporcionar estabilidade às turbinas, permitindo que ela suporte forças exercidas pela carga hidrodinâmica. São construídas em terra, em locais de construção especializados, como estaleiros, depois levantadas e posicionadas em sua localização final em alto-mar e carregadas com areia, rochas, ferro ou concreto. Embora os GBSs constituam uma

solução adequada para locais de águas rasas, sua principal limitação é que seu custo aumenta rapidamente com a profundidade da água.

5.2.1.3. Tripod

Estrutura com três pernas, feita com tubos de aço que podem ser verticais ou inclinadas. O mastro central da construção serve de peça transicional para a torre da turbina. A largura da base e a profundidade da penetração dos tubos podem ser ajustadas conforme as condições ambientais e do solo. A principal vantagem do sistema de tripé é a sua base maior, o que lhe confere uma maior resistência contra o capotamento.

5.2.1.4. Jacket

Possuem três ou quatro pernas e são afixados ao fundo do mar usando estacas ou caixões. Possui estrutura complexa em forma de treliça, tornando-a mais consistente. Sua principal vantagem reside na possibilidade de alcançar maiores profundidades e suas principais limitações são devido aos altos custos de construção e instalação.

5.2.1.5. Spar Floater

Espécie de boia, longarina flutuante. Isso baseia sua flutuabilidade e estabilidade em um cilindro longo e fino que fica abaixo da superfície da água. O centro de gravidade é muito mais abaixo dentro de água que o centro de flutuação. Portanto, as partes da estrutura mais abaixo são pesadas, ao invés das mais acima, junto à superfície, que são vazias, subindo assim o centro de flutuação. É utilizada para profundidades acima dos 120m, e tem capacidade para turbinas entre os 5 e os 10MW. A grande massa deste cilindro contribui para reduzir os movimentos induzidos pela onda. A principal vantagem deste sistema está na sua boa resposta dinâmica e estabilidade.

5.2.1.6. Tension Leg Platform (TLP)

São plataformas submersas amarradas ao fundo do mar por meio de cabos de ancoragem pré-tensionados, para dar flutuação e estabilidade. Também são utilizadas para profundidades acima dos 50 m, e tem capacidade para turbinas entre os 5 e os 10MW. A tecnologia foi comprovada capaz de se adaptar a condições variáveis do local e demonstrar um comportamento dinâmico com deslocamentos muito baixos e quase sem rotações. Sua geometria leve e simples se presta a processos de fabricação padronizados e níveis de LCoE competitivos.

5.2.1.7. Spar-submersible

Plataformas submersíveis que combinam os princípios utilizados nas duas estruturas anteriores, sendo adicionada uma estrutura semi-submersível para dar mais estabilidade. Sua principal vantagem está na sua flexibilidade de localização, sendo instalada em profundidades a partir dos 40 m, podendo ser implementadas em locais baseados nas velocidades do vento, produzindo mais energia. Com a inexistência de estacas fixas no fundo do mar, causa menores impactos ambientais, porém seus movimentos não são facilmente evitáveis. Podem ser produzidas totalmente em terra, sem precisar de navios complexos para o transporte.

5.2.1.8. Novos Modelos

Novas fundações *offshore* com associação de modelos diferentes estão sendo estudadas, por exemplo, uma fundação de múltiplas pilhas, composta por oito estacas de aço separadas e inclinadas com uma tampa de concreto circular fixa colocada em sua extremidade superior (Figura 5.8), foram instaladas no primeiro parque eólico asiático *offshore*, no mar da China Oriental. Esta fundação tem forte capacidade vertical, horizontal e de flexão e é adequada para solos moles (ZHANG, ZHANG, LI, CHEN; 2018).

Figura 5.8 - Fundação de múltiplas pilhas.

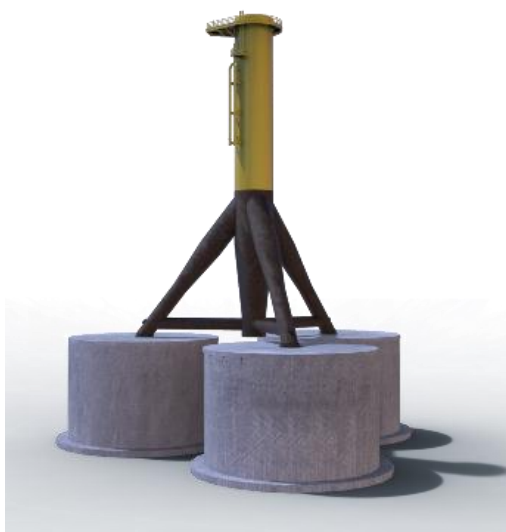


Fonte: ZHANG, ZHANG, LI, CHEN; 2018.

Outra novo conceito de fundação é o GRAVI3 (Figura 5.9) consiste em um GBS auto-flutuante misto de aço-concreto feito por três caixões de concreto que sustentam um tripé de aço. O design é adequado para locais em águas profundas. Foi avaliada para

profundidades entre 35m e 60m e suportar turbinas de até 8 MW. O projeto foi calculado para a área de Aguçadoura, na costa norte de Portugal, por ter condições representativas da costa europeia. Este conceito de três pernas melhora o comportamento da estrutura contra capotamento e minimiza a carga transmitida ao solo, devido uma maximização da área de contato. Após a instalação não é necessário nenhum lastro sólido, bastando apenas encher com água as caixas de concreto (Gravi3, 2019).

Figura 5.9 - Fundação GBS auto-flutuante.



Fonte: Gravi3, 2019.

A inovadora base de monopile híbrida (Figura 5.10) é uma alternativa promissora para turbinas eólicas *offshore* do ponto de vista da instalação. Esse conceito é uma combinação da base monopile tradicional e da base da gravidade. Uma roda estabilizadora é instalada na superfície do solo e preenchida com materiais obtidos em locais próximos da costa, locais de construção em terra, ou resíduos de construção. Essa orienta a localização do monopile (Wang et al., 2019).

Figura 5.10 - Fundação monopile híbrida.



Fonte: Adaptado de Wang et al., 2019.

5.1.9. Materiais

Fundações *offshore* também podem ser compostas por mais de um tipo de material. Pode-se utilizar aço para o núcleo de uma coluna e fibra de basalto como o tubo desta coluna, ou ainda, a coluna central de concreto e o tubo de aço inoxidável. Um bom exemplo são as fundações GBS feitas de aço e concreto armado.

Um dos principais problemas relacionados ao uso de fundações *offshore* de aço é a corrosão, no entanto, isso pode ser solucionado através do uso de anodos de sacrifício o que é conhecido como proteção catódica, que requer pouca manutenção após a instalação. Para evitar a erosão das fundações, usa-se elementos de sedimentação, fabricados a partir de materiais prontamente disponíveis, interconectados sobre a tubulação e ancorada no fundo do mar.

O Quadro 5.1 compara os dois principais materiais, aço e concreto, usados na fabricação de fundações.

Quadro 5.1 - Comparação entre materiais para fundação.

Critério	Material	
	Concreto	Aço
Preço da matéria prima	X	
Custo de manutenção	X	
Resistência a erosão	X	
Profundidade	X	
Peso		X
Transporte		X

Fonte: Kim; Kim, 2018.

Observa-se que o material de concreto possui maior número de vantagens sobre o material aço. Algumas vezes se faz necessário o uso de materiais, como rejuntas, para preencher a ligação da estrutura na face do leito do mar aumentando a força estrutural, por exemplo. Em relação as fundações flutuantes, um elemento que pode ser usado é gás pressurizado em tanques flutuantes, responsável por equilibrar parcialmente a pressão hidrostática exercida pela água nas paredes do tanque.

5.2.2. Torre

Em relação as torres, uma torre típica de turbina eólica consiste atualmente em um cilindro oco de aço de 'parede fina' que permite o acesso/alojamento de sistemas dentro da torre. Também existem torres com a mesma configuração, porém feitas de concreto e existem torres de estrutura treliçada. Essas caracterizam-se como tecnologia disruptiva, ou seja, vão de ruptura com os padrões, modelos ou tecnologias já estabelecidos no mercado. Porém, uma torre treliçada pode ser um facilitador para inovações disruptivas, como torres de múltiplas turbinas, onde mais de uma turbina é conectada à mesma torre.

As torres cônicas podem ser formadas por único tubo, dependendo de suas dimensões, ou como na maioria das vezes, são formadas por vários anéis. Um modelo de turbina inovador, consiste em uma turbina com a tecnologia de dobragem telescópica, com um poste vertical dobrável através de parafusos. Essa dobragem facilita o processo de transporte, devido uma redução de seu volume através e evita a desmontagem e o custo de instalação do fundo do mar.

As torres de concreto têm um custo relativamente baixo e são mais resistentes a corrosão, em comparação com as torres de aço, no entanto, isso deve ser avaliado com o aumento no volume que pode ser necessário para garantir que as cargas possam ser suportadas.

Uma torre feita de aço é mais econômica e simples de fabricar em comparação a uma torre de treliça. Essa por ser formada por vários de tubos de menor diâmetro,

tornam-se capazes de suportar maiores cargas, no entanto, são tipicamente mais complexas para projetar e fabricar.

5.3 TECNOLOGIA PROMISSORA PARA TURBINA EÓLICA OFFSHORE

A Esteyco deu um passo à frente na demonstração de seu revolucionário sistema de subestrutura para turbinas eólicas *offshore*, com a construção do protótipo ELISA, apoiado pelo Programa H2020. É a primeira turbina eólica completamente instalada com total independência de embarcações pesadas e caras. Consiste na instalação de uma turbina eólica *offshore* de 5 MW que está operando em escala real em águas abertas, na área de Plocan (Plataforma Oceânica das Ilhas Canárias), Espanha (ESTEYCO, 2017).

A tecnologia Elisa fornece um sistema de infraestrutura integrado disruptivo que atende aos desafios técnicos e logísticos do setor à medida que se desloca para locais com águas mais profundas e turbinas maiores, permitindo uma redução dos custos. As duas principais características disruptivas do sistema são uma fundação GBS auto-flutuante e uma torre telescópica *autolift*⁴, essas possibilitam a total montagem da turbina na doca.

A torre apresenta uma configuração telescópica que reduz o centro de gravidade durante as fases de transporte e de instalação, possibilitando inovações no processo de instalação e proporcionando total independência de embarcações pesadas onerosas e escassas, a quais muitas vezes se tornam um gargalo para o setor, em termos de capacidade e disponibilidade (ESTEYCO, 2017).

Uma vez lastrada ao leito do mar, a torre pode ser levantada até sua posição final por meio de cabos e guindastes convencionais de cargas pesadas que são reutilizados para elevar cada nível da torre sucessivamente. Todos os trabalhos são realizados a partir de uma única plataforma de acesso.

A fundação GBS auto-flutuante pode temporariamente funcionar como uma barcaça flutuante, graças à redução do centro de gravidade possibilitada pela torre telescópica, transportando o sistema completo, anteriormente pré-montado em terra (ESTEYCO, 2017).

A tecnologia da fundação GBS auto-flutuante baseia-se num sistema de redes de enchimento de pneu que, quando colocado em redor do GBS, evita a erosão do fundo do mar, uma vez que a torre eólica é arrastada para a sua posição final. Outra característica

⁴ Sistema hidráulico de içamento.

importante da tecnologia é que a subestrutura é inteiramente feita de concreto, para reduzir custos e aumentar a durabilidade em um ambiente tão agressivo, além de permitir altas taxas de produção. Essa tecnologia não requer nenhum trabalho de fundação, enchimento, dragagem ou descarte de materiais no mar (ESTEYCO, 2017).

As capacidades de redução de custos esperadas excedem 35% quando comparadas a jaquetas ou monopiles XL em águas com profundidades maiores que 35 m. É um sistema excelente para a próxima geração de turbinas eólicas *offshore*, com a possibilidade de suportar turbinas na ordem de 10 MW (ESTEYCO, 2017).

O procedimento de instalação da turbina divide-se em dez etapas (ESTEYCO, 2017):

1. Processo de construção em terra:

A fundação é fabricada com concreto pré-moldado em uma doca seca de baixa profundidade. A torre é separada por seus níveis em painéis de fabricação. Suas seções são fabricadas e pré-montados em uma área adjacente a doca seca.

2. Lançamento flutuante:

A fundação é então expelida da doca seca.

3. Conclusão da base e montagem da torre telescópica:

A base da fundação é concluída e os níveis da torre são montados na fundação. O conjunto montado fica armazenado temporariamente enquanto a nacelle e as pás chegam.

4. Instalação da nacelle e das pás:

O sistema permite a instalação em uma elevação baixa da turbina e das pás, bem como o pré-comissionamento da turbina.

5. Transporte da torre para o local final:

A fundação e o design estável da montagem permitem um transporte auto-flutuante da turbina eólica completa com rebocadores convencionais.

6. Preparação e posicionamento do fundo do mar:

Um sistema flutuante auxiliar, usando elementos de flutuação, é instalado temporariamente ao redor da torre para fornecer a estabilidade necessária durante o transporte do conjunto. Três pequenos rebocadores também são usados para a operação de posicionamento, e uma preparação no fundo do mar pode ocorrer, se necessário.

7. Elevação parcial do nível superior da torre:

Para garantir que as pás não toquem na água, o nível superior da torre é levantado usando os macacos hidráulicos localizados na articulação inferior da torre.

8. Lastro:

As unidades da fundação são preenchidas com água, permitindo que a base do lastro seja controlada até o fundo do mar. Posteriormente, o lastro sólido ocupa seu lugar, deslocando a água interna.

9. Elevação final da torre:

Elevação final de todos os níveis da torre telescópica a partir de macacos hidráulicos convencionais.

10. Descomissionamento:

A montagem pode ser transportada para a terra antes de ser totalmente desmontada, aproveitando a reversibilidade do processo de instalação da torre, refluindo a fundação e baixando os níveis da torre.

Passada a fase de teste operacional do protótipo, acredita-se que esse modelo passará a ser utilizado nas construções de novas usinas eólicas *offshore* por apresentar diversas vantagens, tais como: Solução econômica de alta capacidade para grandes turbinas e águas profundas; Evita o uso de equipamentos de elevação ou transporte pesados durante o processo completo de instalação de turbinas; Uso de concreto como material econômico para construções marinhas fixas robustas, levando a uma estrutura duradoura, tolerante a fadiga e sem manutenção; Montagem *onshore* da turbina completa, reduzindo custos e riscos relacionados com o mar; Transporte simples e econômico baseado em rebocadores, permitindo o transporte paralelo e a instalação de múltiplas unidades na mesma janela de tempo; Efeitos ambientais reduzidos, como baixo ruído de emissões por não usar estacas e desmontagem completa livre de embarcações graças a um processo de instalação reversível.

5.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentadas tecnologias existentes para o rotor e estrutura de suporte. Foi possível observar as características atuais e futuras em termos de capacidade, dimensão, design e material dos rotores e tipos e materiais das fundações e torres.

O Quadro 5.2 agrupa essas tecnologias de acordo com seu estágio no setor, seja em operação ou em desenvolvimento. Para se chegar a essa configuração foi importante

conhecer o percurso histórico das inovações tecnológicas que viabilizaram a geração de energia eólica nos moldes atuais. Este cenário traçado poderá ser alterado conforme a evolução das tecnologias existentes e o surgimento de novas outras.

Quadro 5.2 - Mapeamento tecnológico de turbinas eólicas *offshore*.

Operação										
Capacidade	Rotor					Sistema de Geração	Estrutura de Suporte			
	Design		Material das Pás				Fundação		Torre	
	Rotor	Pá	Matriz	Reforço	Tratamento Superficial		Modelo	Material	Design	Material
<ul style="list-style-type: none"> • 2 MW; • 2.3 MW; • 2.5 MW; • 3 MW; • 3.3 MW; • 3.6 MW; • 4 MW; • 4.5 MW; • 5 MW; • 6 MW; • 7 MW; • 8 MW; • 9 MW. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eixo Horizontal - 3 Pás 	<ul style="list-style-type: none"> • Inteiriça. 	<ul style="list-style-type: none"> • Epóxi; • Poliéster. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibra de Vidro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alumínio; • Zinco. 	<ul style="list-style-type: none"> • Caixa de Engrenagem; • Acionamento direto; • Acionamento direto por ímã permanente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Monopile; • Monopod Caisson; • Gravity Base; • Jacket Pile; • Jacket Caisson; • Tripod Caisson; • Tripod Pile; • Floating Spar; 	<ul style="list-style-type: none"> • Aço; • Concreto; • Fibra de Basalto; • Metal de Sacrifício. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cônico; • Inteiriça; • Segmentada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aço; • Concreto.
Desenvolvimento										
Capacidade	Rotor					Sistema de Geração	Estrutura de Suporte			
	Design		Material das Pás				Fundação		Torre	
	Rotor	Pá	Matriz	Reforço	Tratamento Superficial		Modelo	Material	Design	Material
<ul style="list-style-type: none"> • 10 MW; • 12 MW; • 15 MW; • 20 MW. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eixo Vertical; • Eixo Horizontal - 2 Pás; • Eixo Horizontal - 1 Pá; • Múltiplos Rotores; • Pipa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Segmentada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Termoplásticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibra de Carbono; • Fibra de Basalto; • Fibra de Aramida; • Fibras Naturais (sisal, linho, cânhamo, juta, bambu); • Nanopartículas (nanotubos de carbono, grafeno, nanoargila). 	<ul style="list-style-type: none"> • Aramida; • Carbono; • Dióxido de titânio; • Carboneto de silício. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acionamento direto por ímã permanente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Híbrida Monopile; • XL Monopile; • Múltiplas Pilhas; • Gravity Base Auto-Flutuante; • Floating Submersible; • Floating Tension-Leg Platform; 		<ul style="list-style-type: none"> • Treliçado; • Dobrável 	

Fonte: Elaboração Própria.

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo apresenta as conclusões desse trabalho com base na revisão bibliográfica e estudo de caso realizados. Como consequência dessas discussões comentam-se as respostas encontradas para a problemática da pesquisa e por fim, inspirando-se parcialmente nas justificativas e limitações da pesquisa, propõem-se sugestões para trabalhos futuros derivados do atual.

6.1. CONCLUSÕES

O crescimento de demanda de energia elétrica mundial está cada vez maior juntamente com as preocupações sociais, ambientais e econômicas. As energias renováveis são uma boa alternativa, entre elas a energia eólica no mar, também chamada de *offshore*, que vem tendo um desenvolvimento relevante por se tratar de uma fonte limpa capaz de produzir eletricidade a preços competitivos às fontes tradicionais de energia. Políticas de incentivo desencadeiam investimentos em P&D, como já dito, essencial para a prospecção tecnológica desse setor.

Com isso, a presente dissertação buscou identificar o mapa atual das tecnologias das turbinas eólicas *offshore* por meio da revisão bibliográfica e análise de patentes e, propor informações sobre o futuro tecnológico desse setor.

Quanto ao método da pesquisa podemos concluir que a realização de uma minuciosa revisão bibliográfica sobre o tema juntamente com uma busca e análise de patentes possibilitou conhecer melhor as tecnologias das turbinas eólicas *offshore*.

Esta pesquisa a partir da revisão bibliográfica sistemática concluiu que um estudo prospectivo analisa oportunidades ou ameaças futuras segundo alguns fatores importantes no meio econômico e social, gerando maiores benefícios à área estudada. A partir da revisão bibliográfica sistemática conhecemos o estado da arte em prospecção tecnológica no contexto da energia eólica, resultando em um modelo conceitual. Foram considerados todos os 38 artigos desta temática, publicados até o primeiro quadrimestre de 2018. Podemos concluir que o tema estudado possui poucas publicações científicas.

Na análise dos artigos, identificou-se que os elementos influenciadores no desenvolvimento dessa energia podiam ser agrupados nas seguintes dimensões: Inovação Tecnológica; Mercado; Políticas Governamentais de Apoio; Produção Científica; Custos; Recursos Ambientais; Viabilidade de Implantação do Parque.

Mercado pode ser dito como a dimensão que mais reflete no comportamento dinâmico do sistema, pois tem uma conexão direta com outras quatro dimensões. Após agrupar as dimensões, em níveis, de acordo com o número de relações diretas com as outras dimensões, a dimensão Mercado pode ser considerada a base para o sistema.

Este estudo utilizou a análise de patentes como parâmetro do desenvolvimento da energia eólica *offshore*. Conclui-se que o número de patentes depositadas sobre as tecnologias das turbinas *offshore* cresce a cada ano, assim como o número de publicações de artigos científicos, e que as principais regiões depositantes de patentes nessa área são a China, a Europa, Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Japão, República da Coreia, Espanha e Canadá.

Constatou-se, em relação à quantidade de patentes depositadas que as instituições/empresas que mais se destacaram foram a Vestas, Siemens, GE, Alstom e Mitsubishi. Entre essas principais organizações, também houve destaque para duas universidades chinesas, a Dalian University of Technology e a Zhejiang University.

Verificou-se ainda que as patentes encontradas a partir da palavra-chave utilizada estão classificadas em 7 das 8 seções consideradas pelo IPC, sendo excluída apenas a seção D referente a têxteis e papel. Em relação a subclasse, essas patentes, estão em maior concentração nas subclasses motores de vento, fundações e estruturas e navios e transporte.

A partir da construção do mapa atual das tecnologias das turbinas eólicas *offshore* e suas tendências futuras, verificamos que as tecnologias consideradas maduras continuarão tendo viabilidade técnico-comercial, dentro do período prospectado. Outras tecnologias que atualmente são viáveis, poderão não apresentar esta mesma condição no futuro, e outras, que nos dias atuais não possuem viabilidade técnico-comercial, poderão fazer parte do mapa futuro das turbinas eólicas *offshore*.

A proposta de tendências futuras para a tecnologia estudada surgiu de uma análise do mapa tecnológico descrito. Essa proposta mostra que as turbinas eólicas *offshore* do futuro tendem a aumentar sua potência, a partir de um aumento no tamanho das pás e uma melhora no fator de capacidade. Os materiais utilizados nas pás serão novos materiais com características de baixa densidade, alta resistência, que possam ser reciclados e feitos de fibras naturais. As torres e as fundações estão com tendência híbrida de materiais e modelo. Além disso, nota-se uma tendência de usinas em águas cada vez mais profundas, possível graças as fundações flutuantes.

Por fim, considera-se que a questão de pesquisa proposta nesta dissertação: Quais seriam as opções tecnológicas para geração de energia eólica *offshore*? foi respondida e descrita nos capítulos 3,4 e 5. No capítulo 3, como resultado da fundamentação teórica, estruturou-se o estado da arte acerca dos temas prospecção tecnológica e o setor eólico. No capítulo 4, como resultado da análise de patentes relacionadas identificou-se quando, onde e quem detém a tecnologia estudada. E no capítulo 5, com a descrição das opções tecnológicas das turbinas eólicas *offshore* e a proposição de tendências futuras dessa tecnologia.

6.2. LIMITAÇÕES

O estudo buscou cobrir a lacuna existente na academia sobre as tecnologias das turbinas eólica *offshore*, utilizando-se da análise de patentes, análise de artigos científicos, relatórios e notícias da área. Em relação a análise de patentes, a descrição disponível na base de dados Derwent, trazia informações de uma forma resumida, dificultando o entendimento e conseqüentemente não contribuindo muito para a análise qualitativa dessas.

6.3. RECOMENDAÇÕES

Como possíveis estudos futuros, sugere-se:

- Conduzir estudos relacionados à viabilidade econômica por tipo de tecnologia;
- Identificar quais métodos, técnicas ou ferramentas são mais eficientes para prospectar uma tecnologia emergente;
- Fazer a prospecção de tendências de mercado do setor eólico de forma acadêmica;
- Pesquisar o processo de planejamento tecnológico das empresas com maiores depósitos de patentes;
- Realizar uma pesquisa empírica para observar à adequação de uma tecnologia a uma determinada região;
- Aplicar o método Delphi para prospecção tecnológica, para propor tendências a partir do conhecimento de especialistas na área.

REFERÊNCIAS

- 4COFFSHORE. **Hywind Scotland Pilot Park**. 2018. Disponível em: <https://www.4coffshore.com/windfarms/hywind-scotland-pilot-park-united-kingdom-uk76.html>. Acesso em 24 de Setembro de 2018.
- ABASHIDZE, S.; MARQUIS, F.D.; ABASHIDZE, G.S. Hybrid fiber and nanopowder reinforced composites for wind turbine blades. **J. Mater. Res. Technol.** 2015, 4, 60–67.
- ABBAS, A.; ZHANG, L.; KHAN, S. U. A literature review on the state-of-the-art in patent analysis. **World Patent Information** 37 (2014) 3-13.
- ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil**, 2014.
- ABEEÓLICA. **Boletim Anual de Geração Eólica 2017**. 2018. Disponível em: <http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/04/Boletim-Anual-de-Geracao-2017.pdf>. Acesso em 18 de abril de 2018.
- ABEEÓLICA. **Número ABEEólica**. Janeiro de 2019. 2019. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/02/N%C3%BAmeros-ABEE%C3%B3lica-01.2019.pdf>. Acesso em 14 de Fevereiro de 2019.
- ABEEÓLICA. **Relatório Anual 2016**. 2017. Disponível em: http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/06/424_Relatorio_Anual_2016_final.pdf. Acesso em 2 de Julho de 2017.
- AGUILO, P. B.; LANCA, C. M.; MENENDEZ, A. E. Floating structure for offshore wind turbine applications, has hull which includes immersed section defining interior space, and foam material is arranged so as to fill interior space of immersed section of hull. ALSTOM RENEWABLES TECHNOLOGIES WIND BV (ALSM-C). EP3176429-A1. 2017.
- ALENCAR, M. S. de Menezes. **Estudo de Futuro Através da Aplicação de Técnicas de Prospecção Tecnológica: o caso da nanotecnologia**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2008.
- ANAYA-LARA, O. **Offshore Wind Energy Technology**. In: *Energy Conversion Systems for Offshore Wind Turbines*. Wiley, 2018, p. 13-36.
- BAAGØE-ENGELS, V.; STENTOFT, J. Operations and maintenance issues in the offshore wind energy sector An explorative study. **International Journal of Energy Sector Management**, 2016. v. 10, n. 2, p. 245–265.
- BENSON, C. L.; MAGEE, C. L. **A hybrid keyword and patent class methodology field**. **Scientometric**, 2013. v. 96, p. 69–82.
- BENTO, N.; FONTES, M. The construction of a new technological innovation system in a follower country : Wind energy in Portugal. **Technological Forecasting & Social Change**, 2015. v. 99, p. 197–210.

BETRAN, P. J.; BERGUA, R.; JOVE, J.; BETRAN, P. J. Floating offshore structure e.g. offshore wind turbine, has through channels which are dimensioned such that sea water flows into and out of connecting structure with variations of sea level. BETRAN P J (BETR-Individual). US2015204045-A1. 2015.

BEURSKENS, J. **The history of wind energy**. In: Understanding Wind Power technology theory, deployment and optimisation. Wiley, 2014, p. 1-43.

BI, M.; YANG, Y.; YUAN, G.; ZHANG, L.; LIU, J.; YANG, M. Portable offshore wind power base convey dimension lifting machine structure, has main body provided with lifting machine main cylinder and truss hanging arm, where lifting machine main cylinder is formed with connecting structure. CHINA ENERGY CONSTR GROUP GUANGDONG ELEC (CECG-C). CN204778482-U. 2015.

BITTENCOURT, K.C. H.; PEDROSA, R.C. **Guia de Propriedade Intelectual**. Florianópolis: UFSC, 2010.

BOTWRIGHT, A.; URSELL-SMITH, M.; MAROTI, S.; URSELL, S. M. Method for handling wind turbine blades on offshore wind turbine installation vessel, involves raising or lowering root or tip rack aboard vessel by unit of jack to move blade support plane through elevation angle. MHI VESTAS OFFSHORE WIND AS (MITO-C). WO2016101957-A1. 2016.

BRONSTEIN, M. G. B. Harnessing rivers of wind: A technology and policy assessment of high altitude wind power in the U.S. **Technological Forecasting & Social Change**, 2011. v. 78, n. 4, p. 736–746.

BUTTERBY, R.; FERREIRA, K. C. **A Energia Eólica como alternativa Sustentável para o Centro-Oeste**. IMB-Instituto Mario Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos, 2009.

BVG Associates. 2017. **Future renewable energy costs: Offshore wind**. Disponível em: <https://bvgassociates.com/updated-future-costs-of-energy-for-offshore-wind/>. Acesso em: 16 de Janeiro de 2019.

CASTRO, R. M. G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada: introdução à energia eólica**. Rui M.G. Castro Janeiro de. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2003.

CHE, J.; MIAO, L.; QIAN, A.; TANG, W.; WANG, J.; XU, S.; ZHAO, Y. Sacrificial anode protection device for high-power offshore wind turbine comprises pressure tanks, sacrificial anode, pressure tank brackets, pile, conductive flat irons and rubber shock absorbers. JIANGSU HAILING HEAVY EQUIP TECHNOLOGY (JIAN-Non-standard). CN204198858-U. 2015.

CHEN, L.; QIAN, J. Basalt fiber profile steel concrete composite column for use in marine environment, has basalt fiber pipe wrapped on core-shaped steel concrete column, where core-shaped steel concrete column is embedded in Y-shaped steel. UNIV HUAQIAO (UYHQ-C). CN207673491-U. 2018.

CHEN, Y. L.; CHIU, Y. T. Cross-language patent matching via an international patent classification-based concept bridge. **Journal of Information Science**, v. 39, n° 6, p. 737–753, 2013

CHRISTÓFARO, B. R. **Estudo do potencial eólico em offshore para a geração de energia elétrica no litoral do Paraná**. Orientador: Carlos Aurélio Nadal. Pontal do Paraná: UFPR, 2010. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso).

COELHO, G. Nota Técnica - 14 **Prospecção Tecnológica: Metodologias e Experiências Nacionais e Internacionais**. 2003. p. 105.

CUSTÓDIO, R. **Energia eólica**. São Paulo: Synergia Editora, 2013.

DAI, G.M.; MISHNAEVSKY, L., Jr. Damage evolution in nanoclay-reinforced polymers: A three-dimensional computational study. *Compos. Sci. Technol.* 2013, 74, 67–77.

DAIM, T. U.; AMER, M.; BRENDEN, R. Technology Roadmapping for wind energy: Case of the Pacific Northwest. *Journal of Cleaner Production*, 2012. v. 20, n. 1, p. 27–37.

DAVIES, S. W.; DIAZ-RAINEY, I. The patterns of induced diffusion: Evidence from the international diffusion of wind energy. *Technological Forecasting & Social Change*, 2011. v. 78, n. 7, p. 1227–1241.

DEDECCA, J. G.; HAKVOORT, R. A.; ORTT, J. R. Market strategies for offshore wind in Europe: A development and diffusion perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. v. 66, p. 286–296.

DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000.

DERWENT THOMSON CORPORATION. Derwent Innovations Index 4.0 Seminar. 2004.

DISMUKES, J. P.; MILLER, L. K.; BERS, J. A. The industrial life cycle of wind energy electrical power generation. ARI methodology modeling of life cycle dynamics. *Technological Forecasting and Social Change*, 2009. v. 76, n. 1, p. 178.

DUARTE, H. N. M. **Utilização da energia eólica em sistemas híbridos de geração de energia visando pequenas comunidades**. Orientador: José Wagner Maciel Kaehler. Porto Alegre: PUC-RS, 2004. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso).

DUBARIC, E. et al. Patent data as indicators of wind power technology development. *World Patent Information*, 2011. v. 33, p. 144–149.

DURRANT, R. H. Method for inhibition or reduction of seabed scour of seabed-mounted cable or pipeline, involves providing scour protection mat having arrangement of interconnected sedimentation elements over and/or beneath cable or pipeline. DURRANT R H (DURR Individual). GB2476784-A. 2011.

ENEVOLDSEN, P.; VALENTINE, S. V. Do onshore and offshore wind farm development patterns differ? *Energy for Sustainable Development*. 2016. v. 35, p. 41–51.

EQUINOR. **World's first floating wind farm has started production**. 2017. Disponível em: <https://www.equinor.com/en/news/worlds-first-floating-wind-farm-started-production.html>. Acesso em 15 de Fevereiro de 2019.

ESTEBAN, M. et al.. Methodology to estimate the output of a dual solar-wind renewable energy system in Japan. **Energy Policy**, 2010. v. 38, n. 12, p. 7793–7802.

ESTEYCO. 2017. Substructure technology for offshore wind turbines. Disponível em: <https://esteyco.com/projects/elisa/index.html>. Acesso em 17 de Fevereiro de 2019.

FALANI, S. Y. A. **Prospecção Tecnológica Para Geração de Energia Eólica**. Orientador: Mario Orestes Aguirre González. Natal: UFRN, 2014. Dissertação (Título de Mestre).

FAULSTICH, S.; HAHN, B.; TAVNER, P. J. 2011. Wind turbine downtime and its importance for offshore deployment. **Wind Energy** 14(3):327–337.

FLEMING, P. D.; PROBERT, S. D. The evolution of wind-turbines: An historical review. **Applied Energy**, 1984. v. 18, n. 3, p. 163–177.

FOWIND - Facilitating offshore wind in india. **Supply chain, port infrastructure and logistics study, for offshore wind farm development in Gujarat and Tamil Nadu**. June 2016.

FOWIND – **Facilitating Offshore Wind in India. From zero to five gw offshore wind outlook for Gujarat and Tamil Nadu 2018-2032**. Dezembro, 2017.

FRANÇOIS, B. et al.. Effects of Increased Wind Power Generation on Mid-Norway's Energy Balance under Climate Change: A Market Based Approach. **Energies**, 2017. v. 10, n. 2, p. 227.

FUJIOKA, H. Method for controlling wind turbine e.g. offshore wind turbine, involves limiting angular rotation speed of wind turbine rotor below angular rotation speed threshold smaller than rated angular rotation speed of turbine in reduced mode. MHI VESTAS OFFSHORE WIND AS (MITO-C). WO2018091056-A1. 2018.

GAO, H.; TANG, Y.; LUO, W. Offshore wind turbine non-grouting rockembedded pile foundation, has steel pipe pile whose upper end is connected with host drilling machine and drill rod, and drilling machine whose bottom end is fixed with drill bit. JIANGSU HAISHANG LONGYUAN WIND POWER GEN (CGUO-C). CN205917724-U. 2017.

GARDE, V. D.; PATEL, R. R. Technological Forecasting for A Study Power Generation Using the Delphi Technique. **Long Range Planning**, 1985. v. 18, n. 4, p. 73–79.

GE RENEWABLE ENERGY. **GE Completes Acquisition of Alstom Power and Grid Businesses 2015**. Disponível em: <https://www.genewsroom.com/press-releases/ge-completes-acquisition-alstom-power-and-grid-businesses-282204>. Acesso em: 15 de Janeiro de 2019.

GE RENEWABLE ENERGY. Haliade 150-6MW offshore wind turbine. 2018. Disponível em: <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/turbines/offshore-turbine-haliade>. Acesso em: 30 de Abril de 2018.

GE RENEWABLE ENERGY. Haliade-x offshore wind turbine platform. 2019. Disponível em: <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/turbines/haliade-x>

x-offshore-turbine. Acesso em: 14 de Janeiro de 2019.

GILLOTEAUX, J.; POIRETTE, Y.; POURTIER, A.; BOZONNET, P.; FERRER, G.; PAPON, G.; PERDRIZET, T.; SAEEDI, N.; FELLER, G. Offshore wind turbine e.g. vertical axis wind turbine, for use on floating mount docked at seabed, has permanent ballast located at base of float, and dynamic ballast boxes included in float and distributed in ring at periphery of float. IFP ENERGIES NOUVELLES (INSF-C). FR3005698-A1. 2014.

GONZÁLEZ, M. O. A. **Processo para Gerenciar a integração de clientes no processo de desenvolvimento do produto**. Orientador: José Carlos de Toledo. São Carlos: UFSCar, 2010. Tese (Título de Doutor).

GONZÁLEZ, M. O. A.; GALVAO, M. S. ; FALANI, S. Y. A. ; GONCALVES, J. S.; SILVA, L. T. S. Open innovation practices in the development of wind energy supply chain: an exploratory analysis of the literature. **Product (IGDP)**, v. 10, p. 1-8, 2012.

GONZÁLEZ, M. O. A.; GONÇALVES, J. S. ; VASCONCELOS, R.M. Sustainable development: Case study in the implementation of renewable energy in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, V. 142, p. 461-475, 2017.

GRAFSTRÖM, J.; LINDMAN, A. Invention , innovation and diffusion in the European wind power sector. **Technological Forecasting & Social Change**, 2017. v. 114, p. 179–191.

GRANDE, J.A. Wind Power Blades Energize Composites Manufacturing. **Plast. Technol.** 2008, 54, 68–75.

GRAVI3. Disponível em: <http://www.gravi3.com/gravi3/general-description.html>. Acesso em: 30 de Janeiro de 2019.

GUAN, J.; YAN, Y.; ZHANG, J. How do collaborative features affect scientific output? Evidences from wind power field. **Scientometrics**, 2015. v. 102, n. 1, p. 333–355.

GUPTA, A. K.; THIA, H. H.; DOAN, D. D.; ANDERSEN, G. K. Wind turbine e.g. offshore wind turbine, for converting kinetic wind energy into electrical energy for power grids, has controller for activating dissipating unit to dissipate energy from direct current-link in response to shutdown request. VESTAS WIND SYSTEMS AS (VSTA-C). WO2013097867-A2. 2013.

GWEC - Global Wind Energy Council. **Global Wind Energy Outlook 2016**. 2016. Disponível em <<http://gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/global-wind-energy-outlook-2016/>>. Acesso em: 2 de Agosto de 2017.

GWEC - Global Wind Energy Council. **Global Wind Report 2016**. 2017. Disponível em: <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/>. Acesso em: 2 de Agosto de 2017.

GWEC - Global Wind Energy Council. **Global Wind Report 2017**. 2018. Disponível em: <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/>. Acesso em: 27 de Maio de 2018.

HABERKERN, H. Tailor-made reinforcements. **Reinf. Plast.** 2006, 50, 28–33.

HANSEN, M. O. L. **Aerodynamics of Wind Turbines**. 2nd ed, 2008.

HAU, Erich. **Wind turbine: fundamentals, technologies, application**. 2. ed. Berlin: Springer, 2005.

HE, J.; HUANG, J.; LIU, G.; MENG, C.; WEI, J.; ZHANG, H.; ZHAO, L.; WU, S.; ZHANG, Y.; MENG, X.; TANG, Z.; XU, C. Self-elevating offshore wind turbine installation vessel has fixed pulley group whose pile leg lower portion is fixed on lifting mechanism, and that is connected together with each friction winch to form closed circulation system. JIANGSU HANTONG SHIP HEAVY IND CO LTD (JIAN-Non-standard). CN203753364-U. 2014.

HE, Z.X. et al.. Review of factors affecting China's offshore wind power industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2016. v. 56, p. 1372–1386.

HOU, J.; LUO, J.; LI, W.; PAN, D.; WU, J.; ZHAO, S.; ZHE, W. Offshore wind turbine infrastructure for use in ship, has optical sensor fixed with protecting angle steel that is fixed with angle steel seal head plate, and base pipe pile whose upper part is fixed with inner wall of hanging hook. POWERCHINA HUADONG ENG CORP (CNPW-C). CN204849853-U. 2015.

HU, W. **Advanced Wind Turbine Technology**. In: Emerging Technologies for Next-Generation Wind Turbines. Springer, 2018, p. 317-339.

HUENTELER, J. et al.. Technology life-cycles in the energy sector — Technological characteristics and the role of deployment for innovation. **Technological Forecasting & Social Change**, 2016. v. 104, p. 102–121.

IEA – Internacional Energy Agency. **How 2 guide for Wind energy. Roadmap Development and Implementation**. 2014.

IEA – Internacional Energy Agency. **Technology Roadmap Wind Energy**. 2013.

INOUE, Y.; MIYAZAKI, K. Technological innovation and diffusion of wind power in Japan. **Technological Forecasting & Social Change**, 2008. v. 75, p. 1303–1323.

INPI -Instituto Nacional de Propriedade Intelectual. **Guia básico de patente**. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/patente/guia-basico-de-patente>. Acesso em: 19 de dezembro de 2018.

IRENA - International Renewable Energy Agency. **Offshore innovation widens renewable energy options**. 2018. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2018/Sep/Offshore-innovation-widens-renewable-energy-options>. Acesso em: 16 de Janeiro de 2019.

JEONG, D. et al.. Effects of knowledge diffusion on international joint research and science convergence: Multiple case studies in the fields of lithium-ion battery, fuel cell and wind power. **Technological Forecasting and Social Change**, 2016. v. 108, p. 15–27.

JI, C; ZHANG, J; ZHANG, Q; LI, M; CHEN, T. Experimental Investigation of Local Scour Around A New Pile-Group Foundation for Offshore Wind Turbines in Bi-Directional Current. **China Ocean Eng.**, 2018, Vol. 32, No. 6, P. 737–745.

JONES, T. **Options for the Future: A Comparative Analysis of Policy Orientated Forecasts**. Praeger Publishers. New York, 1980.

KANG, H. Y. Science Inside Law: The Making of a New Patent Class in the International Patent Classification. **Science in Context**, v. 25, p. 551 – 594, 2012.

KIRKEGAARD, J. K. Tackling Chinese Upgrading Through Experimentalism and Pragmatism: The Case of China's Wind Turbine Industry. **Journal of Current Chinese Affairs**, 2017. 46, 2, 7–39.

KOTHNUR, V. S.; ANDERSON, D. D.; ZHENG, D.; ALI, M. A. Offshore wind turbine system, has power tower placed on central caisson, and pre-tensioned mooring lines flexibly secured to caisson, where each line has in-line tensioning device that is disposed at or below water level. KOTHNUR V S (KOTH-Individual). US2007001464-A1. 2007.

KUPFER D.; TIGRE P. B. **Modelo SENAI de Prospecção: Documento metodológico**. Capítulo 2: prospecção tecnológica

LACAZE, A.; SMADJA, C.; SILVERT, F.; VERREZ, F. Vertical axis wind turbine e.g. onshore wind turbine, for using in windmill, has electrical generator including stator that is coupled to bearing assembly, and rotor coupled to vertical main mast by bearing assembly . NENUPHAR (NENU-Non-standard). GB2499219-A. 2013.

LACERDA, J. S.; BERGH, J. C. J. M. VAN DEN. International diffusion of renewable energy innovations: Lessons from the lead markets for wind power in China, Germany and USA. **Energies**, 2014. v. 7, n. 12, p. 8236–8263.

LEE, C.; SONG, B.; PARK, Y. How to assess patent infringement risks: a semantic patent claim analysis using dependency relationships. **Technol Anal Strat Manag** 2013;25(1):23-38.

LEE, S.; SHIH, L. Forecasting of electricity costs based on an enhanced gray-based learning model: A case study of renewable energy in Taiwan. **Technological Forecasting & Social Change**, 2011. v. 78, n. 7, p. 1242–1253.

LEHTOVAARA, M. et al.. Collaborative entry into the offshore wind power market. **Mechanika**, 2012. v. 18, n. 6, p. 726-733.

LEHTOVAARA, M. et al.. Major factors contributing to wind power diffusion. **Foresight**, 2014. v. 16, n. 3, p. 250–269.

LI, B. Vertical axis offshore wind power generator, has clean water outlet and clean water storage tank which are connected with secondary treatment water outlet through pipeline. LI B (LIBB-Individual). CN108488033-A. 2018.

LIANGA, F.; GOUA, J.; KAPATB, J.; GUC, H.; SONG, G. Multifunctional nanocomposite coating for wind turbine blades. **International Journal of Smart and Nano Materials** Vol. 2, No. 3, September 2011, 120–133.

LIMA, D. K. S.; LEÃO, R. P. S.; SANTOS, A. C. S.; MELO, F. D. C.; COUTO, V. M.; NORONHA, A. W. T.; OLIVEIRA JR, D. S. Estimating the offshore wind resources of the State of Ceara in Brazil. **Renewable Energy**, vol.83, p. 203-221, 2015.

LIN, W.; YAO, S.; WANG, S.; GONG, P. Blade-free vortex vibration folding offshore wind turbine, has swinging base fixed with protective shell, and swinging rod fixed with generating mechanism, where top end of rod is connected with foldable mast that is fixed with shell. UNIV TIANJIN (UTIJ-C). CN106762425-A. 2017.

LIU, S. H.; LIAO, H. L.; PI, S. M.; HU, J. W. Development of a patent retrieval and analysis platform a hybrid approach. **Expert Syst Appl** 2011;38(6):7864-8.

LOPEZ, R. A. **Energia Eólica**. 2ª ed. Artliber: São Paulo. 2012.

LYSTRUP, A.; ANDERSEN, T.L.; KNUDSEN, H.; VESTERGAARD, T.; LILLEHEDEN, L.; VESTERGAARD, J. Hybrid Yarn for Thermoplastic Fibre Composites; Summary of Technical Results; Final Report for MUP2 Framework Program No. 1994-503/0926-50; Risø-R-1034(EN); Risø National Laboratory: Roskilde, Denmark, 1998; p. 16, ISBN 87-550-2366-5.

MA, P.C.; ZHANG, Y. Perspectives of carbon nanotubes/polymer nanocomposites for wind blade materials. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 30, 651–660.

MABEL, M. C.; FERNANDEZ, E. Growth and future trends of wind energy in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2008. v. 12, p. 1745–1757.

MABILE, C.; GILLOTEAUX, J. C.; GILLOTEAUX, J. Offshore wind turbine e.g. horizontal axis wind turbine, for producing electric energy from sea water, has rotor having principal axis offset by angle alpha with respect to axis of tower carrying rotor with horizontal or vertical axis. IFP ENERGIES NOUVELLES (INSF-C). FR2999662-A1. 2014.

MACLAUGHLIN, D.; SCOTT, S. Overcoming latecomer disadvantage through learning processes : Taiwan ' s venture into wind power development. **Environ Dev Sustain**, 2010. v. 12, p. 389–406.

MAYERHOFF, Z. D. V. L. Uma análise sobre os estudos de prospecção tecnológica. **Cadernos de Prospecção**, v. 1, n. 1, p. 7-9, 2008.

MCKAY, P.; CARRIVEAU, R.; TING, D. Farm wide dynamics: The next critical wind energy frontier. **Wind Engineering**, 2011. v. 35, n. 4, p. 397–418.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

MEDEIROS, J. P. C. **Precificação da energia eólica offshore no Brasil. Orientador: Vinicio de Souza e Almeida**. Natal: UFRN, 2014. Dissertação (Título de Mestre).

MENENDEZ, A. E. Offshore wind turbine e.g. floating wind turbine of tension leg platform type, has buoyancy structure that is provided with floater tank which in use contains pressurized gas in floater tank is permanently isolated from sea water. ALSTOM RENOVABLES ESPANA SL (ALSM-C). WO2013135845-A1. 2013.

MENGAL, A.N.; KARUPPANAN, S.; WAHAB, A.A. Basalt Carbon Hybrid Composite for Wind Turbine Rotor Blades: A Short Review. **Adv. Mater. Res.** 2014, 970, 67–73.

Metodológico. Capítulo 2: Prospecção Tecnológica. In: Organización Internacional

Del Trabajo CINTERFOR. Papeles de La Oficina Técnica, n.14, Montevideo: OIT/CINTERFOR; 2004.

MISHNAEVSKY L., BRANNER, K., PETERSEN, H. N., BEAUSON, J., MCGUGAN, M., SØRENSEN, B. F. Materials for Wind Turbine Blades: An Overview. **Materials** 2017, 10, 1285.

MOELLER, J.; NIELSEN, J. G.; SVINTH, K. H.; SVENTH, K. H.; NELSON, J. G. Detachable strake for tower for offshore wind turbine installed on monopole or tripod in ship, has outer structure defining three sides that are interconnected by three angles, and element comprising cavity that is filled with fluid. SIEMENS AG (SIEI-C). EP3029313-A1. 2016.

NEEDS - New Energy Externalities Developments for Sustainability. Life cycle approaches to assess emerging energy technologies. Final report on offshore wind technology. 2008.

NORMANN, H. E. Policy networks in energy transitions: The cases of carbon capture and storage and offshore wind in Norway. **Technological Forecasting & Social Change**, 2017. v. 118, p. 80–93.

NREL - National Renewable Energy Laboratory. **Installation, Operation, and Maintenance Strategies to Reduce the Cost of Offshore Wind Energy**. 2013.

OFFSHORE WIND INNOVATION HUB. **Innovation roadmaps**. Disponível em: <https://offshorewindinnovationhub.com/category/turbines/>. Acesso em: 21 de Janeiro de 2019.

PAANANEN, A.; MÄKINEN, S. J. Bibliometrics-based foresight on renewable energy production. **Journal of Science and Technology Policy in China**, 2013. v. 15, n. 6, p. 465–475.

PAI, M.; McCULLOCH, M.; GORMAN, J.; PAI, N.; ENANORIA, W.; KENNDY, G. Systematic reviews and meta-analyses: An illustrated step-by-step guide. **The National Medical Journal of India**. 2004, 17 (2), 86-95.

PAO, Y. M.; PAO, Y.; I-HO, M. P.; YIH-HO, M. P. Offshore wind turbine for generating electric power has anchoring system that is coupled to the floating platform for anchoring the offshore wind turbine to a seabed when deployed offshore. FLOATING WINDFARMS CORP (FLOA-Non-standard). WO2009036107-A2. 2009.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; MILLS, J. F.; PROBERT, D. R. Customizing the technology roadmapping approach. **Manag Eng Technol** 2003:361-9.

PIIRAINEN, K. A.; NYGAARD, A.; ALKÆRSIG, L. Regional foresight and dynamics of smart specialization: A typology of regional diversification patterns. **Technological Forecasting & Social Change**, 2017. v. 115, p. 289–300

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos da energia eólica**. LTC: Rio de Janeiro. 2013.

PORTAL ENERGIA. **Os 10 maiores aerogeradores do mundo**. Disponível em <<https://www.portal-energia.com/os-10-maiores-aerogeradores-do-mundo/>>. Acesso

em 20 de março de 2018.

PORTER, A. et al.. **Forecasting and management of technology**. New York: J.Wiley, 1991.

PRYOR, S. C.; BARTHELMIE, R. J. Comparison of Potential Power Production at On- and Offshore Site. **Wind Energy**, vol. 4, p. 173-181, 2001.

PUROHIT, P.; MICHAELOWA, A. Potential of wind power projects under the Clean Development Mechanism in India. **Carbon Balance and Management**, 2007. v. 15, p. 1–15.

REN21- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. **Renewables 2017 Global Status Report**, 2017.

SABHAPATHY, P. Climate control system for wind turbine such as offshore wind turbine, has variable flow control valve which regulates flow rate of coolant through airflow system, to adjust relative humidity of air entering nacelle. GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY SL (GAME-C). EP2565446-A2. 2013.

SAMPAIO, P. G. V. **Prospecção tecnológica de células fotovoltaicas para energia solar**. Orientador: Mario Orestes Aguirre González. Natal: UFRN, 2015. Dissertação (Título de Mestre).

SAMPAIO, P. G. V.; GONZÁLEZ, M. O. A.; VASCONCELOS, R. M.; DOS SANTOS, M. A. T. TOLEDO, J. C.; PEREIRA, J.P.P. Photovoltaic technologies: Mapping from patent analysis. **Renewable & sustainable energy reviews**, V. 93, p. 215-224, 2018.

SANTOS, M.A.T.; GONZÁLEZ, M.O.A. Factors that influence the performance of wind farms. **Renewable Energy**. v. 135, p. 643-651, 2019.

SANTOS, M. M.; COELHO, G. M.; SANTOS, D. M.; FELLOWS FILHO, L. Prospecção de tecnologias de futuro: métodos, técnicas e abordagens. **Parcerias Estratégicas**, v. , n.19 - dezembro/2004.

SARK, W. G. J. H. M. Van. Introducing errors in progress ratios determined from experience curves. **Technological Forecasting & Social Change**, 2008. v. 75, p. 405–415.

SARRAZIN, C.; DAMAGEUX, S. Vertical axis wind turbine e.g. offshore wind turbine, has support veils for rotation of rotor under effect of wind, where each veil is supported by two adjacent support arms, and each support arm is pivotable in vertical plane. SARRAZIN C (SARR Individual). FR2992370-A1. 2013.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico** (1 ed., 1934). Tradução de Maria Sílvia Possas. Coleção Os Economistas. São Paulo: Nova Cultural, 1997.

SEMKEN, R. S.; POLIKARPOVA, M.; RÖYTTÄ, P.; ALEXANDROVA, J.; PYRHÖNEN, J.; NERG, J.; MIKKOLA, A.; BACKMAN, J. 2012. Direct-drive permanent magnet generators for high-power wind turbines: benefits and limiting factors. **IET Renewable Power Generation** 6(1):1–8.

SHETTY, R. P.; SATHYABHAMA, A.; PAI, P. S. **Comparison of modeling methods for wind power prediction: a critical study**. 2018.

SIEG, P. Offshore wind turbine unit has tower with foundation formed as submerged buoyancy body supporting tower and having mechanism to restrict and/or control inclination angle of tower longitudinal axis relative to vertical direction. VESTAS WIND SYSTEMS AS (VSTA-C). WO2003004869-A1. 2003.

SPIESS, H. et al.. Future acceptance of wind energy production: Exploring future local acceptance of wind energy production in a Swiss alpine region. **Technological Forecasting and Social Change**, 2015. v. 101, p. 263–274.

STAVISS, B. **Energia Partilhar - Usina Eólica de Alegria I**. 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/6/artigo227165-2.aspx>>. Acesso em 12 de abril de 2018.

STERNITZKE, C.; BARTKOWSKI, A.; SCHRAMM, R. Visualizing patent statistics by means of social network analysis tools. **World Pat Inf** 2008;30:115-31

TAN, Z. et al.. Potential and policy issues for sustainable development of wind power in China. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2013. v. 1, n. 3, p. 204–215.

TAZI, N.; CHÂTELET, E.; BOUZIDI, Y. Using a hybrid cost-FMEA analysis for wind turbine reliability analysis. **Energies**, 2017. v. 10, n. 3.

TEIXEIRA, L. P. **Prospecção tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrados**. 2013.

TEMPEL, J. **Design of support structures for offshore wind turbines**. Delft, Holanda: Technische Universiteit, 2006.

TEMPEL, J. V.; MOLENAAR, D. Wind Turbine Structural Dynamics – A Review of the Principles for Modern Power Generation, Onshore and Offshore. **Wind engine e ring** vo. 26, n. 4, 2002, p. 211–220.

TOBIN, I. et al.. Assessing climate change impacts on European wind energy from ENSEMBLES high-resolution climate projections. **Climatic Change**, 2015. v. 128, n. 1–2, p. 99–112.

TROEN, I; PETERSEN, E. L. **European wind atlas**. Risø National Laboratory. Denmark, 1989.

TSENG, Y. H.; LIN, C. J.; LIN, Y. I. Text mining techniques for patent analysis. **Inform Process Manag** 2007;43(5):1216-47.

UPWIND. **Concept report on generator topologies, mechanical & electromagnetic optimization**. 2007.

VAN, N. C. P. A.; BOONSTOPPEL, H. J. Offshore wind turbine mounting method for mounting location i.e. seabed, involves lifting completed wind turbine assembly of nacelle, hub and three blades on top of pre-installed wind turbine foundation tower. GUSTO BV (GUST-Non-standard). WO2010126369-A1. 2010.

VARELLA FILHO, H. C. **Medição de Desempenho na Cadeia de Suprimentos da Energia Eólica: Proposta de um Conjunto de Indicadores de Desempenho**. Orientador: Mario Orestes Aguirre González. Natal: UFRN, 2013. Dissertação (Título de Mestre).

VCPI - Vilela Coelho Propriedade Intelectual. **O que são Patentes?** Disponível em: <https://vcpi.com.br/o-que-sao-patentes/>. Acesso em: 19 de dezembro de 2018.

VEGA, S. H.; MANDEL, A. Technology Diffusion and Climate Policy: A Network Approach and its Application to Wind Energy. **Ecological Economics**, 2018. v 145, p. 461-471.

WANG, H.; ZHANG, X.; WU, M. Tug, has ship main body fixed with bow part, waist part connected with stern part, outer plate fixed with load line, and transition connection part connected with screw. OFFSHORE SHIP DESIGNERS SHANGHAI CO LTD (OFFS-Non-standard). CN204606159-U. 2015.

WANG, X; ZENG, X; LI, X; LI, J. Investigation on offshore wind turbine with an innovative hybrid monopile foundation: An experimental based study. **Renewable Energy**, 2019. V. 132, p. 129-141.

WEN, W.; YAN, Z.; ZHANG, X. Shaft blade device for offshore wind turbine generator, has vertical shaft and blade connected with connecting piece, and tower cylinder connected to ends of sliding bearing that is respectively connected with supporting pole. WEN W (WENW-Individual). CN203756433-U. 2014.

Wind Europe. **Offshore Wind in Europe - Key trends and statistics 2017**, 2018.

Wind Power Monthly. **Ten of the biggest turbines**. 2017. Disponível em <<https://www.windpowermonthly.com/10-biggest-turbines>>. Acesso em 20 de março de 2018.

WINDEUROPE. **History of Europe's wind industry**. Disponível em <<https://windeurope.org/about-wind/history/?category=market>>. Acesso em 15 de março de 2018.

WIPO - World Intellectual Property. **IPC 2019.01 - Statistics**. Disponível em: <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/ITsupport/Version20190101/transformations/stats.html>. Acesso em 28 de dezembro de 2018

WWEA- World Wind Energy Association. **Special Issue: World Wind Energy Report 2014**. 2015.

XUN, C.; JIANG, Z.; SUN, X.; ZHANG, C.; ZHOU, H. Model type offshore wind turbine infrastructure, has assistant steel pipe column whose upper end is connected with auxiliary pile, and auxiliary pile welded with horizontal support rod by vibrating and punching bushing unit. POWERCHINA HUADONG ENG CORP (POWE-Non-standard). CN204676582-U. 2015.

YANG, J.; CHEN, B. Energy-based sustainability evaluation of wind power generation systems. **Applied Energy**, 2016. v. 177, p. 239–246.

ZELL, H. Aircraft i.e. helicopter, for verification or maintenance of structural conditions of offshore-wind turbine, has platform adjusted between parking and

operating positions, where operations are implemented at structural unit via platform. ZELL H (ZELL-Individual). DE102010051848-A1. 2012.

ZHANG, K. et al.. Optimal control of state-of-charge of superconducting magnetic energy storage for wind power system. **IET renewable Power Generation**, 2014. v. 8, n. January 2013, p. 58–66.

ZHANG, Q.; HE, X.; LIU, Y.; CHEN, W.; LI, J. Foldable anti-typhoon offshore wind turbine generator system blade, has transmission rod whose end is connected with piston rod by hinge to ensure folding of blade tip section, and rotating shaft rotated towards blade root section. MINGYANG ZHIHUI ENERGY GROUP CO LTD (MING-Non-standard). CN207673483-U. 2018a.

ZHANG, Q.; ZHOU, B.; CHEN, W.; HE, X.; LIU, Y.; LI, J. Anti-typhoon type offshore wind turbine section blade, has root section and tip section detachably connected with each other by bolt, and layering structure formed in weakened area that is divided into inner, middle and outer layers. MINGYANG ZHIHUI ENERGY GROUP CO LTD (MING-Non-standard). CN207349020-U. 2018b.

ZHOU, H.W.; YI, H.Y.; LIU, Y.Q.; HU, X.; WARRIER, A.; DAI, G.M.; MISHNAEVSKY, L., JR. Carbon fiber/carbon nanotube based hierarchical composites: Effect of CNT distribution on shearing strength. **Compos. B** 2016, 88, 201–211.

ZHOU, Y. et al.. Comparing the knowledge bases of wind turbine firms in Asia and Europe: Patent trajectories, networks, and globalisation. **Science and Public Policy**, 2016. v. 43, n. 4, p. 476–491.

ZSCHÖGE, F.; HENTSCHEL, G.; ZIETZ, R.; MARBURG, D. Transformer unit, for an offshore wind turbine farm, has the transformer and other components sealed within a floating pontoon also providing a helicopter landing pad surface. AREVA ENERGIETECHNIK GMBH (AREV-Non-standard). DE102009014427-A1. 2010.