

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

ITAIARA FELIX CARVALHO

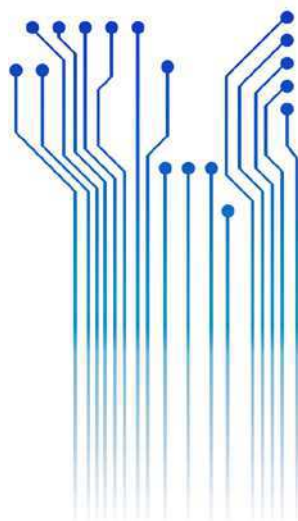


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ENERGIA EÓLICA OFFSHORE:
POTENCIAL E DESAFIOS DE IMPLANTAÇÃO



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande, Paraíba
Maio de 2017

ITAIARA FELIX CARVALHO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel
em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Professor Ubirajara Rocha Meira, M. Sc.
Orientador

Campina Grande, Paraíba
Maio de 2017

ITAIARA FELIX CARVALHO

ENERGIA EÓLICA OFFSHORE:
POTENCIAL E DESAFIOS DE IMPLANTAÇÃO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Ubirajara Rocha Meira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a minha mãe, Maria Mirian, meu exemplo de vida e maior inspiração que com muito amor tem me ajudado a conquistar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e por todas as graças concedidas.

Agradeço a minha mãe, Mirian, por sempre me guiar para os melhores caminhos me ensinando com muito amor a ser uma cidadã comprometida com o bem. Agradeço também por sempre se mostrar solícita em todos os momentos em que sua força e coragem se mostraram cruciais ao longo desta caminhada.

Agradeço também ao meu pai, Itamar, e as minhas irmãs, Itamara e Itaiana, pessoas fundamentais na minha vida, que sempre me motivaram a conquistar os meus objetivos.

Agradeço ao Professor Ubirajara Rocha Meira pela orientação prestada na execução deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos os amigos e pessoas queridas que de alguma forma, contribuíram para a construção de quem sou hoje.

“Foi o tempo que dedicaste à tua rosa que fez tua rosa tão importante.”

O Pequeno Príncipe

RESUMO

A Energia Eólica Offshore surge como uma alternativa para expandir o mercado de energias renováveis. Além de emitir baixas quantidades de gases causadores do efeito estufa, esta fonte de energia apresenta melhor desempenho do que a fonte de Energia Eólica Onshore em segmentos como emissão de ruídos, impacto visual, estabilidade e densidade de potência dos ventos. Neste trabalho é abordado o estudo do potencial eólico offshore mundial, o seu funcionamento abrangendo desde a condição dos ventos até a instalação dos parques eólicos e funcionamento das turbinas, as vantagens desse tipo de energia renovável, além de discutir sobre os principais problemas e desafios deste segmento energético.

Palavras-chave: Energia Eólica Offshore, Energia Eólica Onshore, Parques Eólicos.

ABSTRACT

Offshore Wind Energy emerges as an alternative to expand the market for renewable energy. In addition to emitting low amounts of greenhouse gases, this energy source performs better than the Onshore Wind Energy source in segments such as noise emissions, visual impact, stability and wind power density. This work deals with the study of the World offshore wind potential, its operation ranging from the condition of the wind to the installation of wind farms and the functioning of the turbines, the advantages of this type of renewable energy, besides discussing the main problems and challenges of this energy segment.

Keywords: Offshore Wind Energy, Onshore Wind Energy, Wind Farms.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de Energias renováveis.....	13
Figura 2 – Capacidade Acumulada da energia eólica global instalada e seu crescimento líquido anual entre 1991-2014.....	14
Figura 3 - Capacidade Acumulada da energia eólica offshore global instalada e seu crescimento líquido anual entre 1991-2014.....	15
Figura 4 – Participação das principais nações do cenário eólico mundial referente ao ano de 2016.....	16
Figura 5 – Esquema típico de um sistema de energia eólica offshore.....	20
Figura 6 – Limite de Betz.....	22
Figura 7 – Atlas eólico offshore Europeu.....	24
Figura 8 – Turbina eólica de eixo vertical e turbina eólica de eixo horizontal.....	25
Figura 9 – O primeiro protótipo completo da WindFloat.....	26
Figura 10 – Evolução das fundações considerando as profundidades.....	27
Figura 11 – Fundação monopilar.....	28
Figura 12 – Fundação com base de gravidade.....	29
Figura 13 - Turbina eólica offshore com estrutura tipo jacket.....	30
Figura 14 – Fundação tripod.....	31
Figura 15 – Estruturas de bases flutuantes.....	33
Figura 16 – Custos típicos para um parque eólico offshore.....	36
Figura 17 - Custos típicos para um parque eólico onshore.....	36
Figura 18 – Relação entre o custo da fundação e a profundidade de instalação da mesma.....	37
Figura 19 – Análise gráfica da capacidade global de energia eólica offshore acumulada e da capacidade anual acumulada entre os anos de 2011-2016.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
GWEC	Global Wind Energy Council
EERE	Energy Efficiency & Renewable Energy
W	Watt
MW	Megawatt
M	Metro
Mm	Milímetro Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EU	União Europeia
TEEV	Turbina eólica de eixo vertical
TEEH	Turbina eólica de eixo horizontal
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica Ciências e Tecnologia
CO ₂	Dióxido de carbono
km	Quilômetro
Onshore	Em terra
Offshore	No mar

SUMÁRIO

1	Introdução.....	11
1.1	Objetivos.....	12
1.2	Estrutura do Trabalho.....	12
2	Energia Eólica.....	13
2.1	Cenário Eólico Mundial.....	14
2.2	Cenário Eólico Brasileiro.....	17
3	Energia Eólica Offshore.....	18
3.1	Vantagens.....	19
3.2	Sistema Offshore.....	20
3.2.1	Perfil dos Ventos no Oceano.....	22
3.2.2	Turbinas.....	24
3.2.3	Fundações.....	26
3.2.4	Layout.....	33
3.3	Desafios de Implantação de Parques Eólicos Offshore.....	34
3.3.1	Custos.....	35
3.3.2	Impactos Ambientais.....	38
4	Panorama Atual e Perspectivas.....	40
5	Conclusão.....	43
	Referências.....	44

1 INTRODUÇÃO

É notório que muitas nações têm se preocupado com a emissão de dióxido de carbono (CO_2), um dos principais causadores do efeito estufa, a partir disso visando reduzir a dependência energética sobre os combustíveis fósseis, vem ocorrendo um aumento no investimento em energia renováveis e de baixas emissões.

A energia eólica, que é subdivida em energia eólica onshore (em terra) e offshore (no mar), emite baixas quantidades de gases causadores do efeito estufa (GEE) e possui numerosas vantagens comparadas as fontes de energias tradicionais ou até mesmo a outras renováveis. A energia eólica onshore, modalidade eólica que é gerada a partir de parques eólicos instalados em terra, possui diversas vantagens, no entanto, alguns fatores como a emissão de ruídos, relevo e impacto visual se configuram como obstáculos à instalação de novas usinas.

Buscando expandir o mercado de energias renováveis e solucionar algumas das desvantagens presentes na energia eólica onshore, a energia eólica offshore aparece como uma ótima alternativa e vem sendo implantada principalmente na Europa, onde segundo dados da Associação Europeia de Energia (atualmente WindEurope), até 2014 possuía 8 GW de capacidade instalada offshore.

As vantagens da energia eólica offshore, face à energia eólica terrestre, são significativas, com destaque para a perenidade e uniformidade dos ventos, velocidade dos ventos, e diminuição dos impactos visuais e sonoros. Em contrapartida existem também algumas desvantagens relacionadas principalmente aos custos de fabricação dos componentes, transporte, instalações e manutenção das centrais.

No que diz respeito à costa marítima brasileira, apesar de apresentar um alto potencial para geração eólica offshore, ainda não existem parques eólicos marítimos instalados, isto se dá principalmente devido à ausência de uma regulação adequada para a implantação de parques eólicos no mar, além dos elevados custos para implantação.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é elaborar um estudo sobre o Potencial Eólico Offshore Mundial e discutir sobre as vantagens da instalação de turbinas eólicas no mar e os desafios encontrados no processo de instalação das .

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em cinco capítulos. O primeiro, Introdução, consiste nas considerações gerais, objetivos e estrutura do trabalho.

O segundo Capítulo, Energia Eólica, é constituído pelos aspectos gerais da Energia Eólica, e pelo cenário mundial e nacional da mesma.

O terceiro Capítulo trata sobre uma explanação mais detalhada sobre a Energia Eólica Offshore, abordando desde o seu funcionamento e instalação até as vantagens e desafios de sua implantação.

O quarto Capítulo, aborda o panorama atual e as perspectivas a cerca da Energia Eólica Offshore a nível mundial.

Finalmente, o último Capítulo, Conclusão, reúne as considerações gerais a cerca do trabalho desenvolvido.

2 ENERGIA EÓLICA

Após a crise do petróleo da década de 70, houve uma crescente busca por fontes alternativas que surgiam como soluções para diminuir a dependência da importação de energia e aumentar a segurança no fornecimento energético. Os impactos ambientais provocados pela utilização de fontes de energia de origem fóssil, também se configuraram e ainda hoje funcionam como um grande incentivo para o estudo e implantação de energias renováveis. É neste contexto que fontes de energia como a energia solar, energia eólica e hidráulica, conforme ilustradas na Figura 1, ganham destaque.

Figura 1 – Tipos de Energias renováveis.



Fonte: Portal das Energias Renováveis,2016

A energia eólica, dentre as fontes de energias renováveis citadas, aparece como uma das mais promissoras. Do ponto de vista ambiental o impacto provocado é pequeno e pode ser comparado ao das pequenas centrais hidrelétricas a fio d'água. Já do ponto de vista energético a avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime de ventos.

A energia eólica, tanto nas modalidades onshore quanto na offhore, se configura como uma importante opção de diversificação da matriz energética, o que ocasiona um

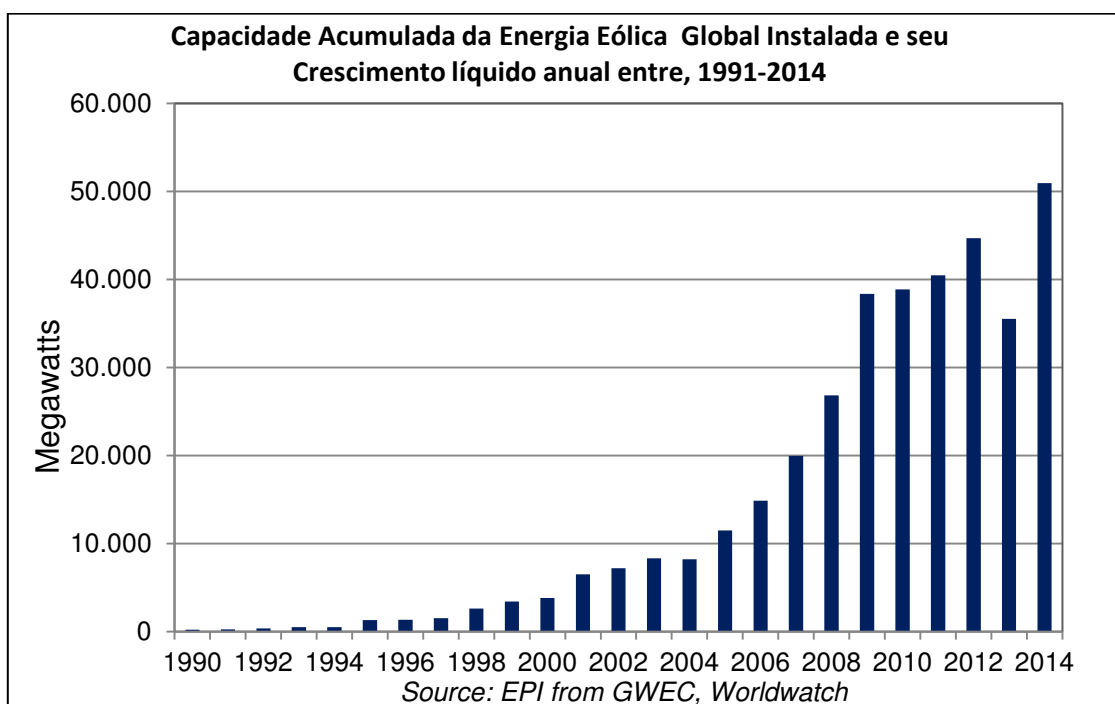
aumento do interesse das nações em investir nessa tecnologia, tornando assim o aproveitamento desta fonte um mercado promissor.

2.1 CENÁRIO EÓLICO MUNDIAL

No cenário mundial a Europa foi pioneira no aproveitamento da energia eólica e responde atualmente por grande parte da capacidade instalada mundial. No que diz respeito à fabricação de tecnologia necessária para a captação de energia eólica, foi também da Europa, principalmente da Alemanha e Espanha, de onde provieram os principais fabricantes de aerogeradores.

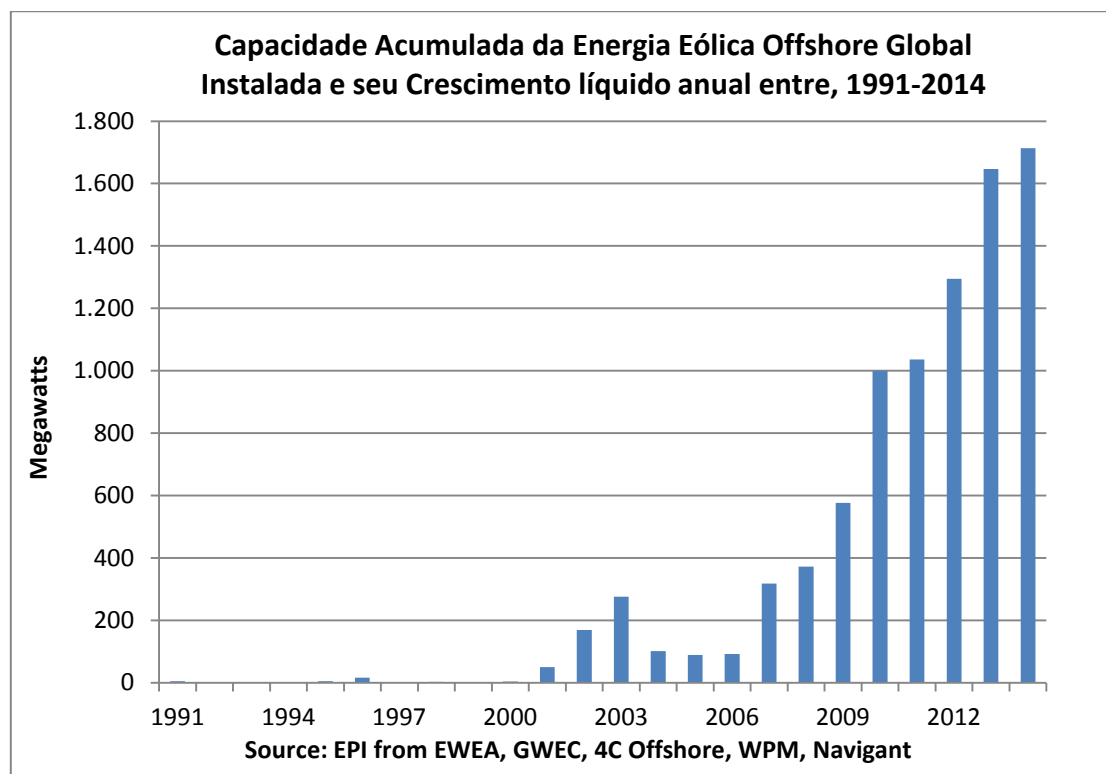
Nos últimos anos, os Estados Unidos e países emergentes como China e Índia aumentaram suas instalações eólicas, sendo este aumento acompanhado pelo desenvolvimento de fornecedores e tecnologias próprias. Conforme ilustrado na Figura 2, pode-se observar a evolução global da capacidade instalada onshore entre os anos de 1991 a 2014 assim como o crescimento líquido anual para esta fonte. Já a evolução global da capacidade instalada e do crescimento líquido anual para a categoria offshore entre 1991-2014 é evidenciado na Figura 3.

Figura 2 – Capacidade Acumulada da energia eólica global instalada e seu crescimento líquido anual entre 1991-2014.



Fonte: Adaptado de Earth Police Institute, 2015.

Figura 3 - Capacidade Acumulada da energia eólica offshore global instalada e seu crescimento líquido anual entre 1991-2014



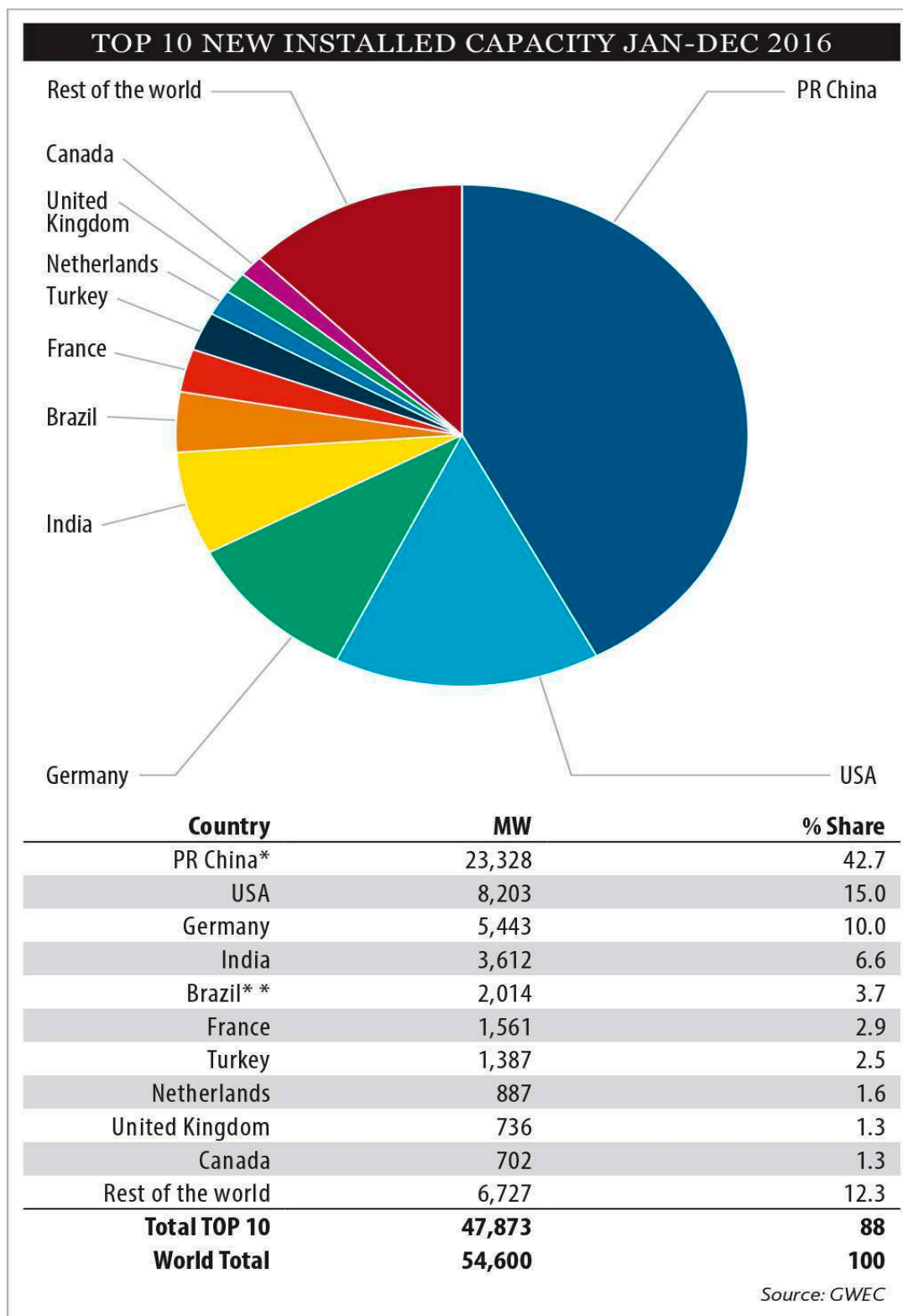
Fonte: Adaptado de Earth Police Institute, 2015.

Mais recentemente, em relação ao ano de 2016 a Índia estabeleceu um novo recorde nacional com 3.612 MW de novas instalações, colocando-a no quarto lugar em termos de crescimento anual de capacidade, e consolidando a quarta colocação em termos acumulados, atrás da China, dos EUA e da Alemanha que passou a marca de 50 GW em 2016 com instalações de 5.443 MW.

As instalações norte-americanas, na marca de 8.203 MW foram praticamente idênticas às de 2015. Já os números da Europa foram surpreendentemente fortes, ultrapassando o ano de 2015. A União Européia registou uma quebra de apenas alguns por cento, liderada pela Alemanha, França (1.561 MW) e Holanda (887 MW - a maioria dos quais era offshore).

O gráfico da Figura 4 ilustra a participação das principais nações cuja participação no mercado eólico mundial é de expressividade. Nota-se uma forte liderança da China, sendo seguida por EUA, Alemanha e Índia.

Figura 4 – Participação das principais nações do cenário eólico mundial referente ao ano de 2016.



Fonte: Global Wind Energy Council -GWEC.

2.2 CENÁRIO EÓLICO BRASILEIRO

No Brasil, a adoção da energia eólica como fonte geradora de energia ainda é inexpressiva se comparada com o potencial eólico disponível, no entanto, apesar de ainda apresentar uma pequena participação no mercado eólico mundial, é notório que ocorreu um crescimento significativo em sua capacidade instalada na última década.

O DEWI (UL International GmbH), considerando os últimos desenvolvimentos tecnológicos, estima que o potencial eólico brasileiro é de 500 GW. A estimativa, no entanto não inclui o potencial eólico de projetos offshore, cujo setor ainda não apresenta nenhum parque instalado. O potencial eólico disponível comprova, portanto a existência de um ambiente propício para o incremento da utilização dessa fonte de energia no país.

Apesar da abundância no que diz respeito ao potencial eólico, é importante salientar que os fabricantes de aerogeradores instalados no Brasil são, em sua maioria, empresas multinacionais que já dispõem de estrutura de pesquisa, desenvolvimento e inovação em suas matrizes. Com a carência de tecnologia própria, os desenvolvimentos tecnológicos do setor, têm ocorrido principalmente no exterior, ficando as atividades nacionais restritas à montagem dos principais componentes.

3 ENERGIA EÓLICA OFFSHORE

Uma das modalidades da energia eólica, a energia eólica offshore, consiste na obtenção de energia proveniente dos ventos por meio da construção de parques eólicos ao longo da costa marítima. Esta tecnologia proporciona algumas vantagens face aos parques eólicos terrestres como aumento da potência instalada de energia eólica e menor impacto visual e sonoro. No decorrer deste trabalho são apresentados outros estudos que comprovam as vantagens da energia eólica offshore em detrimento da onshore.

A construção do primeiro parque eólico em mar aberto remonta a 1991, quando a central Vindeby foi concluída, contando com 11 pequenas turbinas eólicas de 450 quilowatts nas águas ao largo de Vindeby, localizada no sudeste da Dinamarca. Recentemente, a DONG Energy anunciou a decisão de desativar a Central Vindeby, encaminhando alguns de seus componentes para serem utilizados em outras centrais.

As lâminas, a “nacelle” e a torre serão desmontadas e levadas individualmente por uma grua móvel a bordo de um navio. As fundações de cimento serão destruídas e posteriormente recolhidas. Todos os componentes das turbinas eólicas serão enviados para o porto de Nyborg, onde serão reutilizados, tanto quanto possível, como peças de reposição para outras turbinas.

Algumas das lâminas farão parte de um projeto de investigação, outras serão reutilizadas para um conceito inovador de barreira de ruído. Uma das turbinas eólicas passará mesmo a fazer parte da exposição do “Energimuseet” (Museu Dinamarquês da Energia).

Durante toda a sua vida, a Central Eólica Offshore Vindeby produziu 243GWh de energia. Este valor corresponde exatamente ao mesmo que sete das maiores turbinas eólicas offshore atuais podem produzir num único ano, no entanto a construção deste parque eólico offshore serviu para que a Dinamarca se tornasse um dos primeiros líderes mundiais em energia eólica offshore e impulsionasse outras nações.

Desde a construção da referida central, houve então uma grande evolução tanto na tecnologia, na capacidade das turbinas, como no número e tamanho dos parques. A Europa, pioneira no aproveitamento da energia eólica responde atualmente por grande parte da capacidade instalada mundial offshore. Ainda em relação ao panorama da energia eólica offshore mundial, nota-se a participação crescente de parques eólicos

offshore, sobretudo na China, Dinamarca, Suécia, Irlanda, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos. O que mostra como este tipo de energia renovável tem crescido e é uma boa aposta de presente e futuro.

3.1 VANTAGENS

O sistema de captação offshore caracteriza-se por possibilitar o aumento da potência instalada de energia eólica e ainda proporcionar outras vantagens frente à onshore. Tais como:

- Melhores condições dos ventos
Fatores como: a inexistência de obstáculos no mar, o que possibilita uma maior existência de ventos; menor rugosidade da superfície marítima; maior velocidade e estabilidade dos ventos se configuram como características que garantem uma melhor condição de ventos na superfície marítima quando comparado com a terrestre.
- Menor impacto visual e sonoro
Devido à localização da instalação das centrais eólicas offshore, longe da costa, o impacto visual e sonoro para as cidades e comunidades próximas é consideravelmente reduzido.
- Menor risco de desgaste das turbinas
Em razão de uma menor turbulência o desgaste dos equipamentos é reduzido, ou seja, as turbinas estão sujeitas a uma menor flutuação de esforços.
- Grande disponibilidade de área
Outra notável vantagem é a maior disponibilidade de área sem que seja necessário compra ou arrendamento de terrenos que ocasionam no encarecimento de projetos onshore.

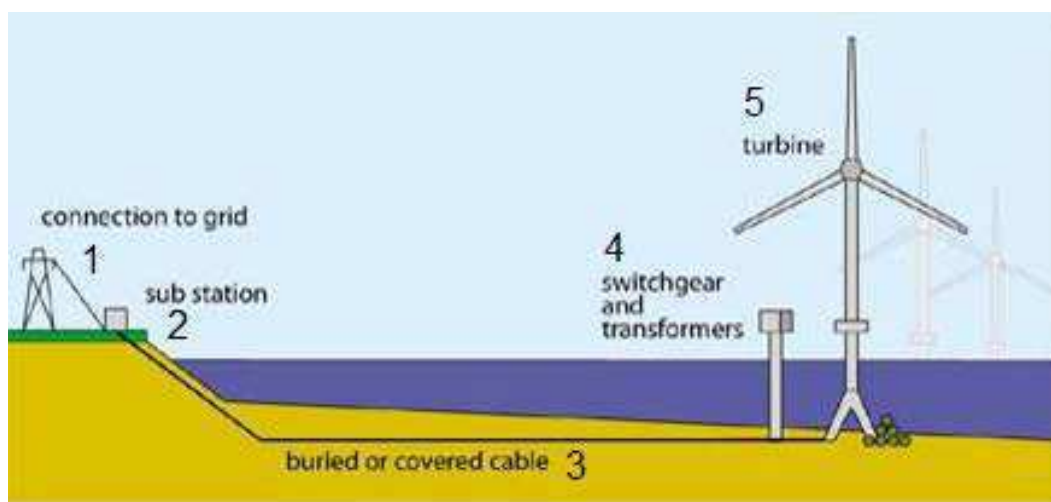
Essas e outras vantagens têm motivado governos e grandes companhias a investirem cada vez mais na tecnologia offshore. No entanto, vale destacar que a maior complexibilidade de instalação e manutenção das Eólicas Offshore ocasionam em maiores custos que a centrais onshore.

3.2 SISTEMA OFFSHORE

Os parques eólicos offshore consistem em uma série de turbinas, transformadores, cabos de transmissão e recepção, e uma subestação (normalmente onshore) que recebe a energia elétrica produzida nas turbinas e a transmite para a rede. Um esquema típico de um parque eólico offshore é ilustrado na Figura 5, o qual é composto por:

1. Cabos de transmissão;
2. Subestação;
3. Cabos de recepção;
4. Transformadores,
5. Turbinas.

Figura 5 – Esquema típico de um sistema de energia eólica offshore.



Fonte: Adaptado de UK Department of Trade & Industry (DTI), 2002.

Realizando um comparativo entre as tecnologias utilizadas nos sistemas de energia eólica onshore e offshore, percebe-se que as principais diferenças se concentram essencialmente no tipo dos materiais empregues. Sendo assim, é de grande relevância para melhor explanação das tais diferenças, fazer uma análise de aspectos importantes como construção, instalação e manutenção dos equipamentos utilizados em parques eólicos offshore.

Nos parques eólicos offshore, os efeitos recorrentes pela instalação no mar devem ser considerados, em consequência disso os materiais devem ser formulados de maneira a incluir proteção contra a corrosão e sistemas de apoio à desumidificação.

No que se refere ao processo de construção dos componentes, a maioria são fabricados em terra sendo posteriormente transportados e montados no local. A nacelle, exclusivamente, é montada em terra e só depois é transferida para a central offshore. Quando ocorre o transporte destes e outros componentes para os parques offshore, é primordial que as fundações já estejam completamente construídas.

Quanto à instalação, em sistemas de captação eólicos offshore as turbinas necessitam de diferentes tipos de estruturas de fundações, que vão variar de acordo com a profundidade e as características do fundo do mar nas quais as centrais estarão em funcionamento.

Para que os sistemas e componentes das centrais eólicas offshore continuem funcionando em perfeitas condições são realizadas manutenções. Normalmente, a manutenção preventiva ocorre de maneira que cada turbina seja visitada em média duas vezes por ano. Além desta, se fazem também eventualmente necessárias, manutenções corretivas em virtude de falhas aleatórias nos sistemas. É importante salientar, que é objeto de interesse das companhias a melhora da confiabilidade dos equipamentos, de modo que as manutenções corretivas se tornem cada vez menos necessárias, atingindo assim a marca de não mais que uma manutenção anual.

Além da manutenção da turbina, também são realizadas inspeções e manutenções regulares para as demais partes que compõem o sistema como subestruturas, cabeamento e transformadores. Inicialmente as manutenções nessas estruturas são feitas uma vez ao ano, quando se é comprovado que os equipamentos não se degradam rapidamente, fica a cargo dos operadores poder decidir optar por intervalos de inspeção mais longos ou inspecionar apenas um subconjunto da população total.

Finalmente, a monitorização de uma central eólica offshore é realizada de maneira similar as monitorizações realizadas nos parques eólicos onshore, sendo feita por sistemas de controle de supervisão e aquisição de dados. Com o uso de técnicas de monitoramento de condições melhoradas, os efeitos de falhas aleatórias podem ser reduzidos, o que ocasiona na diminuição de manutenções corretivas.

Para a escolha do local ideal em que vai ser instalado um parque eólico offshore, muitos fatores devem ser considerados. De início deve ser traçado um estudo sobre o perfil dos ventos, seguidamente é necessário um estudo das turbinas que devem ser

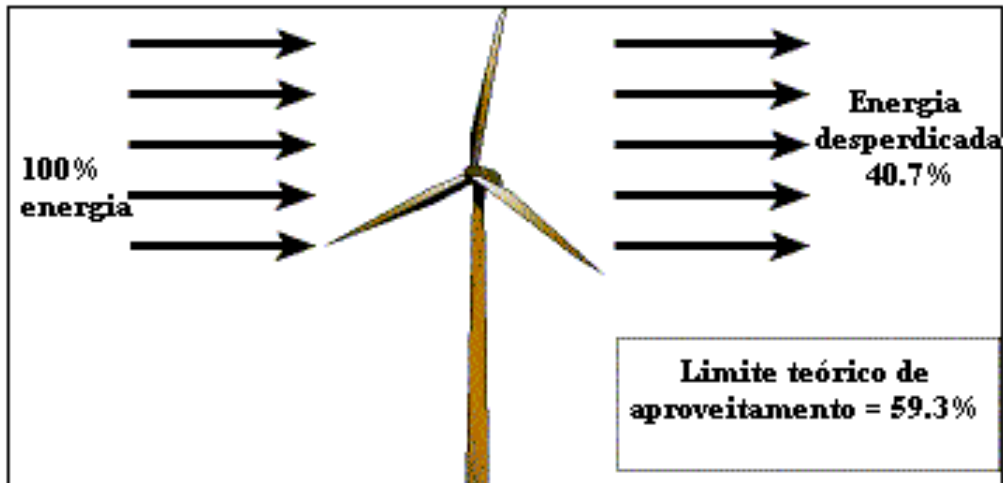
utilizadas, e posteriormente devem ser considerados os demais aspectos ambientais e legislativos para a caracterização e identificação de potenciais locais.

3.2.1 PERFIL DOS VENTOS NO OCEANO

No ano de 1919, foi definido pelo físico alemão Albert Betz o que hoje é denominada Lei de Betz. O Limite de Betz, ou Lei de Betz, demonstra que ao passar pela turbina eólica, a velocidade do vento é diminuída pelo rotor, que por sua vez absorve a energia cinética sendo posteriormente transformada em energia mecânica necessária para provocar a rotação do rotor.

Em se tratando da velocidade efetiva com que o vento passa pelo rotor, Betz provou que esta pode ser calculada como a média entre a velocidade que chega e a velocidade que sai do rotor. Demonstrou ainda que como ilustrado na Figura 6, no máximo 59,3% da potência total existente em uma corrente de vento podem ser efetivamente aproveitados, este valor é chamado de Rendimento Limite de Betz, o qual indica o máximo rendimento que pode ser atingido por uma máquina eólica.

Figura 6 – Limite de Betz.



Fonte: Aerogeradores.org, 2011.

Assim sendo, o cálculo da Potência (W) de um aerogerador é obtido pela Equação (1):

$$P = \frac{1}{2} \times c_p \times n \times \rho \times A \times v^3, \quad (1)$$

em que, P é a potência do vento [W]; cp é o coeficiente de potência de Betz; n é a eficiência eletromecânica; ρ é a densidade do ar no local [kg./m³]; A é a área varrida pelas pás do motor [m²] e v é a velocidade do vento [m/s].

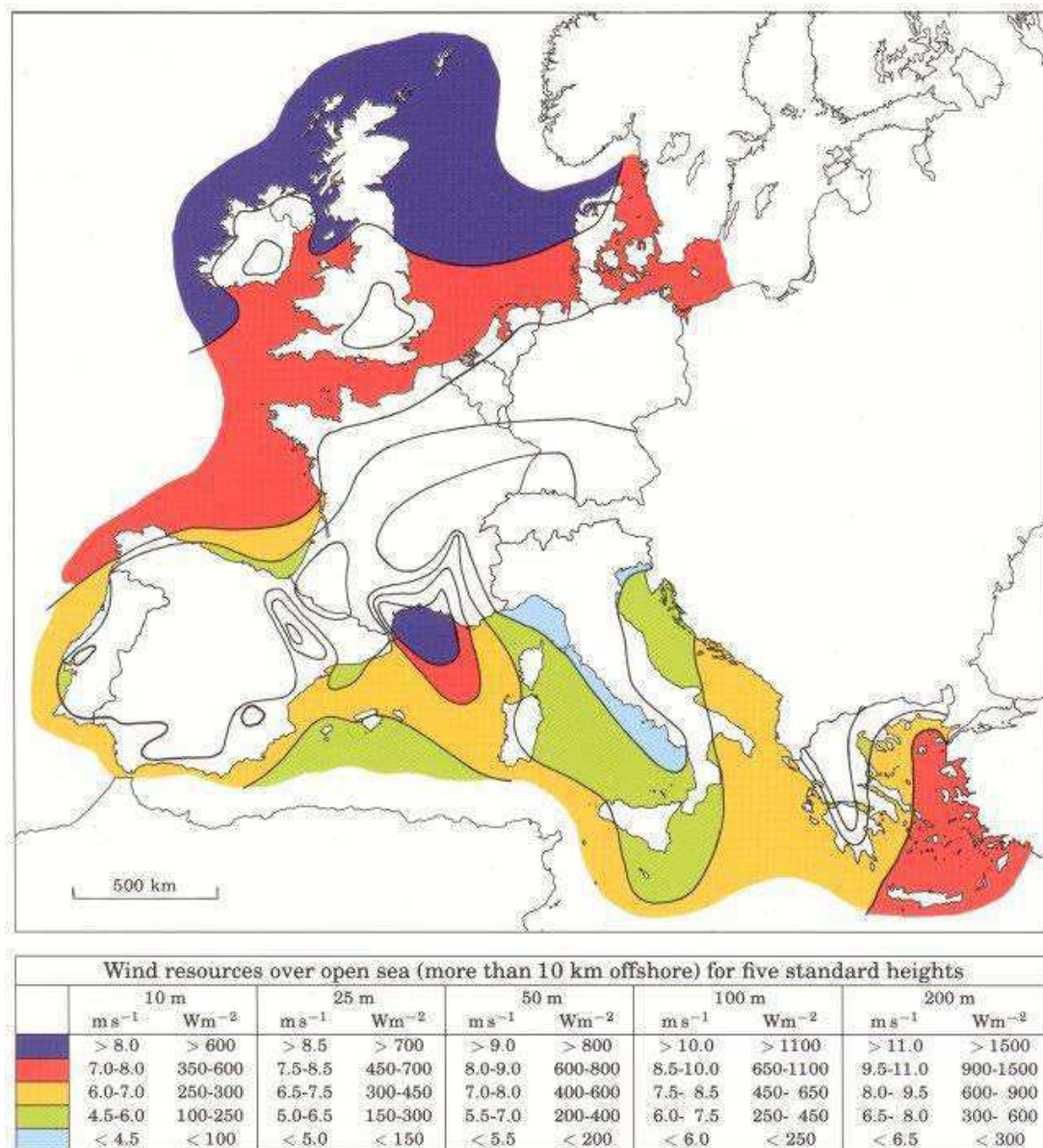
A Equação (1) mostra então que a potência do vento é proporcional ao cubo de sua velocidade, de modo que pequenos aumentos de velocidade produzem consideráveis acréscimos de potência.

Em relação ao perfil dos ventos offshore, de maneira geral, a velocidade média dos ventos marítimos chega a ser em média 20% maior do que em terra, resultando em 70% a mais de energia produzida offshore em relação à produzida nos parques eólicos onshore. Isto acontece devido a condições particulares do vento no mar, como a baixa rugosidade, pois o fato de que a superfície dos oceanos apresenta uma baixa rugosidade implica em uma menor força de cisalhamento entre o vento e a superfície, obtendo-se assim um acréscimo na velocidade dos ventos.

No que diz respeito à turbulência, devido principalmente a pequena variação de temperatura entre as diferentes altitudes a partir da superfície dos oceanos e também a quase inexistência de obstáculos a turbulência dos oceanos é considerada baixa, resultando assim em ventos mais estáveis. Assim, considerando a maior estabilidade e maior velocidade a condição dos ventos no oceano são melhores quando comparadas ao perfil de ventos onshore.

Na Figura 6 é ilustrado um atlas eólico offshore típico para a Europa, realizado pelo Risø National Laboratory, na Dinamarca no qual é apresentada a velocidade do vento para cinco diferentes alturas, sendo estas 10 m, 25 m, 50 m, 100 m e 200m. Na altura de 100 m, observa-se que as maiores velocidades, indicadas pela cor roxa, correspondem à parte norte do Reino Unido, fato este que explica a crescente aposta em energia eólica offshore nesta região.

Figura 7 – Atlas eólico offshore Europeu.



Fonte: Risø National Laboratory .

3.2.2 TURBINAS

As turbinas eólicas são classificadas por diversas características e podem ser subdivididas em dois grandes grupos baseados na direção de rotação do eixo das pás. São assim denominadas como Turbinas Eólicas de Eixo vertical (TEEV) e Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal (TEEH), conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Turbina eólica de eixo vertical e turbina eólica de eixo horizontal.



Fonte: Centro de Energia Eólica CE-Eólica.

As turbinas de eixo horizontal foram assim nomeadas devido ao seu eixo de rotação do rotor ser paralelo ao solo, o qual é montado no topo da torre. Os rotores de eixo horizontal são mais utilizados comercialmente, e grande parte das iniciativas internacionais em projetos de expansão de energia eólica está voltada para a sua utilização. O funcionamento dessas turbinas é baseado no princípio de sustentação do perfilar das pás, tendo assim que possuir mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento.

O sistema de ajuste padrão é composto por motores elétricos e caixa de engrenagens que movem todo o rotor para a esquerda ou direita em pequenos incrementos. O controlador eletrônico lê a posição de um dispositivo cata-vento e ajusta a posição do rotor para capturar o máximo de energia eólica disponível (LOPEZ, 2012).

De acordo com as maneiras que são projetadas, as TEEHs se dividem em dois subgrupos: Upwind e Downwind. As turbinas downwind têm o rotor posicionado a favor do vento, ou seja, o vento passa pela torre antes das pás do rotor. Já as turbinas upwind são projetadas de modo a operar com face contra a direção do vento, sendo estas a maioria das turbinas eólicas modernas.

As turbinas de eixo vertical além de muito raras possuem como característica principal a captação de energia dos ventos sem precisar alterar a posição do rotor com a mudança na direção dos ventos, isto se dá por permanecerem permanentemente alinhadas com o vento.

No que concerne às turbinas eólicas offshore, as mesmas são turbinas de grandes dimensões e usualmente de maior capacidade quando comparadas as usadas em terra. Recentemente a empresa dinamarquesa MHI Vestas Offshore Wind anunciou o lançamento da sua nova turbina eólica, a V164 de nove megawatts. A referida turbina alcançou 216 mil kWh em 01 de dezembro de 2016 e foi considerado um recorde mundial de energia eólica gerada por uma turbina em um período de 24 horas.

Além das turbinas de maiores portes como as oito megawatts e a de nove megawatts mencionada anteriormente, existem também as turbinas médias, de 2 MW ou 3,6 MW. A título de exemplo, na costa portuguesa, encontra-se instalada a turbina da Aguçadoura, WindFloat, de 2 MW como mostra na Figura 9, da empresa Vestas.

Figura 9 – O primeiro protótipo completo da WindFloat.



Fonte: Green Architecture and Building Report - GAB.

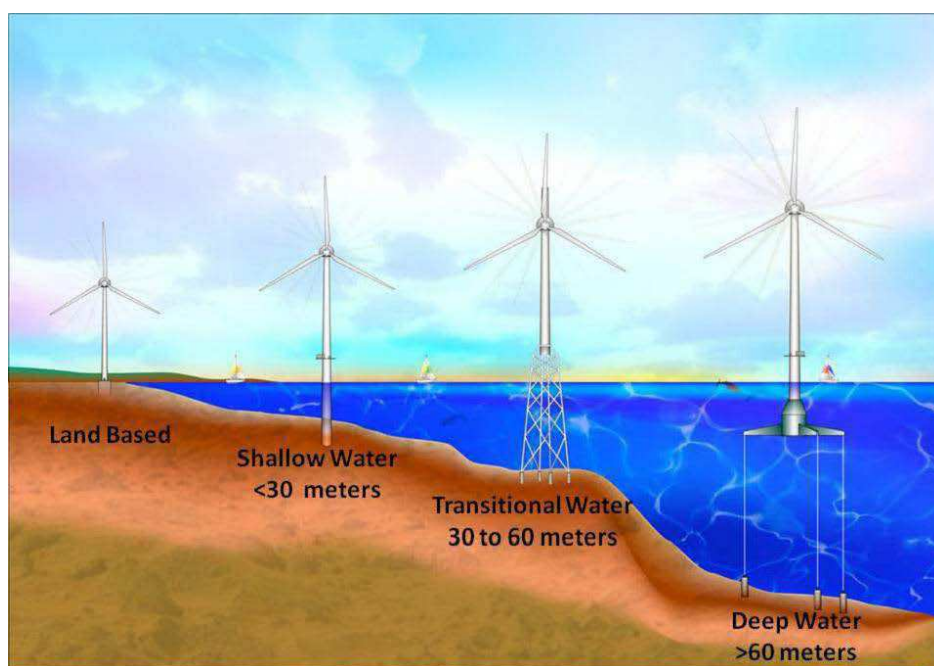
3.2.3 FUNDAÇÕES

A maior diferença entre os parques eólicos offshore e onshore no que diz respeito à instalação das turbinas são as fundações. No processo de instalação de torres com turbinas eólicas no mar devem ser considerados problemas voltados a sua estabilidade, resistência as correntes e à erosão. Em si tratando de grandes

profundidades, o custo e as características vibracionais de toda a instalação são características ainda mais significativas (FILHO, 2011). Contudo, esta relação entre custo, estabilidade e resistência faz das fundações um segmento do projeto de instalação dos parques uma etapa de enorme relevância.

Existem diversos tipos de estruturas de fundações disponíveis para a instalação de turbinas offshore, para tanto o processo de escolha da fundação adequada ao projeto envolve fatores relacionados principalmente a profundidade, e a natureza do fundo mar. Ao passo que aumenta a profundidade da água, o custo das fundações offshore também aumenta devido à complexidade do processo de instalação e o aumento dos recursos necessários (FILHO, 2011). A Figura 10 representa a progressão das tecnologias de fundações para turbinas eólicas, começando desde as fundações onshore até as fundações offshore de grandes profundidades.

Figura 10 – Evolução das fundações considerando as profundidades.



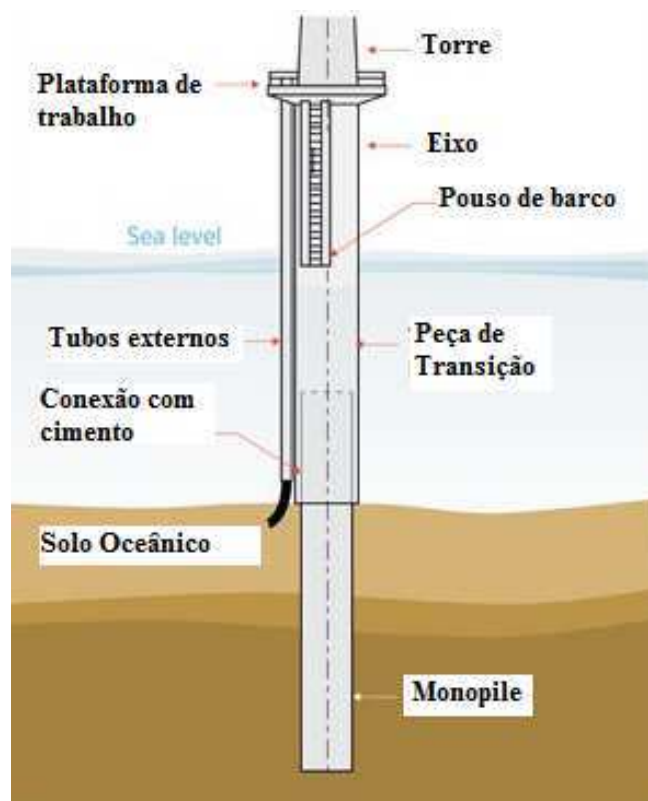
Fonte: Adaptado de Bureau of Ocean Energy Management.

As estruturas de fundações são essencialmente de três tipos: as formadas por estruturas treliçadas compostas por tubos, as de base gravitacional de concreto como fundamentais de fundações, as que funcionam por gravidade, e as plataformas flutuantes.

A fundação monopilar (monopile), considerada a mais utilizada em parques eólicos offshore, é feita de tubo de aço com diâmetro em torno de 4 a 6 metros e

espessura em torno de 150 milímetros. A sua instalação consiste em métodos de condução e/ou perfuração realizada com a utilização de equipamentos com grande capacidade de elevação. Em relação à profundidade, a fundação monopilar possui um limite na ordem dos 30 metros e pode ser usada em diversas condições de leito, tais como misturas de pedras, areia ou argila. A Figura 11 ilustra uma fundação monopilar e seus principais componentes.

Figura 11 – Fundação monopilar.



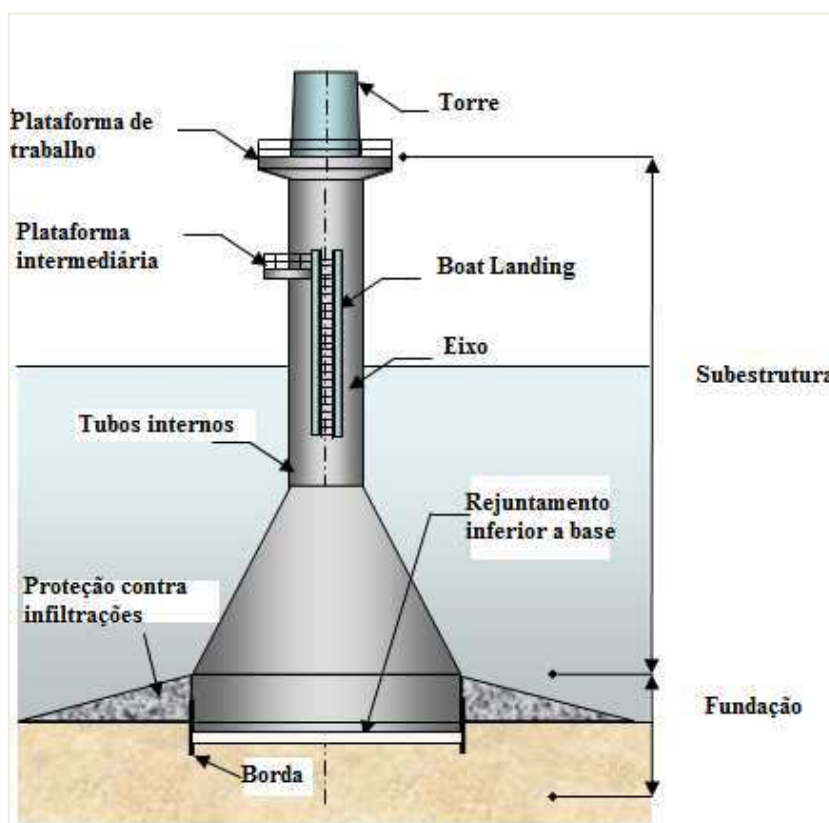
Fonte: Adaptado de 4 C Offshore,2017.

Outro tipo de fundação, a fundação de gravidade, funciona usando seu próprio peso para resistir ao tombamento estabilizando assim as forças que atuam na torre. Composta por uma caixa de aço ou concreto, esta fundação é mergulhada até o fundo do mar e é preenchida com materiais de alta densidade, como pedras ou concreto. Este tipo de fundação é suscetível à erosão na base que é provocado por correntes de água e a infiltrações. Sendo, portanto necessária uma preparação do leito do mar, criando uma superfície com maior resistência ao efeito das correntes.

O custo de fabricação e instalação de fundações de gravidade, é proporcional a ao aumento da profundidade, em razão disso são recomendadas para águas poucas profundas, em torno de 10 metros. Tecnicamente, é possível utilizar fundações de gravidades em águas mais profundas e existem protótipos para 20 a 35 metros (Rebelo e Simões da Silva, 2009).

No parque eólico Thornton Bank, a 30 quilômetros da costa Belga se situam umas das maiores instalações de turbinas eólicas com fundação de base de, em que a estrutura de concreto encontra-se a 27.5 metros de profundidade. A Figura 12 ilustra a fundação de gravidade e seus componentes.

Figura 12 – Fundação com base de gravidade.



Fonte: Adaptado de Learn Ship Design, 2015.

As fundações tipo jacket, comuns na indústria petrolífera e de gás, foram adaptadas para a utilização em parques eólicos offshore. Feita de aço soldado, essa fundação é basicamente uma torre treliçada ancorada ou perfurada no fundo do mar por pilares de condução, que é composta por quatro pernas principais e por barras secundárias que são ligadas por soldadura ou por mangas moldadas que são montadas antes do transporte para o local. Uma peça de transição entre a torre e a fundação é montada, de modo a garantir a transferência adequada de forças (MANÉ JUNIOR, 2014).

A malha tridimensional formada pelas barras de aço gera um aumento da rigidez que por sua vez conferem a eficácia deste tipo de fundação. Ao passo que a profundidade da água aumenta, diferente da fundação monopile cuja maior preocupação com o aumento da profundidade é em relação a sua flexibilidade, que leva a grandes desvios de toda a estrutura, a fundação tipo jacket que possui uma configuração 3D aumenta substancialmente a rigidez, permitindo a essas estruturas tornarem-se numa das soluções mais eficientes em termos de custo em águas mais profundas. No entanto, quando utilizado em águas rasas é geralmente mais cara do que monopile ou fundação de gravidade, sendo assim ideal para profundidades medianas e profundas (de 25 a 60 metros) (VINDVAL, 2010). Na Figura 13 é ilustrado um esquema simples da fundação tipo jacket.

Figura 13 - Turbina eólica offshore com estrutura tipo jacket.



Fonte: Research Gate, 2013.

A fundação tripod é caracterizada por possuir uma base num formato triangular e poder ser implantada em zonas mais profundas (de 25 a 60 metros de profundidade) quando comparadas as fundações monopile e de gravidade. Em decorrência da sua divisão de base, as forças induzidas por agentes externos como ventos, ondas, correntes e o movimento de blocos de gelo são divididas em uma maior área de distribuição, tendo assim um comportamento semelhante à fundação do tipo jacket.

A estrutura de suporte da fundação tripod é pré-montada em um estaleiro de construção onshore e posteriormente é transportada para o local offshore onde é lentamente rebaixada sobre o leito do mar, assegurando que a estrutura está completamente nivelada.

Existem poucos casos de instalação de fundação tripod em parques eólicos offshore, tendo sido utilizada, por exemplo, no campo de teste da Alpha Ventus, situada no mar norte da Alemanha. A Figura 14 ilustra um esquema típico deste tipo de fundação.

Figura 14 – Fundação tripod.



Fonte: Offshore Wind Power Systems of Texas.

Outro tipo de fundação, cuja tecnologia vem sendo desenvolvida, são as estruturas flutuantes. Seu projeto baseia-se na ideia de que a turbina é ligada ao fundo do mar por meio de cabos, funcionando de maneira que são ancoradas no fundo do oceano.

Apesar de ser muito usada na indústria petrolífera, existe pouca participação de fundações flutuantes aplicadas a projetos parques eólicos offshore, contudo em razão de

poderem ser instaladas em zonas de grande profundidade (mais de 60 metros) e, portanto muito afastadas da costa, alguns projetos vem sendo desenvolvidos.

Recentemente, foi noticiado que um parque eólico offshore flutuante que deve ser construído ao largo da costa do Nordeste da Escócia. Oito turbinas de seis megawatts serão instaladas a cerca de 15 km a sudeste de Aberdeen e fornecerão energia suficiente para cerca de 56 mil casas.

Conforme ilustrado na Figura 15, existem diferentes concepções a cerca de estruturas de base flutuantes, tais como:

- Spar Buoy

A plataforma Spar Buoy, primeiro conceito de plataforma Spar a ser desenvolvido, é caracterizada por possuir o casco em formato de um único cilindro vertical, composto por aço, que flexibiliza a capacidade de carga no convés. É utilizada para profundidade acima dos 120 metros, com capacidade para turbinas entre 5 e 10 MW.

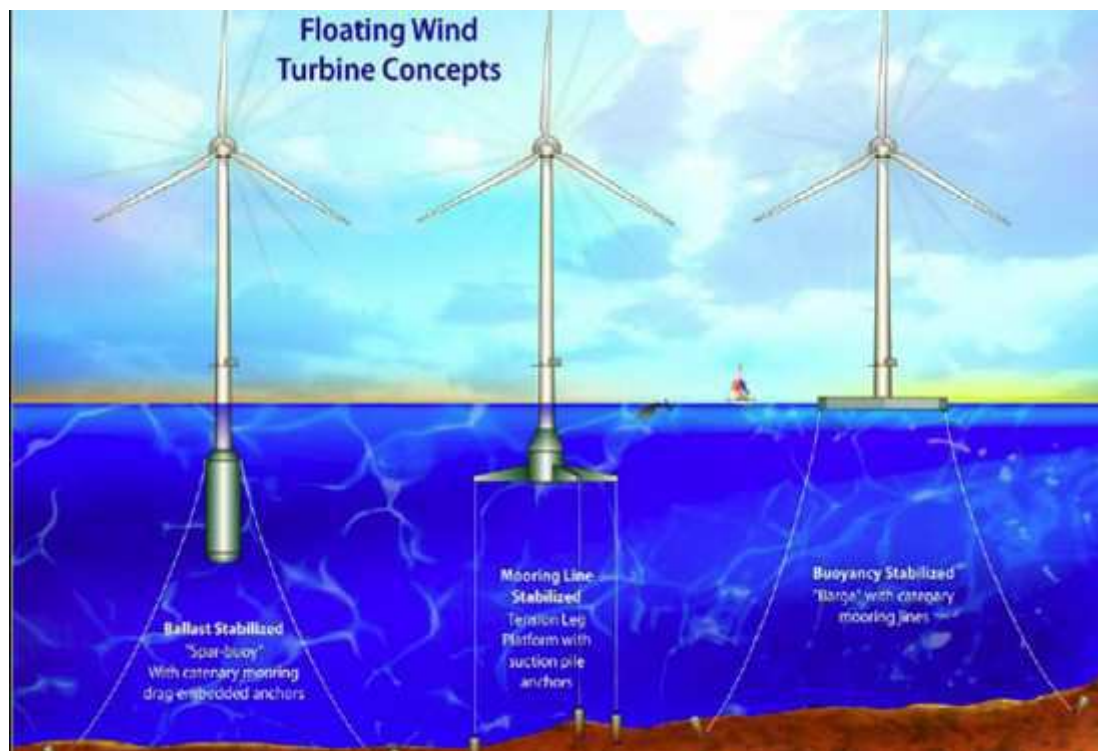
- Tension Leg Platform (TLP)

Utilizada para profundidades acima dos 50 metros, a estrutura flutuante tension leg platform (TLP), caracteriza-se por ser ancorada ao fundo do mar, com cabos em tensão, para dar flutuação e estabilidade. A plataforma é projeto de modo que o design das tenha uma rigidez axial relativamente elevada (baixa elasticidade), de tal modo que praticamente todo o movimento vertical da plataforma é eliminado.

- Semi – submersível

Combina os princípios utilizados das estruturas TLP e Spar Buoy, sendo adicionada uma estrutura semi-submersível para aumentar estabilidade. Assim como a Tension Leg Platform as plataformas Semi-submersíveis são utilizadas para profundidades acima dos 50m, e tem capacidade para turbinas entre 5 e 10 MW.

Figura 15 – Estruturas de bases flutuantes.



Fonte: Ewind, Wind Energy, 2013.

3.2.4 LAYOUT

O processo que envolve a projeção de um parque eólico offshore, difere em poucos aspectos do projeto de parque eólico onshore. Assim como nos projetos onshore, uma vez que o local é definido, as restrições e dados recolhidos do local são avaliados e colocados no projeto do layout.

O projeto de layout visa avaliar e comparar mediante suas opções a viabilidade técnica, custo do projeto e a previsão da produção de energia. Para obter-se um layout otimizado é necessária uma avaliação criteriosa de todas as variáveis. Um exemplo de uma importante característica a ser estudada é o espaçamento do arranjo, onde o equilíbrio entre as perdas por arranjo deve ser atingido, ou seja, a produção de energia, custo de sistemas elétricos e eficiência devem ser avaliados.

Em locais com profundidades e propriedades mais homogêneas do solo marinho, o projeto do layout é determinado pela produção de energia. Todavia, onde a profundidade da água e propriedades do solo marinho têm grande variação ao longo de um local, são encontradas mais dificuldades para se obter uma relação entre produção,

custos de sistemas elétricos e custos de estrutura de fundação, incluindo custos de instalação (EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION, 2009).

Sabe-se que o vento resultante da energia mecânica produzida pelo gerador eólico apresenta-se com um conteúdo energético inferior, turbulento e abrandado em relação à velocidade de vento incidente inicialmente na turbina, ou seja, é criada uma perturbação na parte posterior da turbina, que é então chamado de efeito esteira.

Buscando minimizar o efeito esteira, o arranjo das turbinas nos parques eólicos offshore é caracterizado por possuir um afastamento médio de $4D$ (D – diâmetro do rotor em metros) lateralmente entre as turbinas, e uma distância aproximada de $8D$ umas atrás das outras.

A configuração de um parque eólico pode ser de vários tipos. Porém, em virtude principalmente de razões ambientais, como a poluição visual, as empresas líderes de desenvolvimento de projetos de parques eólicos offshore tentam construí-los de modo a mitigar o aspecto visual, ou seja, com uma apresentação agradável ao olhar.

3.3 DESAFIOS DE IMPLANTAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS

OFFSHORE

Como já mencionado durante o desenvolvimento deste trabalho, quando comparados os dois empreendimentos eólicos, é possível citar várias vantagens da fonte offshore em relação à onshore. No entanto, à maior complexidade de instalação no mar, contribuindo para um aumento nos custos de instalação, manutenção e os próprios materiais usados na fabricação das turbinas, que são mais dispendiosos, pois precisam ser resistentes à corrosão marinha, configuram-se como um grande desafio para a expansão de parques eólicos offshore no mundo.

Além de problemas relacionados aos custos, é importante para a execução do processo de projetos de parques eólicos offshore, também serem analisados e considerados os fatores ambientais da localidade escolhida.

3.3.1 CUSTOS

Os custos relacionados a projetos eólicos offshore crescem conforme a distância da costa e a profundidade da água aumentam. Apesar dos benefícios gerados pela maior velocidade do vento, a relação entre profundidade da água e os custos é um grande obstáculo para o desenvolvimento e instalação de turbinas em grandes profundidades. Em razão disso, os parques eólicos offshore em funcionamento atualmente tendem a ser localizados a uma distância média de 20 km da costa com profundidade de até 20 metros.

De maneira geral, os custos para a energia eólica offshore podem ser divididos em dois grupos principais, o primeiro, denominado Capital Expenditure - CA-PEX (Despesas de Capital), refere-se aos custos de construção e instalação do parque, abrangendo o custo das turbinas, fundações, conexão à rede, dentre outros, que segundo alguns estudos situam-se em torno de 70 a 80 % dos custos totais. O segundo, denominado Operating Expenditure – OPEX (Despesas Operacionais) refere-se aos custos operacionais e de manutenção, abrangendo, por exemplo, custos administrativos, impostos e seguro, situando-se entre 20%-30% dos custos totais do projeto (LEVITT et al., 2011; MUSIAL; RAM, 2010; MEDEIROS, 2014).

Estima-se que os custos dos parques eólicos offshore sejam da ordem de duas a três vezes mais elevados que os custos das centrais eólicas onshore (MEDEIROS; 2014). No entanto, embora os custos sejam substancialmente mais elevados, a maior geração de energia resultado da maior força do vento no mar é uma forma de incentivar pesquisas e desenvolvimento desta tecnologia.

A Figura 16 ilustra uma típica repartição dos custos de capital (CAPEX) para um parque eólico offshore, ao passo que a Figura 17 trás a mesma análise, porém feita para sistemas eólicos onshore. Nota-se que em sistemas offshore custos de estruturas de apoio (fundações) e instalações das estruturas e turbinas são bastante expressivos, ao passo que em sistemas offshore as despesas de capital são majoritariamente destinadas as turbinas.

Figura 16 – Custos típicos para um parque eólico offshore.



Fonte: Adaptado de European Wind Energy Association (Wind Europe), 2009.

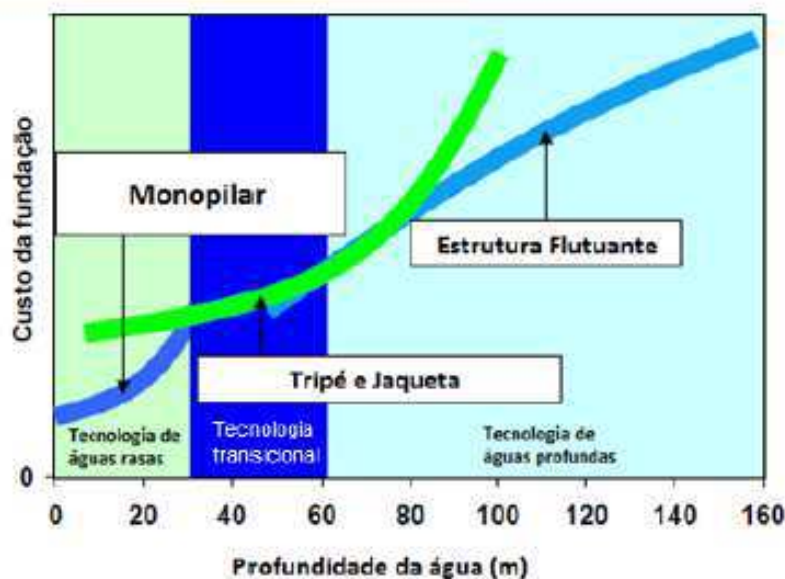
Figura 17 - Custos típicos para um parque eólico onshore.



Fonte: Adaptado de European Wind Energy Association (Wind Europe), 2009.

À medida que se aumenta a profundidade de instalação das turbinas dos parques eólicos offshore, é provável que o custo das fundações offshore aumente devido à complexidade e recursos necessários abaixo da linha d'água (MUSIAL e BUTTERFIELD, 2006). A Figura 18 apresenta a relação entre o custo da fundação e a profundidade de instalação da mesma.

Figura 18 – Relação entre o custo da fundação e a profundidade de instalação da mesma.



Fonte: Adaptado de MUSIAL e BUTTERFIELD, 2006.

Com a expansão da construção de parques eólicos offshore, os custos de investimento tendem a diminuir, devido aos avanços tecnológicos e à experiência adquirida em projetos pilotos.

Segundo a Agência Internacional de Energia Renovável, até 2025, com um cenário regulatório e político adequado, os custos para energia eólica offshore cairão em média 35%, contribuindo assim para o desenvolvimento e instalação de turbinas em maiores distâncias e profundidades. O relatório da Agência Internacional de Energia renovável, destaca ainda que o aumento da competitividade no setor de energia renováveis impulsionará a inovação contínua, mas ressalta que as reduções de custos para 2025 vão depender cada vez mais de decisões políticas que fomentem a adoção dessas tecnologias, essenciais para a batalha contra as mudanças climáticas.

3.3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS

Para sistemas de energia eólica offshore, ainda não existem muitos estudos publicados a cerca dos impactos ambientais gerados no meio marinho. No entanto em um estudo realizado em dois parques eólicos dinamarqueses, foi constatado que houve insignificante impacto ambiental sobre as aves, peixes e mamíferos. (MANWELL, MCGOWAN E ROGERS, 2009).

Os parques eólicos offshore podem alterar de maneira positiva ou negativa a vida marinha. Os mamíferos marinhos podem ter uma grande sensibilidade a sons intensos o que ocasionaria num deslocamento da espécie durante a construção de parques eólicos, no entanto, devido a grande variabilidade existente entre os sistemas auditivos de mamíferos marinhos e peixes, as espécies podem responder de forma diferente ao ruído provocado pelas construções (SNYDER e KAISER, 2008).

Muitas espécies de peixes também são sensíveis aos campos elétricos e magnéticos utilizando desta sensibilidade para orientação e detecção de presas. Embora estudos tenham mostrado que os peixes podem ser afetados pelos campos magnéticos, não há evidências de que os campos eletromagnéticos dos cabos submarinos influenciem no comportamento desses animais.

Além dos possíveis problemas ocasionados pelos parques eólicos na vida marinha, existe também uma discussão sobre impactos positivos ocasionados pelos mesmos, isto se dá devido à possibilidade das fundações das turbinas poderem atuar como dispositivos de concentração de peixes (SNYDER e KAISER, 2008).

Experiências em dois parques eólicos, Vindeby e Ijsselmeer situados na Dinamarca e na Holanda respectivamente, sugeriram que suas fundações (tipo base de gravidade) atuaram como recifes artificiais para organismos que vivem no fundo do mar, havendo assim um acréscimo na quantidade de alimentos para os peixes e conseqüentemente um aumento na quantidade de peixes. Outros tipos de fundações como as monopilares não apresentaram a mesma eficácia como recifes naturais, no entanto não foram significantes impactos ambientais com sua utilização.

No caso dos ruídos provocados pelas turbinas eólicas offshore, devido a sua localização, consideravelmente distantes da costa, seus efeitos negativos são minimizados ou até mesmo eliminados dependendo da distância.

Como é de conhecimento geral, os aerogeradores podem causar mortes de pássaros pelo choque nas pás. No entanto, visando diminuir a ocorrência desses

acidentes, alguns parques instalam estímulos visuais e auditivos nas torres (COSTA, CASOTTI e AZEVEDO, 2009).

Algumas condições climáticas podem reduzir a visibilidade do parque eólico, ocasionando riscos de colisão com navios ou até mesmo aeronaves, visto que uma turbina de 3,6 MW, por exemplo, atinge uma altura de aproximadamente 130 metros, sendo assim são tomadas medidas para diminuir o risco de colisão. Uma das alternativas é a pintura das pás da turbina eólica com cores específicas, e, em alguns casos a instalação de um sistema de iluminação na nacela. Estas soluções fazem a turbina mais visível, não só aos navios e aviões, mas também para a população (OLIVEIRA FILHO, 2011).

Atualmente, o impacto visual gerado pelos aerogeradores dos parques eólicos tem funcionado também como cartões postais de suas cidades, funcionando como turismo eólico, e ocasionando um incremento à economia local (COSTA, CASOTTI e AZEVEDO, 2009).

4 PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS

A participação da captação offshore no cenário energético ainda é tímida, mas com o passar dos anos esse quadro tende a melhorar. Em 2015, segundo dados do Global Wind Energy Council - GWEC (Conselho Global de Energia Eólica), surpreendentes 3.034 MW de nova capacidade eólica offshore entraram em operação na Europa, o que ocasionou em um aumento de 108% em relação ao mercado de 2014. O vento offshore representou 24% do total de instalações eólicas da União Europeia em 2015, ante uma participação de 13% nas adições anuais em 2014.

Em relação ao balanço de turbinas instaladas e desativadas, no geral, 419 novas turbinas foram erguidas em 2015. Ao passo que pela primeira vez, turbinas offshore foram desativadas. Um total de sete turbinas no Reino Unido e na Suécia foram desativadas, resultando em uma adição líquida de 412 turbinas. Totalizando a conclusão de 14 projetos em 2015.

Mais de 75% de toda a capacidade líquida colocada em funcionamento teve sede na Alemanha (2.282,4 MW), que resultou em um aumento de quatro vezes em sua capacidade conectada à rede em relação a 2014. As demais instalações da UE ocorreram em dois mercados. O segundo maior mercado foi o Reino Unido com 572 MW, e uma participação de 18,7% no total de instalações. E o terceiro foi à Holanda que segue com 180 MW, uma quota de mercado de 5,9%.

Já em 2016, de acordo com o Global Wind Energy Council GWEC (Conselho Global de Energia Eólica) o mercado offshore chinês teve um expressivo crescimento passando Dinamarca para alcançar o terceiro lugar no ranking global offshore, depois do Reino Unido e Alemanha. Também no mesmo ano os países baixos entraram no top 10 mundial em termos de mercado anual pela primeira vez, com 887 MW, a maioria dos quais era offshore.

Atualmente, segundo o GWEC mais de 91% (11.028 MW) da energia eólica offshore gerada no mundo estão instalados no norte da Europa, nos mares Norte, Báltico e Irlandês e no Canal da Mancha. No entanto, governos de alguns países como China, Japão, Coreia do Sul, Taiwan e EUA estabeleceram grandes metas para o mercado eólico offshore e seu desenvolvimento. Enquanto que o consórcio FOWIND, liderado

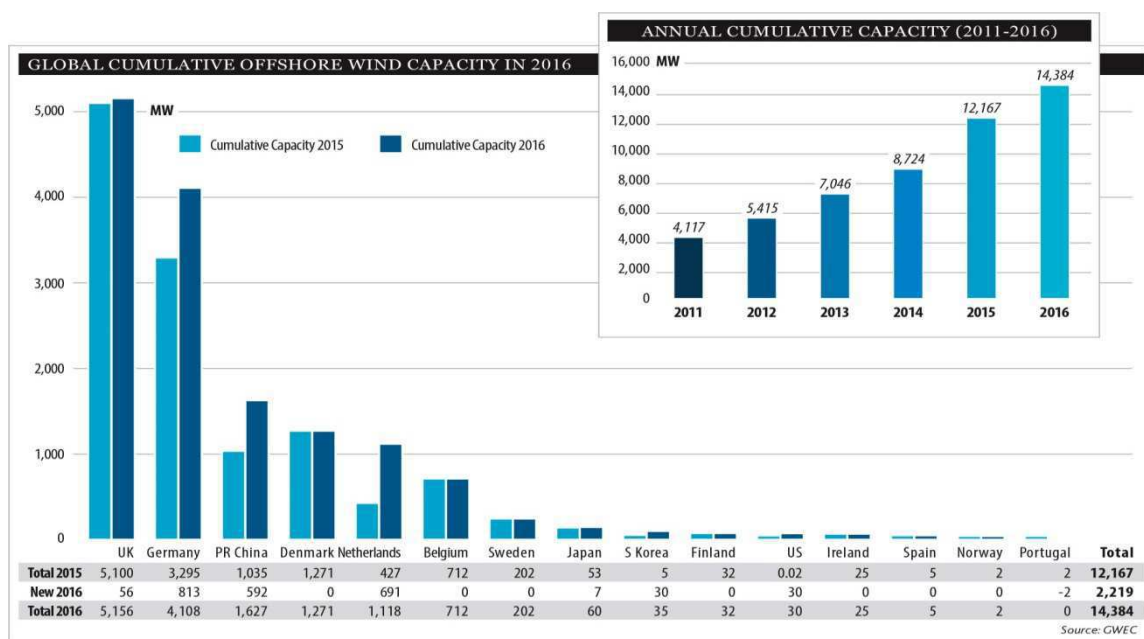
pelo GWEC, está desenvolvendo um roteiro eólico offshore para a Índia, e outros mercados.

Na Europa, segundo Odilon Camargo Schubert, CEO da Camargo-Schubert Engenharia Eólica, vários fatores levaram alguns países a buscar os ventos marinhos. Além das severas metas de redução de emissões de gases poluentes, na Alemanha, por exemplo, as usinas eólicas sejam elas onshore ou offshore são instaladas dentro de um sistema de generosos subsídios à energia renovável e mais da metade da energia limpa do país é propriedade privada de agricultores e cidadãos do país.

Na Inglaterra, onde é localizado o maior parque eólico offshore do mundo, o London Array, no Mar No Norte, embora o país tivesse potencial eólico em terra, a forma como se estabeleceu o mercado eólico fez com que o país, partisse para o desenvolvimento e implantação do modelo offshore.

Os gráficos da Figura 19 mostram a Capacidade global de energia eólica offshore acumulada nos principais países desenvolvedores no ano 2016 e a capacidade anual offshore nos anos de 2011 a 2016. Para o primeiro gráfico é evidenciado que Reino Unido e Alemanha lideram os investimentos em eólicas offshore, no entanto, o interesse da China na área de renováveis pode transformá-la, em breve, na nova potência eólica offshore mundial. Com relação ao gráfico da direita superior, nota-se um incremento da ordem de 10.000 MW do ano de 2011 a 2016.

Figura 19 – Análise gráfica do capacidade global de energia eólica offshore acumulada e da capacidade anual acumulada entre os anos de 2011-2016.



Fonte: Global Wind Energy Council –GWEC.

No Brasil, um estudo feito a partir de dados obtidos por satélite entre 1999 e 2009, forneceu importantes dados sobre velocidade e direção dos ventos nos oceanos. Como resultado do estudo, estimativas apontaram que o potencial energético offshore na costa brasileira seria da ordem de 12 vezes maior que o potencial da área continental do país. Todavia, o país não possui empreendimentos eólicos em alto mar, e não existem expectativas de implantação nos próximos anos.

A falta de interesse técnico-econômico de se investir em energia eólica offshore no Brasil, segundo Elbia Gannoum, presidente da ABEEólica, é justificada por duas principais razões: “Além da diferença de custo, muito maior no modelo offshore, o potencial eólico em terra [estimado em 143 GW] firme hoje é muito superior à necessidade de energia do país”, afirma. Estas afirmações descartam a adoção de eólicas offshore no Brasil, pelo menos por ora. No entanto, considerando as vantagens dessa modalidade energética, a participação do Estado como regulador das atividades é de suma importância para que haja um desenvolvimento do setor e futura implantação de eólicas offshore mediante uma possível diminuição dos custos originada pelo melhoramento tecnológico, amadurecimento da fonte e incentivos do governo.

No que concerne aos últimos acontecimentos relacionados aos avanços eólicos offshore, está previsto para os dias de 6 a 8 de junho, em Londres, a realização da maior conferência e exposição offshore do mundo, a OFFSHORE WIND ENERGY -2017, onde serão discutidas as inovações tecnológicas, políticas e de mercado que conduzem o vento offshore para o futuro. A Offshore Wind Energy 2017 atrairá mais de 10.000 profissionais e apresentará mais de 500 expositores de todos os setores do vento offshore indústria.

5 CONCLUSÃO

Com o crescimento da participação das energias renováveis, a energia eólica offshore aparece no cenário mundial como uma importante fonte de energia renovável, capaz de produzir uma energia limpa, de grande capacidade, e de uma enorme disponibilidade de recursos dos ventos.

Como mostrado no decorrer deste trabalho quando comparadas as duas modalidades de energia eólica, a offshore se sobressai em relação à onshore, pois além de possibilitar um aumento da potência instalada, apresenta melhores condições de ventos, menor impacto visual e sonoro, grande disponibilidade de área e outras vantagens que impulsionam cada vez mais nações e companhias a desenvolverem tecnologias destinadas à aplicação de turbinas eólicas em parques offshore.

Principalmente nos países da Europa, mas também em outras nações como Estados Unidos e China, as várias vantagens dos parques eólicos offshore impulsionam cada vez mais o interesse de novas nações em desenvolvimento e pesquisas que visam à expansão da energia eólica offshore. Em relação à Europa, além das severas metas de redução de emissões de gases poluentes, um sistema de generosos subsídios à energia renovável auxilia no processo de expansão dos parques eólico marítimos.

Diante de tudo que foi descrito ao longo deste trabalho, é notório que as despesas relacionadas à construção, instalação e manutenção dos parques eólicos offshore ainda funcionam como barreiras a sua implementação. No entanto, com a expansão da construção de parques eólicos offshore, os custos de investimento tendem a diminuir, devido principalmente aos avanços tecnológicos e à experiência adquirida em projetos anteriores. Essa diminuição de custos, atrelada às vantagens dessa tecnologia fazem da energia eólica offshore uma aposta cada vez mais atraente para o presente e futuro das energias renováveis.

REFERÊNCIAS

- MEDEIROS, J. P. C. (2014). *Precificação da Energia Eólica no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- OLIVEIRA, FILHO, O. D. Q. (2011). *Uma Metodologia Simplificada para Estimativa do Aproveitamento Eólico Offshore no Litoral Brasileiro. Estudo de Caso: A Ilha de Itamaracá/CE*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- RAPOSO, D. M. M. (2014). *Estudo da Solução da Eólica Offshore*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores), Instituto Superior Técnico Lisboa, Lisboa.
- PORTELLA, J. R. (2007). *Viabilidade da Captação da Energia Eólica nos Oceanos (Captação Offshore)*, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- VITERBO, J. C. (2008). *Geração de Energia Elétrica a Partir da Fonte Eólica Offshore*. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MANÉ JÚNIOR, A. (2014). *Estruturas metálicas para suporte de turbinas eólicas offshore*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra.
- MUSIAL, W., RAM, B. (2010). *Large-Scale offshore wind power in the United States: Assessment of opportunities and barriers*. Golden, 2010.
- SNYDER, B.; KAISER MJ (2009). *Ecological and Economic cost-benefit analysis of Offshore Wind Energy*. *Renew Energy*.
- COSTA, R. A. da; CASOTTI, B. P.; AZEVEDO, R. L. S. de (2009). *Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro.
- GWEC. (2016). *Global statistics*. Acesso em 15 de 01 de 2017, Disponível em GWEC: <http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>
- GWEC. (2016). *Offshore Wind Power*. Acesso em 25 de 01 de 2017, Disponível em GWEC: <http://www.gwec.net/global-figures/global-offshore/>
- EARTH POLICY INSTITUTE. (2015). *Climate, Energy, and Transportation*. Acesso em 14 de 12 de 2016, Disponível em GWEC: http://www.earth-policy.org/data_center/C23
- PORTAL ENERGIA. (2016). *Energia Eólica*. Acesso em 10 de 12 de 2016, Disponível em Portal Energia: <https://www.portal-energia.com/energia-eolica/3>
- EXAME.COM. (2016). *Custos para solar e eólica podem cair até 59% em 20 anos*. Acesso em 12 de 02 de 2017, Disponível em EXAME.COM: <http://exame.abril.com.br/economia/custos-para-solar-e-eolica-podem-cair-ate-59-em-20-anos/>
- PORTOGENTE (2016). *Custos para solar e eólica podem cair até 59% em 20 anos*. Acesso em 12 de 02 de 2017, Disponível em PORTOGENTE: <https://portogente.com.br/noticias/opiniao/91431-importancia-do-investimento-em-energia-eolica>

INDEPENDENT. (2017). *'World's largest floating windfarm' to be built off Scottish coast*. Acesso em 12 de 04 de 2017, Disponível em INDEPENDENT: <http://www.independent.co.uk/environment/windfarm-floating-worlds-largest-kincardine-offshore-windfarm-scotland-coast-stonehaven-aberdeen-a7622681.html>

MADE FOR MINDS (2014). *Dinamarca estabelece meta de energia 100% limpa até 2050*. Acesso em 09 de 02 de 2017, Disponível em MADE FOR MINDS: <http://www.dw.com/pt-br/dinamarca-estabelece-meta-de-energia-100-limpa-at%C3%A9-2050/a-17613274>

