



M 2015

CONSTRUÇÃO DE PARQUES EÓLICOS MARÍTIMOS: PROCESSOS E DIREÇÃO DE OBRA

CRISTIANO MANUEL SANTOS RIBEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM

ÁREA CIENTÍFICA: ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

CONSTRUÇÃO DE PARQUES EÓLICOS MARÍTIMOS: PROCESSOS E DIREÇÃO DE OBRA

CRISTIANO MANUEL SANTOS RIBEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador da Faculdade: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira
Soeiro

Orientador da Empresa: António Manuel Oliveira Soares de Castro

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Família e aos meus Amigos

Adde parvum parvo magnus acervus erit.
(Juntar pouco a pouco leva a um grande monte)

Ovídio

AGRADECIMENTOS

Aproveito este espaço para deixar o meu profundo agradecimento e a maior gratidão a todos aqueles que contribuíram, durante esta caminhada de longos anos, para que fosse possível chegar a este momento.

Gostaria no entanto de salientar a enorme importância de várias pessoas durante este percurso.

Ao meu orientador, Professor Doutor Alfredo Soeiro, pela disponibilidade, conselhos e sentido crítico. Também pela paciência, compreensão e incentivo dados ao longo destes meses, tendo sido um enorme orgulho realizar esta dissertação sobre a sua orientação

Ao Sr. Engenheiro António Castro, pela oportunidade única que criou e da qual pude desfrutar, pelos conhecimentos transmitidos, pela tremenda simpatia, grande generosidade e permanente disponibilidade. Esta dissertação não teria sido realizada se não fosse o seu incondicional apoio. Por tudo isto e muito mais, o meu muito obrigado.

Aos meus pais, irmãos, tia e avó, que sempre foram para mim um apoio, demonstrando uma total compressão pelas minhas escolhas e ajudando em tudo o que estava ao seu alcance.

À Joana, minha namorada, amiga e colega, que ao longo destes cinco anos esteve sempre disponível para me ajudar. Não me deixando cair em desânimo e motivando para seguir em frente. Sendo uma ajuda fundamental neste trabalho revendo os textos e dando a sua opinião mais sincera.

Aos meus amigos e colegas, que se cruzaram comigo ao longo destes anos, pelo apoio e por todas as coisas que me ensinaram, enriquecendo a minha pessoa e alegrando os meus dias.

Ao Sr. Engenheiro Artur Violante e aos colaboradores da Martifer Renewables, pela simpatia, generosidade e amabilidade com que fui recebido durante a minha estadia em Cracóvia. Contribuindo para um futuro mais verde e amigo do ambiente.

À Mota-Engil Central Europe, com um agradecimento especial ao Sr. Ernesto Carreira, que possibilitaram visitar e acompanhar duas obras rodoviárias, permitindo observar a estrutura e organização desta grande empresa. A todos agradeço pela simpatia, conhecimentos transmitidos e a oportunidade de conhecer profissionais verdadeiramente extraordinários.

À CJR Wind Polska, com um especial agradecimento ao Engenheiro Alberto Pereira, ao Engenheiro Piotr Filutowski e ao Diogo Vicente. Pela simpatia e disponibilidade, ao aceitarem o pedido para acompanhar de perto uma das suas obras, uma experiência enriquecedora que permitiu enriquecer o trabalho, observando de perto a perspetiva do Empreiteiro e, através da sua experiência profissional permitiu esclarecer dúvidas e clarificar algumas ideias.

Este percurso foi um Privilégio. A todos o meu mais sincero Obrigado!

RESUMO

Atualmente os países e as pessoas estão cada vez mais preocupadas com o ambiente e procuram encontrar soluções viáveis para os problemas relacionados com o consumo de energia mundial, apostando e criando políticas de incentivo às energias renováveis. Sendo a energia eólica uma fonte de energia renovável, cujo crescimento na sua utilização é visível, torna-se um tema importante na sociedade atual. A construção de parques eólicos começou em terra, no entanto devido a certos aspetos e aliado à inovação tecnológica estão a evoluir e a ser encontrados no mar com cada vez mais frequência.

A Engenharia Civil, incluindo a Direção de Obra, tem um papel preponderante para a construção de parques eólicos em terra, sendo que nesta dissertação refletir-se-á o papel nos parques eólicos marítimos. Os objetivos principais que se pretendem verificar são: a análise do papel da Direção de Obra e a identificação dos principais desafios eventualmente encontrados.

A dissertação pretende incluir as diferenças existentes entre parques eólicos construídos em terra e no mar e análise da construção de um parque eólico. Inicialmente foram introduzidas algumas definições relacionados com a energia eólica que constitui uma ferramenta importante para aumentar o conhecimento do leitor nesta área. Abordando também as diferentes fases dos parques eólicos assim como as diferentes tecnologias construtivas empregues.

Resumidamente, este trabalho pretende analisar a construção de parques eólicos em terra ou no mar, identificando os principais desafios na perspetiva da Direção de Obra, comparando ao que é feito em terra e tendo em conta as diferenças no planeamento, na organização e no controlo.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Eólica, Direção de Obra, Parques Eólicos Marítimos, Fases, Soluções Construtivas.

ABSTRACT

Nowadays the environment has been an increasing concern to both countries and people striving to find workable solutions to the problems related to the world's energy consumption, investing and creating incentive policies for renewable energy. Wind power, as a renewable source of energy, whose growth in its use is visible, becomes a major issue in today's society. The construction of wind farms began in land, however due to certain aspects and combined with technological innovation they have been evolving and can be found in the sea with increasing frequency.

Civil Engineering, including the Project Management, has a leading role in the construction of wind farms on land, and in this work will be reflecting its role on ocean-based wind farms. The main objectives which we intent to verify are: analysis of the role of the Project Management and identifying the main challenges that were eventually found.

This work intends to include the differences between wind farms built on land and at sea and analysis of the construction of a wind farm. Some definitions related to wind energy were initially introduced, which was an important tool to increase the knowledge of the reader in this area. To this, we also added the different phases of wind farms as well as the different construction technologies employed.

Summarizing, this work aims to analyse the construction of wind farms on land or at sea, identifying the main challenges from the perspective of the Project Management, compared to what is done on land and taking into account the differences in planning, organization and control.

KEYWORDS: Wind Energy, Construction Management, Offshore Wind Farms, Phases, Constructive Solutions.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS	1
1.3. ORGANIZAÇÃO	1
2. ENERGIA EÓLICA E FASES DE PARQUES EÓLICOS	3
2.1. ENQUADRAMENTO	3
2.2. DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO	4
2.3. POLÍTICA ENERGÉTICA E INCENTIVOS EXISTENTES	6
2.4. PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA	9
2.5. MOTIVOS PELA ESCOLHA DA ENERGIA EÓLICA	13
2.6. FASES DE PARQUES EÓLICOS	15
2.6.1. DESENVOLVIMENTO	16
2.6.2. CONSTRUÇÃO	19
2.6.3. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	20
3. TECNOLOGIAS E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	23
3.1. ENQUADRAMENTO	23
3.2. PARQUES EÓLICOS TERRESTRES	23
3.2.1. FUNDAÇÃO	24
3.2.2. TORRE	26
3.2.3. CABINE	27
3.2.4. ROTOR	28
3.2.5. ACESSOS, PLATAFORMAS DE TRABALHO E VALAS	30
3.2.5.1. Acessos	30
3.2.5.2. Plataformas de Trabalho	31
3.2.5.3. Valas	32

3.2.6. SUBESTAÇÃO ELÉTRICA E EDIFÍCIO DE COMANDO	33
3.2.7. EXEMPLOS DE PARQUES EÓLICOS	34
3.2.7.1. Exemplo A: Parque Eólico em Rymanów	35
3.2.7.2. Exemplo B: Parque Eólico Fântânele-Cogealac	36
3.3. PARQUES EÓLICOS MARÍTIMOS.....	37
3.3.1. FUNDAÇÃO	38
3.3.1.1. Fundação por Gravidade	39
3.3.1.2. Fundação por Estaca Única	43
3.3.1.3. Fundação por Tripé	44
3.3.1.4. Fundação por Treliza	46
3.3.1.5. Fundação por Sução	47
3.3.1.6. Fundações Flutuantes	48
3.3.2. TORRE.....	49
3.3.3. CABINE.....	51
3.3.4. ROTOR	52
3.3.5. INFRAESTRUTURA ELÉTRICA	53
3.3.5.1. Sistema de Ligação Interno do Parque	53
3.3.5.2. Subestação Marítima.....	54
3.3.5.3. Cabos de Ligação a Terra	55
3.3.5.4. Ligação à Rede de Distribuição	55
3.3.6. EXEMPLOS DE PARQUES EÓLICOS MARÍTIMOS	53
3.3.6.1. Exemplo A: Parque Eólico Dogger Bank.....	55
3.3.6.2. Exemplo B: Parque Eólico Walney	56
3.3.7. MEIOS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO.....	57
3.3.7.1. Equipamentos	57
3.3.7.2. Infraestruturas	57
3.3.7.3. Recursos Humanos	58

4. DESAFIOS ENCONTRADOS, NA PERSPETIVA DA DIREÇÃO DE OBRA	59
4.1. ENQUADRAMENTO	59
4.2. PLANEAMENTO	59
4.3. ORGANIZAÇÃO	62

4.4. CONTROLO	64
4.5. GESTÃO	65
4.6. FERRAMENTAS DA DO	67
 5. CONCLUSÃO	 69
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	70
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 71

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Turbina Eólica La Cour	3
Fig. 2 - Exemplo de Turbina Eólica de Eixo Vertical.....	5
Fig. 3 - Parque Eólico do Alto Minho.....	6
Fig. 4 - Evolução dos Parques Eólicos em termos de potência total e da potência instalada, entre 2000 e 2014.....	9
Fig. 5 - Evolução dos Parques Eólicos no mar em termos de Potência Total e Potência Instalada, entre 2000 e 2014	10
Fig. 6 - Distribuição da Potência Instalada em 2014.....	10
Fig. 7 - Previsões para o crescimento da Energia Eólica para o período 2015 a 2019.....	11
Fig. 8 - Parques Eólicos no mar em construção ou em comissionamento na Europa	12
Fig. 9 - Potência planeada para parques eólicos marítimos em alguns países da Europa.....	13
Fig. 10 - Representação da procura mundial de energia em 2007 (esquerda) e em 2030 (direita).....	14
Fig. 11 - Evolução da produção de energia elétrica oriunda de fontes renováveis, para a Alemanha até 2030.....	15
Fig. 12 - Mapa de Vento para o Estado da Califórnia	17
Fig. 13 - Interface do sistema SCADA da SIEMENS	21
Fig. 14 - Avaria de um aerogerador	22
Fig. 15 - Principais componentes de um aerogerador	23
Fig. 16 - Fundação direta de um aerogerador	24
Fig. 17 - Construção de fundação indireta	25
Fig. 18 - Anel de Ligação	25
Fig. 19 - Processo de Montagem da Torre de um aerogerador Senvion MM92	26
Fig. 20 - Linha de produção de torres (mistas) da ENERCON em Viana do Castelo	27
Fig. 21 - Esquema da Cabine do aerogerador SWT-3.6-107	28
Fig. 22 - Elevação do Rotor.....	28
Fig. 23 - Sistema do Cubo completo	29
Fig. 24 - Conjunto de Pás de um aerogerador Senvion MM92.....	29
Fig. 25 - Transporte por via terrestre da Pá de um aerogerador	30
Fig. 26 - Construção de acessos.....	31
Fig. 27 - Construção da Plataforma de Trabalho	31
Fig. 28 - Exemplo da disposição da Plataforma de Trabalho	32
Fig. 29 - Vala para passagem de cabos de média tensão.....	33

Fig. 30 - Subestação Elétrica	34
Fig. 31 - Parque Eólico em Rymanów	35
Fig. 32 - Elevação do Rotor, com um diâmetro aproximado de 99 m	36
Fig. 33 - Plano do Parque Eólico Gwynt y Môr, no Reino Unido	38
Fig. 34 - Representação esquemática de estrutura de suporte por gravidade	40
Fig. 35 - Fundações por gravidade em construção	40
Fig. 36 - Esquema de aerogerador com fundação por gravidade.....	42
Fig. 37 - Representação esquemática de estrutura de suporte por estaca única.....	43
Fig. 38 - Instalação da fundação por estaca	44
Fig. 39 - Representação esquemática de estrutura de suporte por tripé.....	45
Fig. 40 - Transporte das fundações por tripé	45
Fig. 41 - Representação esquemática de estrutura de suporte por treliça	46
Fig. 42 - Instalação das estacas de fixação	47
Fig. 43 - Esquemas estruturais propostos para fundações por sucção	48
Fig. 44 - Diversos conceitos de fundações flutuantes.....	49
Fig. 45 - Montagem de um aerogerador no mar – altura do cubo 69 m	50
Fig. 46 - Peça de Transição.....	50
Fig. 47 - Pormenor da ligação entre a fundação e a peça de transição	51
Fig. 48 - Plataforma de trabalho numa peça de transição	51
Fig. 49 - Equipa de manutenção a ser transferida via helicóptero	52
Fig. 50 - Evolução da envergadura dos aerogeradores	52
Fig. 51 - Transporte de rotor parcialmente montado e cabine do aerogerador Alstom Haliade 150	53
Fig. 52 - Esquema do sistema de ligação interno do parque	54
Fig. 53 - Corte transversal de diversos cabos submarinos	54
Fig. 54 - Transporte em barcaça da Estrutura de Suporte e Subestação Marítima	55
Fig. 55 - Localização do Parque Eólico Dogger Bank.....	56
Fig. 56 - Parque Eólico Walney	56
Fig. 57 - Cabeçalho-tipo para o Orçamento Comercial ou Orçamento para a Produção	60
Fig. 58 - Cabeçalho-tipo para o Mapa de Produção	60
Fig. 59 – Exemplo de organograma-tipo de equipas produtivas.....	62
Fig. 60 – Exemplo de organograma-tipo de equipas produtivas.....	62
Fig. 61 – Porto de apoio à construção de parques eólicos marítimos, na Alemanha	63
Fig. 62 – Cabeçalho-tipo para Auto de Medição	65

Fig. 63 – Exemplo de Balizamento.....	65
---------------------------------------	----

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação do Porte de uma Turbina Eólica	6
Quadro 2 - Incentivos à Energia Eólica no Continente Europeu	7
Quadro 3 - Consumo de Energia Elétrica face à Produção de Energia Eólica	11
Quadro 4 - Número de Parques Eólicos (P.E.) e capacidade total (C.T.) na Europa.....	12

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

cm – centímetro

dB – decibel

GW – gigawatt

km – quilómetro

km² – quilómetro quadrado

kV – quilovolt

kW – quilowatt

kWh – quilowatt-hora

m – metro

m² – metro quadrado

m³ – metro cúbico

TWh/ano – Terawatt-hora por ano

AWEA – American Wind Energy Association

BOP – Balance of Plant

CPT – Cone Penetration Test

DO – Direção de Obras

EC – Comissão Europeia

EEA – European Energy Association

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EPC – Engineering, Procurement and Construction

EPCI – Engineering, Procurement, Construction and Installation

ERP – Enterprise Resource Planning

EWEA – European Wind Energy Association

FEED – Front End Engineering Design

GWEC – Global Wind Energy Council

HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine

HST – Higiene e Saúde do Trabalho

IRENA – International Renewable Energy Agency

NREL – National Renewable Energy Laboratory

OEM – Original Equipment Manufacturer

RES – Renewable Energy Policy Database and Support

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

TSA – Turbine Supply Agreement

VAWT – Vertical Axis Wind Turbine

Cit. – Citado

Fig. – Figura

P.I. – Potência Instalada

P.T. – Potência Total

Ref.^a - Referência

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

Os Parques Eólicos Marítimos poderão em breve tornar-se numa opção viável para a produção sustentável de energia elétrica, pois para além de permitirem uma redução da emissão de gases poluentes que contribuem para as alterações climáticas, através da exploração de um recurso natural até agora pouco utilizado na produção de energia, permitirão também a criação de inúmeros postos de trabalho e, ao mesmo tempo, ajudarão na revitalização de outras indústrias, como a construção naval.

Desta forma poderão ser criadas diversas oportunidades para a Engenharia Civil, no projeto, na construção e na exploração. São também apresentados diversos desafios da qual é exigida uma resposta, alguns destes desafios são partilhados com outras atividades como, por exemplo, a construção em terra de parques eólicos.

1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS

Esta dissertação, inserida no Mestrado Integrado em Engenharia Civil – opção de Construções, foi realizada em ambiente empresarial, na Martifer Renewables. O presente trabalho tenciona aproveitar o conhecimento existente nesta empresa sobre parques eólicos em terra e abordar a temática dos parques eólicos marítimos, no entanto devido à grande abrangência da temática serão apenas abordados alguns pontos em particular. Assim sendo, este trabalho irá incidir sobre os processos e a Direção de Obra na construção de parques eólicos marítimos. É também pretendido demonstrar que a larga experiência existente na construção de parques eólicos em terra será uma mais-valia para o empreiteiro ligado ao setor.

É pretendido também descrever de forma sumária os principais aspetos da energia eólica desde o desenvolvimento tecnológico até às tecnologias e as soluções construtivas aplicadas.

1.3. ORGANIZAÇÃO

A presente dissertação é organizada em cinco capítulos incluindo o presente capítulo introdutório, cada um dedicado a uma temática diferente e contribuindo para uma melhor compreensão do assunto.

No Capítulo 2 serão abordados diversos assuntos de índole mais geral. Será apresentado de forma sumária os principais marcos no desenvolvimento tecnológico da energia eólica, sendo dada especial atenção aos aerogeradores. Abordar-se-á a política energética e os incentivos existentes na União Europeia, sendo de seguida apresentados os principais dados estatísticos relativos ao setor da energia

eólica. Serão expostos os principais motivos da escolha da energia eólica e a mudança de paradigma, com a crescente popularidade dos parques eólicos marítimos. Por fim, serão apresentadas as fases pelas quais qualquer parque eólico passa durante a sua vida útil.

No Capítulo 3 contemplará as tecnologias e os sistemas construtivos empregues na construção de parques eólicos terrestres e marítimos. Será feita uma descrição curta dos principais componentes e apresentados alguns exemplos de parques eólicos. O maior foco deste capítulo será dado às tecnologias empregues na construção de parques eólicos marítimos.

No Capítulo 4 serão apresentados os principais e mais significativos desafios encontrados pela Direção de Obra na construção de parques eólicos marítimos, sendo que estes serão desafios descritos e caracterizados.

No Capítulo 5 serão apresentadas as considerações finais resultantes da elaboração deste trabalho e serão indicadas algumas propostas para desenvolvimentos futuros.

2

ENERGIA EÓLICA

2.1. ENQUADRAMENTO GERAL

O aproveitamento da energia contida no vento está intimamente ligado com o desenvolvimento da humanidade. Um dos muitos exemplos possíveis são os navios, como os juncos, embarcações típicas da China usadas no comércio marítimo. Outro exemplo são os moinhos de vento, usados para elevar água e para a moagem de cereais. Estas máquinas foram comuns um pouco por todo o mundo, tendo sobrevivido até aos dias de hoje.

No final do século XIX e início do século XX surgiram os primeiros protótipos que aproveitavam a energia cinética contida no vento para a produção de energia elétrica. Um exemplo destas primeiras experiências é a Turbina Eólica La Cour (Fig. 1), inventada na Dinamarca por Poul la Cour em 1891 (Hau 2006).



Fig. 1 - Turbina Eólica La Cour (Golding, E.W. - The Generation of Electricity by Wind Power Cit. por Hau 2006, p. 23)

2.2. DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

O desenvolvimento dos Parques Eólicos está intimamente relacionado com a escassez de recursos naturais, como o petróleo. Países como a Dinamarca, Alemanha, Reino Unido e os Estados Unidos da América estão ligados desde cedo à energia eólica (Shepherd 2009) pois viam no vento uma solução para os seus problemas energéticos.

Como anteriormente referido, os primeiros protótipos de turbinas eólicas para produção de energia elétrica surgiram no fim do século XIX (Manwell, McGowan, e Rogers 2009). Contudo até ao início da Primeira Guerra Mundial, muitos países não viram interesse nesta tecnologia. Na Dinamarca, a empresa Lykkengard, aproveitando o trabalho de Poul la Cour, iniciou a produção da turbina eólica La-Cour-Lykkengard (Hau 2006, p. 25), usada para abastecer populações rurais, tendo a popularidade destas máquinas aumentado com o início da Primeira Guerra Mundial.

Com o fim da guerra, desapareceu a escassez e o preço dos combustíveis fósseis desceu, deixando a energia eólica de ser economicamente competitiva. No entanto, em diversos países como na Alemanha e nos EUA continuaram a ocorrer desenvolvimentos no campo teórico e na construção de protótipos (Dodge 2015).

Aquando da Segunda Guerra Mundial verificou-se algo semelhante ao que já se tinha passado durante a Primeira Guerra Mundial.

Na década de 50 os preços baixos do petróleo e do carvão causaram um reduzido interesse pela energia eólica. Contudo eram feitos progressos nesta área com a construção de protótipos e a aprendizagem com problemas encontrados (Hau 2006, p. 36-44). Quase todas as máquinas deste período foram desmanteladas, alguns anos depois, pela falta de interesse na energia gerada pelo vento.

Na década de 70 ocorre uma fortíssima Crise Energética onde o preço dos combustíveis, num curto espaço de tempo, aumentou drasticamente. Este evento demonstrou aos países ocidentais a sua dependência do petróleo, o que incentivou a procura de fontes alternativas (Ackermann 2012, p. 23). Podendo-se destacar o papel da Dinamarca, Suécia, Alemanha e EUA para o desenvolvimento da energia eólica.

Durante a década seguinte surgem os movimentos anti energia nuclear que contribuíram para que os países passassem a financiar e apoiar o desenvolvimento de energias alternativas e amigas do ambiente. Os países apostaram no desenvolvimento de turbinas eólicas de grande potência (da ordem de MW de potência), no entanto, o preço do petróleo neste período manteve-se constante e a baixo custo, ameaçando tornar a energia eólica inviável do ponto de vista económico, devido aos maiores custos de produção. Não obstante a energia eólica foi uma solução popular no estado da Califórnia, pois aí foram criados incentivos federais e fiscais para os parques eólicos (Cox, Blumstein, e Gilbert 1991).

No fim da década de 80 e início da década de 90 os incentivos fiscais concedidos pelos EUA terminaram, causando o abrandamento do desenvolvimento da energia eólica. Na Europa a energia eólica continuou o seu desenvolvimento, principalmente da Dinamarca e Alemanha, incentivados pela visão dos líderes europeus sobre as alterações climáticas e os incentivos oferecidos (preço fixo para a energia produzida) (Ackermann 2012, p. 26). Durante este período a indústria da energia eólica cresceu e amadureceu nestes países, tendo criado conhecimento e experiência que iria influenciar os anos seguintes. Nesta década também surgiu o primeiro parque eólico no mar, em 1991 na Dinamarca, constituído por onze turbinas eólicas de 450 kW (Nixon 2008).

Com o virar do século a energia eólica entrou num crescimento rápido, motivado pelo baixo custo de produção de energia e pelos incentivos criados. O custo de produção da energia eólica baixou para

níveis competitivos, devido ao amadurecimento da tecnologia, à maior experiência dos intervenientes, à maior compreensão dos diversos riscos e às inovações que surgiram nas mais diversas áreas (Kaldellis e Zafirakis 2011).

Os aerogeradores, também designados por turbinas eólicas, são os elementos mais visíveis e associados aos parques eólicos. Estas máquinas são extremamente complexas contendo o aerogerador moderno aproximadamente oito mil peças (AWEA 2013) e apresentando, em diversos aspetos, tecnologia de ponta. Os aerogeradores representam uma porção importante do custo de um parque eólico, como é demonstrado no relatório elaborado pelo National Renewable Energy Laboratory (Fingersh, Hand, e Laxson 2006, p. 35), aproximadamente 70% do custo total em terra ou de modo muito grosseiro a 40% do custo total para parques eólicos marítimos (Snyder e Kaiser 2009).

É necessário ter em atenção que as turbinas eólicas apresentam-se no mercado sobre diversas formas, relativamente ao seu princípio de funcionamento, tamanho, potência e fabricante. As turbinas eólicas, independentemente da sua dimensão, podem ser classificadas em dois grandes grupos, as de eixo vertical, cujo acrónimo em inglês é VAWT, e as de eixo horizontal, cujo acrónimo em inglês é HAWT. Sendo que estas últimas representam a quase totalidade das turbinas eólicas instaladas em parques eólicos.

As turbinas eólicas de eixo vertical estão disponíveis no mercado sobre a forma de diferentes modelos sendo, regra geral, de menor dimensão que as turbinas de eixo horizontal. Um exemplo da aplicação deste tipo de turbina eólica é na emblemática Torre Eiffel (Fig. 2), onde recentemente foram instaladas duas turbinas UGE VisionAIR5 (Koc 2015). Outro exemplo desta tecnologia são os aerogeradores Omniflow, de origem portuguesa.

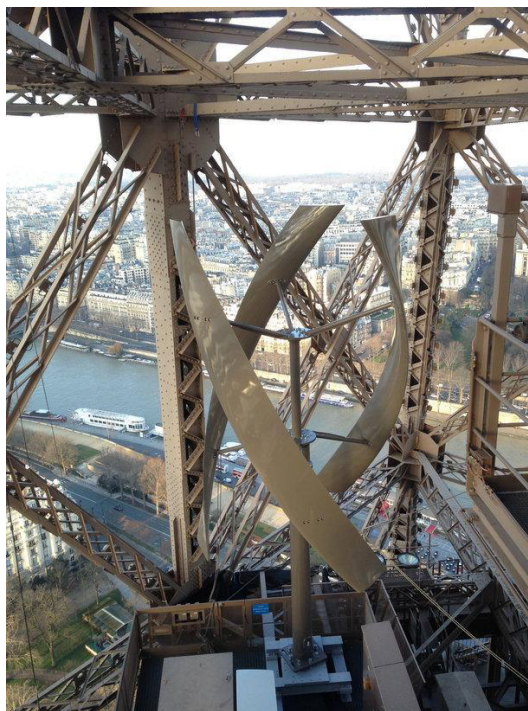


Fig. 2 - Exemplo de Turbina Eólica de Eixo Vertical (UGE 2015)

As turbinas eólicas de eixo horizontal estão disponíveis numa gama ampla de potência nominal, apresentando um rotor com duas ou três pás. Este tipo é amplamente usado em parques eólicos, tanto em terra como no mar. Um exemplo deste tipo de turbinas pode ser encontrado no Parque Eólico do

Alto Minho (Fig. 3), o maior do continente europeu aquando a construção. Este encontra-se completamente operacional desde 2008, contendo 120 aerogeradores do fabricante ENERCON.



Fig. 3 - Parque Eólico do Alto Minho (Silva 2008)

Outra classificação é relativa ao porte, ligando dois aspetos: o diâmetro das pás e a potência nominal. Sendo dividida em pequeno, médio e grande porte (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação do Porte de uma Turbina Eólica, adaptado de (Viterna 2009)

	Diâmetro das Pás (m)	Potência Nominal (kW)
Pequeno Porte	<12	<40
Médio Porte	≥12 e <46	≥40 e <1000
Grande Porte	≥46	>1000

Para a produção industrial de energia elétrica, em parques eólicos, atualmente apenas recorre-se a turbinas eólicas de grande porte. As turbinas eólicas de médio porte podem ser usadas para abastecer diretamente indústrias ou pequenos povoados isolados, podendo no entanto estar ligados à rede para a produção comercial. Estas máquinas foram no entanto o estado de arte até meados da década de 90, usadas nos parques eólicos para a produção industrial de energia. As turbinas eólicas de pequeno porte são usadas para abastecer habitações, sendo usadas para autoconsumo muitas vezes de desconetadas da rede, existindo diversas aplicações para estas máquinas, como na sinalização luminosa em conjunção com painéis fotovoltaicos.

2.3. POLÍTICA ENERGÉTICA E INCENTIVOS EXISTENTES

As mudanças climáticas e a crescente preocupação ambiental tem levado a maioria dos países a criarem uma política energética, seguindo acordos ambientais como o Protocolo de Quioto. No seio da União Europeia e da sua política comum, foram estipuladas metas, no âmbito do pacote de legislação sobre o clima e a energia, para as energias renováveis, conhecidas também por metas “20-20-20”, onde é proposto que até 2020 (EC 2015):

- Redução em 20% das emissões de gases com efeito de estufa, face a 1990 (Diretiva 2010/31/UE);

- Aumento da quota do consumo de energia originada de fontes renováveis para 20% do consumo total (Diretiva 2009/28/CE e Diretiva 2010/31/UE);
- Aumento em 20% da eficiência energética (Diretiva 2012/27/EU).

Estas metas e as diferentes diretivas foram posteriormente adaptadas à realidade existente em cada país membro. Para o caso português foi num primeiro momento definido a Estratégia Nacional para a Energia (“ENE 2020” – Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010), cujos principais objetivos são (Governo Português 2010):

- Reduzir a dependência energética, reduzindo as importações em 25% e produzindo a partir de recursos endógenos;
- Cumprir as políticas europeias sobre o clima e energia;
- Desenvolver a indústria nacional, formando um *cluster* ligado às energia renováveis.

No seguimento desta Estratégia Nacional surgiram diversos planos, como o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (“PNAER 2020” – Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013), onde entre outros aspetos apresentam a estimativa governamental sobre o crescimento das fontes de energia renováveis, em termos de potência instalada e de produção anual expectável, no período entre 2005 a 2020.

A energia eólica, em especial a marítima, ainda possui custos elevados para a construção e na produção, e comparada com outras fontes mais tradicionais de energia, como a energia nuclear ou do carvão, que em alguns casos beneficiam de subsídios de produção. Para mitigar estes aspetos e aumentar a competitividade, os países adotaram diversos mecanismo de incentivo para sustentar o desenvolvimento das energias renováveis.

Os mecanismos de incentivo passam por várias vertentes, como incentivos fiscais, financiamento público e políticas regulamentares (IRENA 2012b). No caso dos incentivos fiscais estão disponíveis subsídios, reduções ou isenção de impostos. Relativamente ao financiamento existem linhas de crédito bonificado, fundos comunitários para desenvolvimento. Por fim, existem diversas políticas que regulam o setor, definindo um valor bonificado para a energia, obrigando as empresas de fornecimento de energia a “comprarem” uma cota de energia oriunda de fontes renováveis ou através de um sistema de troca de certificados de energia renovável.

É necessário salientar que não existe um modelo único para os incentivos à energia renovável sendo que cada país apresenta o seu próprio modelo. No quadro 2 são apresentados os diferentes incentivos existentes para a energia eólica na União Europeia e de alguns países do continente europeu (RES 2015).

Quadro 2 – Incentivos à Energia Eólica no Continente Europeu, adaptado de (RES 2015). Nota: Sub – Subsídios (“*Subsidy*”); Emp – Empréstimos (“*Loan*”); Fit – Tarifas feed-in (“*Feed-in tariff*”); Pre – Tarifas Bonificadas (“*Premium tariff*”); Lei – Leilões (“*Tender*”); Quo – Quotas (“*Quota system*”); Net – Medição da Rede (“*Net-Metering*”); Imp – Impostos (“*Tax Regulation*”)

	Sub	Emp	Fit	Pre	Lei	Quo	Net	Imp
Alemanha	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐
Austria	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐
Bélgica	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐
Bósnia e Herzegovina	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

Bulgária	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
Chipre	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Croácia	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐
Dinamarca	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐
Eslováquia	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒
Eslovénia	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐
Espanha	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
Estónia	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
Finlândia	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
França	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒
Grécia	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒
Holanda	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☒
Hungria	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐
Irlanda	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒
Islândia	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Itália	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☒
Letónia	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
Liechtenstein	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Lituânia	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒
Luxemburgo	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
Malta	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Noruega	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
Polónia	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒
Portugal	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
Reino Unido	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
República Checa	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐
Roménia	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
Suécia	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
Suíça	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
Turquia	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

2.4. PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA

As energias renováveis, em especial a energia eólica, têm assistido a um crescimento contínuo nos últimos anos. Por exemplo a União Europeia no ano 2000 apenas tinha 12,9 GW e em 2014 a potência instalada ascendia a 128,8 GW, o que corresponde a um aumento de dez vezes num espaço de 14 anos da energia eólica (EWEA 2015a).

Para compreender a evolução e as perspetivas para o futuro da energia eólica é necessário olhar para os “números” do setor. A figura seguinte (Fig. 4) apresenta a evolução da energia eólica no mundo, de 2000 até 2014. Nas colunas é representada a potência total (P.T.), no final desse ano, em GW. Nas linhas é representada a potência instalada (P.I.), durante esse ano, em GW.

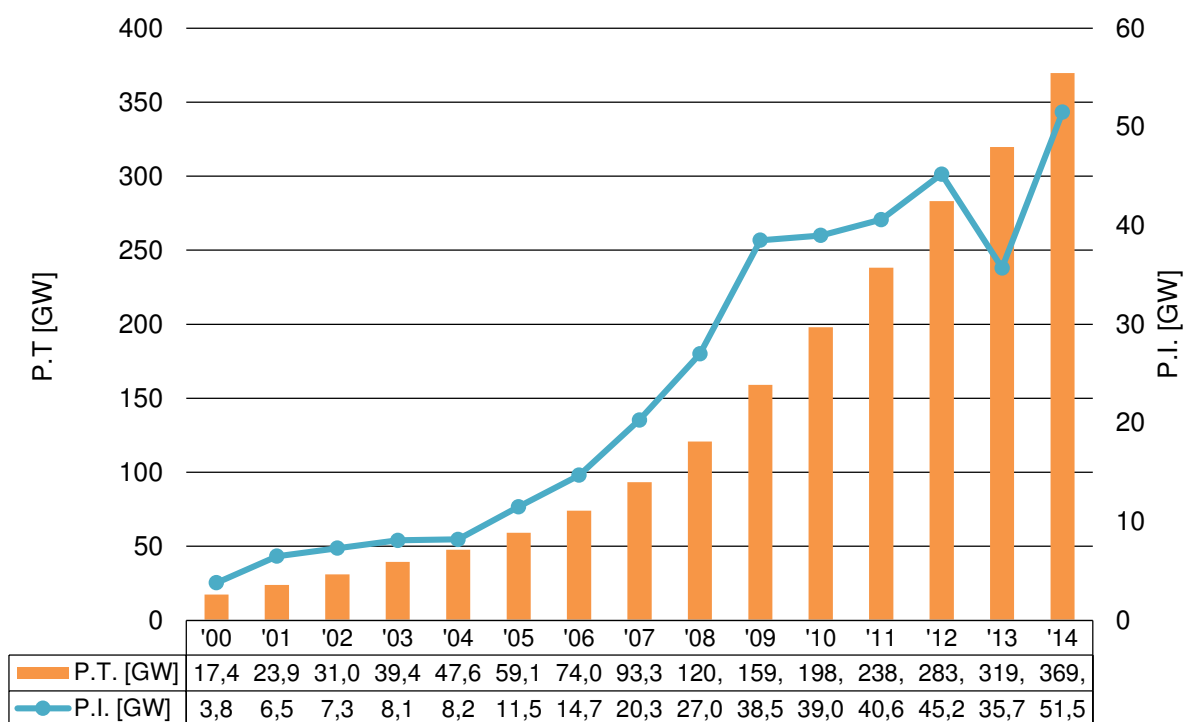


Fig. 4 – Evolução dos Parques Eólicos em termos de potência total e da potência instalada, entre 2000 e 2014, adaptado de (GWEC 2015)

As principais conclusões a retirar da figura 4 são:

- Crescimento contínuo e crescente da potência instalada anualmente, apesar da quebra verificada em 2013. Causada em grande parte pela queda verificada na América do Norte (2012 – 15 GW; 2013 – 3,1 GW) (GWEC 2014, p. 21);
- A potência total da energia eólica, neste período (de 2000 a 2014), aumentou cerca de vinte vezes;

No entanto só uma pequena fração da potência total corresponde a energia eólica produzida no mar. Como se pode ver pela figura 5, em 2014, os parques eólicos no mar correspondiam apenas a 2,4 % da potência total.

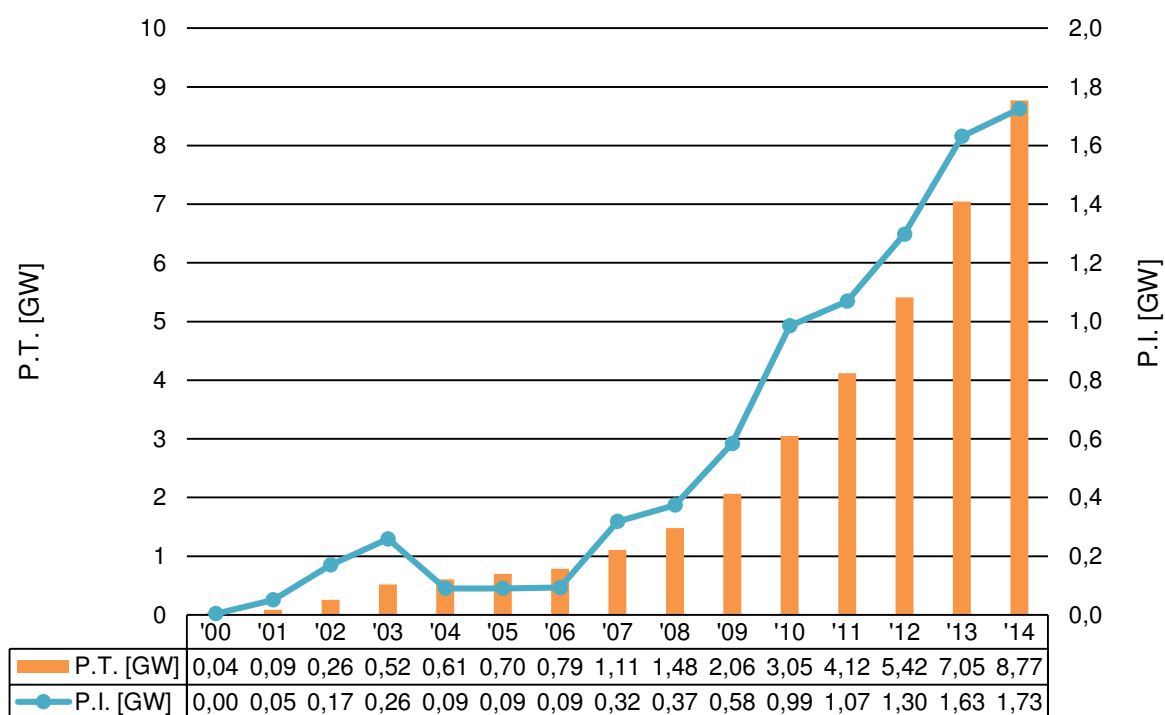
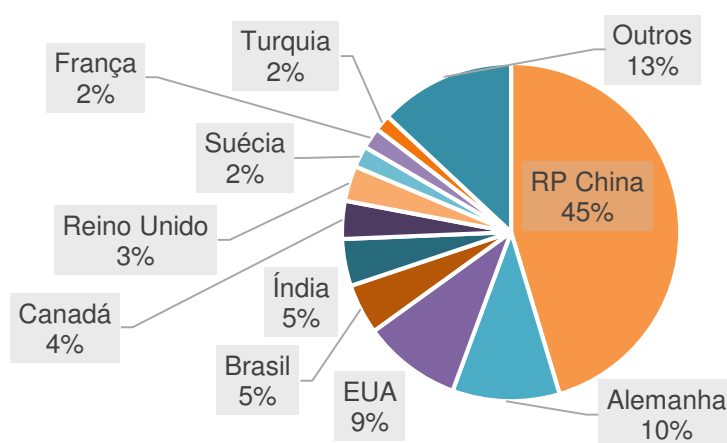


Fig. 5 – Evolução dos Parques Eólicos no mar em termos de Potência Total e Potência Instalada, entre 2000 e 2014, adaptado de (EWEA 2011; GWEC 2015)

É necessário salientar que a energia eólica no mar até ao ano 2010 apenas esteve presente na Europa. Também é preciso notar que no final de 2014 a potência total da Europa era 8,05 GW (EWEA 2015b), o que corresponde a cerca de 90% do total mundial.

A potência instalada, tanto em terra como no mar, em durante o ano de 2014 foi distribuída de forma heterogênea, como se pode ver pela figura 6.



	RP China	Alemanha	EUA	Brasil	Índia	Canadá	R.U.	Suécia	França	Turquia	Outros
P.I. [GW]	23,4	5,3	4,9	2,5	2,3	1,9	1,7	1,1	1,0	0,8	6,7

Fig. 6 – Distribuição da Potência Instalada em 2014, adaptado de (GWEC 2015)

Da figura acima é possível retirar algumas conclusões:

- Cerca de metade da potência instalada em 2014 deveu-se à China e à Índia;

- Na Europa foi na Alemanha onde se instalou mais potência;

No quadro 3 é apresentada a produção estimada de energia eólica do ano 2014, também é apresentado o consumo de energia elétrica da União Europeia em 2013, sendo assumido que o consumo de energia de 2014 será da mesma ordem de grandeza.

Quadro 3 – Consumo de Energia Elétrica face à Produção de Energia Eólica (GWEC 2015; Eurostat 2015)

Consumo de Energia Elétrica na Europa [TWh]	Produção de Energia - Eólicas em terra [TWh]	Quota - Eólicas em terra	Produção de Energia - Eólicas no mar [TWh]	Quota - Eólicas no mar
2769,9	254,43	9,2 %	29,59	1,1 %

Como se pode constatar a energia eólica contribuiu para cerca de 10,3 % das necessidades energéticas da U.E. Salientando-se também o facto da energia eólica no mar já produzir cerca de 10 % da energia eólica total.

A previsão do crescimento da energia eólica para o período de 2015 a 2019, de acordo com as expectativas da GWEC pode ser observada na figura 7.

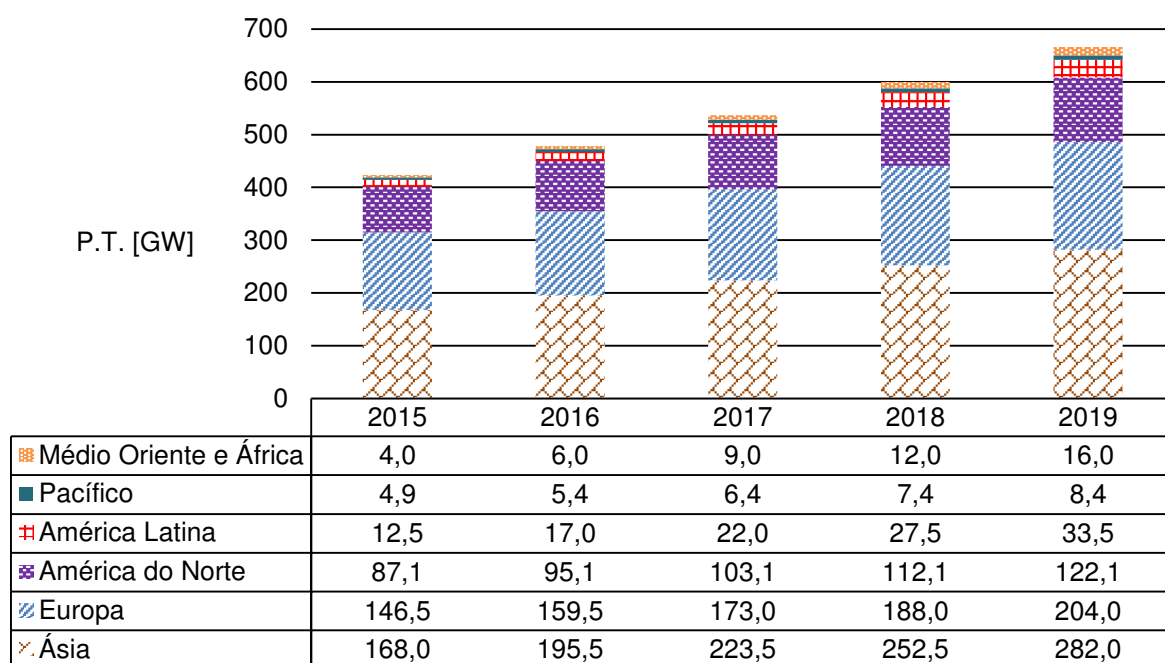


Fig. 7 – Previsões para o crescimento da Energia Eólica para o período 2015 a 2019, adaptado de (GWEC 2015)

Da figura anterior é possível observar que:

- O continente asiático apresentará o maior crescimento (114 GW);
- A Europa continuará a aposta na energia eólica, instalando cerca de 60 GW;
- O crescimento previsto até 2019 representa um acréscimo de cerca de 80 % da potência instalada até ao final de 2014 (2014 – 369,6 GW; 2019 – 666 GW);

Dando atenção para a Energia Eólica no mar na Europa, é possível observar no quadro 4 a distribuição por país do número e da potência dos parques eólicos no mar que se encontravam completamente ligados à rede no final de 2014.

Quadro 4 – Número de Parques Eólicos (P.E.) e capacidade total (C.T.) na Europa (EWEA 2015b)

País	GB	DK	DE	BE	NL	SW	FI	IE	ES	NOR	PT	Total
N.º de P.E.	24	12	16	5	5	6	2	1	1	1	1	74
C.T. (MW)	4494	1271	1049	712	247	212	26	25	5	2	2	8045
% Quota	55,9	15,8	13,0	8,9	3,1	2,6	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	-

Como é possível observar, os parques eólicos no mar, apenas são significativos em quatro países (Reino Unido, Dinamarca, Alemanha e Bélgica), sendo que mais de metade da potência se encontra no Reino Unido. Tal pode ser explicado por fatores internos a esses países, tais como a existência de uma legislação estável e clara, apoios e incentivos por parte do governo, interesse do público e das empresas nos projetos.

Em fevereiro de 2015, encontravam-se em construção ou em comissionamento dez projetos, com uma potência total de 1,17 GW. Estes projetos apenas decorrem em três países (Reino Unido, Alemanha e Países Baixos), sendo a distribuição observada na figura 8.

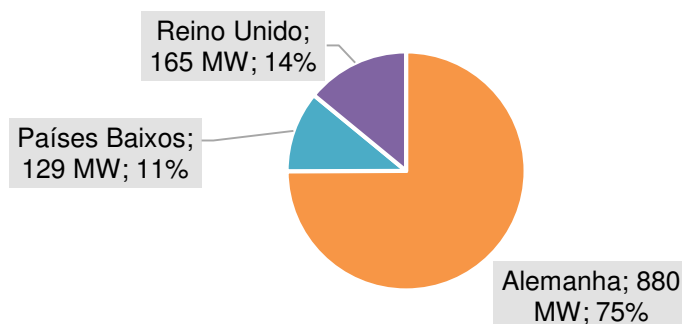


Fig. 8 – Parques Eólicos no mar em construção ou em comissionamento na Europa, adaptado de (Garlick e Aukland 2015)

Contudo o potencial planeado na Europa para o aproveitamento da energia eólica no mar é muito superior ao atualmente instalado, como é visto na figura 9, é possível observar a potência planeada por alguns países.



Fig. 9 – Potência planeada para parques eólicos marítimos em alguns países da Europa (Garlick e Aukland 2015)

2.5. MOTIVOS DA ESCOLHA PELA ENERGIA EÓLICA

A energia eólica apresenta várias vantagens face a outros recursos energéticos. Tong (2010, p. 4) refere os seguintes motivos:

- Comparada com os combustíveis fósseis, como o petróleo, gás e carvão, a energia eólica não emite gases poluentes, explora um recurso ilimitado e gratuito que se encontra disponível em grande parte do globo.
- Comparada com a energia nuclear, a energia eólica não produz resíduos radioativos.
- Comparada com a energia fotovoltaica, a energia eólica apresenta um menor custo de produção por kWh.

Outros motivos para a aposta na energia eólica podem passar por incentivos à produção de energia “verde” e pelo financiamento, recorrendo, por exemplo, a fundos europeus.

Para além dos motivos acima referidos, a energia eólica apresenta algumas virtudes:

- Redução da dependência energética. Ao explorar um recurso endógeno, natural e abundante é possível diminuir as importações de energia e, ao mesmo tempo, produzir eletricidade a um preço menos dependente do exterior.
- Apesar de necessitar de uma grande área de implantação, apenas uma pequena fração é realmente ocupada pela infraestrutura de um parque eólico terrestre e, pode coexistir com outros usos como a agricultura ou o pastoreio.

No entanto a energia eólica também apresenta alguns aspetos negativos, abaixo apresentados:

- Impacto na vida selvagem, especialmente sobre as aves (Drewitt e Langston 2006) e sobre os morcegos (Kunz et al. 2007). Um parque eólico também cria alterações nos habitats, cuja magnitude depende em grande parte do local de implantação.
- Impacto na vida das pessoas. O primeiro aspeto negativo apontado por muitos é o impacto visual gerado pelos aerogeradores. Estas estruturas devido às suas dimensões são observáveis a grandes distâncias. Outro impacto importante, principalmente junto a áreas habitacionais, é o impacto sonoro, gerado pelo funcionamento do aerogerador. O funcionamento do aerogerador pode também originar um fenómeno, que provoca desconforto visual, causado pela sombra intermitente das pás (*“shadow flicker”*).
- Impactos económicos negativos. A existência de um parque eólico gera uma depreciação do valor das propriedades presentes nas imediações (Gibbons 2015), sendo um dos aspetos apontados pelas populações contra a energia eólica (Jobert, Laborgne, e Mimler 2007).
- Flutuação da produção. Ao contrário de outros recursos energéticos, a produção é dependente da velocidade do vento. Originando variação da produção ao longo do ano e mesmo ao longo do dia.
- Para o caso específico da energia eólica marítima (*“offshore”*), existem aspetos negativos particulares (Snyder e Kaiser 2009), como o perigo à navegação, conflitos com a indústria piscatória, impactos sobre mamíferos marinhos e o elevado custo de um parque eólico marítimo.

Investir na energia eólica requer uma exaustiva ponderação de todos os aspetos (económicos, legais, sociais, ambientais, técnicos). No entanto, os pontos positivos da energia eólica ultrapassam os pontos negativos, como é comprovado pela evolução da energia eólica (Fig. 4).

Com o crescimento global da procura de energia (Fig. 10) e com o declínio da popularidade de certas fontes energéticas, como o petróleo e o carvão (fontes não renováveis) ou a fissão nuclear, originou um aumento da procura de outras fontes renováveis para suprir a procura. Para responder a essa necessidade, a energia eólica tem sido uma das principais soluções para a geração da energia necessária.



Fig. 10 – Representação da procura mundial de energia em 2007 (esquerda) e em 2030 (direita) (Casla 2008)

A energia eólica encontra-se atualmente, na sua grande maioria, em parques eólicos situados em terra. Contudo a grande popularidade tem criado alguns problemas um pouco por todo o mundo. Os principais problemas estão ligados com a *“falta de espaço”* para o desenvolvimento de novos parques (Esteban et al. 2011) e à oposição das populações (Jones e Richard Eiser 2010).

Por essas razões a construção de parques eólicos marinhos é cada vez mais uma opção viável e apetecível. A tendência para a construção destes parques é cada vez mais afastado da costa e em zonas mais profundas (Patel 2005; Bilgili, Yasar, e Simsek 2011).

O desenvolvimento de parques eólicos no mar apresenta vantagens comparativamente com os situados em terra: disponibilidade das áreas necessárias para o desenvolvimento de projetos de grande escala, redução ou eliminação do impacto visual, eliminação do impacto sonoro, velocidade média do vento superior e com uma menor turbulência. Mas também tem associado alguns aspetos negativos, como: um custo superior (por exemplo das fundações, infraestrutura elétrica, instalação, projeto, licenciamento) que aumenta com a profundidade e distância à costa (EEA 2009, p. 39) e as atividades de operação e manutenção que são mais difíceis e onerosas.

É esperado um gradual amadurecimento das tecnologias envolvidas, do ganho de experiência dos intervenientes e da diminuição dos custos a níveis mais competitivos, que os parques eólicos marítimos sejam mais comuns e deste modo ganhem uma maior relevância no “mix energético”. Como é possível observar na figura 11, que representa uma projeção da evolução do setor energético na Alemanha até ao ano de 2030.

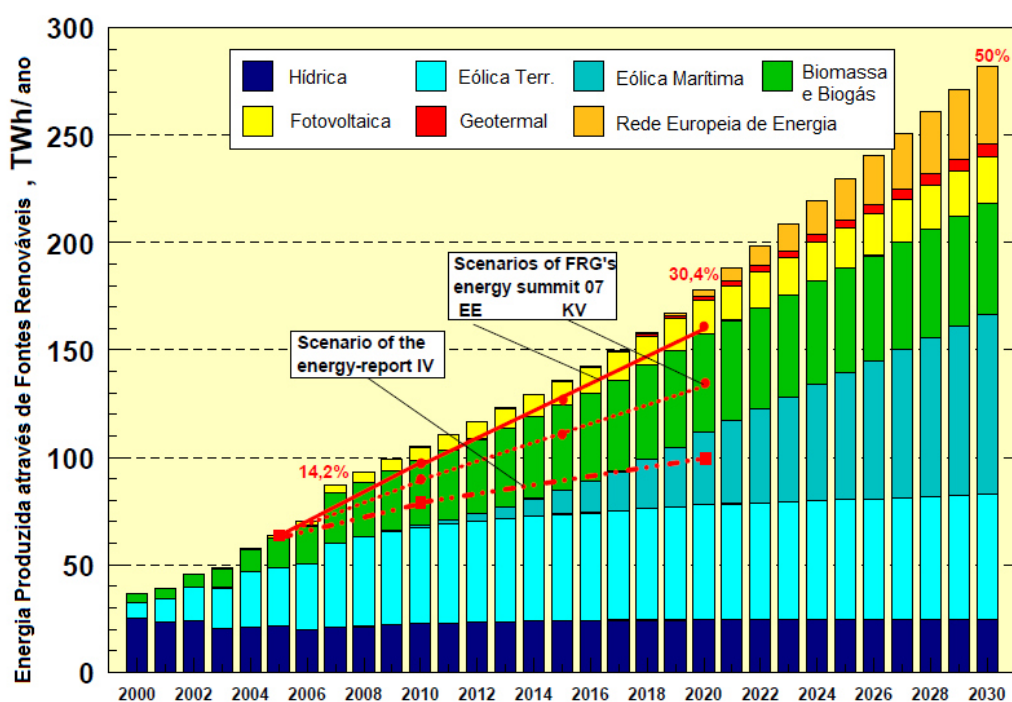


Fig. 11 – Evolução da produção de energia elétrica oriunda de fontes renováveis, para a Alemanha até 2030. Adaptado de (Nitsch 2008)

2.6. FASES DE PARQUES EÓLICOS

O desenvolvimento de um parque eólico é um processo moroso, demora vários anos desde que é iniciada a prospeção por um local até ao momento em que é iniciada a produção de energia elétrica. Para uma melhor compreensão é necessário ter em conta as fases do desenvolvimento de um parque eólico.

De forma muito sucinta é possível dividir o processo em três fases:

1. Desenvolvimento
2. Construção
3. Operação e Manutenção

O Desenvolvimento de um parque eólico está ligado à criação de valor. Procurando novos locais para a construção de parques eólicos, realizando todo o processo de licenciamento.

A fase seguinte é a Construção. Nesta fase é concretizado o projeto, tendo em atenção o prazo, o custo pretendidos.

A Operação e Manutenção é a fase mais longa da vida útil de um parque eólico, tendo como objetivo manter a produtividade.

A cada uma das fases correspondem equipas de trabalho multidisciplinares com competências diferentes contudo, mantendo uma troca de informação permanente. É necessário salientar que a duração destas fases são diferentes das encontradas numa obra típica de construção civil. Para completar o Desenvolvimento de um empreendimento em terra é requerido 2 a 3 anos, já a Construção decorre num período mais reduzido, geralmente menor do que 1 ano. A Operação e Manutenção de um parque eólico decorre durante um longo período, geralmente 20 anos.

2.6.1. DESENVOLVIMENTO

A primeira fase do desenvolvimento de um parque eólico é encontrar um local apropriado.

A definição apropriado para um parque eólico significa atender aos seguintes aspetos:

- Vento em quantidade e qualidade. Numa primeira fase esta análise é baseada na experiência, mas também pode recorrer a estudos como mapas de vento (Fig. 12) ou a dados de estações meteorológicas existentes. O local também deve apresentar uma orografia e envolvente favorável (por exemplo, uma planície sem obstáculos relevantes ou o topo de uma colina);
- Afastado de zonas habitacionais, para que o parque não afete os residentes. Geralmente este afastamento é ditado por limites do nível sonoro (dB(A)) ou por uma distância mínima, dependendo do país;
- Perto da rede de distribuição de média ou alta voltagem. A ligação a estas redes é mais um encargo para o projeto, sendo que para pequenos projetos não é economicamente viável que as ligações sejam muito extensas;
- Situado em zonas onde a rede de distribuição seja expectável possuir capacidade para receber a energia. A melhoria da rede para acomodar a energia será mais um encargo para o parque;
- O parque não pode estar em áreas protegidas (como a Rede Natura 2000) e, preferencialmente, deverá estar prevista no planeamento urbanístico a construção deste tipo de infraestrutura.

A ausência de qualquer um desses pontos acima referidos inviabiliza essa possível localização. Para realizar esta avaliação é fundamental visitar os locais, sendo preferível que as visitas sejam realizadas por um profissional com experiência para fazer uma correta leitura do local.

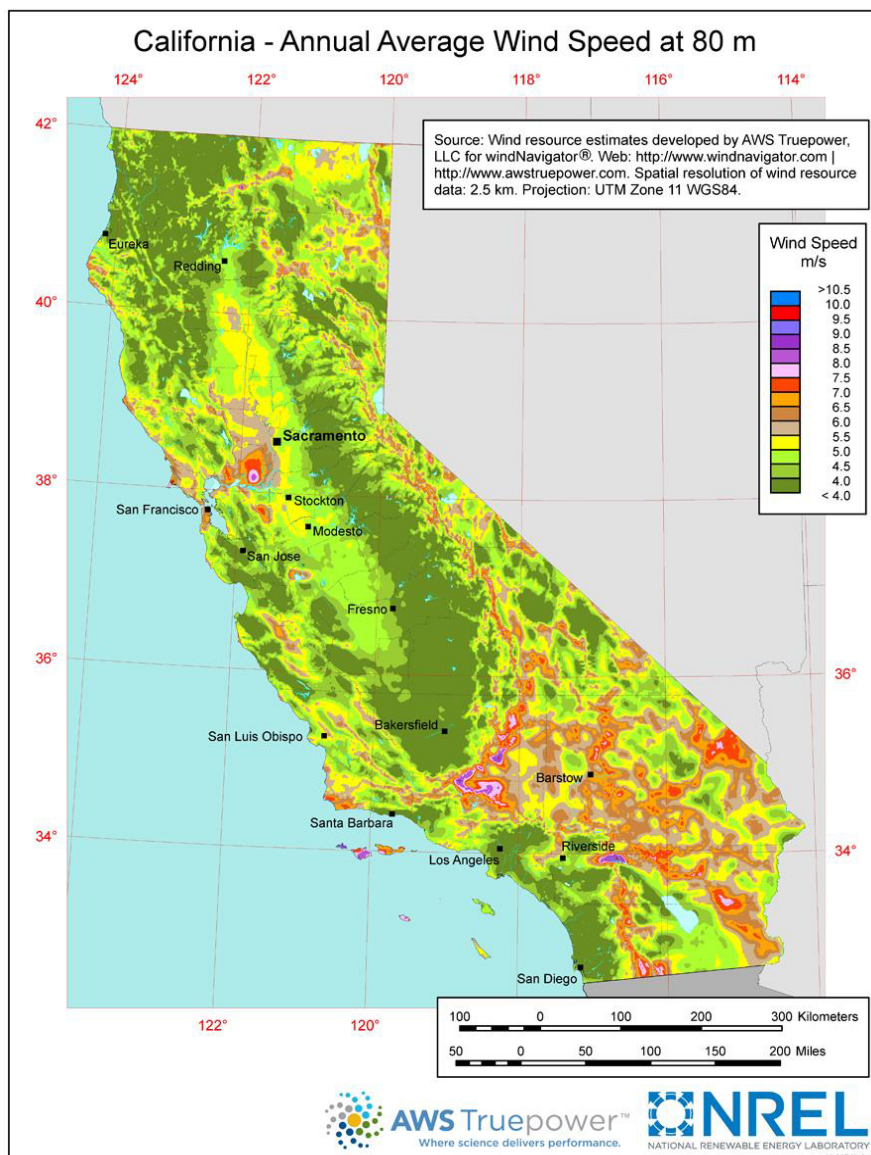


Fig. 12 - Mapa de Vento para o Estado da Califórnia (NREL 2014)

Com base nas características do local é realizado um estudo preliminar onde é feito um primeiro esboço do parque. De seguida, é necessário proceder à identificação das áreas possivelmente afetadas, com base no estudo preliminar, e contactar os proprietários de forma a negociar um acordo para a obtenção dos direitos sobre as propriedades necessárias. Desta forma, são asseguradas as terras, reduzindo o risco do projeto ser inviabilizado numa fase mais avançada devido à oposição dos proprietários.

Também deverá ser instalada uma estação meteorológica, para tal é preciso obter as autorizações necessárias para a sua instalação (como a licença de construção). O objetivo da estação meteorológica é caracterizar as propriedades do vento no local. Através das medições é possível obter o registo da velocidade média e a direção média para intervalos de tempo definidos, a pressão atmosférica, a temperatura e a velocidade máxima da rajada de vento.

O passo seguinte é realizar uma análise à viabilidade do parque. Este estudo aborda os seguintes aspetos:

- Investimento inicial necessário para a aquisição dos aerogeradores e da restante infraestrutura requerida, mais os custos indiretos (ligados ao desenvolvimento do projeto);
- Custos anuais (Manutenção, Reparações, Seguros, Aluguer dos terrenos e Contingências);
- Produção de Energia Esperada (com base nos resultados da campanha de medições),

Com estas previsões é feita a análise da viabilidade para vários cenários (diferentes custos da energia e períodos de retorno). Se da análise forem obtidos resultados satisfatórios o desenvolvimento pode prosseguir.

O passo seguinte é a realização do Estudo de Impacto Ambiental. Este estudo é necessário para obter a licença de construção. Decorrendo ao longo de um período nunca inferior a um ano, analisando exaustivamente o impacto da construção do parque no ambiente e na comunidade.

O EIA está tipicamente dividido em seis partes distintas, apresentadas na seguinte lista:

- Âmbito. Identifica as questões ambientais e os efeitos que precisam de maior detalhe. A definição do âmbito do estudo é da responsabilidade de um organismo com competência no assunto;
- Estudo Base. Avaliação do estado atual do local, referindo as alterações já provocadas pelo Ser Humano;
- Previsão e Avaliação dos Efeitos;
- Mitigação;
- Declaração Ambiental;
- Metodologia de Avaliação Geral.

Concluído o estudo é possível obter uma decisão ambiental por parte do organismo competente. Com uma decisão favorável é possível requisitar a licença de construção, para tal é preciso preparar um conjunto de documentos para que seja avaliada a conformidade, por exemplo com o plano urbanístico.

Os documentos a apresentar são os seguintes:

- Decisão Ambiental;
- Comprovativos dos direitos sobre as propriedades;
- Anteprojeto (Termo de Responsabilidade, Declarações da habilitação dos projetistas para os diferentes projetos, projeto das diferentes especialidades);
- Termos e Condições de ligação à rede;

Em toda a União Europeia o processo de decisão é baseado na obtenção de dois documentos: a licença de construção e a obtenção dos termos e condições de ligação à rede. Variando contudo, os documentos e os estudos/análises necessários.

A equipa responsável pelo desenvolvimento não se limita apenas às tarefas acima referidas. Referem-se mais algumas tarefas:

A negociação dos termos e condições da ligação à rede, fundamentais para a obtenção de financiamento e da licença de construção.

O acordo de ligação entre a empresa de distribuição e o produtor é rápido se os termos e condições de ligação à rede ainda estiverem dentro da validade prevista. Neste acordo são definidos aspetos como data a cumprir para a ligação, o valor da caução a pagar pelo produtor, a divisão dos custos de ligação do parque à rede de distribuição pelas partes.

O Financiamento é outro assunto tratado no desenvolvimento. Devido às grandes quantias envolvidas neste negócio seria difícil construir um parque sem recorrer a financiamento. Os financiamentos podem surgir de bancos, investidores, empresas do setor ou recorrendo a fundos comunitários.

A fase de desenvolvimento de um parque eólico no mar é em tudo semelhante ao relatado anteriormente existindo, no entanto, algumas diferenças ligadas aos estudos e pareceres necessários para o licenciamento.

Um entrave encontrado em alguns países, como o caso da Polónia, é a inexistência ou inadaptação das leis à realidade da energia eólica no mar e a falta de vontade política para resolver a questão, fazendo com que este vazio legal seja um travão ao desenvolvimento.

2.6.2. CONSTRUÇÃO

Do ponto de vista das empresas ligadas ao desenvolvimento, a fase da construção está ligada à preparação do concurso, seleção de empreiteiros, acompanhamento da construção, receção provisória e a obtenção de licenças necessárias para a venda da energia.

Antes de lançar-se o concurso de construção é necessário definir o tipo de contratação pretendido pela empresa. Essa definição é ponderada tendo em conta a dimensão da empresa e da experiência possuída. No setor da energia eólica há duas grandes filosofias para a contratação, o contrato único, como o EPC - *Engineering, Procurement and Construction*; ou o EPCI - *Engineering, Procurement, Construction and Installation*; (contrato único, a gestão da obra fica a cargo do empreiteiro) ou dividir o empreendimento em vários contratos (*multi-contracting*), como o BOP – *Balance of Plant*; e o TSA – *Turbine Supply Agreement*; sendo que esta última estratégia requer a gestão ativa de todo o processo. Ao dividir em vários contratos o risco aumenta, mas é conseguido uma redução do custo total (pois no contrato único, o risco acrescido para o empreiteiro é traduzido numa margem para cobrir esse risco).

O contrato BOP, na construção de parques eólicos, refere-se a dois tipos distintos de trabalho: trabalhos de construção civil e trabalhos elétricos. O primeiro é referente aos trabalhos como a construção de acessos, drenagens, plataforma de trabalho, fundações, valas de cabos e edifício de controlo. O segundo é destinado a todos os trabalhos elétricos que não estejam no âmbito do contrato TSA.

O contrato TSA é estabelecido com o fabricante dos aerogeradores (OEM) e cobre o equipamento, transporte, montagem e comissionamento dos aerogeradores.

Para a hipótese da empresa optar pela realização de vários contratos são elaborados e detalhados os diferentes projetos de execução (Memória Descritiva e Justificativa, Medições e Mapas de Quantidades de trabalhos, Condições Técnicas Gerais e Específicas e as Peças Desenhadas).

O passo seguinte é a preparação do concurso (articulado, documentos para os concorrentes, informações das diferentes datas limite), sendo depois adjudicada e consignada a obra.

Iniciados os trabalhos de construção é necessário fazer a gestão técnica da empreitada, importante para garantir a conformidade e a qualidade dos trabalhos, bem como a realização das medições necessárias para os pagamentos interinos.

Caso o promotor (“*developer*”) opte por um contrato EPC (também designado por “chave na mão” ou *turnkey*), por exemplo por não possuir o conhecimento necessário, o promotor transfere parte do risco a que está exposto para o empreiteiro geral, como referido a cima. O empreiteiro geral responsabiliza-se a entregar no prazo estabelecido contratualmente, dentro do custo acordado e garantido que o

produto final igual ou supere a qualidade mínima estabelecida. Neste tipo de contratos, o empreiteiro fica responsável por todos os aspetos ligados à gestão da obra, negociação com o fabricante dos aerogeradores e os demais assuntos ligados à construção civil, à montagem dos aerogeradores, à construção da infraestrutura elétrica necessária. Neste tipo de contrato o empreiteiro também é responsável por elaborar o Projeto de Execução (*“Detailed Design”*) com base no Anteprojeto (*“Preliminary Design”* ou *“FEED”*).

Um dos passos finais para início da produção é a receção provisória da obra, começando o período de garantia da obra. Na receção provisória são avaliados os trabalhos, os registos das atividades, lista de problemas por resolver e as telas finais.

Outros passos essenciais para a início da produção é a ligação do parque à rede, a obtenção da licença de uso do parque e a obtenção da licença necessária para a produção de energia elétrica.

Um aspeto fundamental da fase da construção é o registo da informação, por exemplo, da descarga, montagem, preparação, comissionamento, visitas à obra e reuniões. Este registo de informação exige a participação de todas as partes, sendo a informação registada por escrito, fotografia ou registo eletrónico, servindo de evidência da boa realização dos trabalhos.

2.6.3. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Esta fase é a mais longa da vida útil de um parque, com uma duração mínima de 20 anos. O principal objetivo nesta fase é manter o parque a funcionar, com a maior eficiência possível e ao menor custo, ou seja maximizar a produção e reduzir o tempo sem produção, dando não só atenção às turbinas mas também à restante infraestrutura presente.

A operação de um parque engloba diferentes tipos de atividade, como a gestão do parque, monitorização do funcionamento, resposta a avisos de mau funcionamento, coordenação da manutenção, administração dos diversos contratos e a criação de relatórios. Na gestão do parque uma das atividades principais é a venda da energia produzida.

Nestas atividades a automação do parque (SCADA) (Fig. 13) revela-se uma mais-valia podendo permitir o controlo remoto de alguns sistemas do parque e a transmissão e aquisição remota dos dados usados nas tarefas acima indicadas. O SCADA pode ser também usado para a deteção atempada de avarias através da monitorização dos parâmetros de funcionamento (CMS). Na figura abaixo é apresentada a interface do utilizador de um dos vários programas informáticos disponíveis. Estes programas disponibilizam vários níveis de detalhe da informação sobre o funcionamento dos aerogeradores. No exemplo abaixo apresentado são apresentadas as diversas máquinas de um determinado parque eólico do portefólio de um operador, e para cada aerogerador é apresentada a produção atual (na forma de barra), o estado atual (na forma de percentagem) e três indicadores de estado (Funcionamento, Problemas e Ligação).

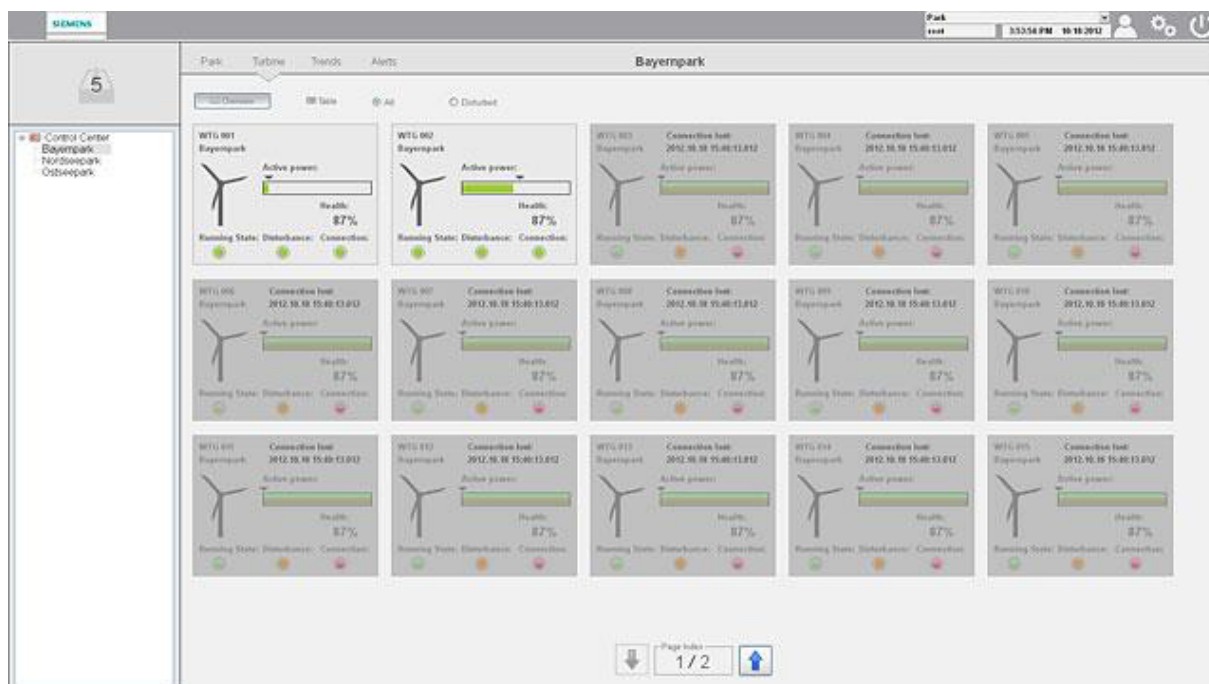


Fig. 13 – Interface do sistema SCADA da SIEMENS (Siemens [s.d.])

A manutenção de um parque é dividida em dois tipos de atividades. O primeiro tipo é a Manutenção Preventiva e o segundo tipo é a Manutenção Corretiva.

A Manutenção Preventiva pode, contudo, basear-se em duas abordagens, com o objetivo de obter a máxima disponibilidade do sistema através da substituição de componentes antes do fim da sua vida útil, evitando assim avarias.

A primeira abordagem é a Manutenção Preventiva Planeada, baseada na intervenção em intervalos de tempo definidos. Esta abordagem tem a vantagem de permitir calcular os custos futuros de forma simples.

A segunda abordagem é a Manutenção Preventiva Condicionada, baseada na condição de estado de um elemento. Nesta abordagem, quando o elemento atinge o valor limite definido para o termo da sua vida útil é substituído.

Na realidade a abordagem usada para a manutenção do parque é a mistura das duas abordagens. Deste modo são otimizados os custos com a manutenção, sem sacrificar a disponibilidade do sistema.

A informação necessária sobre as intervenções está disponível nos manuais de manutenção fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos.

De seguida, são apresentadas algumas tarefas que se englobam na manutenção preventiva:

- Substituição de consumíveis;
- Verificação de níveis de fluídos e estado dos componentes;
- Limpeza do rotor;

A Manutenção Corretiva ocorre de forma inesperada e, por isso, é difícil prever o seu custo para o período de vida útil do parque. Os custos associados à Manutenção Corretiva são de dois tipos: custo direto (custo das peças, mão-de-obra e equipamentos) e custo indireto (receitas perdidas com a não produção).

Relativamente a avarias, a severidade com que ocorrem pode ser muito distinta, pode passar pela simples substituição de um sensor ou disjuntor até à substituição da transmissão ou do rotor (Fig. 14). Este tipo de avarias é geralmente alvo de um seguro. O seguro pode cobrir todos os custos associados ou apenas os custos diretos, dependendo da apólice de seguro negociada.



Fig. 14 – Avaria de um aerogerador (Esanok 2015)

A Manutenção está a cargo do fabricante durante um período mínimo igual ao da garantia. Podendo ser negociado, aquando do TSA, um período maior em que este serviço é prestado pelo fabricante. A principal vantagem desta negociação é a redução do risco pois, durante o período do contrato, os custos com a manutenção estão contratualmente definidos.

3

TECNOLOGIAS E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

3.1. ENQUADRAMENTO

Um aspeto essencial para a Direção de Obras é a compreensão das tecnologias e das soluções construtivas empregues, uma vez que estas originam condicionantes e limitações nos trabalhos. Na construção de um parque eólico independentemente do local (terra ou mar) estão envolvidas diversas especialidades para além da Engenharia Civil. É normal que as empresas envolvidas na construção dividam os trabalhos sobre o âmbito de três especialidades, as construções civis, a infraestrutura elétrica e a montagem (dos aerogeradores).

O papel da Engenharia Civil, nos parques eólicos em terra, está relacionado com os trabalhos de construção civil (fundação dos aerogeradores, edifício de comando e subestação) e na construção dos acessos. Nos parques eólicos marítimos o papel é semelhante, apresentando contudo soluções diferentes para estes elementos.

3.2. PARQUES EÓLICOS TERRESTRES

Um parque eólico terrestre pode apresentar dimensões muito díspares, o que torna cada parque eólico único. De seguida serão apresentados, de forma genérica, os aerogeradores e os principais componentes de um parque eólico em terra.

O componente vital para qualquer parque são os aerogeradores, estas máquinas podem ser divididas em quatro grandes subcomponentes: a fundação, a torre, a cabine e o rotor (Fig. 15).

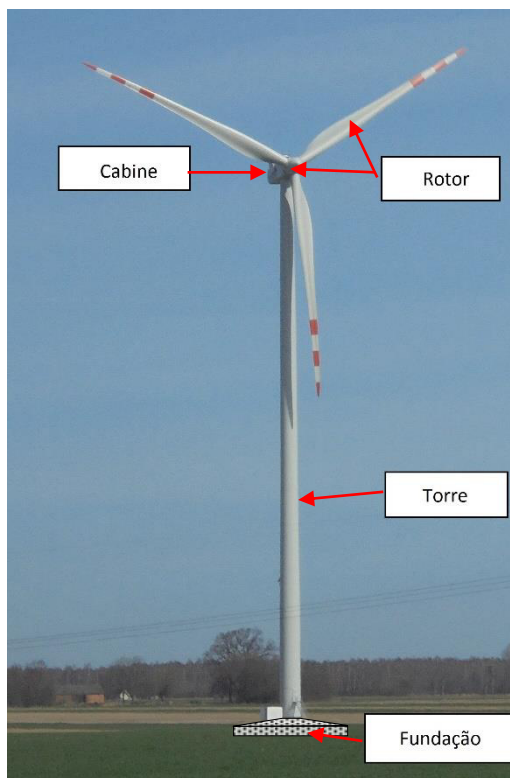


Fig. 15 – Principais Componentes de um Aerogerador

3.2.1. FUNDAÇÃO

A fundação de uma turbina eólica em terra é realizada *in situ* em betão armado. Este elemento é solicitado por cargas com elevada excentricidade, por exemplo para uma turbina típica de 2 MW, as cargas estáticas para verificar o equilíbrio para uma velocidade do vento de ≈ 30 m/s, são da seguinte ordem de grandeza: $N= 3500\text{kN}$, $V= 1000\text{kN}$, $M=90000\text{kN.m}$.

A solução estrutural corrente é uma fundação direta, de planta circular (Fig. 16) (ou de planta quadrangular, hexagonal, octogonal ou cruciforme). Em alguns casos especiais, onde o solo não possui a resistência mínima desejável é preciso recorrer a um tipo especial de fundação, a fundação indireta por estacas (Fig. 17).

A fundação direta típica para uma turbina eólica de 2 MW apresenta um diâmetro na base da ordem de 20 metros e no topo na ordem de 7 metros, com uma espessura variável entre 1 a 2,5 metros. Sendo utilizados cerca de 500 m^3 de betão e 25 toneladas de aço.



Fig. 16 – Fundação direta de um aerogerador



Fig. 17 – Construção de fundação indireta (BLIX 2012)

A correta construção da fundação é muito importante para a turbina eólica. Na sua construção é incluído um anel metálico (Fig. 18) que fará a ligação à torre, onde qualquer imperfeição no nivelamento desta peça poderá resultar num desvio considerável no topo, que no caso de superar o valor máximo permitido para o desvio (cerca de $0,5^\circ$) poderá afetar o funcionamento do aerogerador.



Fig. 18 – Anel de Ligação

Na realização de uma fundação mais simples (fundação direta) estão envolvidas as seguintes operações, abaixo listadas:

- Escavação até à cota necessária, levando a depósito os sobrantes que não irão ser reutilizados;
- Aplicação de camada de betão de limpeza;
- Colocação do anel de ligação;
- Armação dos varões de aço;
- Colocação das cofragens;
- Betonagem da fundação;
- Depois da cura do betão até à resistência mínima necessária é procedido ao enchimento e compactação do solo da fundação.

3.2.2. TORRE

Este elemento é fundamental para qualquer aerogerador, trata-se de um elemento estrutural que alberga no seu interior alguns componentes, contudo as suas elevadas dimensões podem fazer com que este possa custar até cerca de 20% do custo total de uma turbina (Hau 2006, p. 421).

O tipo de torre com maior sucesso é a torre tubular em aço (Fig. 19). Esta solução apresenta algumas vantagens, sendo que a primeira é a facilidade de fabrico, a segunda é a facilidade de transporte pois, por exemplo, para alturas de 90 m a torre é transportada em três seções e a terceira é a facilidade de montagem em obra bastando apenas aparafusar as seções. Contudo este tipo de torre apresenta algumas limitações, para alturas superiores a 100 m, uma vez que o diâmetro das secções inferiores tende a ser superior a 4 m, originando problemas ao transporte por via terrestre.



Fig. 19 – Processo de Montagem da Torre de um aerogerador Senvion MM92

Existem outros tipos de torres que foram maioritariamente usadas nos primeiros anos do desenvolvimento da energia eólica, como por exemplo as torres treliçadas ou reticuladas, as torres de betão pré-fabricadas e com pré-esforço, as torres de aço com tirantes (semelhantes às antenas de rádio) ou torres mistas de aço e betão.

As torres mistas de aço e betão (Fig. 20) são utilizadas em grande parte pelo fabricante de aerogeradores Enercon. Este tipo de torre não apresenta a mesma limitação ao transporte, referida para as torres tubulares de aço, pois a seção inferior é constituída por várias peças pré-fabricadas de betão.



Fig. 20 – Linha de produção de torres (mistas) da ENERCON em Viana do Castelo (ENEOP 2009)

3.2.3. CABINE

A cabine, também designada por “nacelle”, é onde se encontram alojados grande parte dos componentes de uma turbina eólica (Fig. 21), com o objetivo de os proteger dos elementos (como a chuva, o vento e gelo). Grande parte da cabine é construída à base de fibra de vidro (GFRP – *Glass fiber Reinforced Polymer*) (Tong 2010, p. 231) e é unida a um “chassis” em aço que suporta as cargas dos componentes. Por exemplo, para a turbina Siemens SWT-3.6-107 a cabine completa pesa cerca de 125 toneladas (Siemens Wind Power A/S 2011).

Dentro da cabine é possível encontrar diversos sistemas, como o sistema de transmissão (veios e engrenagens), o gerador, diversos sensores, sistemas de controlo, sistema de arrefecimento e cablagem.

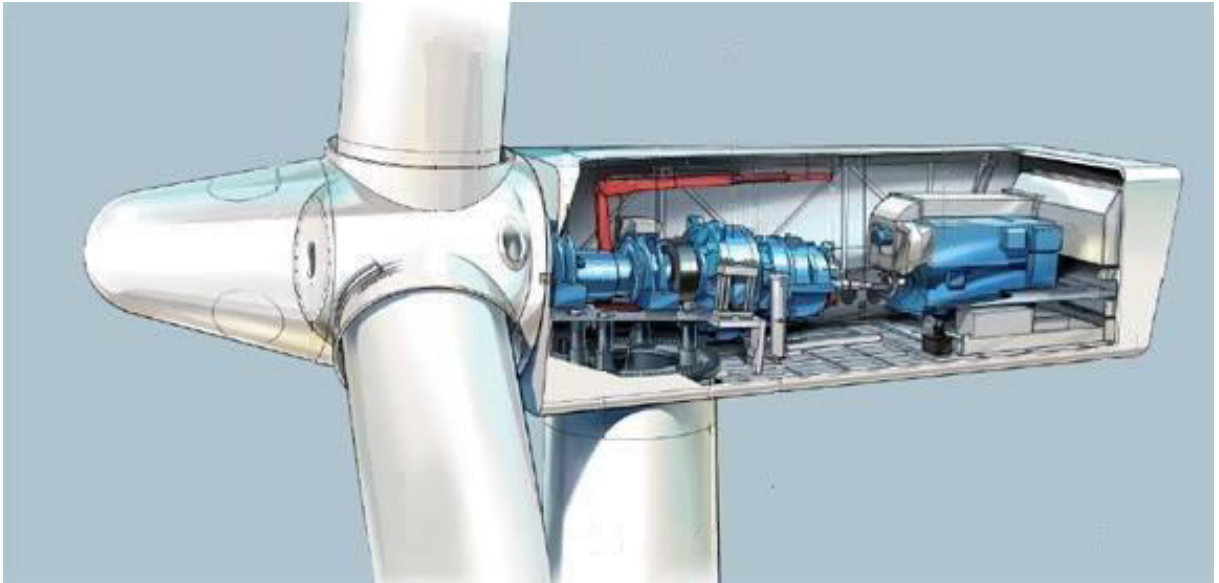


Fig. 21 - Esquema da Cabine do aerogerador SWT-3.6-107 (Siemens Wind Power A/S 2011, p. 7 e 8)

3.2.4. ROTOR

O rotor (Fig. 22) é constituído pelo cubo (“*hub*”) e pelas pás (“*blades*”). Por exemplo, a turbina Siemens SWT-3.6-107 apresenta um rotor com diâmetro de 107 metros e um peso de 95 toneladas (Siemens Wind Power A/S 2011, p. 8). Este elemento é responsável por converter a energia cinética do vento num movimento de rotação, transmitido pelo sistema de transmissão ao gerador.



Fig. 22 – Elevação do Rotor (Linkhorn 2012)

O cubo é fabricado através da técnica de fundição usando aço dúctil (Fig. 23), resultando numa massa entre oito a dez toneladas para a turbina eólica genérica de 2 MW (AWEA 2013), o que faz deste elemento um dos mais pesados da turbina.

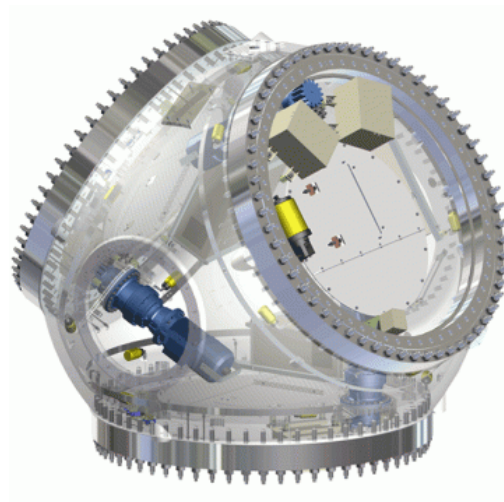


Fig. 23 - Sistema do Cubo completo (TEMBRA GmbH & Co. KG [s.d])

As pás (Fig. 24) são um componente estratégico para muitos fabricantes de turbinas eólicas, pelo que muitos deles fabricam as suas próprias pás, estando disponíveis em diversas envergaduras e formatos, otimizadas para as condições específicas do local de instalação.



Fig. 24 – Conjunto de Pás de um aerogerador Senvion MM92

A sua construção é feita através de materiais laminados, como os compósitos, madeira de balsa, fibra de carbono ou fibra de vidro. A sua construção é um trabalho na sua maioria manual, recorrendo a mão-de-obra muito especializada, pois a qualidade do produto final depende em grande parte da mão-de-obra empregue.

As pás também representam um desafio logístico (Fig. 25), pois para além de serem frágeis, as suas dimensões podem ser um entrave ao seu transporte. Este fator é um entrave à aplicação de turbinas com maior potência em terra, pois o transporte por terra em muitos locais seria impossível.



Fig. 25 – Transporte por via terrestre da Pá de um aerogerador (Siemens AG 2012)

3.2.5. ACESSOS, PLATAFORMAS DE TRABALHO E VALAS

3.2.5.1. Acessos

Um parque eólico tende a ser construído afastado de zonas habitadas (cerca de um quilômetro) ou em locais isolados. Este maior ou menor afastamento implica maiores ou menores trabalhos de preparação com a criação de acessos. Os acessos são fundamentais devido à necessidade de movimentar um grande número de equipamentos e todos os componentes do aerogerador. Os acessos são planeados desde uma fase embrionária do projeto, estando o seu traçado longitudinal completamente definido aquando o Anteprojeto (salvo raras exceções) uma vez que fazem parte do processo de licenciamento. Na conceção dos acessos são considerados fatores como:

- Condicionantes presentes no local (edifícios, cursos de água);
- Disposição dos aerogeradores no parque;
- Diferentes propriedades e os respetivos proprietários;
- Largura das vias e a condição da superfície das mesmas.

Contudo, com a existência de caminhos não é garantido a ausência de trabalhos, pois estes podem não ter capacidade para suportar as cargas a transportar. Neste caso, essas estradas terão de sofrer trabalhos de reforço.

Onde não existe nenhum caminho de acesso, como, por exemplo, junto das turbinas eólicas, é necessário construir os mesmos para que seja possível a movimentação de cargas e de equipamentos. Esses acessos têm de cumprir determinados critérios de desempenho (como a capacidade resistente mínima, a inclinação transversal máxima e a drenagem da via) e características geométricas (como o raio de curvatura mínimo, a largura mínima da via e da berma e drenagem), bem como a sua construção ser pouco dispendiosa e rápida, ao mesmo tempo tem que aguentar o tráfego durante a construção sem grandes danos e, requerer baixa manutenção durante a vida útil do parque.

A solução usada para estes troços são estradas de terra batida (Fig. 26) com uma camada superficial com aproximadamente 25 cm de agregado britado de granulometria extensa devidamente compactado. Estes acessos na sua conceção têm que ter em atenção aspetos como os raios de curvatura mínimos

para o transporte das cargas, as inclinações máximas que podem ser implementadas, a drenagem da via e das laterais.



Fig. 26 – Construção de acessos (CJRWind 2014a)

3.2.5.2. Plataformas de Trabalho

A montagem de uma turbina eólica requer junto desta uma plataforma estável para as gruas operarem com segurança (Fig. 27). A título exemplificativo, para uma turbina genérica de 2 MW é requerido uma área de aproximadamente 1125m² (25 metros por 45 metros) dependendo do tipo de aerogerador, do equipamento de elevação usado e dos meios auxiliares necessários. A disposição típica desta plataforma pode ser vista na figura 28.



Fig. 27 - Construção da Plataforma de Trabalho (CJRWind 2014b)

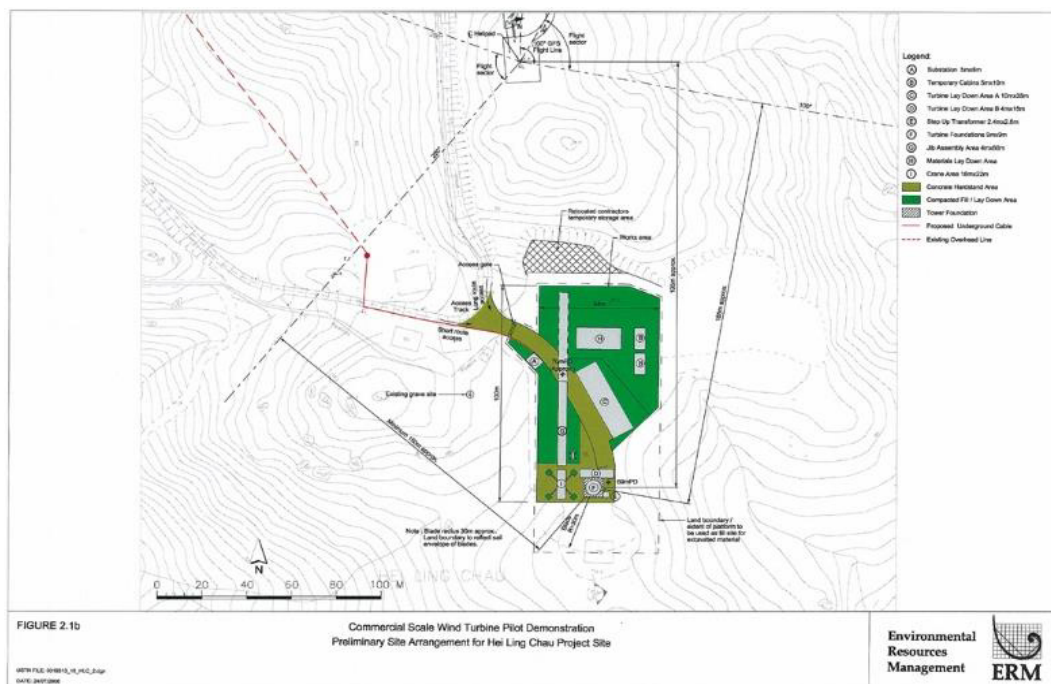


Fig. 28 – Exemplo da disposição da Plataforma de Trabalho (ERM 2006)

A construção desta plataforma é em tudo semelhante aos acessos, tendo que responder aos mesmos requisitos, sendo o mais preponderante a compactação do solo e das diferentes camadas. É preciso salientar que estas plataformas são construídas depois da construção da fundação e do enchimento (“backfilling”) até à cota necessária.

3.2.5.3. Valas

A abertura de valas é necessária para colocar diversos cabos, como os cabos que ligam as turbinas à subestação elétrica ou para a ligação dos cabos de fibra ótica necessários para efetuar o controlo e monitorização das máquinas. As valas também são úteis para a redução do impacto visual do parque eólico, evitando a existência de diversos cabos em linhas aéreas.

Estas valas são usualmente instaladas paralelamente aos acessos e pontualmente existem locais de atravessamento sob as vias. As dimensões típicas para estas valas é 1 m de profundidade por 0,4 m de largura, assentando numa camada de areia (Fig. 29). Nas travessias o cabo é reforçado, passando-o pelo interior de um tubo de PVC.

De forma muito geral e resumida a execução das valas compreende as seguintes operações (por ordem da execução) (Pinho 2008):

- Abertura da vala, com a profundidade e largura necessária;
- Colocação de uma camada de areia (“cama de areia”);
- Colocação cuidada do cabo de média tensão (por exemplo 20 kV) na vala;
- Recobrimento do cabo com uma camada de areia, com a maior brevidade possível a fim de proteger o frágil cabo de queda de pedras ou de outros objetos capazes de danificar (ou “ferir”) o isolamento;
- Colocação de fita sinalizadora;
- Enchimento da vala com terras sobrantes e a uma cota superior são colocadas placas de sinalização;

- Na superfície para marcar o percurso dos cabos são colocados espaçadamente mecos sinalizadores.

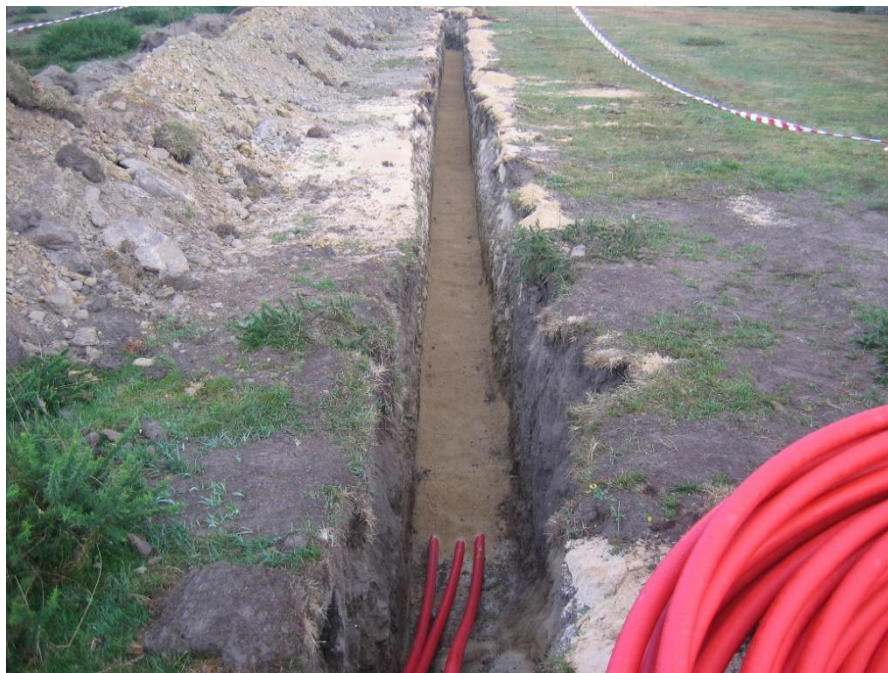


Fig. 29 – Vala para passagem de cabos de média tensão (Miceli 2012)

Um aspeto a salientar sobre a execução destas valas é o fato de decorrerem durante a execução dos acessos, isto é, depois de colocada a primeira camada dos acessos (sub-base) são iniciados os trabalhos com as valas, drenagens, atravessamentos de cabos existentes nos acessos. Depois de concluídos é então colocada e instalada a camada final dos acessos.

3.2.6. SUBESTAÇÃO ELÉTRICA E EDIFÍCIO DE COMANDO

A subestação elétrica (Fig. 30) é constituída por dois grandes grupos de trabalhos. O primeiro são trabalhos de construção civil e o segundo são os fornecimentos e montagem de equipamentos elétricos.



Fig. 30 - Subestação Elétrica (Anderson 2012)

As obras de construção civil incluem a construção de um edifício com duas áreas distintas, uma para controlo do parque e outra dedicada à subestação. Também é necessário a construção de acessos, vedações, arranjos exteriores, drenagens, fossa para recolha de óleo dos transformadores, carris para o transformador, realização de fundações para o transformador e de outros elementos.

O fornecimento de material elétrico inclui o transformador principal e os restantes materiais necessários, cabos elétricos (para a rede interna de média tensão, sistema de terras, etc.), material necessário para o edifício de controlo (por exemplo sistema de automação do parque, sistema de vigilância, sistema de segurança contra intrusão, sistema de contagem, ligação à internet, etc.).

3.2.7. EXEMPLOS DE PARQUES EÓLICOS

A construção de parques eólicos em terra já atingiu a plena maturidade. Ao longo destes últimos anos a tecnologia evoluiu e resolveu os principais problemas, aumentando a fiabilidade, o rendimento, entre outros aspetos. Deste modo foi conseguido uma redução do custo desta tecnologia. Também as empresas ligadas à construção, ao projeto e todos os intervenientes na cadeia logística obtiveram o conhecimento que ajuda a reduzir os riscos e incertezas deste modo baixando os custos.

Os parques eólicos apresentam dimensões muito diferentes, esta disparidade surge de condicionantes como o espaço disponível, a capacidade da rede de distribuição ou a capacidade financeira das empresas promotoras.

São apresentados de seguida dois exemplos de parques eólicos em terra.

3.2.7.1. Exemplo A: Parque Eólico em Rymanów

O primeiro exemplo é o Parque Eólico em Rymanów (“Farma Wiatrowa w Rymanowie”), situado no sul da Polónia.

Este parque foi desenvolvido pela Martifer Renewables, sendo atualmente propriedade da empresa IKEA. Encontra-se em operação desde 2013, com uma potência nominal de 26 MW, obtida através de 13 aerogeradores REPower MM92. A construção deste parque (fundações, acessos, subestação elétrica) esteve a cargo da empresa CJRWind, através de um contrato BOP (“*Balance of Plant*”). Segundo informações presentes no portal da empresa, os trabalhos tiveram uma duração de 300 dias.



Fig. 31 - *Parque Eólico em Rymanów* (CJRWind 2014c)

3.2.7.2. Exemplo B: Parque Eólico Fântânele-Cogealac

O segundo exemplo é o Parque Eólico Fântânele-Cogealac, situado junto ao Mar Negro na Roménia. Este é o maior parque eólico em terra da Europa.

Este parque foi desenvolvido pela Continental Wind Partners (C.W.P. 2015), sendo propriedade da ČEZ (empresa do setor energético). Encontra-se em operação desde 2012 (ČEZ 2015). Este parque foi desenvolvido em duas fases totalizando uma potência nominal de 600 MW, obtida através de 240 turbinas eólicas GE 2.5XL.

A construção do parque esteve a cargo de um empreendimento conjunto entre a Viarom Construct SA (para os trabalhos de construção civil) e a Energobit SA (para os trabalhos de instalações elétricas), tendo o trabalho iniciado em outubro de 2008 e finalizado em novembro de 2012. O investimento necessário para concretizar este parque, segundo a página Power Technologie (2015), foi cerca de 1,49 mil milhões de dólares.



Fig. 32 - Elevação do Rotor, com um diâmetro aproximado de 99 m (ČEZ Group 2015)

3.3. PARQUES EÓLICOS MARÍTIMOS

Um parque eólico marítimo apresenta muitas semelhanças com a congénere terrestre, contudo tendem a possuir, nos projetos comerciais, uma maior dimensão. Existem algumas diferenças, como na fundação, que na construção no mar é uma subestrutura mais complexa e onerosa.

A construção de um parque eólico no mar é repleta de vários desafios de natureza técnica, económica, social e ambiental. Estes desafios requerem uma resposta e necessitam da colaboração de todos os intervenientes. Relativamente à natureza técnica, um parque eólico no mar não é constituído apenas por infraestruturas marítimas, mas também por diversas infraestruturas situadas em terra (referidas com maior detalhe mais adiante). É necessário destacar que a complexidade dos parques eólicos marítimos, resultante da dimensão e da redundância necessária dos sistemas. Na figura seguinte (Fig. 33) é apresentado o plano de um parque eólico marítimo, que de forma muito simplificada é constituído por aerogeradores e a infraestrutura elétrica presente no mar e em terra.

Um dos aspetos mais particulares dos parques eólicos marítimos são as subestruturas de fundação. É um dos pontos onde a Engenharia Civil tem uma maior contribuição, desde o início do projeto até à conclusão da construção, por este motivo este será um dos pontos abordados com maior detalhe neste capítulo.

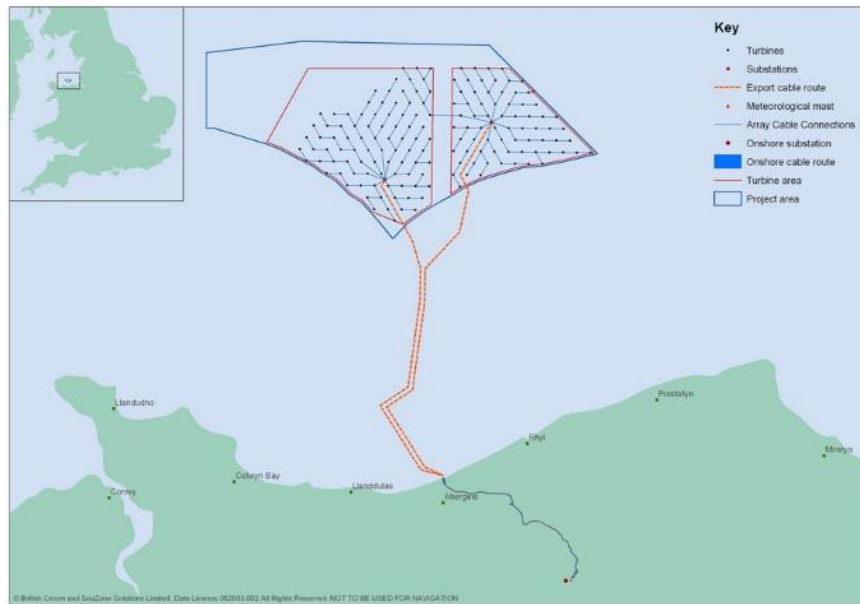


Fig. 33 – Plano do Parque Eólico Gwynt y Môr, no Reino Unido (RWE Innogy 2015)

3.3.1. FUNDAÇÃO

A fundação, também designada por estrutura de suporte, para um aerogerador marítimo é uma estrutura que é possível projetar de diversas soluções e executar de várias formas. No seu projeto são tidas em conta as condições específicas do local onde irá ser instalado o aerogerador, bem como as vantagens e desvantagens de cada solução. É possível afirmar que a complexidade da solução aumenta com a profundidade do local de instalação.

Desde da construção do primeiro parque eólico marítimo, em 1991, têm surgido diversas soluções que acompanham a evolução dos parques para zonas mais profundas. Numa primeira fase os parques eram construídos em águas abrigadas e pouco profundas contudo, nos anos seguintes os parques eólicos foram implementados em águas abertas, cada vez mais profundas e afastadas da costa. A estrutura de suporte é compreendida por dois componentes, a subestrutura (elemento estrutural que vai desde o leito marinho até à torre ou peça de transição) e a fundação (método de fixação ao fundo marinho).

Na escolha do tipo da fundação estão envolvidos diversos fatores, como por exemplo as condições geotécnicas, as forças geradas pela interação entre a turbina e o vento, mas também a aspetos como a profundidade, a ondulação, as correntes oceânicas.

Relativamente à fundação, os sistemas estruturais dividem-se em dois grupos:

- Estruturas fixas, neste tipo de estrutura o aerogerador transfere as forças através da fundação até ao fundo oceânico;
- Estruturas flutuantes, neste tipo de estrutura o conjunto não está ligado de forma rígida ao fundo, permitindo assim alguma mobilidade ao aerogerador. Contudo esta estrutura é ancorada para impedir que o aerogerador derive para fora do local de instalação.

Relativamente às estruturas fixas os métodos de fixação utilizados dividem-se em três tipos:

- Gravidade, este método usa as dimensões (da base) e a massa da subestrutura para estabilizar o aerogerador;

- Estacas, este método usa a cravação de estacas no fundo oceânico, que irão resistir aos esforços transmitidos pela fundação (esforço axial, momentos, esforço transversal);
- Sucção, este método utiliza uma subpressão no interior da fundação o que originando uma maior resistência a momentos fletores.

Os principais tipos de estrutura de suporte são (Haigh 2013; Patel 2005; Thomsen 2012):

- Gravidade (“*Gravity-based structure*”);
- Estaca Única (“*Monopile structure*”);
- Tripé (“*Tripod structure*”);
- Treliza (“*Jacket / Lattice structure*”);
- Sucção (“*Bucket-type foundation*”);
- Flutuantes (“*Spar floater; Tension leg platform; Barge floater; Semi-submersible*”).

O tipo de fundação selecionada origina condicionantes na construção como, por exemplo, os meios necessários para a execução e montagem da fundação, a preparação necessária do local para a instalação da fundação e a dimensão do estaleiro em terra.

Para a correta definição das condições de implantação para cada fundação são necessários diversos estudos, que relevam as características existentes. Os estudos necessários, de forma resumida, são:

- Estudo meteorológico. Deste estudo podem ser retirados dados sobre as condições do mar, como a velocidade das correntes, as características das ondas (altura e período) e a posição do mar;
- Estudo do leito marinho. Este estudo é implementado em duas fases. A primeira é um estudo geofísico (global) e a segunda é um estudo geotécnico (local). O estudo geofísico consiste na realização de estudos usando sonar, magnetómetro e refração sísmica que permite obter o mapeamento batimétrico da zona, estratigrafia e identificar zonas perigosas no fundo do mar (naufrágios, minas navais). O estudo geotécnico é realizado após a definição da implantação e consiste na realização de vários ensaios, por exemplo, sondagens e o CPT. As informações das duas fases são cruzadas e, deste modo, é melhorado o modelo geológico do local de implantação de cada fundação, que depois é interpretado pela equipa projetista na conceção das fundações.

Estes estudos também fornecem informações importantes para outros fins, como no planeamento da obra onde são usados os dados climáticos para determinar as paragens expetáveis por mau tempo.

3.3.1.1. Fundação por Gravidade

Este tipo de fundação (Fig. 34) baseia-se na dimensão e no peso para garantir a estabilidade. É concretizada através de um caixão de betão armado pré-esforçado, betonado em doca seca ou em estaleiro (Fig. 35). Existe também a possibilidade de ser realizado em aço. A estrutura pode ser flutuante e é então transportada até ao local recorrendo a rebocadores. Depois de transportada e colocada na posição final de instalação, a estrutura é enchida com material de lastro (como areia ou outro tipo inerte).

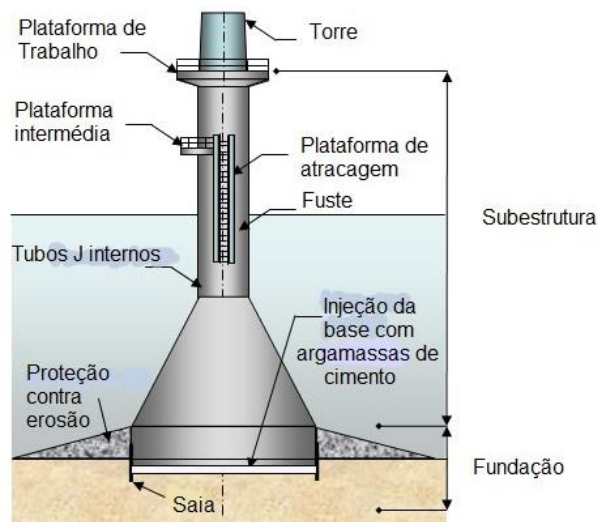


Fig. 34 – Representação esquemática de estrutura de suporte por gravidade, adaptado de (Intelligent Energy 2009?a)

Na eventualidade da estrutura não flutuar, o transporte e a instalação é feito com o recurso a embarcações especializadas. Existe duas formas distintas de proceder à instalação. A primeira é recorrendo a barcas, que levam do estaleiro até ao local de instalação sendo depois auxiliada por uma embarcação com uma grua para a colocação final. A segunda é recorrer a navios desenhados de raiz para o transporte e instalação, sendo que alguns sistemas permitem o transporte do aerogerador completo, trazendo a vantagem de grande parte dos trabalhos serem realizados em terra.



Fig. 35 – Fundações por gravidade em construção (C-POWER NV 2013)

Este tipo de fundações é usualmente aplicado em águas pouco profundas, sendo que no parque eólico da figura anterior, a profundidade máxima é 27 metros. Atualmente diversos fabricantes anunciam que os seus produtos podem ser utilizados de forma competitiva para profundidades superiores da ordem dos 50 metros.

As principais vantagens deste tipo de fundação são:

- Remoção mais simples (não está fixa ao fundo marinho);
- Boa Resistência do betão à corrosão;
- Construção mais económica.

As principais desvantagens deste tipo de fundação são:

- Necessidade de preparação prévia do local de instalação;
- Instalação dispendiosa;
- Necessidade de diversos equipamentos para a instalação e transporte;
- Impacto no fundo marinho.

No total, na Europa, foram instaladas até o final de 2014, 303 fundações deste tipo (10,4% do total). Durante o ano de 2014, não foram instaladas fundações deste tipo (EWEA 2015b).

O processo de construção é iniciado pela betonagem da laje de soleira, contendo as armaduras e as bainhas para a aplicação do pré-esforço. De seguida são montadas as cofragens laterais e betonadas as paredes e os topos. Os trabalhos necessários para a construção deste tipo de fundação são os únicos que podem ser realizados unicamente por empreiteiros de construção civil.

É necessário referir que este tipo de fundação requer uma grande intervenção no local de instalação (JR. 2007a, 2007b), de modo a obter-se uma base estável e nivelada. Na preparação do local são realizadas dragagens, colocação e nivelamento de uma ou mais camadas de materiais inertes como por exemplo brita. Usando o exemplo das fundações por gravidade encontradas no Parque Eólico de Thornton Bank (Fig. 36), para exemplificar as ações a realizar na preparação e instalação.

As dragagens são realizadas em muitos casos por fases (Peire, Nonneman, e Bosschem 2009), num primeiro momento de forma mais grosseira para eliminar grande parte do material, num segundo momento a dragagem é realizada com uma maior sensibilidade até à cota final e dentro da tolerância para esta tarefa. Esta segunda passagem está mais limitada às condições do mar, uma vez que a maior precisão requerida depende da estabilidade da cabeça de dragagem e da embarcação. Os materiais retirados por esta operação são muitas vezes reaproveitados para o aterro final da fundação ou como material de lastro.

O passo seguinte na preparação do local (depois de comprovada a correta realização das dragagens) passa pela realização de uma “almofada” onde a fundação irá assentar. Esta almofada é constituída por duas camadas de características diferentes, a camada inferior designada por “filtro” (agregado britado 0/63 mm) e uma camada superior (agregado britado 10/80 mm).

De seguida é feita a instalação da fundação propriamente dita, findada a instalação é necessário aterrar o foço aberto pela dragagem. Para tal são reaproveitados os materiais resultantes da dragagem. Por fim, é construída a proteção contra a erosão, tal como a “almofada”. Esta tem duas camadas distintas, uma com função de filtro e outra com a função de proteção (rocha britada 10/200 kg). A função desta camada superficial é evitar o arrastamento dos inertes junto da fundação por ação das correntes marinhas. Por fim, é procedida à instalação do aerogerador (torre, cabine e rotor).

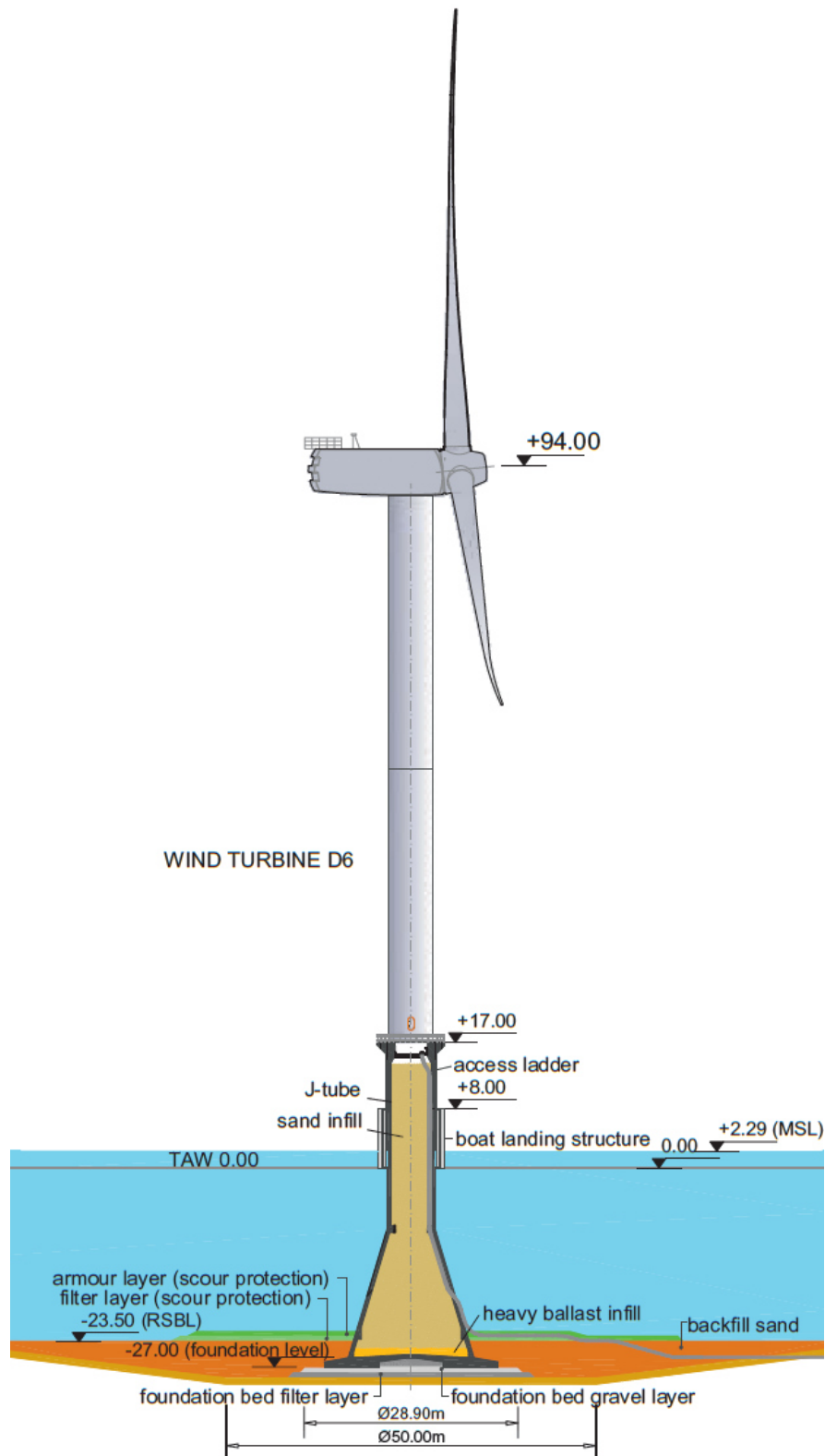


Fig. 36 – Esquema de aerogerador com fundação por gravidade (Peire, Nonneman, e Bosschem 2009)

3.3.1.2. Fundação por Estaca Única

Este tipo trata-se da solução mais comum a ser utilizada para a fundação (Fig. 37). A estabilidade é garantida pelo atrito das paredes laterais com o solo. É a solução mais “simples” que é concretizada com painéis de aço soldados, resultando numa estrutura tubular com diâmetro a rondar os seis metros e espessura variável. A sua aplicação está limitada a profundidades até 25 m, para profundidades maiores este tipo de fundação começa a ter problemas ligados ao comportamento dinâmico da estrutura.

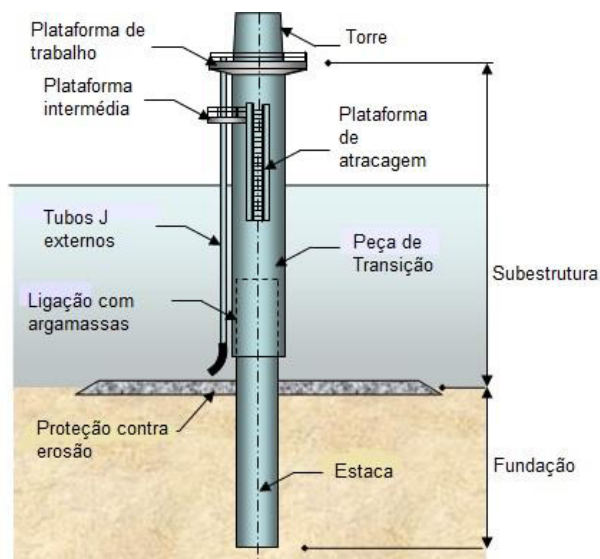


Fig. 37 – Representação esquemática de estrutura de suporte por estaca única, adaptado de (Intelligent Energy 2009?b)

O transporte é possível de ser feito através de diversos meios, como por exemplo com uma barça e um rebocador, desde o fabricante até ao porto onde se situa o estaleiro da obra. Outra hipótese existente é o transporte ser feito diretamente do fabricante até ao local de instalação onde é então transferido para a embarcação responsável pela instalação destas fundações.

Este tipo de fundação não requer, na maior parte dos casos de uma preparação prévia do local de instalação, o que a torna competitiva, uma vez que reduz o volume de trabalhos abaixo da linha de água e o processo de instalação é relativamente rápido.

A sua instalação requer uma embarcação que contém equipamento especializado para a cravação dependente das condições geotécnicas do local de instalação, mas que se resumem a duas alternativas. A primeira alternativa é aplicada apenas a solos, onde a instalação é realizada através de precursão com um martelo hidráulico (Fig. 38). A segunda alternativa é aplicada a fundos rochosos, onde é necessário proceder à perfuração prévia do fundo ou então recorrer a explosivos, em que de seguida é instalada a estaca. Para realizar a ligação entre o furo e a fundação é injetado uma calda de cimento para concretizar esta união (“*grouting*”, usando por exemplo Ducorit®), selando a estaca com o fundo rochoso envolvente.

Contudo é preciso salientar os impactos causados durante a cravação. Durante este processo são produzidos ruídos na ordem dos 160 dB. Este nível sonoro para além de ser perigoso para os trabalhadores, representa um possível impacto na fauna. Este impacto negativo tem sido alvo de soluções de mitigação do impacto ambiental. Uma das soluções passa pela criação de uma cortina de

bolhas de ar comprimido, a outra solução é a criação de uma ensecadeira temporária, onde o espaço entre a estaca e o caixão é bombeado, criando assim uma barreira de ar que funciona como barreira à propagação do som.

Depois de concluída a cravação da estaca é instalada uma proteção contra a erosão, que é causada pelas correntes marinhas, baseada num manto de rocha britada assente sobre uma camada de filtro (como visto no ponto anterior). O passo seguinte na construção de um aerogerador é a instalação da peça de transição. Este elemento faz a ligação da estrutura de suporte com a torre que suporta o aerogerador.



Fig. 38 – Instalação da fundação por estaca (London Array Limited 2013)

As principais vantagens deste tipo de fundação são:

- Facilidade de fabrico;
- Facilidade de transporte;
- Custo inferior às outras alternativas;
- Não necessita de preparação do fundo marinho.

As principais desvantagens deste tipo de fundação são:

- Necessidade de proteção contra a erosão;
- Impacto ambiental causado durante a sua instalação;
- Impossibilidade de aplicar às turbinas de maiores dimensões;
- Não aplicável a profundidades elevadas.

No total, na Europa, foram instaladas até o final de 2014, 2301 fundações deste tipo (78,8% do total). Durante o ano de 2014, foram instaladas 406 fundações deste tipo (EWEA 2015b).

3.3.1.3. Fundação por Tripé

Este tipo de fundação (Fig. 39) não é uma solução corrente tendo surgido na indústria petrolífera, contudo é uma das soluções aplicáveis para maiores profundidades, onde a fundação por gravidade ou por estaca não são viáveis e para maiores cargas devido à sua maior estabilidade inerente.

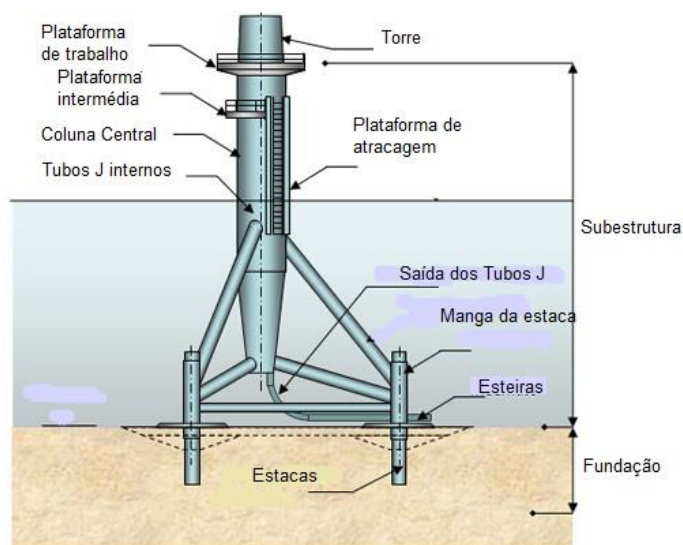


Fig. 39 – Representação esquemática de estrutura de suporte por tripé, adaptado de (Intelligent Energy 2009?c)

Trata-se de uma estrutura complexa e de grandes dimensões, constituída por um tubo central que faz ligação à torre, a três contraventamentos diagonais e a três mangas metálicas através dos quais são inseridas estacas, que fixam a estrutura ao solo, estabilizando-a. Estas estacas são de menor diâmetro e comprimento inferior às necessárias para uma fundação por estaca única, sendo o processo de cravação idêntico. A união entre o tripé e as estacas é realizada pela injeção (“*grouting*”) de argamassas elaboradas especificamente para este fim.

A estrutura depois de fabricada em terra é colocada numa barça (Fig. 40) que depois é transportada até ao local de instalação ou ao porto onde se encontra o estaleiro. No local de instalação é então cuidadosamente baixada até à posição final, com a ajuda de veículos operados remotamente. Este tipo de fundação não requer uma grande preparação do fundo e ao mesmo tempo não possui grandes problemas ligadas com a erosão mas, devido às suas dimensões requer equipamentos de elevação especializados.



Fig. 40 – Transporte das fundações por tripé (Geniusstrand 2009)

As principais vantagens deste tipo de fundação são:

- Estabilidade e Resistência;
- Aplicáveis a maiores profundidades e a maiores aerogeradores;

- Baixos problemas com erosão.

As principais desvantagens deste tipo de fundação são:

- Complexidade e custo de fabrico;
- Complexidade logística em lidar com grandes quantidades;
- Necessidade de realizar uma ligação entre a fundação e as estacas (“*grouting*”).

No total, na Europa, foram instaladas até o final de 2014, 137 fundações deste tipo (4,7% do total). Durante o ano de 2014, foram instaladas 4 fundações deste tipo (EWEA 2015b).

3.3.1.4. Fundação por Treliça

Este tipo de fundação trata-se de uma estrutura reticulada (Fig.41) que usa perfis tubulares de aço. É usada para profundidades maiores em aerogeradores de maiores dimensões ou nas subestações marítimas.

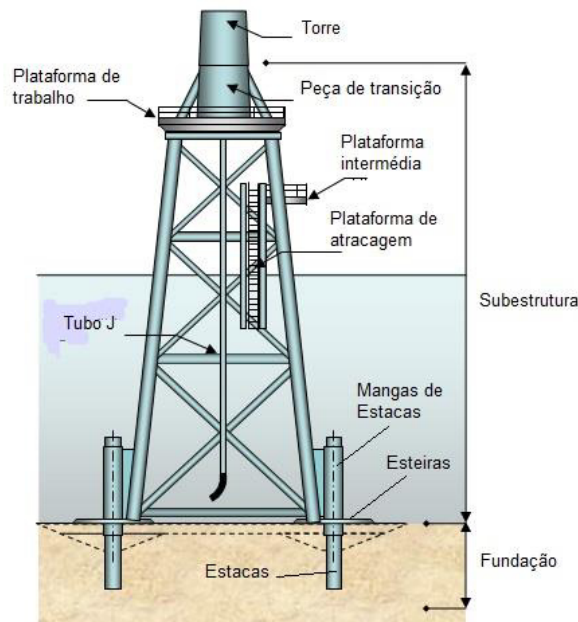


Fig. 41 – Representação esquemática de estrutura de suporte por treliça, adaptado de (Intelligent Energy 2009?d)

A fixação ao solo é realizada através de estacas, existindo dois métodos alternativos. O primeiro método é as estacas serem instaladas antes da fundação. O segundo método é as estacas serem cravadas depois da instalação da fundação, sendo a ligação entre estes dois componentes garantidas pela injeção (“*grouting*”).



Fig. 42 – Instalação das estacas de fixação (Volker Stevin International 2006)

As principais vantagens deste tipo de fundação são:

- Elevada resistência face a momentos;
- Aplicável a profundidades maiores às permitidas pelas fundações por gravidade ou por estaca única;
- Estrutura de suporte rígida e estável.

As principais desvantagens deste tipo de fundação são:

- Estrutura de fabrico complexo devido ao elevado número de nós a serem soldados;
- Não apropriada para zonas com gelo pois a área ao nível da linha de água é elevado;

No total, na Europa, foram instaladas até o final de 2014, 137 fundações deste tipo (4,7% do total). Durante o ano de 2014, foram instaladas 36 fundações deste tipo (EWEA 2015b).

3.3.1.5. Fundação por Sucção

Este tipo de fundação (Fig. 43) deriva da tecnologia da indústria petrolífera. Esta surgiu acerca de trinta anos e é usada para ancorar as plataformas petrolíferas no mar. O seu uso foi proposto para a fundação de turbinas eólicas no mar. Este tipo de fundação já foi utilizado para suportar um aerogerador de 3MW da Vestas, no Parque Eólico Frederikshavn (Dinamarca).

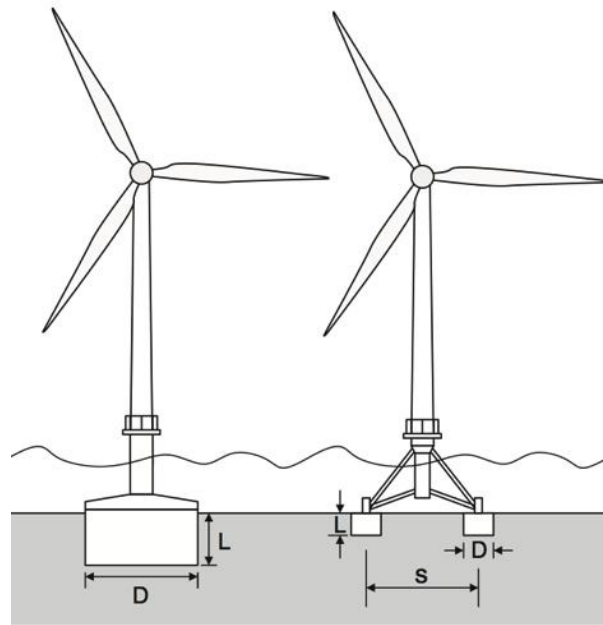


Fig. 43 – Esquemas estruturais propostos para fundações por sucção (Houlsby, Ibsen e Byrne 2005)

Apresenta algumas vantagens sobre as técnicas acima apresentadas, pois permite uma rápida instalação e ao mesmo tempo permite retirar a fundação de forma igualmente rápida.

Contudo apresenta também algumas desvantagens, como por exemplo a aplicação limitada apenas a alguns tipos de solos.

3.3.1.6. Fundações Flutuantes

As fundações flutuantes para a indústria das energias renováveis ainda encontram-se numa fase inicial do seu desenvolvimento. No entanto este tipo de fundação já é algo comum para a indústria petrolífera.

Estas estruturas estão idealizadas para a exploração de zonas de maiores profundidades, impossíveis de serem economicamente viáveis com outro tipo de fundação. Existem diversos conceitos de fundações flutuantes (Musial, Butterfield, e Ram 2006) (Fig. 44) cada um com os seus aspetos únicos.

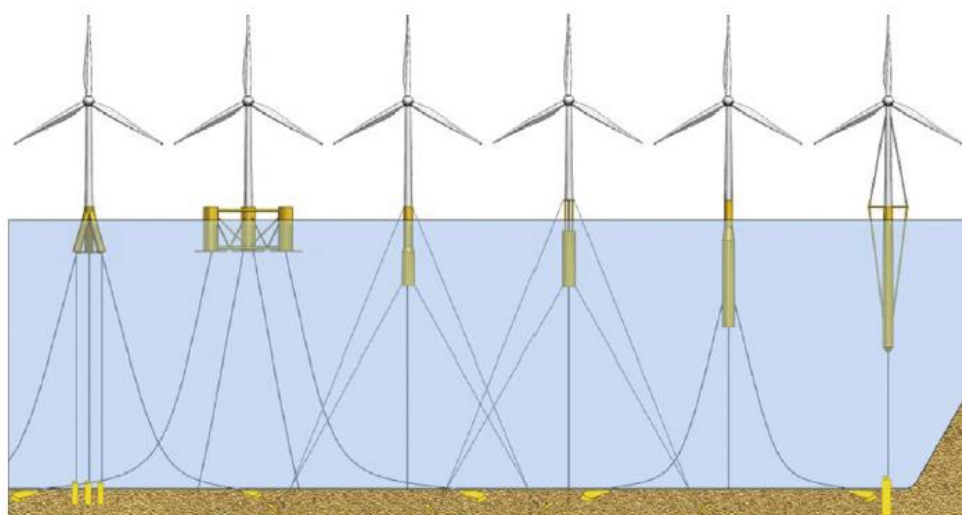


Fig. 44 – Diversos conceitos de fundações flutuantes (Myhr, Anders, Catho Bjerkseter, Anders Ågotnes e Tor A. Nygaard 2014)

As principais vantagens deste tipo de fundação são:

- Possibilita exploração de zonas mais profundas;
- Montagem do aerogerador e Ensaio de funcionamento em terra;
- Fácil de retirar.

As principais desvantagens deste tipo de fundação são:

- Custo elevado;
- Ocupa grandes áreas, impedindo outros usos (pesca);

Exemplos deste tipo de fundação podem ser encontrado na Europa em dois modelos à escala real em funcionamento é o WindFloat (2 MW) (Maciel 2010), na costa portuguesa, e o HyWind (2,3 MW), na costa norueguesa.

Este tipo de fundações requer um trabalho adicional para “fixar” o aerogerador no local designado, tal é conseguido com um sistema de ancoragens (“*mooring*”).

No total, na Europa, foram instaladas até o final de 2014, 2 fundações deste tipo. Durante o ano de 2014, não foram instaladas quaisquer fundações deste tipo (EWEA 2015b).

3.3.2. TORRE

A torre de um aerogerador no mar (Fig. 45) é semelhante ao em terra, apresentando maior proteção contra a corrosão, contudo no mar devido a diversos fatores a altura da torre não precisa de ser igual ao encontrado em terra, sendo regra geral menor (para aerogeradores semelhantes).

As torres são regra geral produzidas em fábricas próximas de portos, pelo que o transporte até ao destino é feito por via marítima, sendo regra geral desnecessário os longos e dispendiosos transportes por via terrestre.



Fig. 45 – Montagem de um aerogerador no mar – altura do cubo 69 m (Nysted Offshore Wind Farm 2006)

Alguns tipos de fundação requerem um elemento de transição, como a fundação por estaca única, entre a estrutura de suporte e a torre. Esse elemento é designado por Peça de Transição (Fig. 46).



Fig. 46 – Peça de Transição (RWE Innogy 2012)

Uma vantagem da utilização deste elemento é a possibilidade de corrigir a não verticalidade da fundação aquando a sua instalação. A ligação com a fundação (Fig. 47) é realizada através da injeção de materiais cimentícios desenvolvidos especificamente para este fim. Esta ligação tem aspetos particulares que foram motivados pela resolução de problemas encontrados em algumas das ligações.

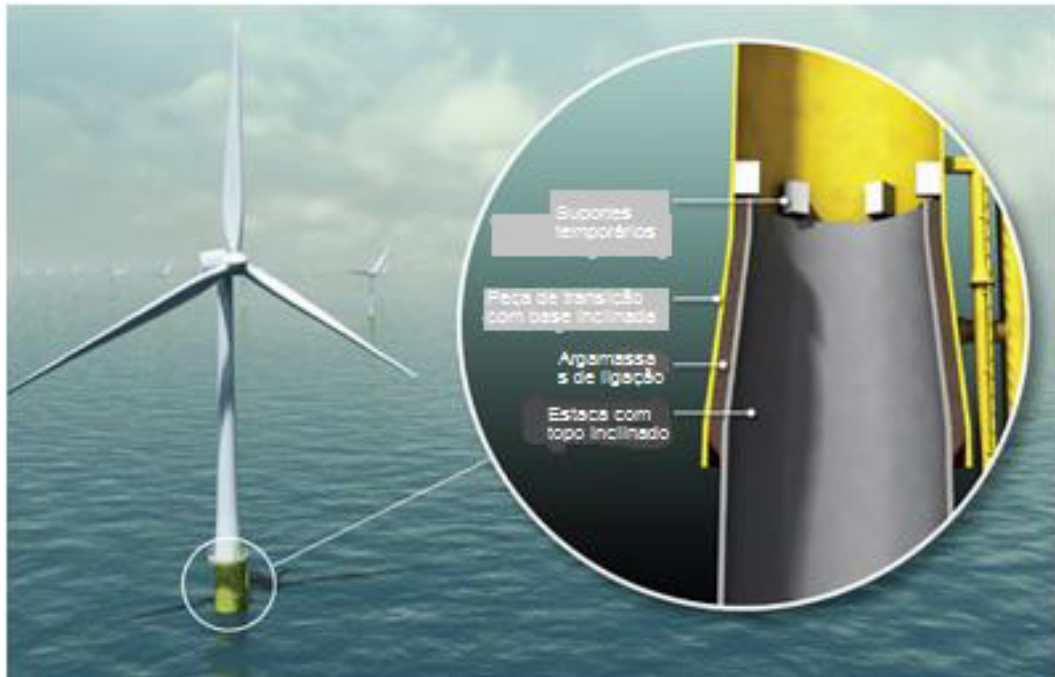


Fig. 47 – Pormenor da ligação entre a fundação e a peça de transição (DNV GL 2011)

Na montagem deste elemento são incluídos vários componentes menores, como os “tubos J”, que facilitam as conexões elétricas da turbina, e as plataformas necessárias para facilitar a manutenção garantido um acesso seguro e uma plataforma de trabalho segura (Fig. 48).



Fig. 48 – Plataforma de trabalho numa peça de transição (EWE AG 2012)

3.3.3. CABINE

A cabine de um aerogerador marítimo é visualmente semelhante à encontrada em terra contudo apresentam dimensões superiores, tendo como função proteger os equipamentos contidos dentro desta considerando que o ambiente marinho é mais agressivo que o encontrado em terra. Um dos assuntos com maior relevância para a cabine de um aerogerador no mar é a impermeabilidade à água e a

estanquidade necessária para manter no interior as condições adequadas ao funcionamento. As cabines também apresentam outras particularidades como a existência de um guindaste dentro da cabine para elevar as cargas necessárias para a manutenção e reparação.

Em alguns casos existe na cabine uma plataforma para descer via helicóptero o pessoal necessário para realizar reparações e manutenções (Fig. 49), esta característica pode ser vantajosa em alguns parques eólicos onde durante grandes períodos é impossível aceder de barco devido à ondulação.



Fig. 49 – Equipa de manutenção a ser transferida via helicóptero (AREVA Wind GmbH 2013)

3.3.4. ROTOR

O rotor usado num aerogerador no mar é semelhante ao encontrado em terra. Os materiais usados e o processo de fabrico são idênticos, mas a dimensão é superior fruto da evolução da potência dos aerogeradores instalados no mar (Fig. 50). O transporte destes elementos apresenta alguns desafios no que diz respeito ao transporte até ao local de montagem, existindo diversos métodos para o fazer, como o transporte do rotor completo (montado em terra – Fig. 45), transporte do cubo e das pás (montado junto ao aerogerador) ou parcialmente montado com a cabine (Fig. 51).

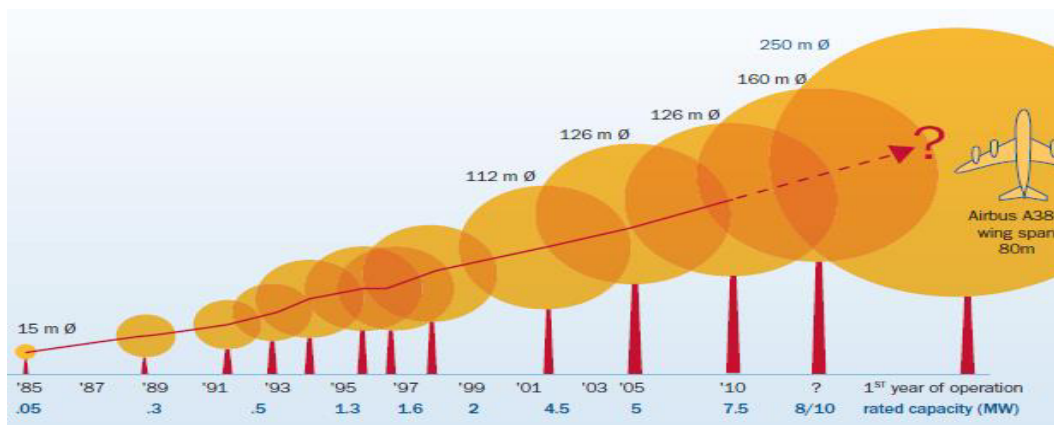


Fig. 50 – Evolução da envergadura dos aerogeradores (UpWind 2011)



Fig. 51 – Transporte de rotor parcialmente montado e cabine do aerogerador Alstom Haliade 150 (Job 2013)

3.3.5. INFRAESTRUTURA ELÉTRICA

A infraestrutura elétrica de um parque eólico tem três aspetos na sua génese: a fiabilidade dos sistemas conseguida através da redundância; o maior custo dos componentes, bem como do seu transporte e montagem e a distância do transporte de energia até terra. É evidente que para grandes parques eólicos esta infraestrutura é um sistema de elevada complexidade.

Os componentes desta infraestrutura são:

- Sistema de ligação interno do parque (“*Internal Array*”);
- Subestação Marítima (“*Offshore Substation*”);
- Cabos de ligação a terra (“*Export Cables*”);
- Ligação à rede de distribuição (“*Conception to Grid*”).

Para estes quatro componentes existem diferentes soluções, mas para a sua seleção e análise é necessário considerá-los como um todo e não como diferentes partes. É de seguida apresentado exemplos de cada um dos componentes.

3.3.5.1. Sistema de Ligação Interno do Parque

Este elemento faz a ligação elétrica entre os aerogeradores e o transformador no mar (Fig. 33 e Fig. 52), usando uma configuração radial, em que o número máximo de aerogeradores por ramo depende da capacidade do cabo. Cada aerogerador tem associado cerca de 1 quilómetro de cabo e diversos acessórios para a ligação. Estes cabos (Fig. 52) são constituídos por 3 núcleos de cobre e incluem fibra ótica. Em grande parte dos sistemas é usada corrente alternada de média voltagem (20 a 33 kV).

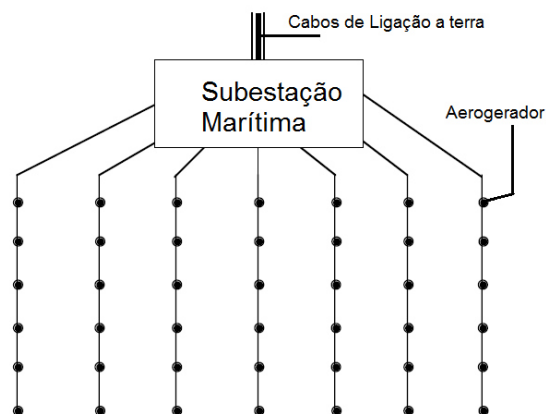


Fig. 52 – Esquema do sistema de ligação interno do parque, adaptado de (Patel 2012, p. 305)

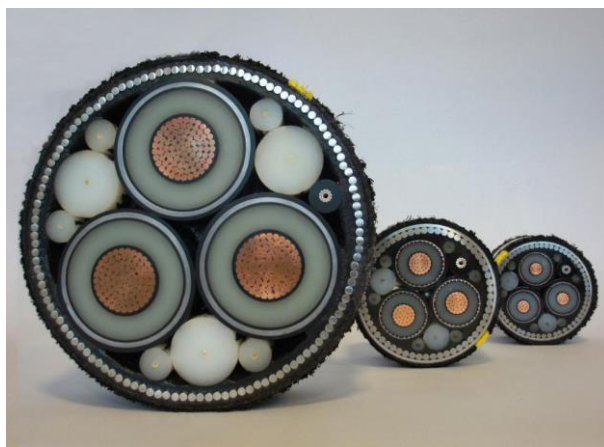


Fig. 53 – Corte transversal de diversos cabos submarinos (NSW 2012)

Durante a instalação, estes cabos são colocados em valas com profundidades entre 1 e 2 m de profundidade para os proteger de danos externos, causados por exemplo pelas âncoras das embarcações.

3.3.5.2. Subestação Marítima

A Subestação Marítima (Fig. 54) trata-se de um “edifício” que para além de acolher todo o equipamento elétrico necessário para transmitir a energia por longas distâncias (corrente contínua) ou distância mais curtas (corrente alternada) em alta tensão (150 kV), pode conter uma pequena oficina para reparações, ou então poderá ser utilizado como espaço de acomodação temporária ou permanente para os operários. Esta subestação é geralmente construída em terra e depois transportada até ao local, onde é instalada sobre uma estrutura de suporte previamente erigida, sendo empregues fundações por treliça ou tripé.



Fig. 54 – Transporte em barça da Estrutura de Suporte e Subestação Marítima (Bladt Industries A/S 2012?)

3.3.5.3. Cabos de Ligação a terra

Estes cabos servem para transportar a energia produzida até terra, ligando a subestação à terra. São usados cabos especiais capazes de transportar grandes quantidades de energia. Estes cabos encontram-se protegidos, normalmente através da introdução em uma vala profundidade mínima de 2 metros e junto aos aerogeradores pela camada de armadura. Nesta operação é usado equipamento especializado capaz de abrir a vala, enterrar o cabo e fechar a vala em apenas uma operação. Nesta operação são também empregues outros meios como mergulhadores ou veículos operados remotamente que auxiliam os trabalhos

3.3.5.4. Ligação à Rede de Distribuição

Esta ligação é realizada de modo muito semelhante visto para os parques eólicos em terra. Ocorrendo maioritariamente em terra, passando pela construção de valas, de subestação elétrica em terra e dos mais diversos trabalhos de construção civil e infraestrutura elétrica. Os trabalhos servem para conectar o parque eólico à rede energética.

3.3.6. EXEMPLOS DE PARQUES EÓLICOS MARÍTIMOS

A construção de parques eólicos marítimos, para a produção industrial de energia elétrica, foi iniciada em 1991, contudo só recentemente a construção de parques eólicos no mar tem ganho ímpeto. Os parques eólicos marítimos apresentam dimensões superiores às encontradas em terra, o que torna estes parques, uma oportunidade atrativa para grandes investidores e empresas de distribuição de energia.

São apresentados de seguida dois exemplos de parques eólicos em terra.

3.3.6.1. Exemplo A: Parque Eólico Dogger Bank

O primeiro é o Parque Eólico Dogger Bank situado na costa de Inglaterra no Mar do Norte (Wikipedia contributors 2015a).

Este parque trata-se na verdade de seis parques eólicos distintos, cada um com uma potência nominal de 1,2 Gw, resultando num total de 7,2 GW. Estes parques encontram-se ainda em desenvolvimento pela Forewind, um consórcio de quatro empresas (SSE, RWE, Statoil e Statkraft). Em fevereiro de 2015 foi concedida a autorização por parte do governo para a construção de 200 turbinas por parque,

em dois dos parques. Este projeto cobre uma área de 8660 km² e encontra-se a uma distância da costa entre 125km e 290 km, com profundidades compreendidas entre os 18m e os 63m.



Fig. 55 - Localização do Parque Eólico Dogger Bank (Forewind 2011)

3.3.6.2. Exemplo B: Parque Eólico Walney

O segundo exemplo é o Parque Eólico Walney, situado na costa de Inglaterra no Mar da Irlanda (DONG energy 2015a). Este parque é propriedade da Dong Energy. Encontra-se em operação desde 2012. Tem atualmente 367 MW de potência, obtidos através de 102 turbinas eólicas Siemens SWT 3.6. Contudo já está planeado uma expansão em duas fases com 660 MW adicionais (DONG energy 2015b).

Este projeto ocupa uma área com cerca de 73 km², a cerca de 14 km da costa, com profundidades compreendidas entre os 19 e os 23 metros. Neste projeto a solução técnica usada para concretizar as fundações foi do tipo estaca (“*monopile*”). A construção deste parque durou cerca de 2 anos e teve um custo estimado de 1,2 mil milhões de libras.



Fig. 56 - Parque Eólico Walney (DONG energy 2015c)

3.3.7. MEIOS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO

A construção de um parque eólico marítimo é um trabalho complexo e desafiante, envolvendo vários intervenientes e diferentes trabalhos (dragagens, montagem de componentes elétricos, transporte e instalação das fundações e dos aerogeradores, instalação dos cabos submarinos, entre outros). Estes trabalhos requerem diversos meios para concretizar o projeto, nomeadamente de diversos equipamentos especializados, os tripulantes e operadores desses equipamentos e as infraestruturas de apoio.

3.3.7.1. Equipamentos

Os equipamentos utilizados neste tipo de empreendimento dividem-se em dois grupos, os equipamentos terrestres usados noutros tipos de trabalhos em terra e os equipamentos para trabalhos marítimos usados em trabalhos especializados.

Os equipamentos terrestres são maioritariamente usados na construção da infraestrutura necessária em terra, isto é, na construção da subestação elétrica, do edifício de comando, da ligação à rede de distribuição e na abertura de valas para a passagem em terra. Pontualmente podem ser usados para auxiliar os meios marítimos nos portos, por exemplo, ajudando as cargas e as descargas ou na montagem dos componentes, recorrendo a uma grua móvel. Podem por tanto ser considerados como equipamentos correntes e de fácil aquisição.

Para as atividades de construção implementadas no mar os diferentes intervenientes necessitarão de diversas embarcações que possuem as ferramentas adequadas a cada tarefa. Sendo de seguida apresentada uma pequena lista com os principais equipamentos usados no mar:

- Barcaças com ou sem capacidade de elevação (“*Barges*”);
- Navios de instalação de parques eólicos (“*Wind Farm Installation Vessel*”);
- Navios de elevação de cargas elevadas (“*Heavy Lift Vessel*”);
- Navios de suporte ao mergulho (“*Air Range Diving Support Vessel*”);
- Navios de instalação de cabos submarinos (“*Cable Lay Vessel*”);
- Navios para acomodação de operários (“*Flotel*”);
- Navios de carga, transporte e descarga de inertes (rochas, britas) (“*Rock Dump Vessel*”);
- Embarcações de apoio (transporte) (“*Offshore Support Vessel*”).

A seleção destes equipamentos é um processo iterativo iniciado na fase de projeto, onde são definidas as características de desempenho das embarcações e dos equipamentos. Na fase de seleção são avaliadas as condições de cada navio, a qualificação da sua tripulação e aspetos operacionais, sendo depois avaliados aspetos de gestão, responsabilidades e coordenação, por fim são selecionados os equipamentos melhor avaliados.

3.3.7.2. Infraestruturas

A construção de um parque eólico não requer apenas os equipamentos a cima referidos. Outro aspeto importante são as infraestruturas presentes em terra de apoio à construção. Estas devem possuir as características necessárias para realizar em segurança.

Na construção de um parque eólico são necessários vários tipos de espaços como por exemplo, um ou mais portos, caís para cargas e descargas, zonas de montagem, depósitos para materiais, acessos, zona administrativa, segurança e espaços de reunião.

3.3.7.3. Recursos Humanos

Independentemente do tipo de obra, os recursos humanos são sempre importantes, uma vez que sem elas é impossível concretizar a obra. Na construção de um parque eólico marítimo podem estar envolvidas centenas de pessoas das mais diversas áreas profissionais, para a produção, planeamento, controlo, logística, segurança, apoio ou montagem. No entanto devido aos riscos associados a estes trabalhos, a formação em diversas áreas é fundamental para garantir a segurança de todos.

4

DESAFIOS ENCONTRADOS, NA PERSPETIVA DA DIREÇÃO DE OBRA

4.1. ENQUADRAMENTO

O papel da Direção de Obra, em qualquer tipo de obra, está centrado no planeamento, na preparação da obra, na gestão dos trabalhos e na resolução de conflitos (Coutinho 2013).

De forma transversal a qualquer tipo de empreitada, para a preparação da obra a DO planeia os recursos produtivos, ou seja, deve rever o orçamento comercial e produzir o orçamento para a produção com base no mapa de tarefas e quantidades. No processo de “estudar” a empreitada deverá fazer uma revisão do projeto, isto é, analisar todos os documentos disponíveis procurando possíveis erros e omissões. Depois de compreendida a empreitada é então possível definir a estrutura produtiva da obra e realizar o planeamento. Outras tarefas passam pelo estudo da organização física do estaleiro de obra, organização geral administrativa e a organização do trabalho e chefias.

Durante a empreitada a DO tem funções diversas como as ligadas à gestão dos recursos produtivos (Mão de obra, Materiais, Equipamentos e Subempreitadas), o controlo de prazos, o controlo de custos, a preparação dos trabalhos, a coordenação da equipa de obra, a gestão de alterações (trabalhos a mais, a menos ou extra, variantes, fornecedores ou subempreiteiros) e garantir a segurança e saúde dos trabalhadores.

É preciso também realçar que algumas destas obrigações da DO podem ser delegadas a outras divisões da empresa, como por exemplo o apoio da divisão de serviços administrativos no cálculo de horas de trabalho e da remuneração.

O papel multifacetado da Direção de Obra na construção de um parque eólico marítimo origina diversos desafios únicos a superar. Aproveitando os conhecimentos adquiridos com a pesquisa bibliográfica e aqueles resultantes do estágio, são apresentados os alguns dos desafios encontrados.

4.2. PREPARAÇÃO E PLANEAMENTO DA OBRA

A Preparação e o Planeamento da Obra são de extrema importância para o correto andamento dos trabalhos, dentro dos prazos, dos custos e em segurança, de forma a respeitar os compromissos contratuais. A DO inicia este processo imediatamente após ser dada a decisão de adjudicação dos trabalhos para quais concorreu, para que esteja pronta no início dos trabalhos. Nesta fase a DO utiliza a documentação originada pelo processo de concurso, detalhando-a e preenchendo lacunas existentes,

o que implica a estreita colaboração com outros departamentos da empresa. A Preparação da Obra tem como objetivo adaptar o projeto à empreitada. Num primeiro momento na preparação da obra, a DO necessita de rever o projeto e o orçamento comercial.

Na revisão do Orçamento Comercial (apresentado no concurso) é realizada uma análise com uma maior atenção ao projeto, avaliando as medições que estiveram na base do contrato, verificando a existência de tarefas omissas e por fim são atualizados e corrigidos os preços unitários das tarefas, substituindo os custos apresentados no concurso pelos custos reais das tarefas. Com base nesta revisão é preparada uma base de trabalho para os “Erros e Omissões” a apresentar ao promotor e para a elaboração do Orçamento para a Produção.

Atividade		Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Importância	
Ref. ^a	Designação				Parcial	Total

Fig. 57 – Cabeçalho-tipo para o Mapa de Tarefas e Quantidades

O Orçamento para a Produção trata-se da revisão do orçamento comercial e representa os custos reais que a empresa terá na realização da empreitada. Neste documento são colocadas de forma mais correta as tarefas necessárias, as quantidades e os preços unitários. Comparando os dois orçamentos é possível ver o lucro total esperado da realização da empreitada.

O passo seguinte da DO é a criação do Mapa de Produção. Neste documento as tarefas apresentadas no orçamento de produção são decompostas nos quatro recursos produtivos básicos (Mão-de-obra, Materiais, Equipamentos e Subempreitadas). As subempreitadas já estão definidas em fase de concurso devendo a DO finalizar as negociações com os subempreiteiros escolhidos.

Atividades		Unidade	Quantidade	Mão-de-Obra		Materiais		Subempreiteiro		Totais	
Ref. ^a	Designação			Unitário	Total	Unitário	Total	Unitário	Total	Unitário	Total

Fig. 58 – Cabeçalho-tipo para o Mapa de Produção

De seguida é realizado o plano de trabalhos, baseando-se no programa de trabalhos. Este programa depende de estratégia de contratação do promotor e do número de intervenientes. Dando o exemplo da construção de parques eólicos em terra, quando é optado pela realização de vários contratos, o programa de trabalhos é definido pelo promotor, no entanto quando é optado por um contrato EPC, o programa de trabalhos é definido pela empresa. No planeamento é definido o encadeamento das tarefas, a duração e os métodos e os meios de execução necessários. Geralmente o resultado deste planeamento é representado na forma de um gráfico de Gantt.

No encadeamento a empreitada é dividida em tarefas elementares (existindo vários níveis de detalhe na divisão das tarefas), criando uma listagem das tarefas, e para as quais são definidas as relações entre as tarefas. Os cálculos da duração das tarefas são realizados a partir dos rendimentos, obtido por exemplo de tabelas técnicas ou de dados estatísticos da empresa. Relativamente aos Métodos e Meios, a DO deve preparar as orientações sobre como os trabalhos devem ser realizados, bem como avaliar a capacidade dos equipamentos (próprios ou alugados) na realização desses trabalhos.

Na posse destes três elementos é possível então concretizar o planeamento dos trabalhos, permitindo então definir aspetos como as tarefas do caminho crítico, datas e margens características das tarefas, ou realizar a previsão de custos mensais da obra (associando os custos a afetar aos recursos à calendarização das tarefas) e a previsão de receitas (comparando o orçamento comercial com o orçamento para a produção).

Outro ponto importante para a DO é a Preparação Técnica do trabalho, onde é analisado e revisto o projeto logo após a adjudicação. Consiste no estudo do projeto, o que permite encontrar erros e omissões presentes e fazer a revisão do orçamento comercial. Também é importante na definição do âmbito da empreitada, no planeamento da obra e para a definição da empreitada. Este estudo permite à DO comprovar se os métodos que serviram de base à proposta são realmente executáveis e se são a melhor forma das tarefas serem realizadas.

A preparação do trabalho também implica atividades como a pormenorização de cofragens e armaduras e também à adaptação dos projetos dividindo-os e preparando-os para as frentes de trabalho.

Ligada à Preparação Técnica surge a necessidade da DO orientar e coordenar outros departamentos na preparação de diversos planos e procedimentos ligados por exemplo à higiene, saúde e segurança no trabalho, o ambiente, ou à recolha e verificação da documentação necessária dos fornecedores e subempreiteiros.

Por fim, é necessário que a DO planeie o estaleiro de construção (em terra e no mar). A preparação deste estaleiro tem como objetivos definir as necessidades para o estaleiro, contendo uma descrição da ocupação, identificando inequivocamente os diferentes usos, em tudo semelhante a um qualquer estaleiro de uma grande obra. Contudo pelo facto do estaleiro tratar-se de um porto há alguns aspetos particulares que é necessário atender, como a: segurança e controlo dos operários, características do cais para permitir as atracagens, cargas e descargas.

Depois de analisado o papel da DO, alguns dos desafios encontrados na preparação e no planeamento são:

- Preparação Técnica do Trabalho.
- Análise dos Métodos e Meios Necessários: Na construção de um parque eólico no mar há uma grande pressão para cumprir prazos, pois qualquer dia de atraso ou de avanço implica grandes quantias monetárias (da ordem de 1 milhão de euros por dia), devido a custos associados com os diversos equipamentos e com multas ou prémios definidas no contrato, por este motivo a correta escolha dos métodos de execução e dos equipamentos é um aspeto crítico para o sucesso da DO.
- Identificação e Gestão de Falhas e Riscos: Todas as atividades tem riscos associados, contudo a identificação dos riscos de uma atividade no mar carece da experiência que a DO em terra pode não possuir. Ao não avaliar todos os riscos ou as falhas existentes numa tarefa a DO pode tomar uma decisão incorreta que poderá originar custos elevados para remediar o problema.
- Duração das tarefas presentes no Plano de Trabalhos: Na construção de parques eólicos os rendimentos estão muito dependentes das condições ambientais, uma vez que estes limitam o tempo em que podem ser realizados os trabalhos com a segurança exigida. Em terra a maior limitação existente prende-se com a velocidade do vento que não pode exceder os limites de segurança. No mar para além do vento é necessário considerar a altura da ondulação como fator limitativo. Tendo em conta todos estes fatores, na realização do planeamento é considerado o registo das condições climáticas do local, contudo existe uma grande incerteza do estado do tempo aquando a realização da, podendo ser melhor ou pior do que o esperado.

4.3. ORGANIZAÇÃO

Depois de definida a empreitada cabe à DO organizar a equipa, o apoio administrativo à obra e a organização do trabalho e chefias operárias. Iniciando pela organização do trabalho e das chefias, a DO depois definir o âmbito dos trabalhos, as características da obra e de elaborar o plano de trabalhos está em posição para definir aspetos como as frentes de trabalho, o encarregado geral, os encarregados de frente, podendo criar o organograma dos envolvidos na produção (Fig. 59).

A DO deve também decidir sobre o grau de apoio presente em obra, como por exemplo o número de adjuntos, técnicos de obra, preparadores, apontadores, administrativos necessários para o correto funcionamento da estrutura produtiva. O grau de apoio depende da maior ou menor quantidade de trabalhos a realizar, isto é, se o âmbito de trabalhos for “somente” as fundações, a equipa será significativamente menor do que no caso de ser o empreiteiro principal num contrato do tipo EPC.

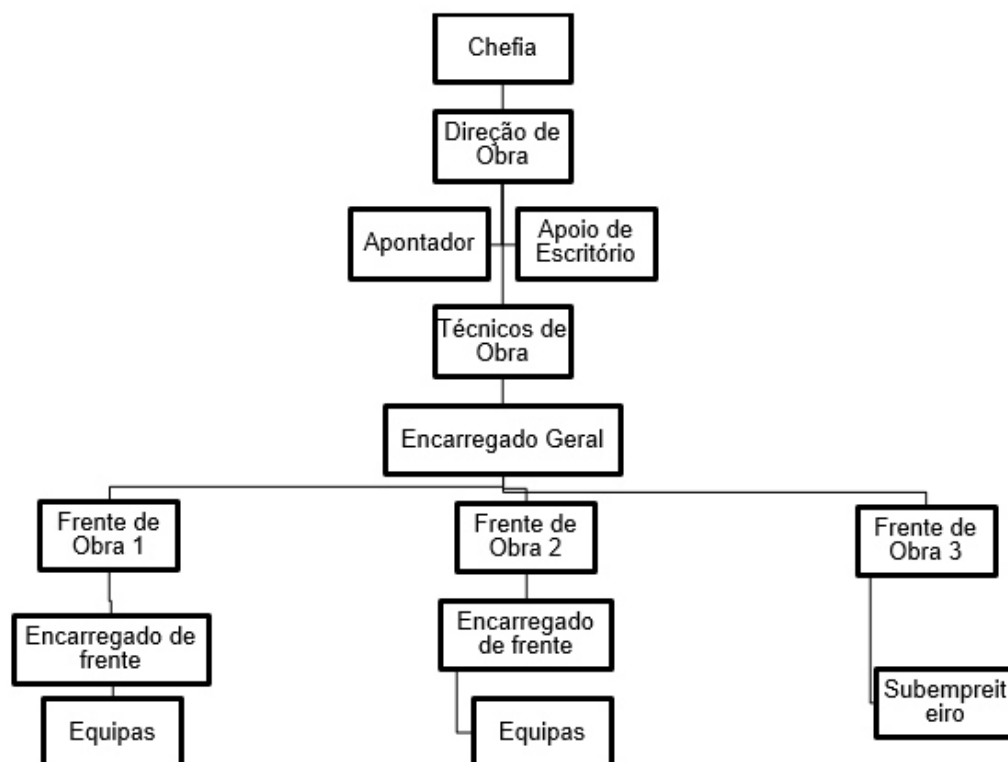


Fig. 59 – Exemplo de Organograma-tipo de equipas produtivas

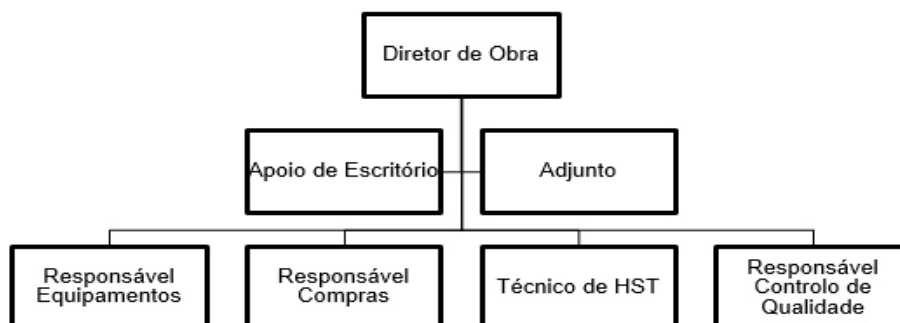


Fig. 60 – Exemplo de Organograma-tipo de equipa de apoio à DO

Outro ponto onde a DO deve atuar na organização é no estaleiro. Um bom estaleiro é necessário para cumprir o prazo e os custos. A construção de parques eólicos marítimos exige estaleiros complexos, de enormes dimensões, repletos de equipamentos de grandes dimensões, o que se traduz em custos indiretos elevados para manter e operar o estaleiro. Outro problema da complexidade do estaleiro e da movimentação de grandes cargas é o grande risco de acidentes de trabalho.

Para além das preocupações sobre as características que os estaleiros devem possuir, debatidas no ponto anterior, na organização do estaleiro é necessário realizar a disposição das instalações fixas e dos meios de apoio necessários, ou seja, definir as diferentes áreas de trabalho para as diferentes atividades, os depósitos de materiais e as vias de acesso.

Numa primeira fase é preciso definir os serviços e meios fixos a instalar, seguidamente é necessário atribuir as áreas, tipo de construção e forma geométrica, por fim é realizada a implantação física. Neste processo é tido em conta as relações entre os serviços e meios fixos a instalar de modo a otimizar os fluxos de trabalho.

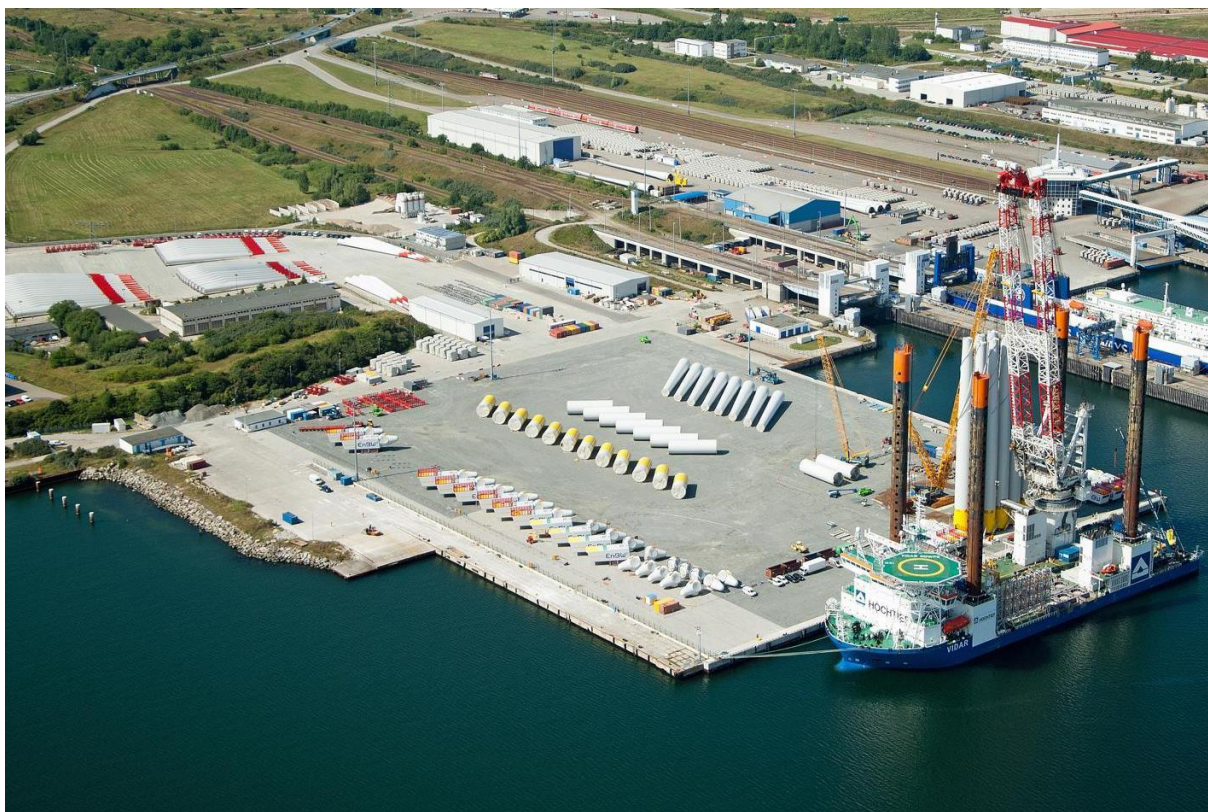


Fig. 61 – Porto de apoio à construção de parques eólicos marítimos, na Alemanha (Fährhafen Sassnitz GmbH 2013).

Depois de analisado o papel da DO, o principal desafio encontrado durante a organização é:

- Otimização da Organização espacial do estaleiro. A otimização do estaleiro é um processo iterativo baseado nas relações entre os espaços, contudo a complexidade dificulta o processo. Mas permite poupanças ao nível dos custos indiretos, relacionados com os transportes dentro do estaleiro.

4.4. CONTROLO

Outro papel da DO é avaliar a execução dos trabalhos e comparar com o plano de trabalhos. Para tal efetua o controlo dos aspetos mais importantes como os prazos, os custos, a qualidade, a segurança e saúde dos operários. Este controlo é feito com base no sistema de controlo adotado pela empresa.

O controlo de custos é um dos mais importantes controlo para a gestão da obra. A DO tem a necessidade de monitorizar os custos de forma a avaliar a sua evolução dos custos comparando com o previsto, encontrando desvios e, deste modo, podendo atuar nas suas derrapagens no custo com medidas corretivas. Contudo para fazer este controlo de custos é necessário registar, de forma correta e precisa, todos esses custos de forma a obter os custos mensais da obra. Contudo esse controlo de custos é dependente do trabalho realizado, para tal é necessário avaliá-lo. Para avaliar os trabalhos realizados existem diversos métodos. O primeiro é proceder a medições mensais dos trabalhos executados (autos de medição de trabalhos – Fig. 62), o segundo método é através de matrizes de consumo, onde são controladas as quantidades de materiais usados para estimar a quantidade de trabalhos realizados.

Ref. ^a	Designação	Un	Q	€/Un	€	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%
						Auto do mês X		Acumulado do mês X-1		Auto do mês X		Acumulado do mês X	

Fig. 62 – Cabeçalho-tipo do auto de medição

Outro controlo importante para a DO é o controlo de prazos. O cumprimento de prazos é importante porque neste tipo de obras, as datas de conclusão são essenciais, uma vez que existem muitas pesadas pelo incumprimento de prazos. Para realizar o controlo dos prazos a DO necessita de balizamentos (Fig. 63), onde contém as informações da obra tal como as quantidades totais concretizadas para cada tarefa. Comparando o programa de trabalhos com os balizamentos através de técnicas de comparação é possível para a DO detetar os desvios existentes. Esses desvios podem exigir a reprogramação do plano de trabalhos ou então a implementação de algumas ações para corrigir estes desvios, especialmente se estes estiverem no caminho crítico.

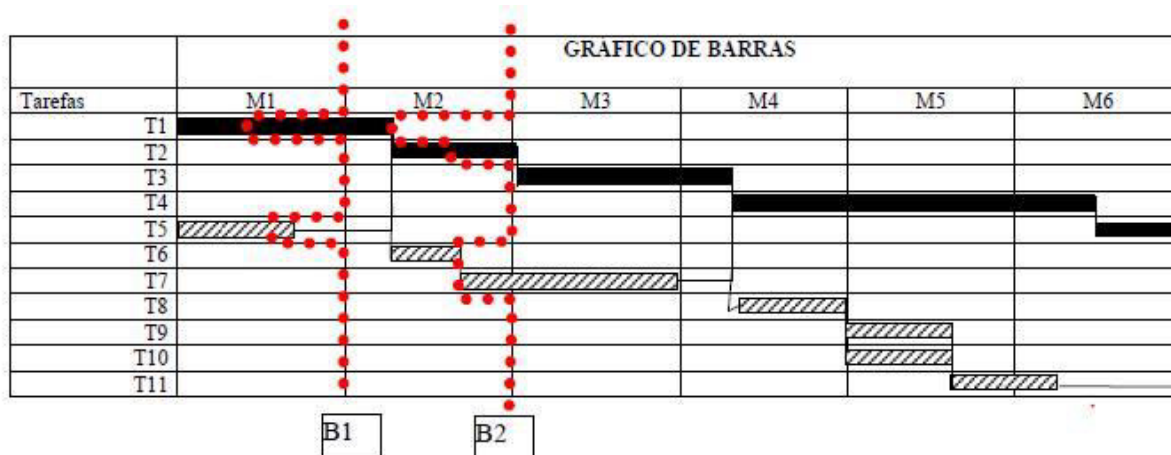


Fig. 63 – Exemplo de Balizamento (11 tarefas e 2 duas medições)

O controlo da Segurança e Saúde dos trabalhadores é também importante, uma vez que a DO tem grandes responsabilidades nesta temática. Este controlo é usualmente realizado por elementos não afetos à DO, especializado na temática da segurança. Um aspeto importante é a legislação aplicada,

que para além de ser a do país onde se encontra o trabalho e o estaleiro, mas como se trata de uma construção no mar, em alguns casos é realizada fora da zona de jurisdição desse país, tendo nesses casos de ser utilizada legislação internacional, é entendida então, a necessidade de respeitar várias leis no domínio da segurança.

É preciso salientar que existem outros controlos, como o controlo da qualidade (neste tipo de obras realizado por elementos externos à DO), o controlo da produção ou o controlo de produtividade.

Depois de analisado o papel da DO, alguns dos desafios encontrados no controlo são:

- Controlo e Mitigação de Derrapagens nos custos: O controlo de custos rigoroso neste tipo de obras, onde existem um elevado número de tarefas simultâneas, é dispendioso e moroso. Pelo que as formas tradicionais, que requerem grande envolvimento da DO, usam muitos recursos e são demoradas. Estes três pontos negativos diminuem a eficácia do controlo de custos, pois as medidas de mitigação só serão implementadas muito depois dos desequilíbrios.
- Controlo e Mitigação de Derrapagens nos prazos: Pode ser aplicada a mesma justificação dada para o controlo de custos.

4.5. GESTÃO

Durante a execução da obra a DO tem um papel de gestão. Destacando-se a gestão de recursos produtivos. Relativamente à gestão da mão-de-obra, a DO tem diversas funções como: definir a movimentação do pessoal dentro da obra, ou seja, definir em que equipa ou frente de obra irão laborar, contratar ou dispensar trabalhadores, tratar da logística de apoio ao pessoal, fornecendo a alimentação, dormidas e transporte necessários.

Relativamente à gestão de Equipamentos, para o caso da construção de um parque eólico marítimo onde são utilizados um elevado número de equipamentos, a gestão de equipamentos depende em grande parte se estes são equipamentos da empresa ou alugados. A primeira decisão de gestão da DO é a compra, troca, venda ou aluguer de equipamentos, tendo como finalidade a escolha das soluções mais económicas. Para equipamentos alugados toda a logística, consumos, manutenção e reparações estão normalmente incluídas no contrato de aluguer, deixando de ser uma preocupação. Enquanto os equipamentos próprios é necessário gerir a manutenção e reparação dos equipamentos, os pagamentos de seguros e impostos, bem como a gestão da oficina, logística de reparação e de consumíveis. Resumidamente, a DO faz o controlo da gestão dos equipamentos através do estudo dos custos, produtividade e a avaliação económica de alternativas.

Relativamente à gestão de Materiais a DO, tem como objetivo assegurar um fornecimento regular, atempado e ao melhor preço dos materiais até às obras. Devendo controlar aspetos como a receção de materiais, controlando a qualidade, a quantidade, as quebras e o inventário. A DO é responsável pela conferência e da ordem de pagamento das faturas.

Passando à gestão de Subempreiteiros, esta passa pelo enquadramento no planeamento da obra, o controlo da qualidade, da faturação e na preparação técnica dos subempreiteiros.

No entanto surgem outras áreas que a DO tem de gerir. Um desses exemplos é a gestão documental, isto é, a organização da documentação, das alterações feitas ao projeto e dos registos de todos os trabalhos realizados. Este registo é fundamental pois para além de permitir a realização das telas finais da obra, funciona como uma prova da boa realização dos diversos trabalhos.

Outro aspeto na construção de parques eólicos marítimos que é necessário gerir são as Interfaces. As interfaces, que são os pontos onde um interveniente assume ou transfere parte ou todo do seu trabalho para outro, por exemplo é o momento em que o empreiteiro de construção civil passa as fundações para o empreiteiro da instalação mecânica, sendo a fronteira entre os diversos âmbitos de trabalho. Por outras palavras é o momento em que a responsabilidade por um produto passa de um empreiteiro para outro.

Depois de analisado o papel da DO, alguns dos desafios encontrados na gestão são:

- Gestão eficiente dos Equipamentos: Na construção de parques eólicos marítimos os custos com equipamentos são uma parte importante do orçamento para a produção. Assim sendo, uma gestão correta dos equipamentos permitirá uma diminuição significativa dos custos de produção.
- Gestão da cadeia logística: Este aspeto é um dos mais importantes para a DO, pois para a realização de uma tarefa é necessário que sejam atempadamente reunidos os recursos produtivos, isto é, é necessário os equipamentos certos, a mão-de-obra em número suficiente e com a qualificação requerida e os materiais necessários para essa tarefa. Quaisquer atrasos ou erros em um destes elementos causará atrasos para o empreiteiro, logo perdas a nível monetário. Assumindo que poderão estar envolvidas dezenas a centenas de tarefas (conforme o nível de detalhe do planeamento) é facilmente compreensível o desafio de gestão para a DO.
- Gestão documental: O grande número de diferentes documentos que a DO deve gerir é um enorme desafio logístico, uma vez que todos os dias são produzidos e alterados documentos. Além do ponto anterior, o elevado número de profissionais envolvidos e o número de circuitos de comunicação paralelos deve ser considerado. Esta gestão é importante para a resolução de conflitos entre empreiteiros e o dono-de-obra.
- Gestão de interfaces: A correta gestão das interfaces é fundamental, pois são pontos onde é muito possível existirem conflitos entre as partes. Na construção de um parque eólico e mesmo que só hajam três intervenientes (o Promotor, o Empreiteiro de Construção Civil e o Empreiteiro de Montagens Mecânicas) existirão várias dezenas de interfaces entre estes.

4.6. FERRAMENTAS DA DO

A DO, tal como visto nos pontos anteriores, tem de responder a diversos desafios. O número e a relevância dos mesmos reforça a ideia que a DO deve ser feita por uma equipa multidisciplinar, especializada. Contudo para responder a estes desafios não basta apenas ter uma boa equipa na DO que use os meios tradicionais, para por exemplo controlar a obra usando registos em papel, trocas de informação pouco eficientes e folhas de cálculo.

Dando como exemplo as empresas ligadas à construção de parques eólicos em terra é possível assistir à aposta na inovação como o motor para o incremento da eficiência e, deste modo, aumento da competitividade. Para tal a DO pode recorrer a diversas ferramentas para melhorar o desempenho global da obra. Uma das ferramentas / estratégias pode passar pela terceirização (*outsourcing*) de certas tarefas especializadas pelas quais a DO não tem responsabilidade direta mas tem um papel cordenador, como por exemplo a gestão da manutenção das embarcações.

Outra das ferramentas poderá passar pelo uso de ferramentas informáticas, como os programas de ERP (como por exemplo o SAP) que permite juntar num único programa tarefas que seriam muitas vezes controladas e geridas usando diversas aplicações. Outro tipo de ferramenta informática com elevada relevância são os programas BIM (como por exemplo o Autodesk Navisworks) que permitem realizar

diversas tarefas como o planeamento do estaleiro, planeamento da obra (4D), planeamentos dos custos (5D) e diversos tipos de simulações e análises.

Por fim, a DO poderá adotar filosofias que melhorem a eficiência e reduzam o desperdício, como a *Lean Construction*.

5

CONCLUSÃO

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objeto do presente trabalho foi o estudo da construção de parques eólicos marítimos, nomeadamente dos processos e a Direção de Obra. Para tal, foi estudado a energia eólica e as tecnologias construtivas empregues, tendo como referência os conhecimentos adquiridos sobre parques eólicos terrestres.

Globalmente foram atingidos os objetivos propostos para esta dissertação, uma vez que foi apresentada a informação relevante, obtida através de pesquisa bibliográfica e dos conhecimentos adquiridos na Martifer Renewables, e também são apresentadas na parte final deste trabalho uma reflexão sobre a Direção de Obra.

A Energia Eólica é aproveitada pelo Homem há diversos milénios, contudo o seu uso para a produção de energia elétrica iniciou-se apenas á um século, estas máquinas pioneiras pouco têm em comum com o estado de arte atual, que nestes últimos anos sofreu evoluções drásticas. A popularidade desta fonte energética pode ser em parte explicada pela política de incentivos existentes, fiabilidade, baixos custos de produção e ligeiros impactos no meio envolvente. O crescimento verificado neste setor tem gerado diversos postos de trabalho diretos e indiretos, em vários setores, como o desenvolvimento de parques eólicos ou a construção dos mesmos.

O desenvolvimento de novos parques eólicos passa também pela construção de parques eólicos marítimos, como já é possível constatar no Reino Unido e na Alemanha. Este tipo de construção apresenta desafios para a Engenharia Civil, no entanto alguns destes são comuns outros tipos de obras, onde a Engenharia Civil já possui um elevado conhecimento.

Outro aspeto importante para a DO foi a compreensão dos processos, para tal é necessário o domínio das tecnologias e das soluções construtivas empregues na construção de parques eólicos, foi então possível encontrar pontos comuns e as principais diferenças que são encontradas. As principais diferenças entre os dois prendem-se com a maior complexidade encontrada nos parques eólicos marítimos e com as maiores dimensões dos componentes. Traduzindo-se em vários equipamentos especializados para o transporte, construção e montagem de todos os componentes, com o intuito de incrementar a produtividade, a segurança dos trabalhadores e a redução dos custos para o empreiteiro.

Analisando o papel a DO de forma a apontar e debater os principais desafios, foi possível constatar que alguns destes são comuns a outros tipos de obra, devido ao papel desempenhado pela DO, no entanto surgem outras resultantes das particularidades de construir algo no mar. Como no caso do Aprovisionamento e Transporte dos diversos componentes, a coordenação das diversas equipas produtivas.

Sendo possível afirmar, na forma de remate, que a Direção de Obra realizada por um Engenheiro Civil é algo possível e válido, especialmente quando ligado às áreas típicas da Engenharia Civil, como a instalação de fundações. Outro aspeto a realçar é a mais-valia existente da experiência possuída na construção de parques eólicos terrestres uma vez que grande parte dos desafios é comum aos dois ambientes de trabalho

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O setor das Energias Renováveis representa um mercado global em crescimento, que tem crescido nestes últimos anos um pouco por todo o mundo, sendo expectável que assim continue. Este setor está aberto ao progresso e à inovação, sendo uma oportunidade para os mais diversos ramos da Engenharia. Relativamente ao papel que a Engenharia Civil poderá representar neste setor é importante salientar as diferentes competências presentes, que permitem a presença da engenharia civil nas diferentes fases e nos diversos intervenientes.

Tendo em conta a grande variedade de assuntos envolvidos no setor da Energia Eólica existem diversos assuntos para potenciais desenvolvimentos desta dissertação. Ligado à Energia Eólica em terra poderão ser realizados trabalhos sobre diversos assuntos, como por exemplo, sobre a manutenção das obras de construção civil durante a fase de operação e manutenção de um parque, sobre a análise, revisão de projeto e preparação de obra ou mesmo a exploração das potencialidades de um programa de ERP e a comparação com os métodos tradicionais. Outras possibilidades passariam por assuntos ligados à gestão de obra, à Manutenção, à Segurança, etc.

Outros desenvolvimentos futuros podem passar pelo acompanhamento de uma obra real, como o caso da fase 2 do Parque Eólico Windfloat, ao largo da costa portuguesa ou o uso de programas BIM para realizar o planeamento e controlo da construção de parques eólicos.

- . 2015b. "Walney Extension". Acedido a 12-04-2015. <http://www.walneyextension.co.uk/en>.
- . 2015c. "Walney 1 Offshore Wind Farm". Acedido a 12-04-2015. <http://www.lorc.dk/handlers/dh.ashx?id=156>.
- Drewitt, Allan L e Rowena HW Langston. 2006. "Assessing the impacts of wind farms on birds". *Ibis* no. 148 (s1):29-42.
- EC (European Commission). 2015. "The 2020 climate and energy package". Última atualização 08-05-2015. Acedido a 10-05-2015. http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm.
- EEA (European Environment Agency). 2009. *Europe's onshore and offshore wind energy potential*. Copenhagen. Acedido a 10-06-2015. http://www.eea.europa.eu/publications/europes-onshore-and-offshore-wind-energy-potential/at_download/file.
- ENEOP. 2009. "Prefabricated concrete tower factory". Acedido a 21-06-2015. http://www.eneop.pt/fotos_artigos/7A63D_4ftbetaob.jpg.
- ERM (Environmental Resources Management). 2006. "Preliminary Site Arrangement for Hei Ling Chau Project Site". Acedido a 20-04-2015. http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1242006/html/Executive_Summary/Figure/Figure_2.1b.jpg.
- Esanok. 2015. "Urwana łopata jednego z wiatraków". Acedido a 21-04-2015. <http://esanok.pl/wp-content/gallery/wiatrak/3.jpg>.
- Esteban, M. Dolores, J. Javier Diez, Jose S. López e Vicente Negro. 2011. "Why offshore wind energy?". *Renewable Energy* no. 36 (2):444-450. Acedido a 10-06-2015. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148110003332>.
- Eurostat. 2015. *Supply, transformation and consumption of electricity - annual data [nrg_105a]*. Acedido a 12-04-2015. http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_105a&lang=en.
- EWE AG. 2012. "Riffgat - Fundamente: Transition Piece". Acedido a 06-05-2015. http://www.ewe.com/de/_media/presse/pressefotos/Riffgat_Transition_Piece_von_oben.jpg.
- EWEA (European Wind Energy Association). 2011. *Wind in our Sails, The coming of Europe's offshore wind energy industry: A report by the European Wind Energy Association*. [n.d.]. Acedido a 12-04-2015. http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/23420_Offshore_report_web.pdf.
- . 2015a. *Wind in power: 2014 European statistics*. [n.d.]. Acedido a 08-04-2015. <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2014.pdf>.
- . 2015b. *The European offshore wind industry - key trends and statistics 2014*. [n.d.]. Acedido a 18-04-2015. <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-European-Offshore-Statistics-2014.pdf>.
- Fährhafen Sassnitz GmbH. 2013. "EnBW Baltic 2". Acedido a 20-06-2015. http://www.faehrhafen-sassnitz.de/wp-content/uploads/2011/11/ARA_1248-300x200.jpg.
- Faria, José Amorim. 2008. *Gestão de Obras e Segurança*. Porto: AEFEUP. (Sebenta da Disciplina).
- Forewind. 2011. "Forewind - Dogger Bank". Acedido a 12-04-2015. <http://www.forewind.co.uk/uploads/images/Maps/doggerBank.png>.
- Garlick, Richard e Richard Aukland. 2015. "European Offshore Wind Overview". Acedido a 18-04-2015. <http://www.4coffshore.com/windfarms/downloads/overviewsample.pdf>.
- Geniusstrand. 2009. "Alpha Ventus Tripods vor der Verladung". Acedido a 21-05-2015. http://www.geniusstrand.de/wp-content/uploads/2009/04/dsc_4151.jpg.
- Gibbons, Stephen. 2015. "Gone with the wind: Valuing the visual impacts of wind turbines through house prices". *Journal of Environmental Economics and Management*. Acedido a 29-05-2015. http://eprints.lse.ac.uk/58422/1/_lse.ac.uk_storage_LIBRARY_Secondary_libfile_shared_repository_Content_SERC%20discussion%20papers_2014_sercdp0159.pdf.
- Governo Português. 2010. *Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020)*, Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010. DRE. <http://dre.pt/pdf1sdip/2010/04/07300/0128901296.pdf>

- GWEC (Global Wind Energy Council). 2014. *Global Wind Statistics 2013*. [n.d.]. Acedido a 23-04-2015. http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf.
- . 2015. *Global Wind Statistics 2014*. [n.d.]. Acedido a 10-04-2015. http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/02/GWEC_GlobalWindStats2014_FINAL_10.2.2015.pdf.
- Haigh, S. K. 2013. "Foundations for offshore wind turbines". Em *ICPMG2014 ? Physical Modelling in Geotechnics*, 153-159. CRC Press. Acedido a 2015/04/03. <http://dx.doi.org/10.1201/b16200-13>.
- Hau, Erich. 2006. *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. Springer Berlin Heidelberg.
- Intelligent Energy. 2009?a. "Gravity base structure". Acedido a 21-06-2015. <http://www.wind-energy-the-facts.org/images/5-5.jpg>.
- . 2009?b. "Monopile". Acedido a 21-06-2015. <http://www.wind-energy-the-facts.org/images/5-4.jpg>.
- . 2009?c. "Tripod structure (third leg hidden)". Acedido a 21-06-2015. <http://www.wind-energy-the-facts.org/images/5-7.jpg>.
- . 2009?d. "Jacket structure". Acedido a 21-06-2015. <http://www.wind-energy-the-facts.org/images/5-6.jpg>.
- IRENA (International Renewable Energy Agency). 2012b. *Evaluating Policies In Support Of The Deployment Of Renewable Power*. https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Evaluating_policies_in_support_of_the_deployment_of_renewable_power.pdf.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) e GWEC (Global Wind Energy Council). 2013. *30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from 12 Wind Energy Markets*. Abu Dhabi. http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/GWEC_WindReport_All_web%20display.pdf.
- Job, Nicolas. 2013. Transporting of Haliade™ 150-6MW offshore wind turbine nacelle and blades on liftboat. <https://www.flickr.com/photos/51978012@N05/10964379586/in/photostream/>.
- Jobert, Arthur, Pia Laborgne e Solveig Mimler. 2007. "Local acceptance of wind energy: Factors of success identified in French and German case studies". *Energy Policy* no. 35 (5):2751-2760. Acedido a 02-05-2015. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421506004885>.
- Jones, Christopher R. e J. Richard Eiser. 2010. "Understanding 'local' opposition to wind development in the UK: How big is a backyard?". *Energy Policy* no. 38 (6):3106-3117. Acedido a 10-06-2015. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510000790>.
- Jr., Ben C. Gerwick. 2007a. "Seafloor Modifications and Improvements". Em *Construction of Marine and Offshore Structures, Third Edition*, 225-254. CRC Press. Acedido a 2015/04/03. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420004571.ch7>.
- . 2007b. "Concrete Offshore Platforms". Em *Construction of Marine and Offshore Structures, Third Edition*, 479-532. CRC Press. Acedido a 2015/04/03. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420004571.ch12>.
- Kaiser, Mark J e Brian F Snyder. 2012. "Offshore Wind Energy System Components". Em *Offshore Wind Energy Cost Modeling*, 13-30. Springer.
- Kaldellis, John K e D Zafirakis. 2011. "The wind energy (r) evolution: A short review of a long history". *Renewable Energy* no. 36 (7):1887-1901. Acedido a 01-05-2015. http://www.soest.hawaii.edu/GG/FACULTY/ITO/GG410/Wind/Kaldellis_Wind_Energy_Revolution_RenEn11.pdf.
- Koc, Elif. 2015. "The Eiffel Tower now generates its own energy with wind turbines". *Mashable*. Acedido a 01-04-2015. <http://mashable.com/2015/02/25/eiffel-tower-wind-turbines/>.
- Kunz, Thomas H, Edward B Arnett, Wallace P Erickson, Alexander R Hoar, Gregory D Johnson, Ronald P Larkin, M Dale Strickland, Robert W Thresher e Merlin D Tuttle. 2007. "Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses". *Frontiers in Ecology and the Environment* no. 5 (6):315-324. Acedido a 29-05-2015. <http://www.bu.edu/cecb/files/2009/12/kunzbats-wind07.pdf>.

- Lars Bo, Ibsen, T. Houlsby Guy e W. Byrne Byron. 2005. "Suction caissons for wind turbines". Em *Frontiers in Offshore Geotechnics*. Taylor & Francis. Acedido a 22-05-2015. http://www.eng.ox.ac.uk/civil/people/bwb-1/papers/isfog_1.pdf.
- Linkhorn, Tyrel. 2012. "One Energy LLC oversees construction of a 1.5-megawatt turbine at Cooper Farms, a turkey producer in Paulding County. The turbine is expected to generate up to 65 percent of the site's power". Acedido a 30-05-2015. http://www.toledoblade.com/image/2012/08/21/800x600_b1_cCM/One-Energy-LLC-oversees-construction.jpg.
- London Array Limited. 2013. "London Array". Acedido a 21-05-2015. http://www.londonarray.com/downloads/image-gallery/preview/IMG_8348.JPG.
- Maciel, João Gonçalo. 2010. The WindFloat Project. EDP. http://www.cargos-paquebots.net/Revue%20de%20presse/0000_IMAGES-05/699-EDP-Joao_Maciel.pdf.
- Manwell, James F., Jon G. McGowan e Anthony L. Rogers. 2009. *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. 2ª ed. Chichester: John Wiley & Sons.
- Miceli, Francesco. 2012. "MV cable standard trench". Acedido a 20-04-2015. <http://www.windfarmbop.com/wp-content/uploads/2012/05/MV-cable-standard-trench.jpg>.
- Musial, Walter, Sandy Butterfield e Bonnie Ram. 2006. "Energy from offshore wind". Comunicação apresentada em Offshore technology conference.
- Myhr, Anders, Catho Bjerkseter, Anders Ågotnes e Tor A. Nygaard. 2014. "Levelised cost of energy for offshore floating wind turbines in a life cycle perspective". *Renewable Energy* no. 66 (0):714-728. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114000469>.
- Nitsch, Joachim. 2008. Lead Study 2008 - "Strategy to increase the use of renewable energies" within the context of the current climate protection goals of Germany and Europe. editado por Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) German Federal Ministry for the Environment. Stuttgart. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/english/pdf/application/pdf/leitstudie2008_en.pdf.
- Nixon, Niki. 2008. "Timeline: The history of wind power". *The Guardian*. Acedido a 01-04-2015. <http://www.theguardian.com/environment/2008/oct/17/wind-power-renewable-energy>.
- NREL (National Renewable Energy Laboratory). 2014. "California – Annual Average Wind Speed at 80 m". Acedido a 24-04-2015. http://apps2.eere.energy.gov/wind/windexchange/images/windmaps/ca_80m.jpg
- NSW. 2012. "Germany: NSW to Supply Subsea Power Cable for Grid Connection of North Sea Island Borkum". Acedido a 21-06-2015. <http://subseaworldnews.com/wp-content/uploads/2012/01/Germany-NSW-to-Supply-Subsea-Power-Cable-for-Grid-Connection-of-North-Sea-Island-Borkum.jpg>.
- Nysted Offshore Wind Farm. 2006. "Construction of the first wind turbine at Nysted Offshore Wind Farm". Acedido a 30-04-2015. <http://188.64.159.37/graphics/Publikationer/Havvindmoeller/images/s042.jpg>.
- Patel, Mukund R. 2005. "Offshore Wind Farms". Em *Wind and Solar Power Systems*, 119-139. New York: CRC Press. Acedido a 10-06-2015. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420039924.ch7>.
- Peire, Kenneth, Hendrik Nonneman e Eric Bosschem. 2009. "Gravity base foundations for the thornton bank offshore wind farm". *Terra et Aqua* no. 115:19-29. Acedido a 20-04-2015. <https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/terraetqua/document/2/5/8/258/258/1/article-gravity-base-foundations-for-the-thornton-bank-offshore-wind-farm-terra115-3.pdf>.
- Pinho, António José de Aguiar Monteiro. 2008. "Gestão de projectos de parques eólicos contributos para a melhoria do processo", Dissertação de Mestrado, FEUP. http://eos.fe.up.pt:1801/webclient/DeliveryManager?custom_att_2=simple_viewer&metadata_request=false&pid=52069.
- Power Technologie. 2015. "Fantanele-Cogevalac Wind Farm". Acedido a 12-04-2015. <http://www.power-technology.com/projects/-fantanele-cogevalac-wind-farm/>.
- RES (Renewable Energy Policy Database and Support). 2015. "Compare Support Schemes". Acedido a 19-06-2015. <http://www.res-legal.eu/compare-support-schemes/>.

- RWE Innogy. 2012. "UK: FoundOcean Wins Foundation Grouting Contract for Gwynt y Môr Offshore Wind Farm". Acedido a 30-04-2015. <http://subseaworldnews.com/wp-content/uploads/2012/06/UK-FoundOcean-Secures-Monopile-Grouting-Contract-for-Gwynt-y-M%C3%B4r-Offshore-Wind-Farm-530x353.jpg>.
- . 2015. "Wind Farm layout". Acedido a 06-05-2015. <http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/427744/blowupData/3/blob.jpg>.
- Shepherd, Dennis G. 2009. "Historical Development of the Windmill". Em *Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering*, editado por David A. Spera, p. 1-46. New York: ASME.
- Siemens. [s.d.]. "Farm overview with tree structure". Acedido a 28-04-2015. <http://w3.siemens.com/mcms/topics/en/wind-automation/automation-technology/wind-farm-management/PublishingImages/3-farm-overview.jpg>.
- Siemens Wind Power A/S. 2011. New dimensions: Siemens Wind Turbine SWT-3.6-107. Brande. http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/wind%20turbines/E50001-W310-A103-V6-4A00_WS_SWT_3_6_107_US.pdf.
- Silva, Bruno Samuel Camacho e. 2013. "A Engenharia Civil e a Produção Industrial de Energia Eólica", Dissertação de Mestrado. ISEL. <http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3306/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>.
- Silva, Estela. 2008. "Europe's biggest wind energy park in the northern region of Viana do Castelo". Acedido a 05-04-2015. <http://i.guim.co.uk/static/w-620/h--/q-95/sys-images/Environment/Pix/pictures/2008/12/02/Windmill460.jpg>.
- Snyder, Brian e Mark J Kaiser. 2009. "Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy". *Renewable Energy* no. 34 (6):1567-1578. Acedido a 02-05-2015. <http://course.bnu.edu.cn/course/hjdx/JXZY/dixuewenxian/2.pdf>.
- TEMBRA GmbH & Co. KG. [s.d.]. "Hub System 2MW Turbine". Acedido a 20-04-2015. http://www.tembra.com/system/html/Hub_System_BTW_2.0_back_gr-16c41f6b.gif.
- . [s.d.]. Hub System 2MW Turbine. http://www.tembra.com/system/html/Hub_System_BTW_2.0_back_gr-16c41f6b.gif.
- The Crown Estate. 2012. *Offshore Wind Cost Reduction: Pathways Study*. Acedido a 30-04-2015. <http://www.thecrownestate.co.uk/media/5493/ei-offshore-wind-cost-reduction-pathways-study.pdf>.
- Thomsen, Kurt E. 2012. "Chapter One - What Is an Offshore Wind Farm?". Em *Offshore Wind*, editado por Kurt E. Thomsen, 1-7. Boston: Elsevier. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123859365000011>.
- Tong, Wei. 2010. "Fundamentals of Wind Energy". Em *Wind Power Generation and Wind Turbine Design*, editado por Wei Tong, p. 3-48. Southampton: WIT Press.
- UGE (Urban Green Energy). 2015. "rsz_img_5447_0". Acedido a 04-04-2015. http://www.urbangreenenergy.com/sites/default/files/imagecache/Large/rsz_img_5447_0.jpg.
- UpWind. 2011. *Design limits and solutions for very large wind turbines*.
- Viterna, Larry A. e Daniel F. Ancona III. 2009. "Commercial Wind Turbine Systems and Applications". Em *Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Engineering, Second Edition*, editado por David A. Spera, 205. New York: ASME. Acedido a 03-04-2015.
- Volker Stevin International. 2006. "Beatrice Offshore Wind Farm Demonstrator Project". Acedido a 19-05-2015. http://www.volker-stevin.com/dynamics/modules/SFIL0200/view.php?fil_Id=5918&thumb_nr=21.
- Wikipedia contributors. 2015. "Dogger Bank Wind Farm". *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Acedido a 12-04-2015. http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Dogger_Bank_Wind_Farm&oldid=653304098.