



Catarina Salgado Casadinho

Licenciatura em Biologia

(Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa)

Base de Dados do Potencial Eólico em Portugal Continental

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Energia e Bioenergia

Orientador: Professor Doutor Marco Painho

Co-orientador: Mestra Teresa Simões

Presidente: Doutora Benilde Simões Mendes - FCT/UNL

Vogais: Mestre Tiago Humberto Moreira de Oliveira-ISEGI/UNL

Mestre Teresa Maria Veloso Nunes Simões Esteves - LNEG



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Junho de 2014

("Base de Dados dos Parques Eólicos em Portugal Continental" © **Catarina Salgado Casadinho**)

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor editor.

O presente trabalho fica ao abrigo do Código dos Direitos de Autor e dos Direitos Conexos - (Aprovado pelo Decreto-Lei n.º 63/85, de 14 de Março, e alterado pelas Leis n.ºs 45/85, de 17 de

Setembro, e 114/91, de 3 de Setembro, e Decretos-Leis n.ºs 332/97 e 334/97, ambos de 27 de Novembro, pela Lei n.º 50/2004, de 24 de Agosto, pela Lei n.º 24/2006 de 30 de Junho e pela Lei n.º 16/2008, de 1 de Abril).

*O pessimista reclama do vento,
o optimista espera que ele mude, o
realista ajusta as velas.*

(Provérbio chinês)

Índice

Índice	3
Índice de Figuras	7
Índice de Tabelas	12
Resumo	13
<i>Abstract</i>	14
Agradecimentos	15
Abreviaturas e Símbolos	16
Capítulo 1	18
Introdução	18
1.1. Enquadramento Geral	18
1.2. Motivação para o desenvolvimento prático do presente trabalho	19
1.3. Objectivos	20
1.4. Estrutura da dissertação	20
Capítulo 2	23
O Estado de Arte do Planeamento da Energia Eólica com Integração nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	23
2.1. Estado de Arte dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	23
2.2. Estado de Arte do sector eólico	28
2.2.1. Energia Eólica no Mundo	28
2.2.2. Energia Eólica em Portugal	32
2.3. Os Sistemas de Informação Geográfica na Energia Eólica	35
Capítulo 3	38
Estrutura e Planeamento da Energia Eólica em Portugal Continental	38
3.1. Vento como recurso energético	38
3.1.1. Potencial Eólico	40
3.2. Parâmetros condicionantes do aproveitamento do potencial eólico	43

3.2.1. Velocidade e direcção do vento	43
3.2.2. Orografia.....	45
3.2.3. Rugosidade e Obstáculos	49
3.2.4. Declive do terreno	51
3.3 Avaliação do Potencial Eólico	52
3.3.1. Distribuição de <i>Weibull</i>	52
3.3.2. WA ^{SP}	53
Capítulo 4.....	55
Metodologia	55
4.1. Avaliação do potencial eólico	57
4.1.1. Mapeamento do recurso eólico	58
4.2. Identificação das condições de restrição	59
4.2.1. Rede Eléctrica Nacional	59
4.2.2. Rede Viária	61
4.2.3. Caracterização do terreno	61
4.2.4. Ambientais	62
4.2.5. Recurso energético do vento	64
4.3. Desenvolvimento da Metodologia	65
4.3.1. Zonas de potencial eólico sustentável e disponível.....	66
Capítulo 5.....	68
Aplicação da metodologia a um caso de estudo	68
5.1. Geração dos mapas de recurso	68
5.1.1. Simulação de vento (WA ^{SP}).....	68
5.1.2. Leitura e apresentação do mapa de vento	69
5.2. Criação da base de dados.....	71
5.2.1. Mapa de orografia	72
5.2.2. Mapa de rugosidade	73
5.2.3. Rede Nacional de Transporte.....	74

5.2.4. Rede viária	75
5.2.5. Pontos de ligação à rede	75
5.2.6. Número de horas equivalente à potência nominal – NEPs	76
5.2.7. Declives	77
5.2.8. Áreas Protegidas e Rede Natura 2000	77
5.2.9. Mapa de velocidade do vento	79
5.3. Identificação e quantificação do potencial eólico sustentável e disponível	82
5.3.1. Cálculo do Potencial Eólico Sustentável e Disponível	82
Capítulo 6	94
Conclusões	94
Bibliografia	99
Anexo I	105
Estado do Sector Eólico a nível mundial	105
I.1. Energia Eólica no Mundo	105
I.1.1. Capacidade Eólica Instalada Global	107
I.2. Capacidade Eólica Instalada na Europa	108
I.2.1. Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020)	111
I.3. Capacidade Eólica Instalada em outras fontes de Energia	112
I.3.1. Contribuição de cada fonte de energia para a Rede Eléctrica	112
I.4. Energia Eólica em Portugal	113
Anexo II	116
Informação complementar à Metodologia	116
II.1. Ocupação do solo	116
II.1.1. Caracterização da ocupação do solo de Portugal Continental	116
II.1.2. Características do mapa de rugosidade Corine Land Cover 2009 (CLC 09)	118
Anexo III	120
Dados complementares ao Caso de Estudo	120
III.1. Simulação de vento	120

III.1.1. Redefinição da tabela do mapa de rugosidade	120
III.1.2. Características do modelo de turbina escolhido	121
III.1.3. Parâmetros estatísticos do vento	121
III.2. Tabelas de Potencial Sustentável por Divisão Administrativa	131

Índice de Figuras

Figura 1 - Um exemplo de cartografia na pré-história - o petróglifo de Bedolina. Fonte: http://webs.ono.com/planimetria/Historia/Petroglifo%20de%20Bedolina.gif	23
Figura 2 - “The Grand Experiment” – Mapa utilizado por John Snow para descrever a sua experiência em 1854: comparação entre as ocorrências de mortalidade de cólera entre a população que consumiu água contaminada (Southwark e Vauxhall Company – a verde) com a população abastecida por poços de água não contaminada (Lambeth Company – a vermelho). A área de sobreposição corresponde à área de análise da experiência. Fonte: http://blog.targethealth.com/wp-content/uploads/2010/08/20100809-1.jpg	24
Figura 3 - Crescimento da capacidade geradora de base eólica entre 1992-2013. Fonte: APREN.	29
Figura 4 - Capacidade Instalada por ano, em MW, 2000-2013. Fonte: EWEA.	30
Figura 5 - Índices da capacidade geradora de base eólica na Europa, Dezembro de 2013. Fonte: APREN, INEGI.	30
Figura 6 - Total da capacidade instalada a nível mundial, no primeiro semestre de 2013 (MW). Fonte: WWEA.	31
Figura 7 - Instalações anuais <i>onshore</i> (azul) e <i>offshore</i> (vermelho), em MW. Fonte: EWEA. ...	31
Figura 8 - Capacidade geradora acumulada em Portugal entre 1996 e 2000; Fonte: APREN. ...	32
Figura 9 - Capacidade geradora por Distritos e Regiões Autónomas (MW). Fonte: (Parques Eólicos em Portugal, 2013)	33
Figura 10 - Electricidade de base eólica vs Consumo de electricidade em Portugal Continental entre 2006-2013. Fonte: (Parques Eólicos em Portugal, 2013)	33
Figura 11 - Potencia produzida pelos Parques Eólicos nacionais (MW). Fonte: INEGI.	34
Figura 12 - Metodologia de integração dos SIG com a Energia Eólica. Fonte: INEGI	37
Figura 13 - Formação do vento. Os + representam zonas de alta pressão e os – zonas de baixa pressão. Fonte: http://www.minerva.uevora.pt/odimeteosol/altera_clima_ficheiros/image014.jpg	39
Figura 14 - Turbina eólica de eixo horizontal. Fonte: http://www.parqueeolicoalegria.com.br/	

energia-eolica	40
Figura 15 - Funcionamento de uma turbina eólica de eixo horizontal. Fonte: http://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/	41
Figura 16 - Distância para instalação de turbinas num parque eólico. Fonte: http://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/	42
Figura 17 - Duração de uma campanha experimental vs precisão nas estimativas. Fonte: Marques da Silva et al., 1986	44
Figura 18 - Aceleração do vento sobre uma elevação. Fonte: Simões, 1999.	46
Figura 19 - Orientações possíveis de linhas de cumeada. Fonte: Marques da Silva et al., 1986.	46
Figura 20 - Formas dos montes por ordem de preferência. Fonte: Wegley et al., 1980.....	47
Figura 21 - Zonas de re-circulação em falésias e escarpas. Fonte: Wegley et al., 1980.	48
Figura 22 - Escoamento perturbado pela presença de um edifício. Fonte: Hiester and Pennel, 1983.....	50
Figura 23 - Escoamento a jusante de uma barreira vegetal. Fonte: Wegley et al., 1980.	51
Figura 24 - Comportamento normal da curva de <i>Weibull</i> . Fonte: http://www.scielo.br/img/revistas/eagri/v31n1/a06fig04.jpg	53
Figura 25 - Articulação dos vários processos inerentes à construção de mapas de potencial eólico.....	57
Figura 26 - Intensidade do vento gerada através do programa WASP, a uma altura de 80 metros.....	69
Figura 27 - Mapa distrital de Portugal Continental. Fonte: http://www.zonu.com/maps/portugal_mapas/Mapa_Distritos_Portugal.jpg	71
Figura 28 - Modelo Digital do Terreno, com escala de altura em metros.	72
Figura 29 - Carta CORINE LAND COVER 2009. Nomenclatura demasiado extensa disponível no Anexo III. Fonte: www.igeo.pt	73
Figura 30 - Rede Nacional de Transporte discriminada por Distritos para uma melhor visualização.	74
Figura 31 - Mapa dos pontos de ligação à rede eléctrica nacional, com divisão distrital; ArcMap.....	75

Figura 32 - Mapa de Número de horas equivalente à potência nominal da turbina (NEPs).....	76
Figura 33 - Mapa de restrição do Declive.	77
Figura 34 e 35 - Mapas de áreas protegidas e da Rede Natura 2000, respectivamente.....	78
Figura 36 - Mapa de restrição dos Parques Naturais.	79
Figura 37 - Mapa de restrição de velocidade de vento.....	79
Figura 38 - Mapa de Parques Eólicos de Portugal Continental.	80
Figura 39 - Tabela de consulta de característica de um Parque Eólico seleccionado pelo utilizador.....	81
Figura 40 - Modelo de integração dos mapas de restrições, Model Builder.	83
Figura 41 - Mapa de restrição de NEPs > 2500.....	84
Figura 42 - Mapa de restrição de NEPs > 2500 com Parques Naturais	84
Figura 43 - Mapa de restrição de NEPs > 2700.....	85
Figura 44 - Mapa de restrição de NEPs > 2700 com Parques Eólicos.....	85
Figura 45 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Freguesias para NEPs > 2500.	87
Figura 46 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Freguesias para NEPs > 2500 com Parques Naturais.	87
Figura 47 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Freguesias para NEPs > 2700.	88
Figura 48 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Freguesias para NEPs > 2700 com Parques Naturais.	89
Figura 49 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Concelhos com NEPs > 2500.	89
Figura 50 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Concelhos com NEPs > 2500 com Parques Naturais.	89
Figura 51 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Concelhos com NEPs > 2700.	90

Figura 52 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Concelhos com NEPs > 2700 com Parques Naturais.	90
Figura 53 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Distritos com NEPs > 2500.	91
Figura 54 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Distritos com NEPs > 2500 com Parques Naturais.....	91
Figura 55 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Distritos com NEPs > 2700.	92
Figura 56 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Distritos com NEPs > 2700 com Parques Naturais.....	92
Figura 57 - Tabela de atributos de relação administrativa com o potencial eólico sustentável correspondente.	92
Figura 58 - Relatório de relação Distrito e o seu potencial sustentável correspondente (MW), para o caso de NEP's > 2500.	93
Figura 59 - Capacidade instalada global (MW) por distribuição regional (África, Ásia, Europa, América Latina e Caraíbas, respectivamente). Fonte: GWEC, 2013.	107
Figura 60 - União Europeia 117,289 MW; Países candidatos 2,956 MW; EFTA 830 MW. Total Europeu: 121,474 MW. Fonte: EWEA.	108
Figura 61 - Partilha de capacidade instalada total pelos Estados Membros da UE, em 2013 (Total 118 GW). Fonte: EWEA.	108
Figura 62 - Capacidade Eólica Instalada na UE, por país, 2013. Fonte: EWEA.....	109
Figura 63 - Capacidade Eólica Instalada na UE; * data prevista ou estimada; ** antiga Jugoslávia, República de Macedónia. Fonte: EWEA.	109
Figura 64 - Instalação anual de Energia Eólica de 2000 a 2013. Fonte: EWEA	110
Figura 65 - Distribuição do Mercado Eólico pelos países pioneiros, pelos restantes países da UE e pelos novos Estados Membros, de 2000 a 2013 (GW). Fonte: EWEA.	110
Figura 66 - Estratégia Nacional para a Energia 2020, União Europeia. Fonte: http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_pt.pdf	111
Figura 67 - Capacidade Instalada em outras fontes de energia (Eólica, Solar Fotovoltaica, Gás, Carvão, Biomassa, Hidroelétrica, Solar Concentrada, Petróleo, Lixo, Nuclear, Geotérmica e Ondas, respectivamente), em MW. Fonte: EWEA.	111

Figura 68 - Instalação de Capacidade Instalada na Rede Eléctrica da UE, desde 2000 a 2013 (GW); (Eólica, Solar Fotovoltaica, Gás, Carvão, Biomassa, Hidroeléctrica, Solar Concentrada, Petróleo, Lixo, Nuclear, Geotérmica e Ondas, respectivamente). Fonte: EWEA.	112
Figura 69 - Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis (TWh). Fonte: DGEG (Geologia, Dezembro de 2013).....	112
Figura 70 - Caracterização do Parque Eólico Nacional por número de horas equivalente (NEPs), com potencia instalada estabilizada. Fonte: DGEG (Geologia, Dezembro de 2013)	113
Figura 72 - Número de aerogeradores e potência unitária média (kW). Fonte: ((e2p), Dezembro de 2013).....	114
Figura 73 - Número de aerogeradores por classe de potência. Fonte: ((e2p), Dezembro de 2013).....	115
Figura 74 - Tabela de caracterização do mapa de rugosidade Corine Land Cover 2009	118
Figura 75 - Escala de cores do mapa CLC 09.	119
Figura 76 - Potencial Eólico Sustentável por Distrito (MW), por ordem decrescente, para o cenário NEPs > 2500 com e sem Parques Naturais.	131
Figura 77 - Potencial Eólico Sustentável por Distrito (MW), por ordem decrescente, para o cenário NEPs > 2700.	132
Figura 78 - Potencial Eólico Sustentável por Distrito (MW), por ordem decrescente, para o cenário NEPs > 2700 com e sem Parques Naturais.	132

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Factores de ocupação do solo	65
Tabela 2 - Tabela de resultados da avaliação do potencial eólico, no WASP.	70
Tabela 3 - Tabela de resultados da direcção do vento e respectiva curva de Weibull, gerados no WASP.	70
Tabela 4 - Descrição dos campos incluídos no formulário informativo sobre os PE instalados em Portugal.	81
Tabela 5 - Tabela de valores de potencial eólico sustentável e disponível para Portugal Continental, para os 4 cenários de NEPs, em MW.	86
Tabela 6 - Valores de potencia instalada para Portugal (MW), em 2013). Fonte: APREN.	114
Tabela 7 - Tabela do mapa de rugosidade CLC 09 redefinido para introdução da avaliação do potencial eólico do país.	120
Tabela 8 - Especificações técnicas do modelo de turbina seleccionado para avaliação de NEPs. Fonte: Enercon.	121
Tabela 9 - Resultados da geração de potencial eólico para Portugal Continental, no WASP. ..	121
Tabela 10 - Resultados da geração de potencial eólico com respectiva Rosa de Ventos e curva da distribuição de Weibull.	123

Resumo

Portugal é um dos países com maior capacidade eólica instalada a nível mundial e tem mantido uma tendência de crescimento. A aposta nas renováveis tem permitido aos países reduzir a sua dependência energética do exterior. Neste âmbito, os Sistemas de Informação Geográfica constituem uma mais-valia para o mapeamento georreferenciado do potencial eólico em plataformas padrão, permitindo a gestão e actualização da elevada qualidade de informação disponível.

A presente dissertação propõe-se apresentar uma nova e actualizada base de dados do potencial eólico em Portugal Continental, georreferenciada, com a possibilidade de seleccionar dados informativos por zonas de interesse e detalhar informação por parque ou zona de potencial eólico. Torna-se, assim, uma ferramenta útil para empresas, decisores e outros potenciais interessados em explorar este recurso no país. É um projecto inovador que combina duas tecnologias empreendedoras: os sistemas eólicos e os SIG. A relevância deste projecto é do interesse público, possibilitando recolha de informação de forma fácil e sistemática, evidenciando, por isso, a pertinência da sua consecução.

Palavras-chave: **SIG; potencial eólico; base de dados; actualização; planeamento.**

Abstract

Portugal is one of the biggest wind installed capabilities worldwide, and has maintained a growing trend. The focus on renewable energy has allowed countries to reduce their dependence from foreign help. In this context, Geographic Information Systems are an asset for the geo reference mapping of wind power potential in standard platforms, allowing the management and update of high quality available information.

This paper, according to the survey and data analysis of wind resources and potential conditioning factors, aims to aid, through the use of a Geographic Information Systems tool, the planning of wind farms in mainland Portugal. In addition to this study it is intended to present a database of the installed capacity in the national mainland territory.

Keywords: GIS; wind resource; database; actualization; planning.

Agradecimentos

Escrever uma dissertação de Mestrado é uma experiência enriquecedora e de plena superação. Parece uma tarefa interminável e enigmática que só se torna realizável graças a muitas pessoas que participam, directa e indirectamente. E é a essas pessoas que gostaria de deixar a minha sincera gratidão.

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor Marco Painho (ISEGI) e Mestra Teresa Simões (LNEG), ao LNEG e ao ISEGI, pela disponibilidade prestada no uso das suas instalações, plataformas informáticas e sugestões, imprescindíveis para a realização desta dissertação.

Quero agradecer aos meus pais pela oportunidade e aposta na minha formação académica, pela educação e carinho de toda uma vida.

Não menos importante, o meu sincero agradecimento ao Mestre Paulo Costa do LNEG e ao Mestre Tiago Oliveira do ISEGI pela constante disponibilidade e ajuda no desenvolvimento prático desta dissertação.

Agradeço à Mestra Raquel Marujo e ao Mestre António Couto do LNEG pela preparação da informação referente aos parques eólicos que serviu de base para a progressão do presente trabalho.

Outro agradecimento é dirigido à APREN pela disponibilidade da informação sobre os parques eólicos instalados.

Abreviaturas e Símbolos

AIE – Agência Internacional de Energia

BCE – Banco Central Europeu

CE – Comissão Europeia

CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal

CO₂ – Dióxido de Carbono

D - Diâmetro

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

EDP – Electricidade de Portugal

ENE – Estratégia Nacional para a Energia

ESRI – *Environmental System Research Institute, Inc*

EWEA – Associação Europeia da Energia Eólica

FER – Fontes de Energia Renovável

F.O. – Factor de ocupação do solo

FMI – Fundo Monetário Internacional

FV – Fotovoltaico

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GIS GIS – *Geographic Information
System*

ha - Hectar

IA – Instituto do Ambiente

INE – Instituto Nacional de Estatística

INEGI – Instituto Nacional de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

ISEGI – Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MB – Model Builder

MDT – Modelo Digital do Terreno

MIBEL – Mercado Ibérico da Electricidade

MIBGAS – Mercado Ibérico de Gás

MoU – *Memorandum of Understanding*

MW – *Mega Watt*

NEPs – Número de horas equivalente à potência nominal da turbina

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PDM – Plano Director Municipal

PNAER – Plano Nacional para as Energias Renováveis

PE – Parque Eólico

PIB – Produto Interno Bruto

PROT – Plano Regional de Ordenamento do Território

REN – Rede Eléctrica Nacional

RNT - Rede Nacional de Transporte de Electricidade

SEN – Sistema Eléctrico Nacional

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TFI – Tarifa de venda de energia

UE – União Europeia

W/m² – *Watt* por metro quadrado

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento Geral

Ao longo da evolução da humanidade tem-se assistido ao recurso de diversas fontes energéticas, desde as hoje denominadas energias limpas, renováveis e, por isso mesmo, inesgotáveis, até às provenientes de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural), finitas e constituintes de um alto grau de poluição a todos os níveis.

Por razões que se prendem com os grandes interesses económicos, principalmente, e por um desconhecimento, até há pouco tempo, das graves implicações a nível planetário, a utilização de combustíveis fósseis fez-se de forma indiscriminada.

Apesar da crescente consciencialização global da necessidade de se reduzir drasticamente a emissão de CO₂ para a atmosfera, ainda há um longo caminho a percorrer no que concerne um investimento sustentado, assente em metodologias e estudos científicos, nas energias alternativas renováveis.

A energia eólica configura-se como uma alternativa às energias convencionais com maior perturbação no ambiente, já que se trata de uma fonte inesgotável, não poluente, não comprometendo, por isso, o futuro das gerações vindouras, revestindo-se, igualmente, de um papel de complementaridade na produção de energia eléctrica. Paralelamente, com enfoque no território português, este tipo de recurso reveste-se de um papel relevante no que respeita a nossa progressiva independência quanto aos níveis de importação de combustíveis sólidos, com consequentes reflexos na economia nacional.

Nos últimos anos tem-se vindo a verificar um elevado crescimento da capacidade eólica instalada em Portugal Continental; não obstante, ainda é possível encontrar disponíveis áreas com potencial eólico adequadas à instalação de centrais, seja devido a terrenos ainda não explorados seja por projectos neste domínio sujeitos a abandono na sequência de obstáculos de várias ordens. Importa aqui realçar que, apesar de todo o trabalho já desenvolvido nesta área, a informação referente ao número de parques eólicos instalados e em projecto, a sua capacidade e alguma leve referência a certos indicadores económicos carece de actualização. A par dos aspectos referidos, acresce a inexistência de um sistema de informação actualizado respeitante à capacidade eólica instalada (e a instalar) no território nacional continental – georreferenciado – acessível às entidades públicas e privadas envolvidas na exploração desta forma de energia renovável. Neste enquadramento, revelou-se de máxima importância, a utilização de um Sistema

de Informação Geográfica, o qual consubstanciou as etapas desenvolvidas ao longo do presente trabalho.

O apuramento e subsequente análise de dados obtidos no âmbito do contexto descrito revestem-se de um papel fundamental para o incremento de uma política sólida no que respeita as energias renováveis, no geral, e à energia eólica, em particular.

1.2. Motivação para o desenvolvimento prático do presente trabalho

As questões que se prendem ao universo energético são em si um desafio. A abordagem ao domínio específico das energias renováveis, em concreto da energia eólica, implica ter em consideração uma série de variáveis que determinam a exequibilidade de projectos nesse âmbito. Para tal, não basta dirigirmos a nossa atenção numa só direcção. Há que alargar o ângulo de visão a fim de poder perspectivar todas as valências e ferramentas que hoje existem ao dispor de uma avaliação mais eficaz e profícua para a consecução de parques eólicos. Este é o desafio que é proposto enfrentar e a motivação para a realização do presente trabalho.

Com a descida tendencial dos combustíveis fósseis e com o protagonismo crescente das fontes de energia renovável na geração de electricidade, espera-se uma subida dessas fontes até 2035, apoiadas através de subsídios anuais, com especial enfoque na China e na EU, que lideram esta expansão e representam cerca de metade do crescimento. (IEA, 2011) De modo a cumprir os objectivos estabelecidos para as metas de 2020 (ENE 2020), é necessário reduzir os custos e promover a integração do sector eólico no meio ambiente. As principais áreas de desenvolvimento futuro são a tecnologia de aerogeradores, o planeamento das redes eléctricas de distribuição, entre outros. (EWEA - European Wind Energy Association, 2014)

No seio da necessidade de se realizarem estudos que permitam uma pré-avaliação do local onde se pretende instalar a turbina eólica, é apresentado nesta dissertação o mapeamento de vento actual de Portugal Continental, com integração de descritores que determinam os locais viáveis para a instalação de novas turbinas eólicas (ou parques eólicos), com a possível adição de nova capacidade eólica instalada no país. O impacto económico é outro descritor relevante em estudos de avaliação do potencial eólico, embora não abordado neste caso de estudo, mas passível de se incluir em trabalho futuro, uma vez que o custo total da produção é determinado por custos associados a (i) regime de vento; (ii) eficiência de captação energética dos aerogeradores; (iii) disponibilidade do sistema; (iv) tempo de vida do sistema e (v) indicadores económicos. (James F. Manwell, 2009)

1.3. Objectivos

Tem o presente projecto como objectivo global contribuir para a obtenção e tratamento de dados que possibilitem inferir, de forma mais nítida, do panorama da rede de parques eólicos no território nacional continental ancorando os resultados apurados nos valores energéticos que se pretendem atingir.

Planear o aproveitamento da energia eólica constitui uma tarefa complexa e exige a recolha e identificação de um vasto conjunto de informação. No presente trabalho encontram-se reunidos os dados disponíveis e pertinentes ao estudo que se pretende efectuar relativamente aos procedimentos que deverão anteceder a selecção de locais para a instalação de sistemas eólicos.

Numa primeira fase, proceder-se-á à actualização da base de dados dos parques eólicos de Portugal Continental, com recurso a ferramentas SIG, e à caracterização da acessibilidade a cada parque, através da rede de estradas, bem como a ligação aos pontos de distribuição de energia eléctrica.

Seguidamente, estabelecer-se-á uma metodologia para a construção de uma base de dados do potencial energético do vento em Portugal utilizando um sistema de informação geográfica (SIG), o ArcGIS.

De forma a avaliar o potencial eólico disponível e sustentável no país, pretende-se utilizar ferramentas de avaliação do potencial eólico, tais como o modelo WA^{SP}, e o processamento e introdução dos vários conjuntos de dados na plataforma ArcGIS.

Cientes do trabalho desenvolvido e fruto da pesquisa efectuada, através da apresentação de um mapa georreferenciado com dados, é intenção deste trabalho determinar o potencial eólico sustentável e disponível em Portugal Continental tendo em conta um conjunto de condições e restrições inerentes ao desenvolvimento do Parque Eólico Nacional.

1.4. Estrutura da dissertação

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos e quatro anexos.

No Capítulo 1 – Introdução – é determinado o enquadramento no qual este projecto se insere, isto é, no âmbito das energias renováveis, nomeadamente, na energia eólica, e da capacidade que esta pode incorporar no sentido de contrariar o vector, ainda agora visível, do uso tendencial de combustíveis sólidos a fim de obtenção de energia, fazendo convergir os estudos para a realidade nacional.

Ainda no seio deste capítulo, são apresentados os objectivos que se propõe atingir: reunir, analisar e actualizar dados que permitam de forma sistematizada, através de sistemas de informação geográfica (SIG) gizar o actual panorama português (Portugal continental) no que respeita a rede e acessibilidade dos parques eólicos, o seu planeamento, a avaliação do seu potencial eólico e a sua real proficiência em termos energéticos enquanto contrapartida a fontes de energia não renováveis.

O Capítulo 2 – O Estado de Arte do Planeamento da Energia Eólica com Integração nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) – define algumas noções básicas dos SIG sublinhando a sua mais-valia para o estudo do recurso eólico e aproveitamento do seu potencial.

Nesta etapa do trabalho, procede-se a um breve historial do Estado de Arte dos sistemas de informação geográfica em prol de um planeamento sustentado da energia eólica.

O Capítulo 3 – Estrutura e Planeamento da Energia Eólica em Portugal Continental – aborda toda a temática sobre energia eólica necessária para a compreensão do estudo em desenvolvimento. São igualmente apresentados critérios adstritos à definição de energia eólica bem como aspectos relativos à situação deste recurso. Constitui ainda o presente capítulo informação respeitante a parâmetros condicionantes do aproveitamento do potencial eólico (velocidade e direcção do vento, orografia local, obstáculos e rugosidade – vegetação e uso do solo), cálculo do potencial eólico produzido (curva de Weibull) e o programa do modelo de microescala *Wind Atlas Analysis and Application Program – WA³P*.

No Capítulo 4 – Metodologia – são descritas as estratégias adoptadas para análise de avaliação do potencial sustentável e disponível em Portugal Continental. Neste capítulo consta também um descriptor relativo à tipologia informativa geográfica seleccionada – mapas dos diferentes temas, tabelas de informação e dados de vento. Programas e modelos numéricos utilizados para a construção do mapa de vento são aqui objecto de referência.

O Capítulo 5 – Aplicação da Metodologia a um Caso de Estudo – integra a discussão dos resultados obtidos provenientes da concepção do mapa de potencial eólico em Portugal Continental, caracterizando a origem e finalidade dos dados utilizados.

O Capítulo 6 – Conclusão – sumariza os resultados obtidos e as conclusões a partir deles apuradas canalizando-as na defesa do ponto de vista defendido no presente trabalho. São, neste capítulo final, objecto de consideração factores que poderiam ter contribuído para a obtenção de resultados mais finos. Finaliza-se concluindo que o presente projecto não encerra as portas ao estudo efectuado, constitui, isso sim, uma porta aberta a futuros trabalhos que desempenharão um papel importante para um projecto em constante renovação.

Anexo I – Estado do Sector Eólico a nível Mundial.

Anexo II - Informação Complementar à Metodologia.

Anexo III – Dados complementares ao Caso de Estudo.

Capítulo 2

O Estado de Arte do Planeamento da Energia Eólica com Integração nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

“A ideia de que a ciência segue um curso de desenvolvimento independente, de que as aplicações tecnológicas nascem e se impõem sobre a sociedade com uma exigência férrea, é uma simplificação demasiadamente grosseira e com objectivos ideológicos” - István Mészáros. (Painho & Curvelo, 2010)

A integração dos SIG (Sistemas de Informação Geográfica) com o sector eólico tem vindo a mostrar ser uma mais-valia para o desenvolvimento de novas tecnologias de cartografia da ocupação do solo, para a instalação de parques eólicos, com vantagens tanto a nível económico como ambiental. Nesse sentido, este capítulo reúne informação sobre a origem dos sistemas de informação geográfica e da energia eólica e a sua evolução conjunta.

2.1. Estado de Arte dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

O conhecimento espacial assume, desde há longa data, uma importância crítica no desenvolvimento de actividades humanas e no modo como o homem interage com o espaço; de igual modo, desempenha um papel preponderante no desenvolvimento social, político e económico da humanidade, na medida que possibilita conhecer a localização geográfica de um fenómeno, estabelecer relações com outros elementos do território, identificar padrões espaciais, ou tomar decisões com base em características geográficas, (Painho & Curvelo, 2010).

A tecnologia aplicada nos SIG é o Geoprocessamento, o qual pode ser definido como um conjunto de metodologias que implicam a recolha, armazenamento, processamento e representação de dados georreferenciados. Representar, analisar e conhecer a dimensão espacial associada a um fenómeno constituem os principais desafios dos SIG. Este tipo de sistema incorpora aspectos particulares da informação geográfica e de determinadas tecnologias: umas

relacionadas com a natureza da informação geográfica, outras com a representação e visualização da mesma, outras ainda com técnicas e métodos de análise espacial, ou com a concepção e implementação de tecnologias computacionais direccionadas para a gestão, manipulação e análise da informação geográfica. (Painho, 2010)

A origem dos SIG remete à própria História da Cartografia, onde as primeiras tentativas de representação gráfica do espaço foram traçadas. Nesta perspectiva, torna-se indissociável a História dos SIG e a História da Humanidade, na medida que os mapas, enquanto modelos da realidade, assumiram desde sempre um papel fundamental no processo de produção de conhecimento espacial e de uma linguagem adequada à sua comunicação. Chrisman (Chrisman 1982) resume esta ideia a uma frase lapidar: “*any map is a fossil, reflecting the technology used in its production*”.¹

O primeiro esforço de representação de um território habitado é conhecido como o petróglifo de Bedolina, no Norte da Itália (2000 a.C. – 1500 d.C.).



Figura 1 - Um exemplo de cartografia na pré-história - o petróglifo de Bedolina. Fonte: <http://webs.ono.com/planimetria/Historia/Petroglifo%20de%20Bedolina.gif>

Assim, a tecnologia SIG evolui a partir da cartografia temática por via da combinação de crescentes capacidades computacionais, aperfeiçoamento de técnicas analíticas e renovado interesse nos problemas e responsabilidades ambientais/sociais. Um exemplo clássico da origem e evolução dos SIG remete para os processos de análise espacial associados aos sistemas precursores da década de 50 do século XIX – “*The Grand Experiment*”.

¹ “... qualquer mapa é um fóssil, reflectindo a tecnologia utilizada na sua produção...”.

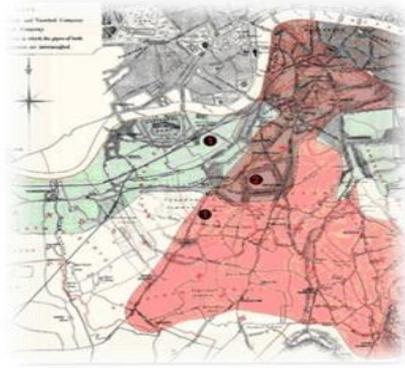


Figura 2 - “The Grand Experiment” – Mapa utilizado por John Snow para descrever a sua experiência em 1854: comparação entre as ocorrências de mortalidade de cólera entre a população que consumiu água contaminada (Southwark e Vauxhall Company – a verde) com a população abastecida por poços de água não contaminada (Lambeth Company – a vermelho). A área de sobreposição corresponde à área de análise da experiência. Fonte: <http://blog.targethealth.com/wp-content/uploads/2010/08/20100809-1.jpg>

Em Portugal, a história dos SIG é marcada com a criação do CNIG (Centro Nacional de Informação Geográfica), em 1986, que, como elemento referencial, distingue-se em dois períodos distintos: o período Pré-CNIG (até 1986) e o período Pós-CNIG (de 1986 até à actualidade).

O período pré-CNIG remonta à origem dos SIG em Portugal, o início da década de 70 do século passado, em que os primeiros sistemas em funcionamento, que se tenha conhecimento, se encontravam no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no Gabinete da área de Sines e na Empresa Geral de Fomento. Segundo R. Machado (R. Machado, 2000). A utilização destes primeiros SIG surge associada a duas forças distintas: a primeira trata da implementação de Gabinetes de Estudo e Planeamento em diversas entidades governamentais durante a década de 60, do século XX, no quadro de uma estratégia mais ampla do planeamento do território nacional; e a segunda para o crescente apelo de investimento em actividades científicas e de investigação nas universidades e em outras instituições públicas, e que culminou com a criação da Junta Nacional de Investigação Científica – JNIC - em 1968.

O projecto pioneiro com um SIG surge na década de 70, durante estudos do Laboratório Gráfico Computacional da Escola de Planeamento Urbano da Universidade de Harvard, de seu nome SYMAP, o qual é também o primeiro produto para processamento de mapas geográficos (mapas de declives do terreno) com o auxílio de uma impressora matricial. (Grancho, Janeiro 2003) O mesmo laboratório – *Harvard Lab* – desenvolveu uma série de programas orientados para a análise espacial dos quais se destacam: o GRID, o primeiro pacote computacional de base matricial a usar o conceito de sobreposição de camadas de forma eficaz; SYMUV, destinado à visualização 3D; IMGRID e ODYSSEY, este último, um programa de base vectorial

considerado um dos precursores dos modernos SIG comerciais vectoriais. (Painho & Curvelo, 2010). O primeiro registo de um SIG em Portugal foi o Atlas do Concelho de Loures, em 1970, no período pré-CNIG, que, como refere Grancho (Grancho, Janeiro 2003), foi “o primeiro projecto em que se fez a recolha, análise e impressão de dados geográficos com o auxílio de computadores (...), recorrendo a georreferenciação por quadrícula”.

A partir de 1980, o uso dos SIG evoluiu significativamente e hoje já se difunde em organismos estatais, universidades e outros órgãos ligados ao serviço público (e.g. municípios).

Em 1988, foi então fundada uma das mais importantes instituições ligadas ao desenvolvimento da Ciência da Informação Geográfica (CIG), o *National Center for Geographic Information and Analysis* (NCGIA), o qual esboçou uma definição para a CIG, assente em 5 tópicos: (i) análise espacial e estatística espacial; (ii) relações espaciais e estruturas de base de dados; (iii) inteligência artificial e sistemas periciais; (iv) visualização e (v) aspectos sociais, económicos e institucionais.

Via satélite, pela primeira vez em Portugal, duas cartografias com as mesmas características expõem, lado a lado, o perfil geográfico do país para dois momentos: 1985 e 2000, num documento editado em 2005, denominado *Alterações da ocupação do solo em Portugal Continental 1985 / 2000*².

Durante esse período, em Portugal Continental, floresta e territórios artificializados foram os tipos de ocupação de solo que mais aumentaram, o de vegetação natural foi o que mais diminuiu e o Algarve foi a região que mais alterações sofreu.

Com o objectivo de desenvolver um sistema de informação sobre o estado do ambiente a nível europeu, foi criado, em 1985, o Programa CORINE (*Co-ordination of Information on the Environment*) pela UE. Uma das principais componentes do programa foi o projecto CORINE Land Cover (CLC), cujo objectivo foi a produção de uma cartografia de ocupação do solo para a UE, variando a data de referência consoante o país. Os produtores cartográficos deste projecto foram criados com base em imagens dos satélites *Landsat* e em informação auxiliar relacionada com ocupação do solo, proveniente de diversas instituições.

Em Portugal, o CLC2000 Portugal foi financiado pelo Instituto do Ambiente (IA) e pela Comissão Europeia (CE) e coordenado pelo Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação (ISEGI) da Universidade Nova de Lisboa (UNL) (ISEGI-UNL) com a colaboração do Instituto Geográfico Português (IGP). (Carrão, Painho, & Caetano, Setembro de 2005)

² Documento elaborado por Caetano, Mário; Carrão, Hugo e Painho, Marco. Instituto do Ambiente, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2005.

Integra este trabalho um mapa CORINE, cujo tema será desenvolvido no Capítulo 4 - Metodologia.

O Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) é a primeira infraestrutura de informação geográfica a ser desenvolvida na Europa e a primeira a ser disponibilizada na Internet, em 1995. É ainda um espaço de contacto para dinamizar, articular e organizar as actividades ligadas a esta temática em Portugal e no contexto da directiva europeia INSPIRE (*INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe*). (SNIG - Sistema Nacional de Informação Geográfica).

Os primeiros modelos SIG surgiram em Portugal através da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), o *software* ArcGIS. Este programa informático permite trabalhar com mapas e informações geográficas. É uma ferramenta que possibilita criar e utilizar mapas, compilar dados geográficos, analisar informações mapeadas, compartilhar e descobrir informação geográfica. Permite disponibilizar mapas na *web* entre outras funcionalidades. Existe uma vasta variedade de aplicações de gestão de informação geográfica. A versão de ArcGIS utilizada é constituída pelos seguintes níveis de licenciamento:

- **ArcReader**, que permite visualizar os mapas criados com outras ferramentas Arc;
- **ArcView**, que lê dados espaciais, permite criar mapas e é a performance básica de análise espacial;
- **ArcEditor**, que inclui toda a funcionalidade do ArcView, e ainda ferramentas mais avançadas para manipulação de *shapefiles* e *geodatabases*;
- **ArcInfo**, a versão mais avançada do ArcGIS, que inclui potencialidades adicionadas para manipulação de dados, edição e análise.

Nas versões mais recentes os níveis de licenciamento designam-se Basic, Standard e Advanced.

Através da extensão *ArcMap*, *software* de *desktop* para *Windows*, criaram-se os mapas de resultados pretendidos para este trabalho. O ArcGIS inclui um módulo denominado *ModelBuilder (MB)* que permite aos utilizadores dominarem ferramentas de geoprocessamento com *links* gráficos chamados *models* (modelos), os quais permitem encadear metodologias de cálculo e operações gráficas, com a possibilidade de inferir sobre elas sem ter de se refazer um mapa de raiz, sendo esta uma mais-valia para este projecto. É uma tecnologia de programação que se caracteriza por um fluxograma esquemático que permite ao utilizador uma programação mais eficiente de uma tarefa, facilitando o manuseamento da informação e permitindo a sua programação sem ter que recorrer a uma linguagem codificada de programação. O Model

Builder executa dois tipos de tarefas principais: (i) modelação do projecto e (ii) criação duma ferramenta personalizada que automatiza o processo.

2.2. Estado de Arte do sector eólico

2.2.1. Energia Eólica no Mundo

Os primeiros registos de aproveitamento da energia eólica datam de épocas remotas da humanidade. Os egípcios já navegavam à vela no ano 4.500 a.C.. Os moinhos eólicos têm origem oriental, aos quais estão associados registos históricos que confirmam o seu uso, desde o século IV, nos planaltos Iranianos e Afegãos. Na Europa, o seu uso data de cerca do ano de 1150. (Tony Burton, 2001).

A escassez dos combustíveis fósseis no mercado, durante a I Guerra Mundial, estimulou fortemente a criação de incentivos ao desenvolvimento da tecnologia de aproveitamento do recurso eólico para fins de geração de electricidade, em especial no continente europeu, uma vez esta região estar excessivamente dependente dos recursos petrolíferos.

Anos mais tarde, na sequência da crise do petróleo de 1973 (terceira fase da Revolução Industrial) vários países iniciaram programas de investigação e desenvolvimento no âmbito do aproveitamento da energia eólica para produção de electricidade. (Tony Burton, 2001).

No início dos anos 80, procedeu-se à instalação das primeiras turbinas eólicas comerciais, tanto da Europa (com destaque para a Dinamarca e Holanda) como nos EUA (em particular na Califórnia), que tinham tipicamente entre 10 a 20 metros de diâmetro e de 50 a 100 kW de potência. (James F. Manwell, 2009)

Nas últimas décadas, a energia eólica é considerada a energia renovável mais competitiva. Contudo, devido a situações de crise económica, tem sofrido algumas dificuldades de progressão, quer no que respeita a preços de energia competitivos quer por razões de ordem financeira que impedem o seu rápido desenvolvimento.

No início dos anos 90, a Europa detinha 70% da capacidade instalada de energia eólica no mundo, sendo que a América do Norte respondia por 19% enquanto a Ásia e o Pacífico possuíam apenas 9% dessa mesma capacidade. A potência *standard* das turbinas era de cerca de 300 kW; em 2012 já existem turbinas com cerca de 3 MW. (James F. Manwell, 2009).

Em 2010 foi criada a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020) que é um plano da União Europeia concebido para ultrapassar a crise económica que se tem sentido nos últimos anos na região e criar condições para uma economia mais competitiva e geradora de emprego.

Tem como meta o crescimento inteligente, sustentável e inclusivo. Esta estratégia assenta em 5 grandes objectivos que consubstanciam metas comuns para os Estados-membros e para a União, com benefícios para ambos, a cumprir até 2020, que no âmbito das energias renováveis denominasse (ENE 2020). As opções de políticas energéticas assumidas na ENE 2020 assentam em cinco eixos principais (Eixo 1 – Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira; Eixo 2 – Aposta nas energias renováveis; Eixo 3 – Promoção da eficiência energética; Eixo 4 – Garantia da segurança de abastecimento; Eixo 5 – Sustentabilidade económica e ambiental) e assumem-se como um factor de crescimento da economia, de promoção da concorrência nos mercados na energia, de criação de valor e de emprego qualificado em sectores com elevada incorporação tecnológica. (Anexo I)

Actualmente, o crescimento da capacidade geradora de base eólica tem sido exponencial a nível mundial, segundo consta no relatório *Parques Eólicos em Portugal*, elaborado pela *Energias Endógenas de Portugal (e²p)*, em Dezembro de 2013:

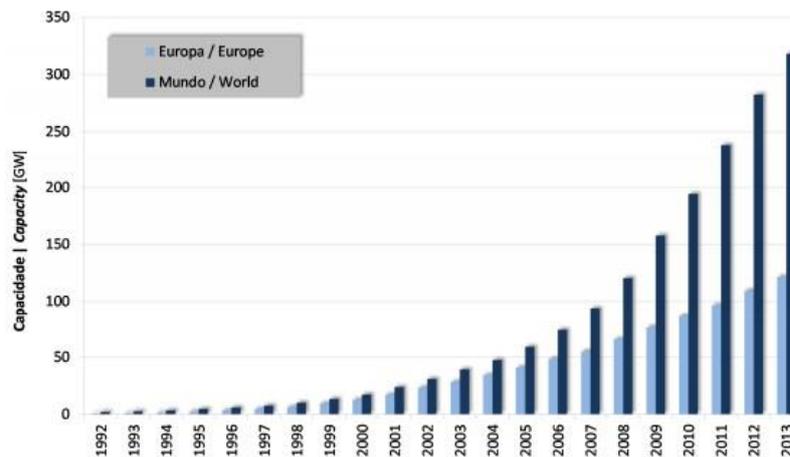


Figura 3 - Crescimento da capacidade geradora de base eólica entre 1992-2013. Fonte: APREN.

Desde 2000 que 385 GW de energia têm vindo a ser instalados na União Europeia. Deste todo, mais de 28% provêm de energia eólica e 55% de outras renováveis e gás combinado. (EWEA - European Wind Energy Association, 2014)

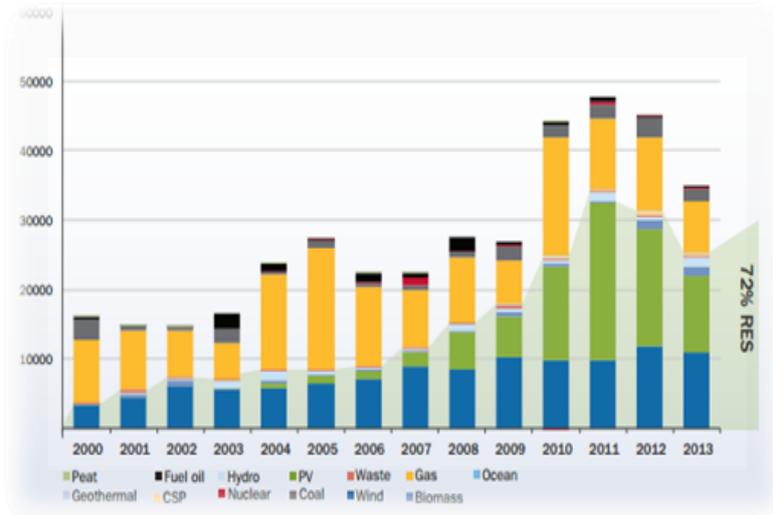


Figura 4 - Capacidade Instalada por ano, em MW, 2000-2013. Fonte: EWEA.

Em 2013, foi produzido um total de 25,4 GW de capacidade instalada a partir de energias renováveis. Mais de 72% de toda a nova capacidade instalada na UE tem origem renovável, sendo 2013 o sexto ano consecutivo em que mais de 55% de toda a nova capacidade instalada foi produzida a partir de energias renováveis. (EWEA - European Wind Energy Association, 2014) No mesmo ano, no sector eólico, foram instalados por toda a Europa 12.030 MW de energia, dos quais 11.159 MW pertencem à União Europeia (menos 8% que em 2012). Dos 11.159 MW instalados, 9.592 MW têm origem *onshore* e 1.567 MW provêm de instalações *onshore*. O mercado *onshore* sofreu uma queda de 12%, ao passo que as produções *offshore* subiram 34%. (APREN, 2014)

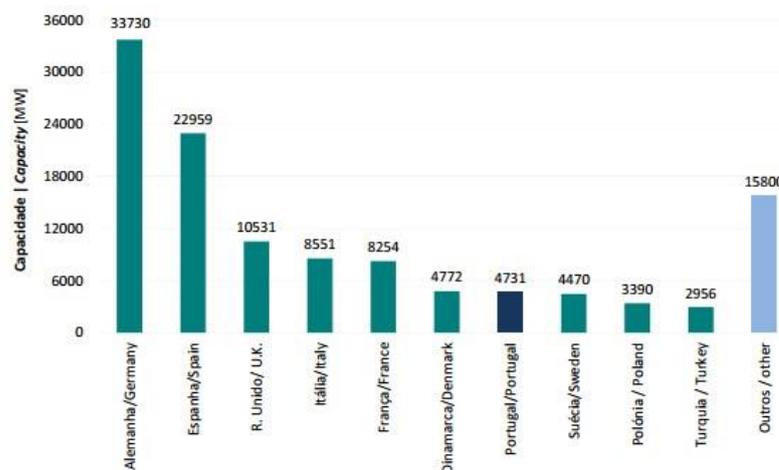


Figura 5 - Índices da capacidade geradora de base eólica na Europa, Dezembro de 2013. Fonte: APREN, INEGI.

Ultimamente tem-se vindo a assistir à emergência de novos mercados que, rapidamente, reduzem o seu atraso neste domínio. Os mercados dominantes do sector eólico, a nível mundial, são a China, os Estados Unidos da América (EUA), a Alemanha, a Espanha e a Índia. (EWEA - European Wind Energy Association, 2014) É importante frisar que, pela primeira vez, os mercados mais dinâmicos encontram-se espalhados por todos os continentes.

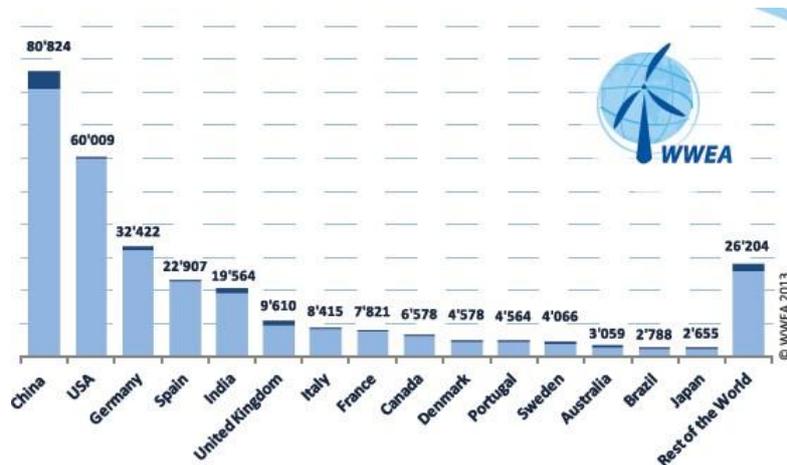


Figura 6 - Total da capacidade instalada a nível mundial, no primeiro semestre de 2013 (MW). Fonte: WWEA.

O ano 2013 foi um ano *record* em termos de instalações *offshore*, com 1,567 MW de nova capacidade instalada à rede eléctrica. As instalações *offshore* representam mais de 14% do mercado anual de energia eólica da União Europeia, acima dos 10% em 2012.

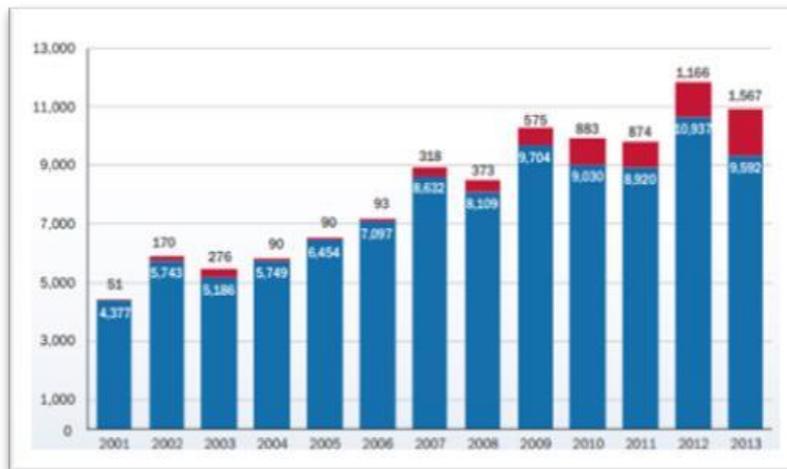


Figura 7 - Instalações anuais *onshore* (azul) e *offshore* (vermelho), em MW. Fonte: EWEA.

Com base nos valores apresentados, verifica-se que o sector de energia da União Europeia mantém o seu trajecto divergente relativamente aos combustíveis convencionais, apostando num constante aperfeiçoamento da tecnologia ligada às renováveis para que esta viabilize uma produção energética cuja proficiência tenda a ultrapassar a das turbinas existentes.

No Anexo I é possível consultar a tabela respeitante à globalidade da capacidade eólica instalada, por região, em 2013. No mesmo anexo, encontra-se disponível informação mais detalhada sobre a situação energética do sector eólico em cada continente.

2.2.2. Energia Eólica em Portugal

A história da energia eólica em Portugal data de 1986, ano em que foi construído o primeiro parque eólico, na ilha de Porto Santo, no arquipélago da Madeira. Seguiram-se-lhe o Parque Eólico do Figueiral, na ilha de Santa Maria, nos Açores (1988) e, em Portugal Continental, o Parque Eólico de Sines (1992).

No final de 2013, a potência eólica instalada em Portugal foi de 4.708,6 MW (Geologia, Dezembro de 2013), sendo 4.630 MW respeitantes a Portugal Continental, 46,2 MW à Madeira e 32,4 MW aos Açores. (Parques Eólicos em Portugal, 2013)

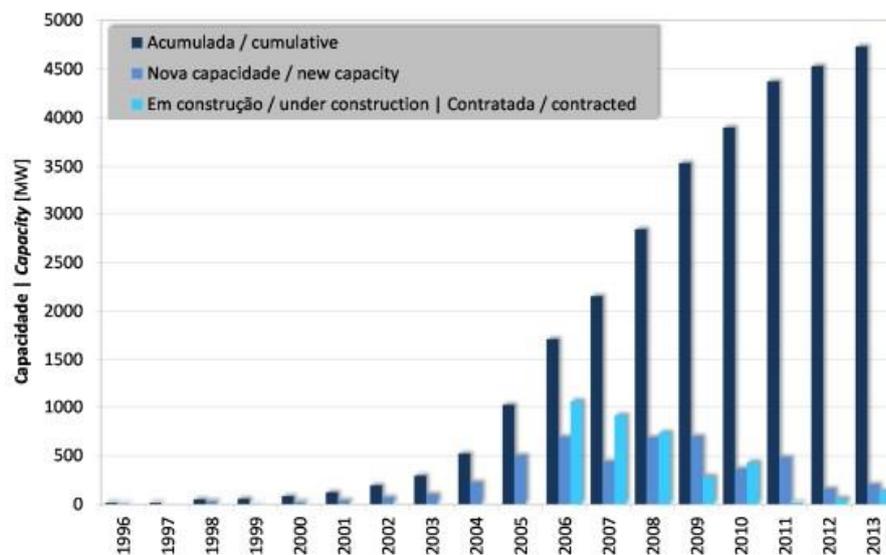


Figura 8 - Capacidade geradora acumulada em Portugal entre 1996 e 2013; Fonte: APREN.

Esse mesmo ano revelou ser um ano com elevado índice de eolicidade traduzindo-se numa taxa de penetração da energia eólica no consumo de 24%, valor apenas ultrapassado pela Dinamarca. (REN, 2014) Esta taxa corresponde a uma produção energética eólica de 11.903 TWh/ano, em que 11.751 TWh/ano correspondem a Portugal Continental, 0.083 TWh/ano na Madeira e 0.069 TWh/ano nos Açores. (REN, 2014) (Geologia, Dezembro de 2013)

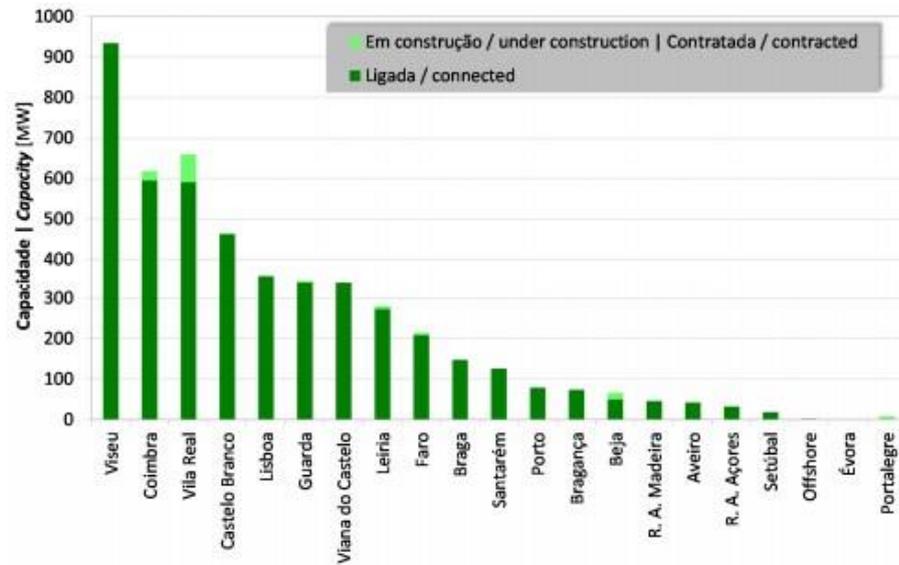


Figura 9 - Capacidade geradora por Distritos e Regiões Autónomas (MW). Fonte: (Parques Eólicos em Portugal, 2013)

O consumo de electricidade durante o ano 2013 foi de 50,7 TWh/ano, discriminando-se 49,2 TWh/ano para o território continental e os restantes 1,5 TWh/ano para os arquipélagos da Madeira (0,78 TWh/ano) e dos Açores (0,72 TWh/ano). (REN, 2014) (Geologia, Dezembro de 2013) (Parques Eólicos em Portugal, 2013)

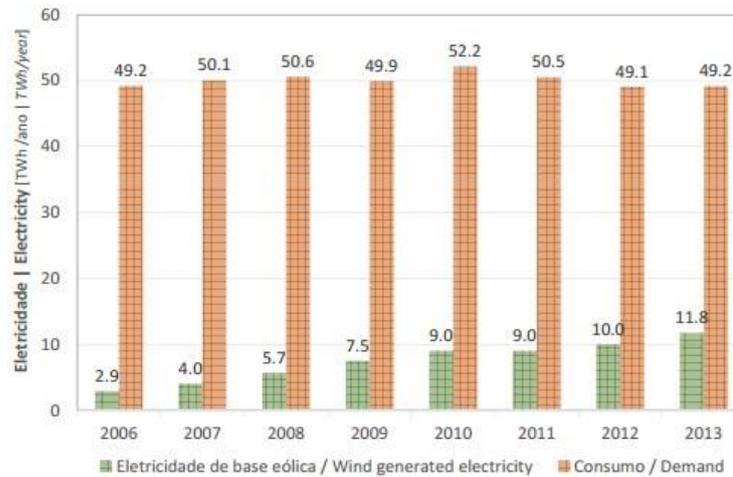


Figura 10 - Electricidade de base eólica vs Consumo de electricidade em Portugal Continental entre 2006-2013. Fonte: (Parques Eólicos em Portugal, 2013)

Ao nível da produção energética do vento *offshore*, um dos maiores contributos do sector eólico nacional inscreve-se no ano de 2011 e prende-se com o desenvolvimento e inauguração do primeiro parque eólico flutuante *offshore* – WindFloat. Este projecto tem como base de

lançamento um outro, o DEMOWFLOAT, que tem por objectivo demonstrar a sustentabilidade da tecnologia do *WindFloat* implementado nas águas territoriais do país. Trata-se de um consórcio Europeu e parceiros norte-americanos que assumem o desafio de avaliar este tipo de empreendimento em águas profundas.

Respeitante ao Parque Eólico Nacional, a produção de energia eólica é usualmente representada em MW/ano, estando-lhe associada o parâmetro NEPs – número de horas anuais equivalente à potência nominal em h/ano. Em 2013, 52% da produção eólica concentrou-se em parques eólicos com capacidades compreendidas entre 1.750 e 2.250 horas/ano; em 2010, a mesma produção encontrava-se em parques com capacidades compreendidas entre 2.250 a 2.750 horas/ano. (Parques Eólicos em Portugal, 2013).

Em 2011, parques eólicos com NEPs < 1.750 horas aumentaram a sua produção de 1% para 6%. Contudo, verificou-se que, nesta matéria, a tendência era de redução nos parques que produziam mais (de 53% para 29%) e um aumento nos parques com capacidades inferiores (58%).

Os parques eólicos de maior produção (NEPs > 2.750 horas) sofreram uma redução única de 16% para 13%, entre 2010 e 2011. (Fernandes, Marujo, & Simões, 2011).

O mapa seguinte mostra que a maior parte dos parques eólicos instalados no país encontra-se na metade norte do território. (Parques Eólicos em Portugal, 2013).

Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia – DGEG –, no final de Dezembro de 2013, a potência eólica instalada no país era de 630 MW, distribuídos por 228 parques com 2627 aerogeradores (a contar com o Windfloat, implantado *offshore*). (DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, 2014).

A maioria dos projectos desenvolvidos sobre energia eólica com base em ferramentas SIG datam do período da sua exploração inicial, em que alguns dos quais serão aqui referidos, tendo contribuído significativamente para o desenvolvimento e aposta neste sector.

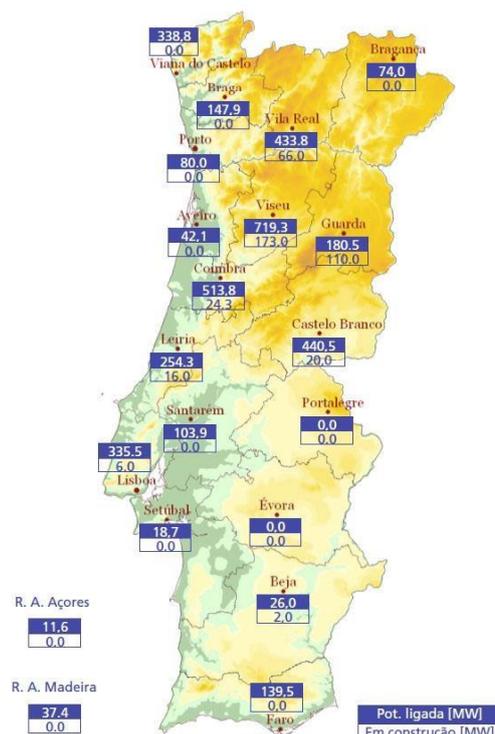


Figura 11 - Potencia produzida pelos Parques Eólicos nacionais (MW). Fonte: INEGI.

2.3. Os Sistemas de Informação Geográfica na Energia Eólica

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm um papel fundamental no dimensionamento e viabilização dos projectos de parques eólicos. Para determinar um local exequível à sua implementação, é necessário avaliar o potencial eólico da zona (dados meteorológicos, cartográficos: relevo e rugosidade), identificar as restrições técnicas (distância à rede, acessos, servidões públicas, etc.), ambientais (paisagísticas, zonas protegidas, de interesse florístico, faunístico, etc.), arqueológicas, hidrológicas, geológicas, de impacto sonoro e sócioeconómicas (actividades económicas, tipo de propriedade, etc.). Os SIG aplicados à energia eólica permitem localizar as zonas com maior ou menor potencial, proximidade de acessos, distância à rede eléctrica, às zonas protegidas ou de habitações, etc.. Nesta medida, os SIG constituem uma ferramenta valiosa para o planeamento de projectos de energia eólica.

Várias são as publicações, a nível mundial, que reportam a utilização das tecnologias SIG nos sistemas de energia eólica.

Segundo informação disponível na Direcção Geral de Energia e Geologia - DGEG³, o LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia (à data, o Departamento de Energias Renováveis do Ex-Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação - INETI) produziu uma base de dados do potencial eólico em Portugal, a EOLOS 2.0, (DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, 2014) a partir da qual é possível inferir das características físicas e energéticas do escoamento atmosférico num conjunto de 57 locais do território nacional continental e inclui uma folha de cálculo simplificada que permitia, em função do investimento, avaliar a exequibilidade económica de um projecto de energia eólica; e produziu igualmente o primeiro Atlas do Potencial Eólico em Portugal Continental. (Costa, 2004).

O mapeamento do potencial eólico de diversas áreas geográficas foi igualmente efectuado pelo LNEG e inserido num SIG para a identificação de áreas de interesse para o desenvolvimento de projectos de energia eólica. Exemplos são países como Moçambique, Israel, Guiné equatorial, entre outros. (LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2013).

O *software* VENTOS, desenvolvido pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em colaboração com o Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, o INESC (Porto) e o *Research Center for Wind Energy and Atmospheric Flows* (RCWEAF), é utilizado para simulação computacional do comportamento do escoamento do vento sobre terrenos

³ DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia, <http://www.dgeg.pt/>, consultado em 17 de Outubro de 2012.

complexos, com ou sem arborização, e revelou ser uma ferramenta imprescindível para o conhecimento do potencial energético eólico de Portugal.

O INEGI, Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, apoia a caracterização do potencial eólico regional do país desde 1991. Com mais de 500 estações de medição instaladas em 6 países, 200 presentemente em operação, tem um papel fulcral no desenvolvimento da tecnologia eólica. As suas áreas de actuação passam por:

- Planeamento e condução de campanhas de avaliação do recurso eólico;
- Realização de estudos de viabilidade técnico-económica;
- Cálculo de produtividade e optimização e configuração de parques eólicos;
- Avaliação do desempenho de aerogeradores;
- Verificação de garantias de produção, acompanhamento da exploração do parque;
- Participação em acções de planeamento e ordenamento territorial (PROT, municípios)

O tipo de metodologia aplicada é replicável a escalas menores (municípios, associações de municípios, distritos, etc.) embora também possa ser aplicado a PDMs. (Silva, 2010)

Outros projectos recentes que estabelecem uma interligação estreita entre os SIG e a energia eólica foram desenvolvidos em várias instituições.

Em 1986, o Departamento de Energia da *National Renewable Wind Laboratory* criou uma base de dados de estimativa anual do recurso eólico dos Estados Unidos, publicado no documento *Wind Energy Resource Atlas of the United States*. Para a constituição da base de dados, foram utilizados indicadores topográficos da superfície terrestre, marinha costeira e dados meteorológicos, bem como factores de deformação vegetal e de vento. (NREL - National Renewable Energy Laboratory, 1985)

Em 1997, Cláudio Monteiro desenvolveu uma dissertação de mestrado intitulada *Integração de Energia Renovável na produção descentralizada de electricidade utilizando SIG*. (Monteiro, 1997) Esta dissertação trás uma visão simplista de alguns aspectos relacionados com a construção de uma base de dados do SIG e sobre o mapeamento do recurso eólico por região. São também referidas metodologias baseadas em SIG para a detecção de zonas de elevado potencial para instalação de parques eólicos.

Desde 2000 que vigora um projecto elaborado pelo INEGI para a REN sobre *Estimativas do Potencial Eólico de Portugal Continental*. (INEGI, 2000).

Em 2004, Teresa Simões desenvolveu uma *Base de Dados do Potencial Energético do vento em Portugal – Metodologia e Desenvolvimento*. (Simões, 2004)

Em 2010, Miguel Marques e Bruno Silva desenvolveram um projecto sobre *Tecnologias SIG no apoio à caracterização do potencial eólico regional*. (Marques, 2010) Foi utilizada uma metodologia comprovada com replicável a várias escalas administrativas, e uma mais-valia na avaliação preliminar e quantitativa do recurso eólico. A metodologia utilizada é muito semelhante à do presente trabalho, representada esquematicamente pela seguinte figura:

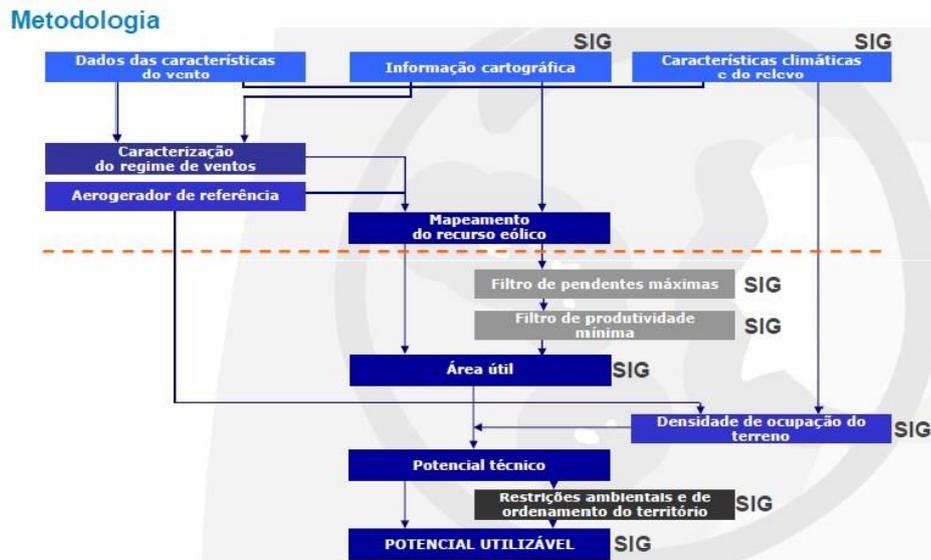


Figura 12 - Metodologia de integração dos SIG com a Energia Eólica. Fonte: INEGI

No ano 2013, Dimitrios Mentis, da *KTH Industrial Engineering and Management*, criou a *Wind Energy Assessment in Africa, A GIS-based approach*, um documento que reúne o apuramento dos parques eólicos de alguns países africanos, tendo em conta áreas protegidas e relações sócioeconómicas. (Mentis, 2013)

Capítulo 3

Estrutura e Planeamento da Energia Eólica em Portugal Continental

A tomada de consciência de Portugal relativamente às questões ambientais e da necessidade de produção de uma energia limpa para combater as alterações climáticas teve início em 1997, com a assinatura do Protocolo de Quioto, facto que veio contribuir para o aumento do interesse pela expansão da indústria eólica a nível mundial e nacional. Desde 2002 que a implementação de um enquadramento legislativo específico estável para fontes de energia renováveis tem permitido o crescimento rápido da energia eólica do país.

3.1. Vento como recurso energético

O vento é um recurso utilizado há milhares de anos para responder às necessidades energéticas das actividades humanas, como os meios de transporte (barcos à vela), bombeamento de água para processos industriais (moinhos de vento), ainda visíveis no cume de muitos montes portugueses.

O recurso eólico é considerado um recurso natural renovável que varia conforme o tempo e o espaço. Quando se discute as características gerais deste recurso, é necessário entender três tópicos fundamentais: (i) a origem do vento, (ii) as suas características gerais e (iii) estimar o potencial eólico.

Quanto à sua origem, o vento é gerado pelo movimento das massas de ar condicionado pelos diferenciais de pressão à superfície da Terra, devidos à radiação solar. À superfície, caracterizase pelo deslocamento de ar de zonas de alta pressão atmosférica para zonas onde esta pressão é inferior. Os padrões de circulação atmosférica têm então origem no balanço de energia de radiação e na tentativa que a atmosfera continuamente desenvolve na procura do equilíbrio. A rotação da Terra juntamente com o atrito desse movimento distribui os padrões de vento ao nível global. (Estanqueiro, 1996).

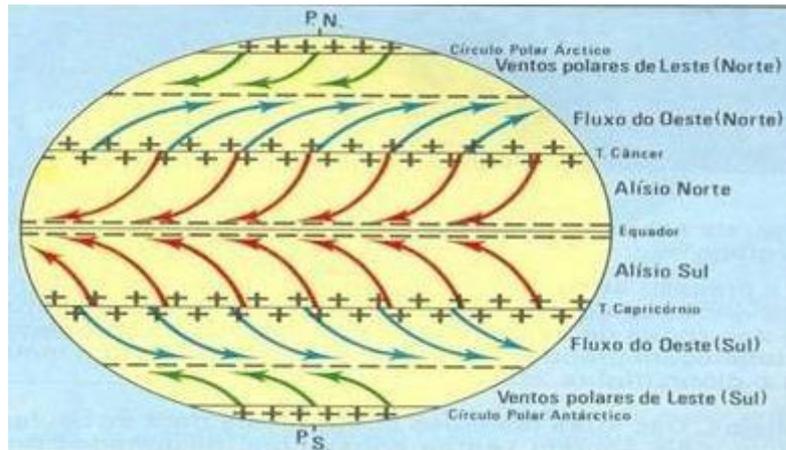


Figura 13 - Formação do vento. Os + representam zonas de alta pressão e os – zonas de baixa pressão. Fonte: http://www.minerva.uevora.pt/odimeteosol/altera_clima_ficheiros/image014.jpg

A característica que mais se destaca no recurso eólico é a sua variabilidade, tanto geográfica como temporal.

Ao nível geográfico, tem-se variabilidade em larga e pequena escala. Em larga escala, fala-se de variabilidade espacial, maioritariamente ditada pela latitude que afecta a insolação do local, que determina a temperatura da superfície e, por sua vez, o escoamento atmosférico. O ar quente sobe e circula na atmosfera regressando à superfície em áreas mais frias. O resultado em larga escala deste movimento de ar é fortemente influenciado por forças de *Coriolis*⁴ e pela rotação da Terra.

Numa escala menor, caracterizada pelo espaço físico geográfico, tem-se em consideração a orografia do terreno. Mais localmente, a topografia do terreno tem um efeito mais significativo no clima do vento, pelo que a incidência de ventos mais fortes surge no cimo de montanhas e o contrário se verifica em vales e zonas de menor altitude. (Burton, 2001) Por outro lado, a presença de obstáculos e respectiva tipologia condiciona a velocidade do vento (tema abordado mais adiante).

Em termos temporais, o vento varia inter-anualmente, mensalmente, diariamente e em curta escala. (Manwell, 2002) A variação anual é considerada numa perspectiva alargada no tempo que, não sendo de grande domínio, torna difícil a previsão da viabilidade económica de alguns projectos. A curto prazo (períodos inferiores a um ano), a variação do recurso eólico é maior e mais fácil de se prever. (Burton, 2001)

⁴ A pseudo-força de Coriolis é uma força de inércia e faz-se presente apenas quando o objecto se encontra em movimento em relação ao referencial não-inercial em consideração, mostrando-se sempre perpendicular a esta velocidade e também ao eixo de rotação do sistema não inercial em relação ao inercial. (citado de http://pt.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_inercial_de_Coriolis)

A variável de maior destaque é a velocidade do vento que depende tanto do local topográfico como da orografia do terreno sendo a sua variação em curta-escala bastante significativa. A turbulência tem como base flutuações na velocidade do vento numa escala de tempo relativamente rápida, tipicamente menor que 10 minutos. A turbulência é geralmente causada por dois factores: (i) “fricção” do ar na superfície do terreno (orografia), e (ii) por efeitos térmicos que fazem variar as massas de ar que se movimentam verticalmente. Estes dois factores costumam estar interligados. (Manwell, 2002)

O vento pode ser considerado como um vector definido por uma grandeza que alia velocidade e direcção. A magnitude do vento é a velocidade escalar. A direcção do vento é expressa em graus, medidos no sentido dos ponteiros do relógio, e representado por intermédio de uma rosa de ventos. No sistema internacional, a velocidade do vento é expressa em metros por segundo (m/s).

Tal como a maioria das fontes de energia renováveis (com excepção da geotérmica), a energia eólica tem origem no aquecimento da atmosfera pelo sol, que põe em movimento as massas de ar. Por outro lado, a rotação da terra, a forma e cobertura da superfície terrestre e os planos de água influenciam o regime dos ventos, ou seja, a sua velocidade, direcção e variabilidade num determinado local. Este potencial renovável é cada vez mais utilizado para a produção de electricidade, seja para utilização local descentralizada (turbinas eólicas isoladas), seja canalizado em grande escala para a rede de distribuição em parques eólicos (vários aerogeradores ligados à rede eléctrica).

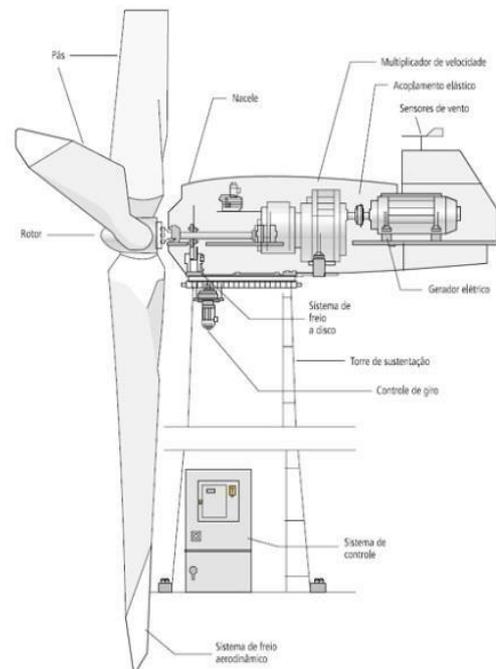


Figura 14 - Turbina eólica de eixo horizontal. Fonte: <http://www.parqueeolicoalegria.com.br/energia-eolica>

3.1.1. Potencial Eólico

A energia disponível no vento denomina-se eólica, nome derivado da mitologia grega *Eólo*, o deus do vento. Esta varia com o cubo da sua velocidade, o que torna pertinente entender as características deste recurso quando se trata da sua exploração, escolha do local de instalação de

parques eólicos, previsão da sua viabilidade económica e o correspondente efeito aquando da distribuição da electricidade à rede eléctrica e, por fim, ao consumidor. (Manwell, 2002).

Entende-se por energia eólica o processo pelo qual o vento é utilizado para a produção de energia mecânica ou energia eléctrica, sendo que o potencial eólico é a energia que daí podemos retirar. A energia cinética do vento é convertida em energia mecânica pelas turbinas eólicas, energia esta posteriormente utilizada para diversas actividades ou, mais recorrentemente, transformada em energia eléctrica através de um gerador e, por sua vez, injectada na rede eléctrica e assim distribuída ao consumidor.

Cada turbina eólica é constituída pelos seguintes componentes: rotor (peça que roda por acção do vento, onde se fixam as pás); gerador eléctrico (converte energia mecânica em energia eléctrica); sistema de controlo de velocidade; torre (sustentação e maximização de produção energética); sistema de segurança (em caso de avaria de algum componente impede o movimento das pás).

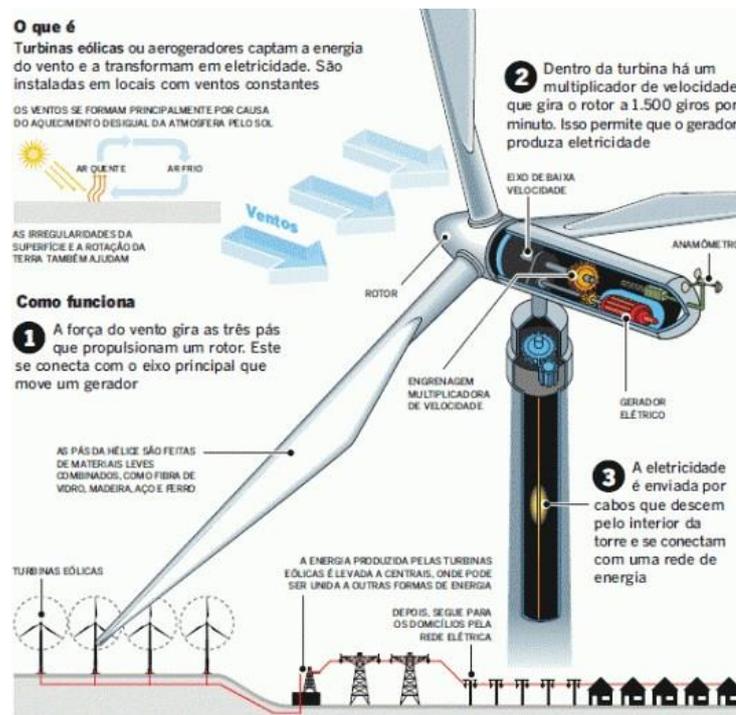


Figura 15 - Funcionamento de uma turbina eólica de eixo horizontal. Fonte: <http://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/>

Os avanços tecnológicos dos materiais que compõem cada turbina bem como avanços no campo da engenharia, da electrónica e da aerodinâmica têm proporcionado uma evolução gradual da tecnologia das turbinas eólicas.

As turbinas eólicas funcionam dentro de um conjunto de valores de velocidade do vento, sendo necessário medir de forma contínua essa velocidade que incide nas mesmas. Nesse contexto, existe uma velocidade mínima (*cut-in*) para a qual a maioria dos modelos de turbina inicia o seu funcionamento e uma velocidade máxima para a qual elas cessam o funcionamento por questões de segurança (*cut-out*). São elas 3 m/s e 25 m/s, respectivamente. (Simões, 04/2009).

Como já referido, a potência eléctrica produzida é função do cubo da velocidade do vento (v), segundo a equação:

$$P(\text{Watts}) = \frac{1}{2} \rho A_r v^3 C_p \eta \quad (\text{Equação 1})$$

Em que,

ρ , é a massa volúmica do ar, em kg/m^3 ;

A_r , é a área de captação eólica, calculada por $v \times (D/4)$, sendo D o diâmetro do rotor;

C_p , é o coeficiente aerodinâmico de potência do rotor;

η , é a eficiência do conjunto gerador/transmissor.

Num parque eólico, de modo a minimizar as perdas de desempenho provocadas pela proximidade das turbinas, que se inter-influenciam, deve-se garantir a distância entre estas para o escoamento recuperar as condições de velocidade originais. Essa distância varia com a velocidade do vento, a rugosidade do terreno e a condição de estabilidade térmica vertical da atmosfera, bem como das condições de operação da turbina (Estanqueiro, 1996)

Geralmente, a distância considerada segura para a instalação de várias turbinas no mesmo local é da ordem de 5 a 8 vezes o diâmetro D , se instalada a jusante, e 3 a 5 vezes D , se instalada ao lado, em relação à direcção do vento predominante.

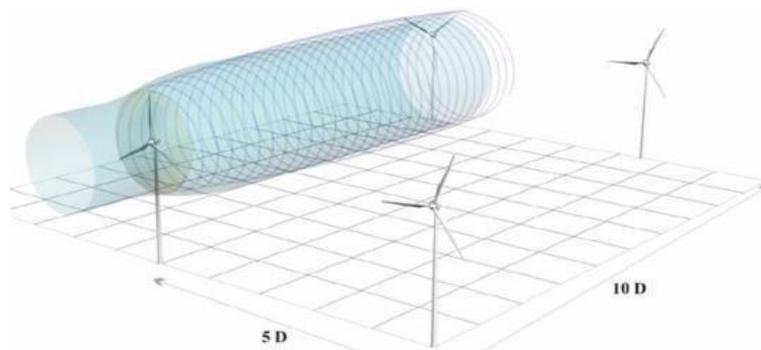


Figura 16 - Distância para instalação de turbinas num parque eólico. Fonte: <http://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/>.

Uma vez que a produção de energia varia com o cubo da velocidade do vento, cada aerogerador é instalado numa zona específica onde o potencial eólico é mais elevado. Contudo, a velocidade do vento é afectada pelo relevo do solo, aumentando com a altura acima deste, pelo que cada turbina é habitualmente instalada em zonas de maior altitude de modo a maximizar a sua produção energética.

Um projecto de produção de energia eléctrica a partir de energia eólica assenta numa avaliação prévia da disponibilidade e velocidade do vento no local onde se pretende implementar o mesmo. Usualmente, um sistema de produção eólica, para ser economicamente viável, necessita de uma velocidade média anual de vento de 6 m/s. (Simões, 2004)

A altura da torre também é importante nesta avaliação, uma vez a turbulência do vento ser maior junto ao solo do que em altitude. Actualmente, a altura das torres varia entre 80 a 90 ou mesmo 100 metros. (Simões, 04/2009). O aproveitamento da energia eólica pode ser efectuado em terra (*onshore*) e no mar (*offshore*).

Existem dois tipos de turbinas eólicas, as de eixo horizontal e as de eixo vertical. As mais comuns são as primeiras e são habitualmente compostas por três pás. A produção energética de uma turbina depende, entre outros factores, da área do rotor. Unidades com rotores de maior dimensão produzem substancialmente mais energia do que as com menor área de rotor.

3.2. Parâmetros condicionantes do aproveitamento do potencial eólico

A caracterização do recurso eólico dum dado local/região está condicionada por vários parâmetros que determinam a forma do escoamento atmosférico, sendo os principais:

- Velocidade e direcção do vento;
- Orografia local;
- Obstáculos e rugosidade – vegetação e uso do solo.
- Declive do terreno

3.2.1. Velocidade e direcção do vento

A medição da velocidade e direcção do vento é um factor imprescindível para a correcta caracterização do escoamento atmosférico num dado local. Estas medições são realizadas através de campanhas experimentais de medida nos locais onde se pretende instalar os parques eólicos durante, pelo menos, doze meses consecutivos. Quanto mais extenso o período de

medição, menores serão as incertezas associadas à variabilidade interanual do escoamento atmosférico.

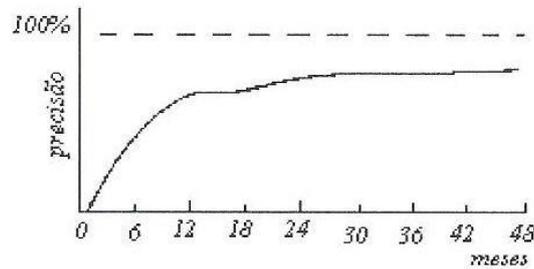


Figura 17 - Duração de uma campanha experimental vs precisão nas estimativas. Fonte: Marques da Silva et al., 1986

As medidas experimentais do vento são, desejavelmente, obtidas para alturas próximas do eixo de rotação da turbina que se pretende instalar (e.g. 80/100 metros) e para a altura de referência meteorológica (10 metros) de forma a permitir a obtenção de estimativas de produção energética tão fidedignas quanto possível. Desejavelmente, são efectuadas medidas dos parâmetros do vento a várias alturas de forma a permitir uma correcta caracterização do perfil vertical do vento. Quando surge a necessidade de transpor verticalmente os valores de velocidade do vento (e.g. quando as medidas são obtidas para quotas abaixo da altura da torre da turbina eólica), recorre-se a métodos estatísticos (e.g. funções de regressão), a leis logarítmicas ou à lei de potências (equação 2).

$$V_{Z_1} = V_{Z_{ref}} \times \left(\frac{Z_1}{Z_{ref}} \right)^\alpha \quad \text{(Equação 2)}$$

Na equação, V_{Z_1} é a velocidade a que se pretende conhecer à altura Z_1 , $V_{Z_{ref}}$ é a velocidade conhecida à altura de referência Z_{ref} , e α é o coeficiente de rugosidade tabelado, ou experimentalmente determinado.

Cada mastro anemométrico pode ter instalados 1, 2 ou 3 conjuntos de sensores (anemómetros de copos e sensores de direcção) ligados a um sistema de aquisição de registo de dados (*datalogger*) que permite visualizar valores instantâneos e armazenar a informação numa unidade de memória amovível. Nos casos dos mastros anemométricos instalados em locais de difícil acesso, utilizam-se, sempre que possível, *dataloggers* de acesso remoto.

Existem dois tipos de torres anemométricas instaladas: treliça e telescópicas (ou tubulares). Ambas estão, habitualmente, equipadas com pára-raios e eléctrodo terra. Os anemómetros de copos são submetidos a calibração num túnel de vento aerodinâmico (LNEC, IM ou INETI) antes da sua instalação na torre anemométrica. O funcionamento dos sensores de direcção é,

numa primeira fase, verificado em laboratório e, posteriormente, no local de instalação utilizando a bússola de um GPS (*Global Positioning System*), ou outro sistema de referência não interferentes. (Simões, 2004).

Quando uma estação anemométrica se encontra em operação durante longos períodos de tempo (tipicamente períodos superiores a dez anos) são consideradas de “longo termo”. As suas valências não se confinam à avaliação do potencial eólico, desempenham, igualmente, um papel relevante na referência para avaliação da variabilidade interanual do escoamento atmosférico.

3.2.2. Orografia

Por orografia entende-se, em geografia, o estudo da tipologia e das variações do relevo numa dada região. No que diz respeito ao escoamento atmosférico de um dado local, a orografia vem a ser um dos elementos mais importantes da sua caracterização, tendo em conta a sua elevada dependência da complexidade do terreno em análise.

Consideram-se vários tipos de orografia, sendo os mais complexos e relevantes para a produção de energia eólica os de montanha, de cumeadas, de falésia e as depressões (e.g. vales e desfiladeiros).

As montanhas tendem a alterar as características do escoamento atmosférico de variadas formas. Os fenómenos de brisa são provocados pela diferença de temperatura que se faz sentir entre o ar perto da montanha (aquecido durante o dia e arrefecido durante a noite, por condução e mistura) e o ambiente circundante. No caso de a estabilidade estática ser neutra, é criado um gradiente de pressão devido ao escoamento da direcção do mesmo que, aliado ao atrito por fricção à superfície tende a produzir separação do fluxo (Plate, 1982). Consequência deste fenómeno é a produção de turbilhões em esteira, a montante ou a jusante da montanha, atingindo muitas vezes distâncias que ultrapassam várias vezes a altura da própria montanha, dependendo do declive da mesma. Quando a separação ocorre a montante, os turbilhões produzidos instalam-se na base da mesma e são estrangidos pela sua presença; quando ocorre a jusante da montanha, produz-se uma esteira que pode ir até 10 ou 20 vezes a altura do cume. Em elevações de inclinação suave, este fenómeno é praticamente inexistente, e caso exista concentração de linhas de corrente, é possível haver um aumento da velocidade do vento e consequente aumento de energia, até cerca do dobro do valor obtido sem a perturbação do terreno (cf. figura 18), (Meroney, 1991), (Simões., 2004)

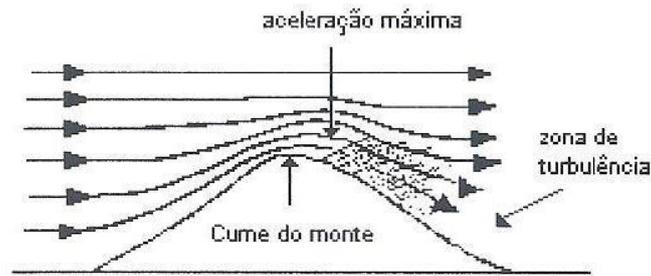


Figura 18 - Aceleração do vento sobre uma elevação. Fonte: Simões, 1999.

Em baixo enuncia-se alguns dos critérios gerais para a selecção de locais em terreno montanhoso (Justus, 1980):

- Cristas perpendiculares à direcção predominante do vento. As cristas são preferíveis às colinas com a mesma inclinação;
- Colinas de inclinação suave (entre 1:3 e 1:4) em que os cumes não são nem muito planos, nem muito acentuados, nem de forma dentada;
- Colinas onde a vegetação seja rasteira.

A instalação de um parque eólico numa linha de cumeadas apresenta algumas vantagens, pois esta actua como uma torre, elevando os aerogeradores a altitudes onde o vento sopra mais forte. Pode existir uma aceleração do vento, com conseqüente aumento da energia disponível no local, uma vez os efeitos de arrefecimento junto ao solo serem parcialmente evitados. Num terreno com estas características, há que ter em conta vários efeitos, inclusive a componente térmica cuja relevância não deverá ser descurada na medida em que se podem formar ventos de vale e de montanha. Na figura 19 estão representadas várias orientações possíveis e as suas classificações respectivas:

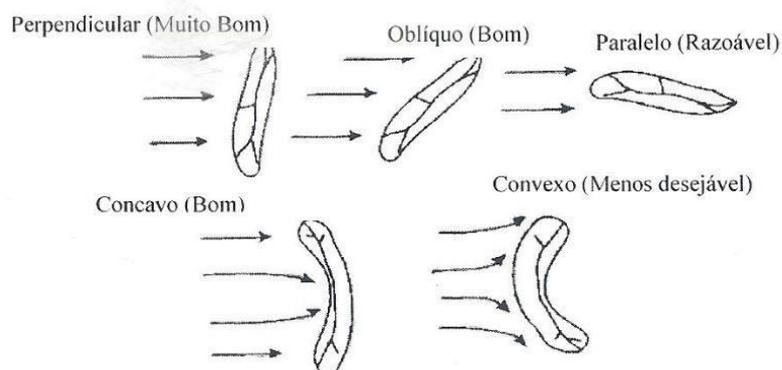


Figura 19 - Orientações possíveis de linhas de cumeadas. Fonte: Marques da Silva et al., 1986.

O valor de aceleração do vento é determinado através da orientação das linhas de cumeeada em relação à sua direcção predominante. Um factor importante para a escolha do local é a forma dos montes uma vez que esta condiciona o escoamento atmosférico.

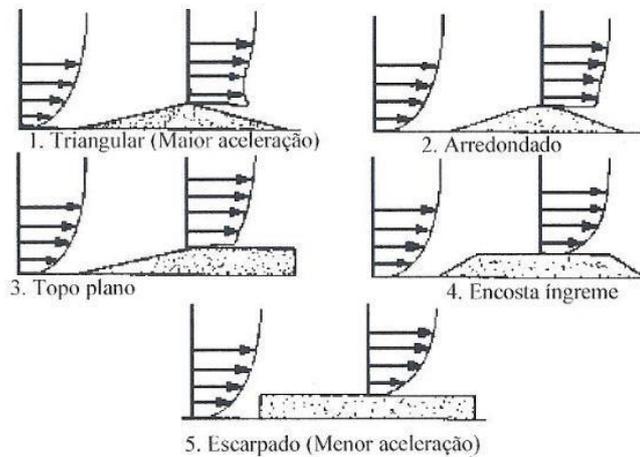


Figura 20 - Formas dos montes por ordem de preferência. Fonte: Wegley et al., 1980.

O escoamento em terreno montanhoso pode resumir-se de acordo com os seguintes parâmetros (Marques da Silva, 1996):

- O regime de vento na cumeeada não é sujeito a grandes variações mas é dependente do local e época do ano;
- A correlação entre a direcção do vento num terreno complexo e uma dada referência em campo aberto é válida apenas para um dado local;
- Em média, o vento na cumeeada é mais elevado no Inverno do que no Verão;
- Mesmo em dias globalmente calmos pode observar-se no cume vento com velocidade substancial.

Outro tipo de orografia prende-se com a existência de escarpas e falésias que introduzem zonas de recirculação no escoamento atmosférico, dificultando o posicionamento dos sistemas de medida e o aproveitamento da energia do vento. Contudo, no caso de os sistemas eólicos serem colocados criteriosamente fora destas zonas, pode-se aproveitar a aceleração do escoamento atmosférico e o seu conseqüente acréscimo de energia produzida.

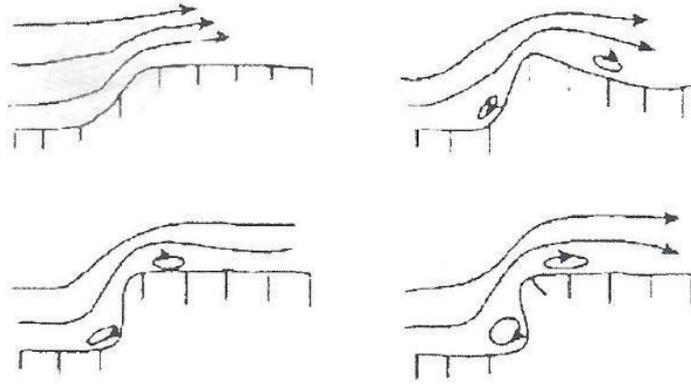


Figura 21 - Zonas de re-circulação em falésias e escarpas. Fonte: Wegley et al., 1980.

Aquando de depressões marcadas, como os desfiladeiros ou os vales estreitos com orientação apropriada, o escoamento pode ser acelerado caso o vento seja conduzido ao longo da depressão que, regra geral, se encontra parcialmente rodeada de terreno elevado, o que implica que o local escolhido deva situar-se na direcção predominante do vento.

A caracterização da orografia é normalmente efectuada através de mapas de altimetria, frequentemente utilizados neste tipo de estudos, os quais são digitalizados em formato vectorial com uma área mínima de 5 x 5 km em redor do mastro anemométrico ou do local de estudo, com curvas de nível espaçadas de 10 m. No entanto, a maioria dos locais do nosso país, com interesse do ponto de vista do aproveitamento eólico, é de natureza muito complexa, pelo que as áreas são alargadas, muitas das vezes, de modo a considerar elementos orográficos que possam influenciar o escoamento atmosférico nas regiões de interesse (e.g. 10 x 10 km). (Simões, 2004) Devido à complexidade da orografia característica do território português a avaliação do potencial eólico é, regra geral, apenas válida em pequenas áreas em redor dos mastros anemométricos instalados para medição do vento (tipicamente 5x5 km). Devido a esta limitação, exceptuando-se alguns casos, potenciais promotores, no início dos seus projectos, viram-se obrigados a realizar campanhas experimentais de medição do vento com vários mastros anemométricos. A opção de um só mastro para a caracterização do potencial eólico de uma dada região obriga a uma selecção rigorosa do local de instalação, uma vez que, mesmo em áreas com características orográficas relativamente suaves, as condições de escoamento atmosférico podem variar significativamente em distâncias curtas. É frequente considera-se que dois locais que distem entre si 15 a 30 quilómetros em áreas espacialmente extensas com características orográficas suaves estarão ambos sujeitos a uma exposição semelhante em termos de ventos dominantes. Em regiões planas, esta distância poderá estender-se até cerca de 90 quilómetros (Wegley *et al.*, 1980). Já em regiões de características orográficas complexas, as distâncias variam apenas na ordem dos 5 a 8 quilómetros (Mortensen *et al.*, 1993), pois, nestas circunstâncias, tem que se ter em conta perturbações do escoamento atmosférico induzidas pela

orografia e, noutros casos, pela rugosidade vegetal e obstáculos existentes. Esta situação não se aplica aos vales caracterizados como locais com um índice reduzido de vento, principalmente de noite, devido a formação de “piscinas de ar frio”⁵.

Com o surgimento de parques eólicos de grandes dimensões – elevada capacidade e número de aerogeradores –, foi necessário instalar mais do que um mastro anemométrico dentro da área que engloba o parque bem como caracterizar o recurso energético através de novas metodologias de avaliação da produção energética. Exemplo disso é a utilização actual de mapas de recurso energético construídos com base em dados provenientes de várias estações anemométricas – mapas de recurso compósitos. (Simões, 2004) (Costa P., 2003)

Neste tipo de estudos, é usual utilizar-se cartografia digital 1:25 000 em formato vectorial, englobando uma área considerável em redor do mastro anemométrico e, desejavelmente, do parque eólico.

3.2.3. Rugosidade e Obstáculos

A rugosidade é um tipo de ocupação do solo que varia em região e local. Pode ser entendida como uma medida de aspereza de uma superfície, sendo considerado um factor de redução da velocidade do vento. (Benelli, 2009) A rugosidade influencia de forma determinante o escoamento atmosférico junto ao solo e, por consequência, a energia disponível num dado local.

O espaço ideal para a instalação dum parque eólico é caracterizado por uma rugosidade homogénea e reduzida, contudo, o mais comum, é encontrar-se locais com vários tipos de rugosidade que se interpenetram.

Aquando das medições para mapeamento de rugosidade, é frequente existirem, junto do mastro anemométrico, elementos que causam obstrução ao escoamento atmosférico que, não podendo ser classificados como rugosidade, são designados de obstáculos. Os obstáculos podem ser de vários tipos: casas, depósitos de água, postos de vigia florestais, aglomerados de árvores ou mesmo grandes estruturas de pedra. A sua correcta identificação e caracterização são essenciais pois dependendo da sua tipologia assim a sua influência no escoamento atmosférico se faz sentir de forma distinta, como mais adiante se discrimina.

⁵ Formam-se devido à descida de ar frio pelas encostas das montanhas concentrando-se nas zonas mais baixas, isolando-as dos ventos regionais (Stull, 1988), embora possam ocorrer efeitos de concentração local.

- **Edifícios:** As perturbações produzidas aumentam em altitude a jusante. O escoamento, ao ser obstruído pelo edifício, forma uma esteira ainda a montante do mesmo, sendo que, após a sua passagem, formará outra esteira em formato de ferradura que se alonga em distância para jusante (cf. figura 22). No entanto, não é comum a instalação de aerogeradores nas proximidades de edifícios, exceptuando junto de algumas quintas ou de estruturas urbanísticas. Durante as campanhas experimentais de caracterização geral do vento, é comum instalar-se estações anemométricas em terrenos com obstáculos deste tipo.

De modo a evitar a influência de edifícios, devem ser tomadas as seguintes precauções quanto ao posicionamento de um sistema eólico:

- Posicionar a uma distância a montante de mais do dobro da altura do edifício;
- Posicionar a uma distância mínima a jusante de dez ou vinte vezes a altura do edifício;
- Posicionar pelo menos três a cinco vezes a direcção transversal do edifício caso o sistema eólico esteja colocado transversalmente ao edifício relativamente ao escoamento.

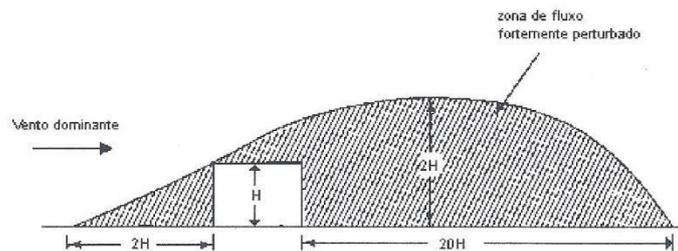


Figura 22 - Escoamento perturbado pela presença de um edifício. Fonte: Hiester and Pennel, 1983.

- **Barreiras vegetais:** Geralmente caracterizam-se por filas de árvores posicionadas oblíqua ou perpendicularmente ao local que se pretende proteger. O grau de perturbação do escoamento varia com a altura, profundidade e porosidade da barreira vegetal. Entende-se por porosidade a percentagem de área aberta, ou não concentrada, de vegetação. Quanto mais alta é a barreira maior é a distancia atingida pelo escoamento perturbado a jusante do obstáculo (cf. figura 23) e, conseqüentemente, maior é a distância necessária para que o escoamento recupere a sua energia inicial.

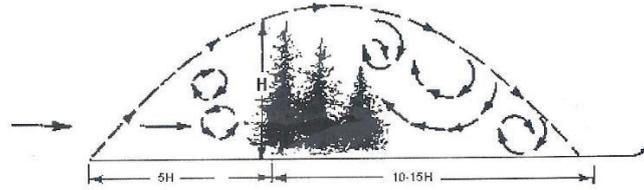


Figura 23 - Escoamento a jusante de uma barreira vegetal. Fonte: Wegley et al., 1980.

Com o fim de minimizar o impacto deste tipo de obstáculo é recomendada a escolha de um local afastado para jusante ou para os lados da barreira, ou, em último caso, a utilização de uma torre suficientemente alta para minimizar a perturbação do escoamento.

- Árvores posicionadas aleatoriamente: Este tipo de obstáculo produz uma esteira que, embora de intensidade inferior à produzida pelos obstáculos mencionados anteriormente, estende-se por distâncias maiores. A perda de velocidade provocada varia entre os 3% e os 20%, pelo que a perda de energia produzida pode variar entre os 9% e os 40%, consoante o tipo de folhagem e a distância do ponto de interesse (Wegley *et al*, 1980).

A fim de minimizar a influência deste tipo de obstáculos, deve ser considerada a hipótese de instalação de torres anemométricas de alturas elevadas. (Simões, 2004)

A representação de cada obstáculo é efectuada no local através das distâncias do mastro aos dois cantos mais próximos deste e respectivos ângulos, altura e profundidade. Posteriormente, é atribuído um coeficiente de porosidade a cada obstáculo (Troen and Petersen, 1989), (Simões, 2004).

3.2.4. Declive do terreno

O declive do terreno tem influência no aproveitamento do potencial energético do vento quer no que toca ao recurso eólico quer à própria instalação das turbinas no local. No primeiro caso, verifica-se frequentemente um fenómeno de separação do escoamento que vem a dificultar a avaliação do potencial do vento devido à impossibilidade de operação dos aerogeradores nestas condições (devido à ocorrência de turbulência elevada). No segundo caso, há a considerar o difícil transporte de máquinas de grande porte para o cimo das cumeadas com declives muito acentuados.

Tendo em consideração o que acabou de ser exposto, considera-se, no entanto, viável a instalação de turbinas eólicas em terrenos de orografia complexa com declives inferiores a 20%.

Em declives mais acentuados, a viabilidade dos projectos é apenas possível se as turbinas forem instaladas entre 6h e 10h (h=altura da turbina) a jusante da crista, (Hiester and Pennel, 1981).

Portugal é um país caracterizado por uma orografia complexa, sendo uma excepção quase única a região do interior central do Alentejo. A maioria dos locais de interesse, para aproveitamento eólico, localizam-se nos pontos altos e em algumas zonas costeiras (e.g. Sudoeste Alentejano, Sotavento Algarvio e Região Oeste).

3.3 Avaliação do Potencial Eólico

A avaliação do potencial eólico exige a utilização de modelos específicos que recorrem habitualmente à distribuição do vento por classes de velocidade e ao posterior ajuste de uma curva de distribuição estatística. O método de avaliação do potencial eólico mais utilizado é o denominado método clássico que recorre à distribuição de *Weibull*, e o programa informático mais usado no sector eólico baseado neste método é o *WASP – Wind Atlas Analysis and Application*. (Troen, 1989)

3.3.1. Distribuição de *Weibull*

A função de *Weibull* tem uma distribuição de probabilidade acumulada (c.f. equação 3) e uma função densidade de probabilidade (c.f. equação 4). É um caso particular da distribuição Gama generalizada. Esta é uma distribuição a dois parâmetros, A e k , sendo esta uma vantagem na sua aplicação. É utilizada principalmente devido à sua maior precisão na descrição das oscilações do vento na avaliação de potenciais eólicos. A sua função de probabilidade acumulada é expressa pela seguinte equação:

$$g(V) = \exp \left[- \left(\frac{V}{A} \right)^k \right] \quad \text{(Equação 3)}$$

E sua função densidade de probabilidade é expressa pela seguinte equação:

$$g(V) = \frac{k}{A} \left(\frac{V}{A} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{A} \right)^k \right] \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde,

$g(V)$ – frequência de ocorrência da velocidade média do vento V .

k – factor de forma da distribuição dos ventos, adimensional;

A – factor de escala, velocidade média, em m/s;

O parâmetro A define a escala da distribuição e está directamente relacionado com a velocidade média do vento. O parâmetro k define a forma da distribuição e está relacionado com o desvio padrão k , na curva de distribuição. (Troen, 1989)

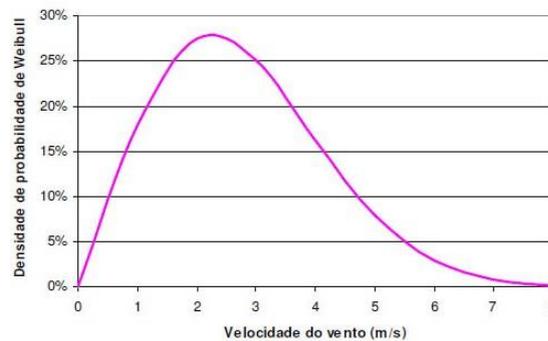


Figura 24 - Comportamento normal da curva de *Weibull*. Fonte: <http://www.scielo.br/img/revistas/eagri/v31n1/a06fig04.jpg>

3.3.2. WA^{SP}

O programa *Wind Atlas Analysis and Application Program* – *WA^{SP}* - é um modelo de microescala e executa uma extrapolação horizontal e vertical de um dado perfil de vento, calculando a frequência de ocorrências de velocidade do vento por distribuição de ocorrências de classes de velocidade e por sectores (angulares) de direcção. Na estimativa de produção energética, para determinar o local ideal para a instalação de um parque eólico, o modelo *WA^{SP}* baseia-se no método clássico de avaliação do potencial eólico que recorre, habitualmente, à distribuição de *Weibull*. A partir de uma série temporal de entradas com registos de vento, é possível obter uma estimativa das características do regime de ventos, corrigindo os dados dos efeitos da responsabilidade da orografia, rugosidade e obstáculos no local através da aplicação de quatro submodelos, (Simões, 2004), (Troen, 1989).

Os quatro submodelos que o programa comporta – estabilidade, rugosidade, obstáculos e orográfico - entram em linha de conta com os dados do terreno de cada estação anemométrica e

da área que o circunda para fins de caracterização energética. É provavelmente o programa mais utilizado nos institutos e empresas que se dedicam ao estudo do recurso eólico para estimar a produção energética num local ou numa determinada região. Este executa uma extrapolação horizontal e vertical de um determinado perfil de vento, calculando a respectiva distribuição de ocorrências por sectores de direcção. Os submodelos referidos são:

- ❖ Estabilidade – as variações de estabilidade no perfil logarítmico do vento são tratadas como pequenas perturbações do estado de base neutro;
- ❖ Rugosidade – as variações da rugosidade que circunda o mastro anemométrico e/ou o parque eólico são baseadas em leis de semelhança na camada de superfície atmosférica na teoria de Monin – Obukhov⁶;
- ❖ Obstáculos – os efeitos causados pelos obstáculos presentes nas imediações do mastro a distâncias tão próximas que não possam ser considerados como elementos de rugosidade, são tomados em conta na avaliação do escoamento através da modelação das esteiras por eles produzidas. Para tal, o modelo utiliza as fórmulas dadas por Pereira [1981] que consideram a porosidade e altura do obstáculo, a altura a que se encontra instalado o anemómetro e a distância deste ao obstáculo;
- ❖ Orográfico – o modelo entra em linha de conta com as características determinantes da complexidade do terreno em estudo. Em primeiro lugar, calcula-se a perturbação no escoamento potencial induzida pelo terreno, correspondendo a um vector unitário na direcção não perturbada do vento e, em seguida, é introduzida uma modificação da solução do escoamento potencial por forma a inserir, aproximadamente, a velocidade de atrito no solo.

⁶ «O comprimento de Obukhov é utilizado para descrever os efeitos da flutuabilidade nos escoamentos turbulentos, particularmente nas primeiras dezenas de metros da camada limite atmosférica logo acima da superfície.»
Fonte:Wikipedia, http://pt.wikipedia.org/wiki/Monin%E2%80%93Obukhov_length.

Capítulo 4

Metodologia

Neste capítulo serão apresentadas as várias etapas e metodologias adoptadas que consubstanciaram o presente trabalho. Será igualmente descrito o tipo de informação geográfica seleccionado – mapas dos diferentes temas, tabelas de informação e dados de vento. Será feita uma breve descrição dos programas e modelos numéricos utilizados e ainda alguns aspectos teóricos relacionados com o potencial energético do vento de forma a enquadrar o caso de estudo desenvolvido.

A caracterização espacial detalhada do vento e os seus condicionantes são aspectos imperativos a ter em conta quando uma das vertentes do objecto de estudo está ancorada em dados que se interligam ao rendimento afecto a este tipo de energia renovável. Através da consulta de documentos disponíveis na Internet e em suporte papel, concluiu-se que Portugal reúne determinados aspectos, como a média anual da velocidade e direcção do vento, a intensidade de turbulência, padrões sazonais e o perfil diário da velocidade média do vento, que são susceptíveis de sofrer alterações para curtas distâncias e apresenta características orográficas relativamente suaves. (Simões, 2004)

Para a elaboração do mapa de potencial eólico para Portugal Continental utilizou-se o *software* de simulação de vento *Wind Atlas Analysis and Application Program* - WA^{SP} e a um conjunto de dados por simulação numérica de mesoescala distribuídos pelo território nacional. Após o tratamento dos dados das simulações, o mapa de vento criado é transferido para a aplicação *ArcMap*, do *software* ArcGIS 10.1, disponibilizado pela ESRI. Definiram-se os seguintes critérios:

- Critérios de localização:
 - Orografia
 - Rugosidade
 - Velocidade e direcção do vento (> 6 m/s)
 - Produção energética do vento; no caso presente descrito em número de horas anuais de produção energética à potência nominal de uma turbina eólica (NEPs) (>2500 e >2700 horas/ano)

- Critérios de acessibilidade:
 - Rede Eléctrica: Rede Nacional de Transporte (RNT)
 - Pontos de ligação à rede (> 50 km)
 - Rede viária

- Restrições:
 - Ambiental (áreas protegidas e Rede Natura 2000)
 - Declives (< 20%)
 - Parques eólicos
 - Potencial eólico disponível
 - Ocupação do solo (densidade populacional)

A construção do mapa de potencial eólico disponível exige a conjugação do mapa final do recurso energético do vento obtido no modelo WA^SP e a integração dos mapas de critérios (restrições à instalação de parques eólicos) no SIG (no caso presente ArcMap, do ArcGIS). O encadeamento dos processos necessários à construção dos mapas de potencial eólico disponível está sumarizado no fluxograma seguinte:

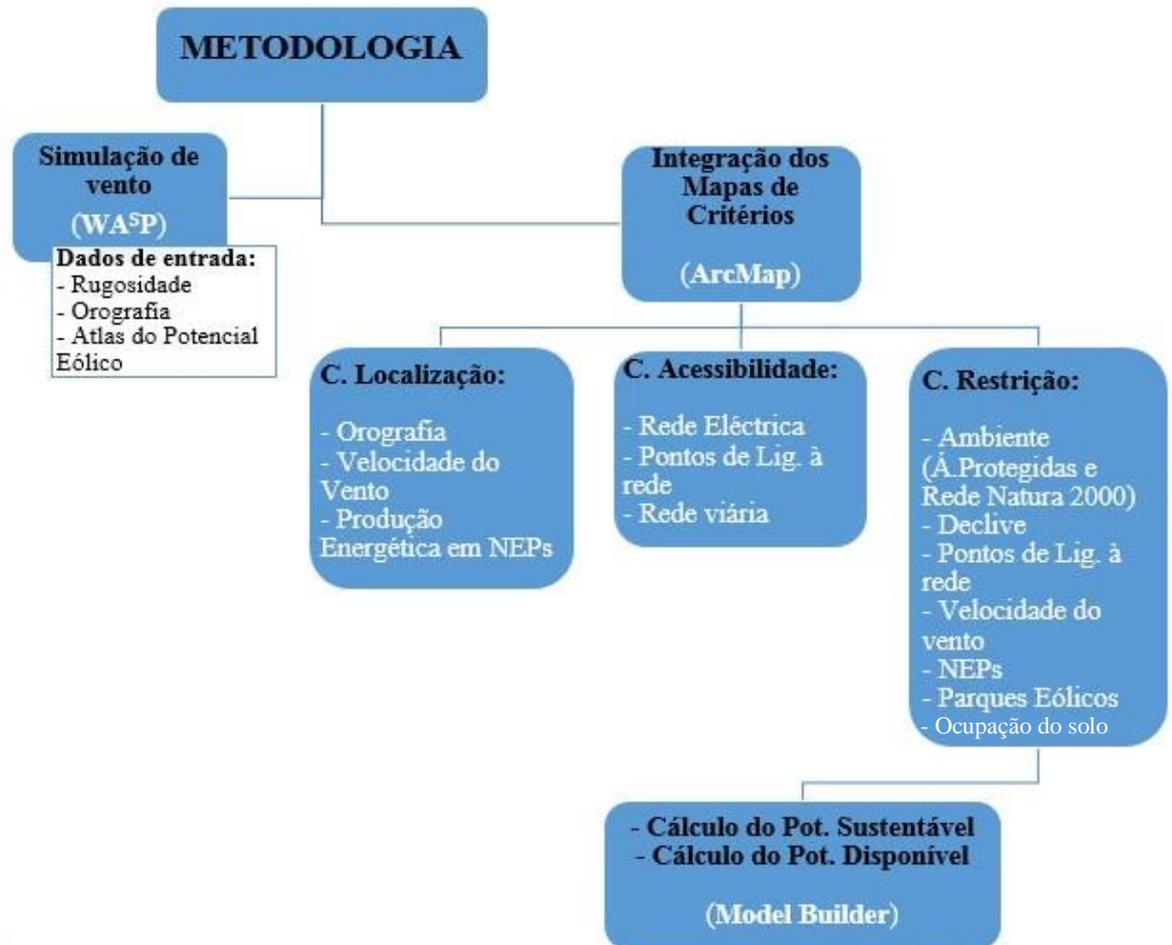


Figura 25 - Articulação dos vários processos inerentes à construção de mapas de potencial eólico. Fonte: Elaborado pela própria.

4.1. Avaliação do potencial eólico

Para a concretização da simulação de vento é necessária a utilização do modelo WASP, o qual comporta quatro sub-modelos – estabilidade, rugosidade, obstáculos e orográfico – que entram em linha de conta com os dados do terreno de onde se refere cada série sintética obtida por modelação numérica de mesoescala, da área que a circunda por forma a contabilizar o seu efeito no escoamento atmosférico e apresentar uma estimativa fidedigna do potencial eólico existente no local de interesse. São gerados mapas de recurso energético do vento tendo como base os dados de vento disponíveis e, no final, é gerado um mapa global de potencial eólico. (Costa P., 2003)

4.1.1. Mapeamento do recurso eólico

O mapa obtido por aplicação do modelo WA^SP foi gerado com base em 23 séries sintéticas geradas por modelação de mesoescala que serviram para o desenvolvimento do atlas do potencial eólico de Portugal continental (Costa, 2004), cujas coordenadas foram extraídas do Atlas de Potencial Eólico de Portugal Continental, um mapa de orografia, um mapa de rugosidade e um mapa com delimitação da área nacional continental. (Estanqueiro, Costa, & Simões, Development and Validation of the Portuguese Wind Atlas, 2006) As coordenadas das 23 estações são locais já conhecidos como de interesse para este tipo de avaliação, nomeadamente zonas montanhosas e costeiras. Os mapeamentos são obtidos para uma altura normalizada do eixo de rotação de uma turbina, $h=80$ metros, sendo esta uma altura comum do rotor das turbinas para captação de vento e também a que permite uma abordagem mais conservativa na identificação do potencial eólico.

Por rugosidade entende-se a ocupação do solo num determinado local. A rugosidade de uma determinada área de estudo é normalmente representada na forma de mapa vectorial, embora o mesmo possa ser feito através de ficheiros em formato tabular. No presente caso optou-se por utilizar a informação na forma de mapa vectorial. No que respeita ao mapa de rugosidade utilizou-se a carta Corine Land Cover 2009 (CLC 09), a qual foi reclassificada antes de acrescentar ao WA^SP Map Editor. No *web site* da Comissão Europeia está disponível uma mapa CLC com menos classes de rugosidade. A redefinição do mapa CLC é um factor inovador no sector pois os levantamentos de rugosidade são efectuados ou manualmente, através da digitalização da cartografia 1:25.000 ou através de técnicas de processamento de imagem complexas. A tabela correspondente redefinida consta no Anexo III. A utilização desta carta é também um factor inovador que este projecto introduz, uma vez ser a primeira vez que se utiliza a carta CORINE para a simulação de vento no continente.

O mapa de orografia utilizado para a simulação de vento foi uma versão anterior do actual Modelo Digital do Terreno (MDT), extraído do *web site* do Instituto Geográfico Português (IGP). (Mapa do Modelo Digital do Terreno (MDT), 2013) A necessidade de utilização desta versão do mapa MDT prende-se com o facto de apresentar valores orográficos nulos para o Oceano Atlântico e Espanha que, sendo as fronteiras do país, são automaticamente excluídas dos cálculos de simulação de vento. Por Modelo Digital do Terreno designa-se qualquer conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permite associar a qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude. (Matos, 2007)

Com base na aplicação destes parâmetros obtiveram-se os correspondentes mapa de distribuição espacial da velocidade do vento. A resolução utilizada para a geração dos mapas de recurso, no WA^SP foi de 500x500 metros.

Para calcular o número de horas equivalente à potência nominal da turbina – NEPs – necessita-se de um ficheiro de turbina, isto é, um protótipo de turbina, com uma dada potência e um dado diâmetro de rotor. O modelo de turbina seleccionado tem 2.300 kW de potência nominal e um diâmetro de rotor de 92 m.

4.2. Identificação das condições de restrição

Existem factores que condicionam o crescimento do sector eólico e que nesta ordem de trabalhos consideramos como restrições. Estes podem ser de ordem ambiental, de uso do solo e energética. A restrição ambiental neste caso de estudo reúne as zonas das áreas protegidas nacionais e da Rede Natura 2000. As restrições inerentes à caracterização do terreno envolvem descritores como o declive e distância aos pontos de ligação à rede eléctrica passíveis para a instalação de turbinas eólicas, bem como distância à rede eléctrica nacional e à rede viária (que embora abordados aqui, não constam como restrição). Ao nível energético é considerado como restrição a velocidade de vento disponível bem como o potencial eólico já aproveitado, ditado pelos parques eólicos em funcionamento e pelo NEPs estimado para a situação eólica do país.

4.2.1. Rede Eléctrica Nacional

Rede Nacional de Transporte (RNT)

Uma das maiores dificuldades presentes no desenvolvimento da energia eólica é claramente o do escoamento da energia eléctrica produzida. A Rede Nacional de Transporte (RNT) assegura o mesmo das centrais electroprodutoras até às redes de distribuição, as quais culminam nas instalações dos consumidores finais. No caso dos grandes consumidores verifica-se em muitos casos uma ligação directa à rede, por razões técnicas e económicas. Esse escoamento da energia por parte das centrais eólicas para as redes eléctricas de todo o país é um processo moroso na medida que, uma vez a maioria dos parques eólicos serem instalados em zonas remotas e de difícil acesso implica, por vezes, a instalação de novos postos, resultando num aumento dos custos, podendo inviabilizar a operação. A energia eólica e outras energias renováveis têm hoje uma projecção de destaque nos sistemas de transporte e distribuição de energia eléctrica, no

papel de “clientes”. Esta evolução começou a ganhar ênfase desde o lançamento do Fórum de Energias Renováveis de 2001 e após o anúncio dos programas E4 (Ministério da Economia, 2001) e MAPE (Medida de apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético, assim como na publicação da nova legislação (Dec.-Lei 312/2001 e Dec.-Lei 339-C/2001)⁷. Actualmente, os produtores de energia eléctrica em regime especial, outrora chamados de produtores independentes, entregam toda a energia produzida à Rede Eléctrica Nacional. O valor da tarifa a vigorar varia consoante a tecnologia utilizada sendo o mesmo estabelecido segundo o Decreto-Lei nº255/2007 de 31 de Maio.

O território nacional é caracterizado por uma enorme desigualdade no que toca à distribuição da população e implicitamente pela dispersão do sector industrial e outras actividades de grande consumo de energia. A maior concentração de linhas de distribuição de electricidade encontra-se igualmente da zona de maior concentração populacional, no litoral do país, contrariamente ao verificado nas regiões interiores. Todavia, as áreas com maior potencial eólico encontram-se em regiões remotas, na sua maioria no interior do país, levando a uma limitação da potência de origem eólica a injectar na rede eléctrica. Esta limitação leva à necessidade de criação de linhas de grande extensão e custo para rede pré-existente às subestações dos parques eólicos com custos associados elevados, maioritariamente suportados pelos próprios promotores, podendo colocar o projecto em causa. (Esteves, 2004) Por esse motivo, a inclusão da RNT neste trabalho a título de consulta bem como dos pontos de ligação à rede eléctrica (adiante) mostraram ser factores de interesse acrescido para o cumprimento dos objectivos propostos neste estudo.

Pontos de inter-ligação à rede eléctrica

Os pontos de ligação, ou subestações, são importantes de representar na medida que ditam a distância aos parques eólicos, tendo em conta a rede viária, factor importante na avaliação da viabilidade de um parque. Quanto maior a distância a um ponto de ligação, menos rentável é a edificação de uma turbina nesse local. Este critério é não só de acessibilidade como de restrição, tendo sido considerada como distância mínima a partir de um local de aproveitamento eólico a uma subestação uma distância mínima de 50 km.

⁷ Diário da República (*link*: <http://www.dre.pt/pdf1s%5C2005%5C02%5C033A01%5C00020009.pdf>)

4.2.2. Rede Viária

A apresentação da rede viária nacional neste projecto prende-se com a possibilidade de se avaliar a proximidade entre um parque eólico, ou zona de potencial eólico, ao acesso viário nacional. É considerado neste trabalho como um critério de consulta, uma vez se mostrar importante ter conhecimento das condições de acesso a uma zona de potencial eólico quer já aproveitado quer para futuro aproveitamento.

4.2.3. Caracterização do terreno

Em estudos ambientais a carta de uso e ocupação do solo é uma ferramenta indispensável na tomada de decisão em ordenamento e planeamento do território, na definição de políticas de gestão de recursos naturais. No âmbito da energia eólica, a carta de ocupação do solo especifica as curvas de nível e declives do terreno, e assim os locais onde será ou não viável a implantação de aerogeradores, e no caso de projectos maiores, de parques eólicos. (Alterações da ocupação do solo em Portugal Continental 1985-2000) No Anexo III é possível consultar as características da ocupação do solo do país.

No trabalho prático as curvas de nível são as orientações das cumeadas. São importantes para relacionar com a direcção dominante do vento de modo a escolher o melhor local para a instalação de uma nova turbina. Considera-se uma curva de nível ou linha de *contour*, a correspondência, na carta geográfica, dos pontos do terreno que mantêm igual distância a um plano horizontal constante. Uma das vantagens da utilização das curvas de nível prende-se com o facto de se empregar uma equidistância gráfica constante que permite dar uma estimativa rápida dos declives, mesmo em cartas de escalas diferentes. Ao mesmo afastamento relativo das curvas de nível, corresponde sempre o mesmo declive. No presente caso as curvas de nível são igualmente extraídas do Modelo Digital do Terreno.

Declives

Os declives são um dado de restrição uma vez que não se pode implantar uma turbina eólica em qualquer superfície. Segundo as normas da União Europeia apenas se podem construir parques eólicos em terrenos com declives inferiores a 8%. Contudo, devido à complexidade orográfica de Portugal, considera-se viável a implementação de parques eólicos em terrenos com declives < 20%. (Simões, 04/2009) Os declives foram calculados a partir do mapa de orografia – Modelo Digital do Terreno.

4.2.4. Ambientais

Existe uma ponte de ligação entre as actividades do sector energético e o ambiente. Estas actividades têm um forte impacto no ambiente, principalmente no que toca às alterações climáticas pelo que a definição de políticas energéticas e ambiente exige cada vez mais um processo de concertação entre as duas vertentes, devendo procurar ir ao encontro das sinergias existentes, tendo em conta as contradições implícitas nos respectivos impactos.

O problema do ruído é actualmente considerado um mal menor, pois o avanço das tecnologias de construção de aerogeradores trouxe máquinas modernas consideravelmente mais silenciosas. Quando em funcionamento, o ruído produzido é praticamente inaudível, sendo frequentemente superado pelo do próprio vento, pela vegetação ou outras fontes. Assim, em Portugal, os parques eólicos tendem a situarem-se em regiões não habitadas – com excepção da região Oeste – de forma a minimizar este problema.

O impacto visual é uma questão ainda hoje discutível, na medida em que parte muito da opinião pessoal de cada um. Os principais factores associados ao impacto visual são o reflexo da luz solar, o número de turbinas bem como a sua disposição, a velocidade das pás, o seu tamanho, cor e tipo e finalmente as condições meteorológicas. Existem zonas de preferência para a sua implantação, de modo a minimizar este impacto. Zonas essas, pretendem ser longe das populações, em vales e ZVI, isto é, zonas de influência visual, que são áreas à volta do parque eólico onde as turbinas podem se difundir total ou parcialmente na paisagem. No entanto, é importante salientar que a instalação de parques eólicos em locais de paisagem protegida ou de características ambientalmente sensíveis pode influenciar de forma negativa a harmonia da paisagem. Contudo, estas localizações raramente são as mais eficientes no que toca a produção de energia.

O avanço da tecnologia de construção de aerogeradores veio trazer máquinas maiores que, segundo estudos recentes, harmonizam mais facilmente com o meio ambiente que uma grande quantidade de pequenas turbinas.

Não menos importante, a problemática associada à avifauna é consideravelmente inferior do que algumas associações do sector creem. Contudo, é necessário tomar precauções acrescidas nos casos de instalação de sistemas eólicos em zonas com espécies protegidas ou de passagem de corredores migratórios, nomeadamente durante a fase de instalação das máquinas. Outra questão relacionada com a avifauna, e muito discutida no sector ambiental, prende-se com a possibilidade de as aves colidirem com os aerogeradores. Facto este que tem sido foco de alguns estudos, que concluíram que a quantidade de espécies que perecem desta forma é muito reduzida quando comparada a outras causas de morte (linhas de alta tensão ou auto-estradas) (Lucas,

2004). Ainda assim, os avanços tecnológicos do sector através do aumento do tamanho das pás permitem uma maior visibilidade das mesmas de forma a evitar um embate, bem como a redução da velocidade de rotação das mesmas e preferência pelas torres cilíndricas que impedem a nidificação das aves na sua estrutura.

A instalação de PE em terrenos classificados como reserva ecológica nacional (REN) ou rede Natura 2000 exige a desafecção destas áreas e o reconhecimento do interesse público dos projectos e um estudo de incidências ambientais [Dec-Lei 312/2001]⁸. Existem, no entanto, determinadas áreas protegidas, do domínio de Parque Nacional, passíveis de se instalar aerogeradores, mediante devida avaliação e consideração ambiental do local em particular. É geralmente exigido aos promotores de PE um estudo de incidências e/ou impactos ambientais (consoante a classificação dos terrenos) a incluir na fase de projecto e licenciamento dos mesmos.

No que toca a impactos ao nível do terreno, a maior preocupação incide sobre a perda de habitat de algumas espécies, no entanto, ao nível ecológico já é aceite que este tipo de situação associado aos parques eólicos é muito reduzido.

Existem outros tipos de impactos, menos falados, sendo eles a interferência electromagnética, custo de materiais, alteração de terreno e requerimentos de terreno, mas que não carecem de relevância para este estudo.

A integração das preocupações ambientais na política energética tem vindo a ser melhorada. Ao nível nacional, com a aprovação da Estratégia Nacional para a Energia, aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de Abril. A nível comunitário com a nova Política Energética para a Europa, lançada em Janeiro de 2007 pela Comissão Europeia.

No caso de estudo a restrição ambiental é referente às Áreas Protegidas e à Rede Natural 2000. A implementação de um parque eólico num Parque Natural é possível desde que se prove que esse parque trás benefícios para a população local, sendo a localização da/s turbina/s acordada pela entidade responsável do parque. No entanto, não sendo a situação mais recorrente, englobamos estas categorias como critério de restrição em 90% da área referente aos Parques Naturais. Assim, é considerado que apenas 10% da área ocupada por Parques Naturais (Áreas Protegidas) são passíveis para construção de um parque eólico.

⁸ O despacho conjunto de Janeiro de 2004 torna este processo automático [DR, 2004].

4.2.5. Recurso energético do vento

Como referido anteriormente, a velocidade e direcção do vento são extraídos através da simulação de vento executada pelo WA^SP. No que refere ao recurso eólico como critério de restrição este obedece a um valor mínimo de velocidade de 6,25 m/s. Para se instalar um parque eólico no país, a velocidade média anual do vento deve de ser superior a 6 m/s (metros por segundo). Contudo, devido à recente redução tarifária do custo de venda da energia, viu-se necessário aumentar esse valor (6,0 para 6,25 m/s), uma vez que a rentabilidade de um projecto de energia eólica depende (entre outros factores) da produção energética que, por sua vez, está igualmente dependente da velocidade do vento.

Serão tidos em conta como critérios de restrição para o Número de horas equivalentes à potência nominal de uma turbina eólica (NEPs) dois casos de estudo:

- NEPs < 2500
- NEPs < 2700

A situação base para o país no que refere à produção energética para o parâmetro NEPs varia entre os 2200 – 2300, por questões económicas. (Simões, 04/2009) Contudo, e mais uma vez devido às alterações na remuneração na venda de energia produzida por fonte renovável, optouse por subir estes valores para 2500 e 2700. Da mesma forma, o modelo de turbina seleccionado apresenta, normalmente, uma produção energética elevada, pelo que se consideram ser estes valores adequados aos objectivos deste trabalho.

Parques Eólicos

Os Parques Eólicos são considerados um critério de restrição para o cálculo do potencial eólico disponível, através do cálculo da diferença do potencial sustentável com o total de potencial instalado no país ($Pot.Disponível = Pot.Sustentável - Total\ Parque\ Eólico\ Nacional$ (MW)). Criou-se uma base de dados em formato tabular com informação disponível de cada parque eólico. Esta informação é frequentemente solicitada por parte de entidades públicas e privadas. É uma ferramenta de fácil consulta e actualização e apresenta informações úteis ao utilizador, tais como, localização do parque, potência de instalação, nome do promotor, número e modelo de turbinas, etc. A partir dessa tabela criou-se no ArcMap o mapa de pontos com as coordenadas referentes a cada parque.

4.2.6. Ocupação do solo

A ocupação do solo no presente caso de estudo resulta de factores que ocupam o território nacional a ter em conta aquando da implementação de um Parque Eólico. Neste tópico refere-se os critérios de ocupação de densidade populacional com base nos resultados do CENSUS 2011, para Concelhos e posteriormente, aplicado aos Distritos. Mais pormenores sobre a ocupação do solo em Portugal Continental são possíveis de consultar no Anexo II. Na tabela seguinte classifica os valores de ocupação do solo:

Ocupação do solo	
0.25	Densamente povoado
0.35	Muito povoado
0.45	Povoado
≥ 0.5	Fracamente povoado

Tabela 1- Factores de ocupação do solo.

4.3. Desenvolvimento da Metodologia

Após simulação de vento e integração dos mapas de critérios com aplicação metodológica das referidas restrições, calculou-se o potencial sustentável para Portugal continental. Para o cálculo do potencial disponível, uma vez não ser possível aferir as áreas dos parques eólicos nacionais já existentes, utilizou-se o total da capacidade instalada (MW totais) e calculou-se a diferença do potencial sustentável.

Foi criada uma tabela informativa referente a todos os parques eólicos de Portugal Continental, com informação referente à sua localização, características do aerogerador e produção em MW, etc..

Dentro do ArcMap utilizou-se a ferramenta Model Builder a qual é utilizada para a construção dos mapas finais bem como para os cálculos de potencial eólico disponível e sustentável que integrarão o presente trabalho. A utilização desta ferramenta prende-se com a vantagem de ser possível fazer alterações no mapa final sem ter de se repetir tarefas ou interferir

com dados já colocados. Estes cálculos serão efectuados dados ao nível de Freguesia, Concelho, Distrito e global do país.

4.3.1. Zonas de potencial eólico sustentável e disponível

Considera-se como zona de potencial eólico sustentável a área total do território continental ainda passível de aproveitamento eólico, com as referidas condicionantes de restrição implícitas nessa avaliação, excepto o potencial já aproveitado pelos parques eólicos em funcionamento. Como zona de potencial eólico disponível considera-se as áreas disponíveis para instalação de nova capacidade eólica, tendo em conta que parte dessa capacidade já é aproveitada pelos parques eólicos, sendo esse valor total (MW) subtraído ao potencial eólico sustentável. De modo a se obter informação mais detalhada referente a potencial eólico disponível, decidiu-se aplicar as divisões administrativas do país para Distritos e Concelhos e Freguesias.

O cálculo das zonas de potencial eólico disponível em Portugal Continental foi aferido através da exclusão conjunta das áreas das seguintes restrições:

- Áreas protegidas (consideração de 10% de área referente a Parques Naturais)
- Áreas da Rede Natura 2000
- Áreas com declives $\geq 20\%$
- Distância aos Pontos de Ligação à Rede Eléctrica ≥ 50 km
- NEPs ≤ 2500 e 2700
- Potencial Eólico em utilização (MW)
- Factores de ocupação do solo

Os cálculos finais das zonas de potencial eólico disponível dividem-se em duas fases:

1. Integração dos mapas de restrições no ArcMap;
2. Aplicação da fórmula de cálculo de Potencial Sustentável.

Com o fim de comparar resultados serão considerados 4 cenários finais:

- **Potencial eólico disponível para NEPs > 2500;**
- **Potencial eólico disponível para NEPs > 2500 com consideração de 10% da área de Parques Naturais;**
- **Potencial eólico disponível para NEPs > 2700;**

- **Potencial eólico disponível para NEPs>2700 com consideração de 10% da área de Parques Naturais.**

Para o cálculo do potencial disponível é necessário considerar um modelo de turbina que seja representativo. A turbina a considerar é a Enercon 92, com 2.350 kW de potência, por ser o modelo maioritariamente utilizado nos parques eólicos nacionais. A fórmula de cálculo baseia-se no trabalho por (Simões, 2008) e apresenta-se a baixo:

$$\text{Potencial Sustentável} = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \mu \quad (\text{Equação 5})$$

Onde,

$$\alpha = \frac{\text{Potencia nominal da turbina (MW)}}{8760 \text{ (h/ano)}}$$

$$\beta = \frac{d_x \cdot d_y}{C_x \cdot L_y \cdot D^2}$$

d_x e d_y , área da célula/*pixel* em metros

C_x , *cross wind*

L_y , *long wind*

D, diâmetro do rotor

$\gamma = \Sigma$ NEPs (horas/ano)

μ = taxa de ocupação do solo

Estes passos serão desenvolvidos no Capítulo 5.

Capítulo 5

Aplicação da metodologia a um caso de estudo

A criação da base de dados dos parques eólicos em Portugal continental, na sua versão final, integra várias aplicações da plataforma ArcGIS. A simulação de vento para avaliação do potencial eólico é realizada através do modelo WA^SP. Neste capítulo serão descritos exemplos das aplicações e ferramentas mais relevantes desenvolvidas nesta fase do trabalho com base na metodologia descrita no capítulo anterior, assim como os mapas intercalares e finais gerados. O resultado final é apresentado em termos de potencial eólico disponível e sustentável.

5.1. Geração dos mapas de recurso

5.1.1. Simulação de vento (WA^SP)

A caracterização do potencial eólico foi executada através do *software* WA^SP. Para a simulação de vento neste programa, foi necessário um mapa de rugosidade do terreno, um mapa de orografia (curvas de nível) e o conjunto de séries sintéticas obtidas por modelação numérica de mesoescala em 23 localizações distribuídas pelo território nacional. A grelha de recurso associada a cada simulação, com base nos 23 locais escolhidos permite obter a velocidade média do vento através dos valores A e k da curva da distribuição de *Weibull*. A distribuição de *Weibull* é a que melhor se ajusta ao comportamento do vento e tem como parâmetro de escala A e como parâmetro de forma k , sendo este último adimensional. A partir da comparação dos mapas gerados escolheu-se quais os que integrariam o mapa compósito final. Optou-se por compilar o mapa final tendo-se obtido um mapa compósito construído com base nos dados das várias séries sintéticas aqui utilizadas. Optou-se por compilar o mapa compósito com 11 grelhas/mapas de parâmetros de vento, sendo eles referentes aos pontos 2, 4, 6, 9, 10, 12, 13, 17, 20, 22 e 23, uma vez que os restantes mapas mostraram ter informação reduzida, não sendo representativos da situação eólica do país ou apresentarem comportamento idêntico a outros mapas seleccionados, tornando-se redundante a sua utilização.

Para a geração do mapa de potencial eólico recorreu-se a ferramentas adicionais, tais como:

Criação de um mapa compósito

A criação de um mapa compósito é a criação de um só mapa que integra todos os outros resultantes das 23 simulações. É obtido através de um método desenvolvido pelo LNEG e denominado *Tool Complex*. (Costa P., Junho 2003) Este programa faz o compósito dos mapas de recurso eólico obtidos para cada uma das 23 séries de dados de vento, através do inverso da distância, calculando uma média ponderada de valores dos parâmetros de vento para cada localização (série de dados sintética) e para cada ponto da grelha de recurso energético.

5.1.2. Leitura e apresentação do mapa de vento

O passo final da apresentação do mapa de vento, antes de se introduzir no programa ArcGIS, é efectuado no *software* SURFER.

A integração do resultado global da intensidade de vento foi concebida no SURFER e o resultado é o seguinte:

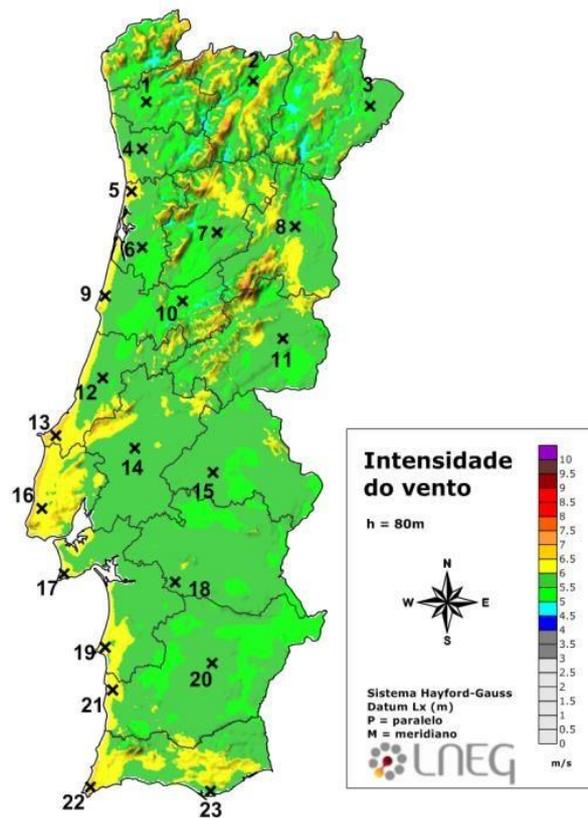


Figura 26 - Intensidade do vento gerada através do programa WASP, a uma altura de 80 metros. Fonte: Elaborado pela própria.

Sendo o vento uma unidade vectorial é necessário calcular o vector e ângulo para cada ponto/estação. Algumas componentes do vento, de cada ficheiro extraído, foram eliminadas por serem desnecessárias para o presente trabalho, interessando apenas a longitude ($^{\circ}$), a latitude ($^{\circ}$), a magnitude de vento (m/s) e a direcção do vento ($^{\circ}$). O resultado de cada simulação (23) é possível de se consultar no Anexo III. Contudo, a título de exemplo, apresenta-se em baixo o resultado da simulação de vento para o ponto 1, com valor de velocidade do vento, direcção do vento (Rosa de ventos) e parâmetros da distribuição de *Weibull*. Na tabela das figuras 27 e 28, V corresponde à velocidade do vento (m/s), FP ao fluxo de potência incidente (W/m^2) e A e k são, respectivamente, os parâmetros de escala e de forma da distribuição de *Weibull*:

ID	Coordenadas (ETRS96) (m)	V (m/s)	Fluxo de Potência (W/m^2)	A (m/s)	k
P1	-28373.627, 207675.817	5,32	278,91	5,8	1,38

Tabela 2 - Tabela de resultados da avaliação do potencial eólico, no WA^SP.

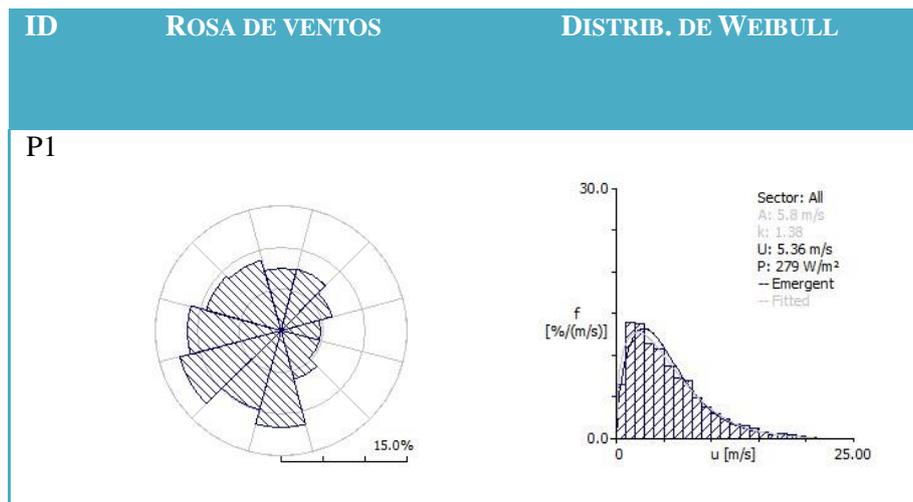


Tabela 3 - Tabela de resultados da direcção do vento e respectiva curva de Weibull, gerados no WA^SP.

Detecção de erros

Os dados neste estudo e os mapeamentos resultantes, foram sujeitos a controlo de qualidade, essencialmente através da detecção de erros nos registos e nos valores mapeados. Exemplos são os valores excessivos de velocidade de vento detectados para algumas zonas do país, bem como a correspondente produção energética.

5.2. Criação da base de dados

Os mapas apresentados para fim de consulta complementar deste caso de estudo foram gerados através da aplicação de ferramentas do ArcMap que permitem uma visualização mais clara dos atributos que se mostram relevantes. São eles os mapas de orografia, rugosidade, rede nacional de transporte e rede viária. Para o cálculo do potencial eólico sustentável e disponível no território nacional continental foi necessário aplicar metodologias de cálculo, com o auxílio da ferramenta Model Builder, que integrou os mapas de restrições em 4 cenários finais, com resultado final em NEPs. Os mapas são o dos pontos de ligação à rede eléctrica, de uso do solo (declives), ambientais (áreas protegidas e rede natura 2000), mapa de vento, parques eólicos e divisão administrativa (distritos e concelhos). A resolução final de todos os mapas é de 50 por 50 metros. No caso de ser necessário reconverter a resolução, utiliza-se a ferramenta *Ressample*, do ArcMap. A figura 27 apresenta uma visualização simplificada dos mapeamentos principais, tendo-se efectuado uma divisão por distritos.

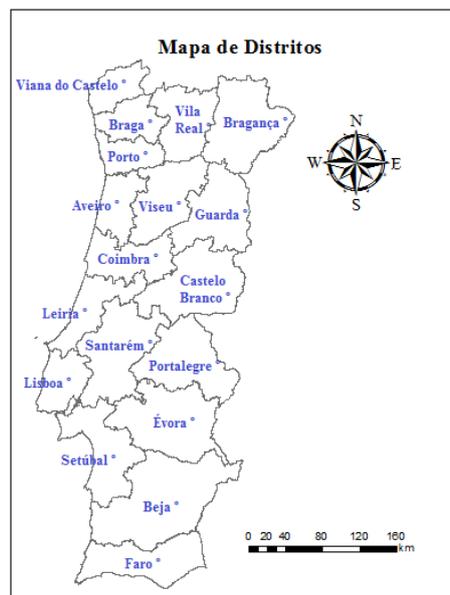


Figura 27 - Mapa distrital de Portugal Continental. Fonte: Elaborado pela própria.

5.2.1. Mapa de orografia

O mapa de orografia utilizado para apresentado no ArcMap foi uma versão actual do Modelo Digital do Terreno (MDT), disponibilizado pela ESRI-Portugal, cujas imagens são obtidas através do sensor ASTER, com resolução de 30 metros. Contudo, para a simulação de vento no WA^{SP} é utilizada uma versão anterior ao referido mapa, facultado pelo LNEG, sendo esta a versão de interesse para o caso de estudo. Para um melhor funcionamento dos processos no WA^{SP} reduziuse o detalhe do mapa, no programa SURFER, para um outro com resolução das curvas de nível de 100 em 100 metros. Ainda no SURFER, alterou-se o sistema de coordenadas de SAT para ETRS.

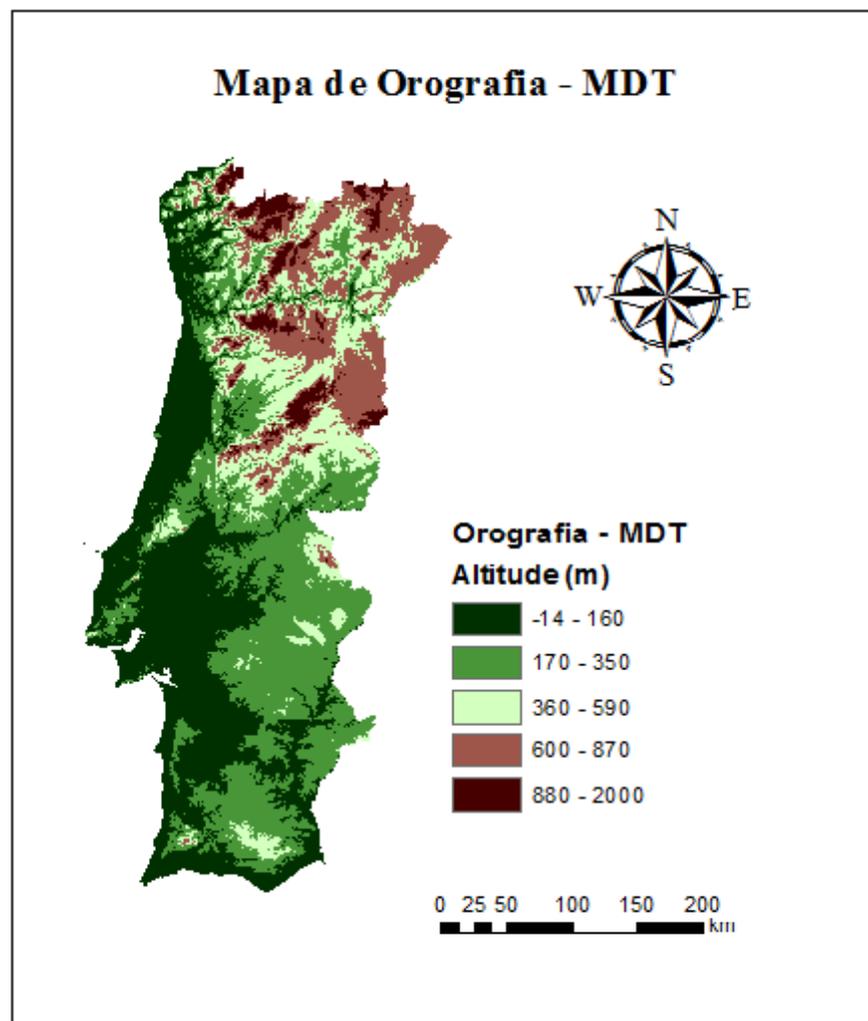


Figura 28 – Mapa de orografia de Portugal Continental - Modelo Digital do Terreno, com escala de altura em metros.

Fonte: Elaborado pela própria.

5.2.2. Mapa de rugosidade

Os dados de rugosidade de Portugal Continental foram obtidos através do mapa CLC09 da CORINE LAND COVER 2009, disponibilizado *online* pelo Instituto Geográfico Português (IGO) (ver características no Anexo III). A carta CLC09 é uma carta cartográfica de ocupação e uso do solo para Portugal Continental à escala 1:100 000, com nomenclatura CLC (44 classes) e unidades mínimas cartográficas de 5 e 25 ha, dependendo do produto.

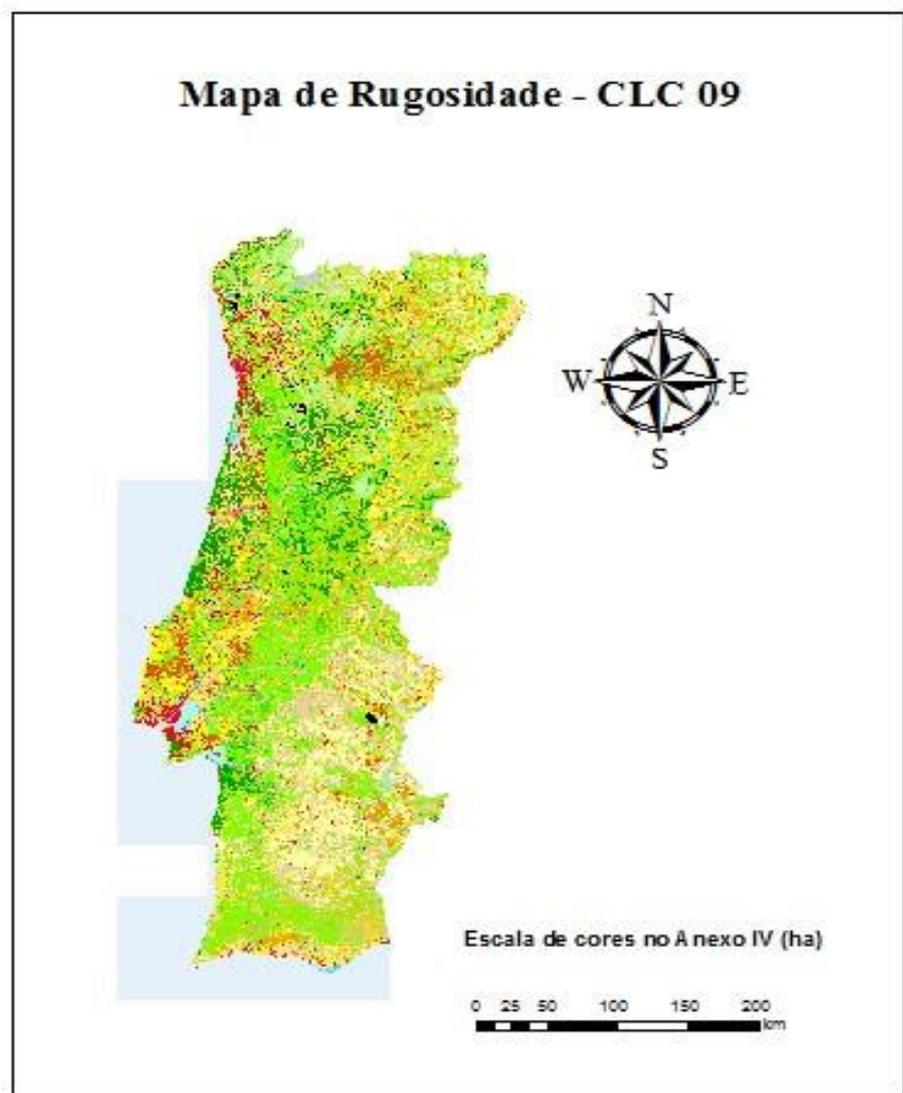


Figura 29 – Mapa de rugosidade - Carta CORINE LAND COVER 2009. Nomenclatura demasiado extensa disponível no Anexo III. Fonte: www.igeoe.pt.

5.2.3. Rede Nacional de Transporte

Inserir-se nos critérios de acessibilidade. A RNT utilizada neste trabalho foi baseada na que se encontra disponível na página da internet da REN (Rede Eléctrica Nacional) e encontra-se representada na figura 30.



Figura 30 - Rede Nacional de Transporte discriminada por Distritos para uma melhor visualização. Fonte: Elaborado pela própria.

5.2.4. Rede viária

Também dentro dos critérios de acessibilidade, a carta de rede viária apresentada é a NAVTEQ 2010, disponibilizada pelo ISEGI. Devido à sua complexidade optou-se por não apresentar o seu mapa, no entanto está disponível para consulta na plataforma do ArcMap, na qual, através de *buffers*, é possível seleccionar atributos e calcular distâncias de acessos a locais de interesse.

5.2.5. Pontos de ligação à rede

Os pontos de ligação à rede eléctrica (ou subestações) fazem parte dos critérios de acessibilidade e são igualmente uma restrição. O mapa foi facultado pelo LNEG. Foi definida uma zonação menor ou igual a 50 km de distância duma subestação a um parque eólico, para fins de restrição, a qual abrange toda a área nacional continental, querendo isto dizer que toda essa área é passível de se considerar para fins de avaliação do potencial eólico.

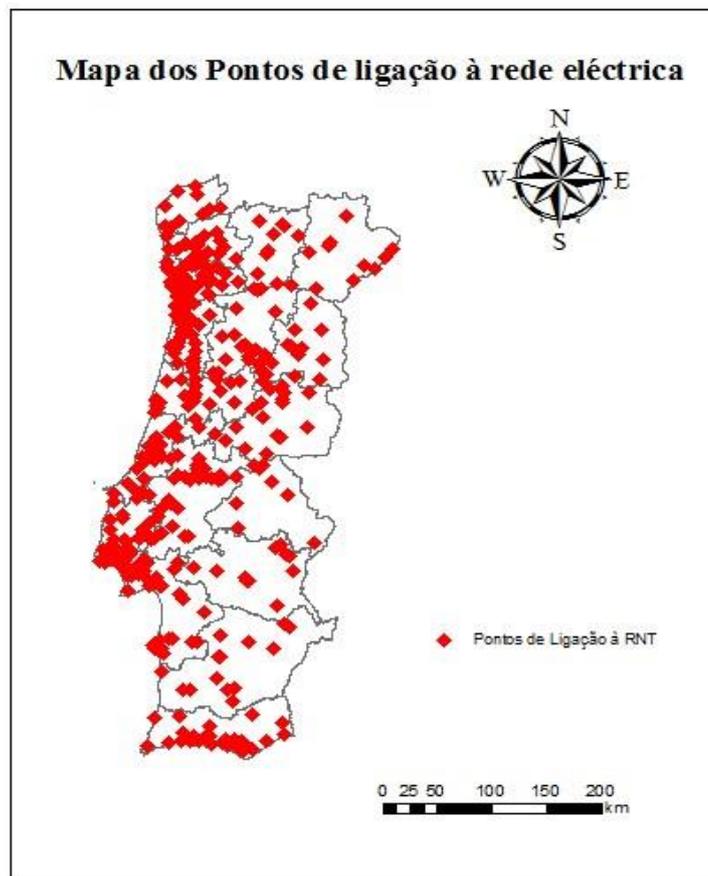


Figura 31 - Mapa dos pontos de ligação à rede eléctrica nacional, com divisão distrital. Fonte: Elaborado pela própria.

5.2.6. Número de horas equivalente à potência nominal – NEPs

Este parâmetro está dentro dos critérios de localização. Para calcular o número de horas equivalente – NEPs utilizou-se como modelo de turbina o ENERCON 92, com uma potência de 2.300 kW e um diâmetro de rotor de 92 cm. O mapa de NEPs resultante é considerado critério de restrição na medida que se assumiu dois cenários possíveis como parâmetro mínimo indispensável para a correta aferição do potencial disponível do continente. Assim, restringiu-se este mapa a um mínimo de 2500 NEPs para o primeiro cenário e 2700 NEPs para o segundo, para termos de comparação. Esta operação é feita no ArcMap através de uma ferramenta que permite dissociar características inerentes a um mesmo mapa, num critério de selecção escolhido com a criação de um novo.

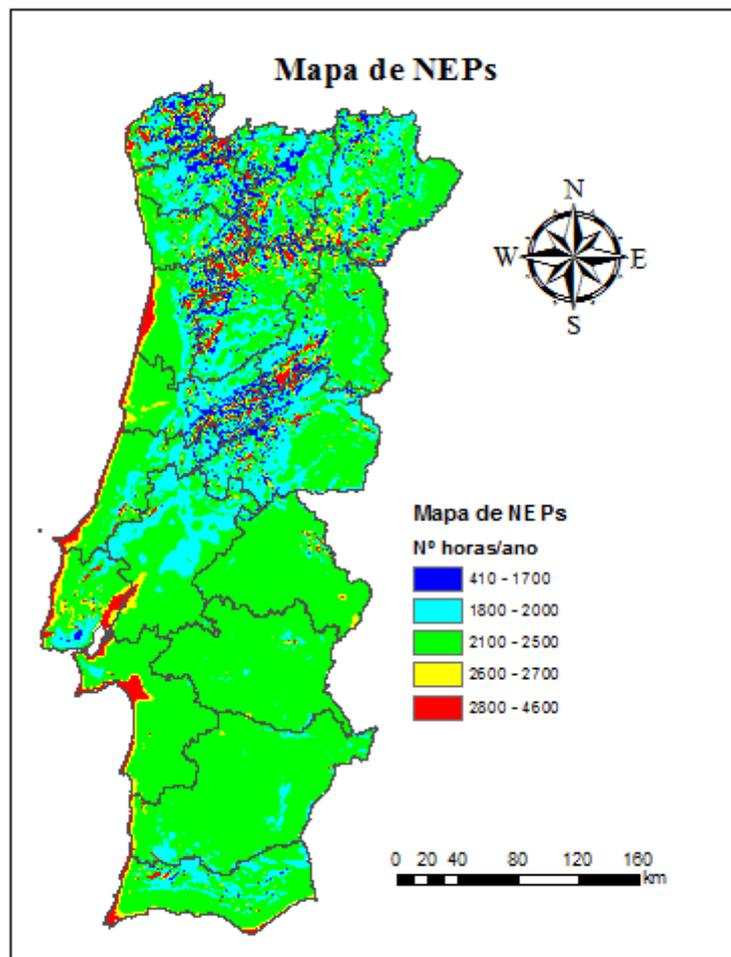


Figura 32 - Mapa de Número de horas equivalente à potência nominal da turbina (NEPs), para Portugal Continental com divisão administrativa por Distritos. Fonte: Elaborado pela própria.

5.2.7. Declives

O mapa de declives foi extraído do mapa de orografia (MDT). O critério de restrição utilizado corresponde a um declive máximo de 20% assumido como adequado para a possível instalação de uma turbina eólica.

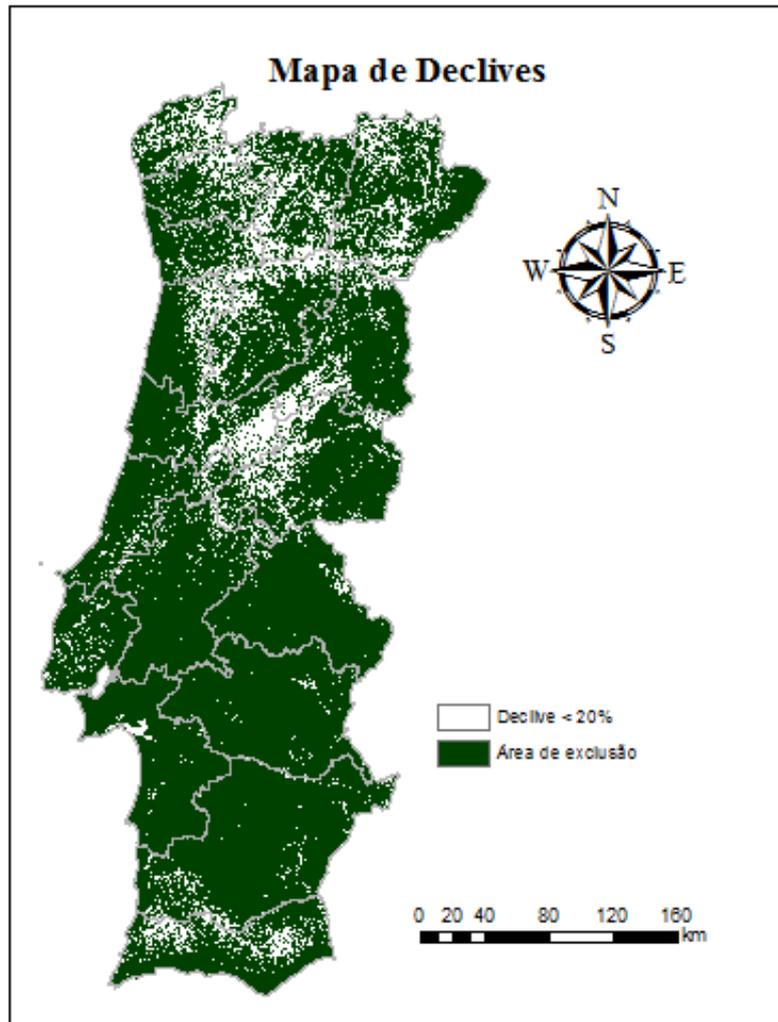


Figura 33 - Mapa de restrição do Declive, com divisão administrativa por Distritos. Fonte: Elaborado pela própria.

5.2.8. Áreas Protegidas e Rede Natura 2000

O mapa das áreas protegidas bem como o da Rede Natura 2000 foram extraídos da plataforma *online* eea.europa.eu e constituem a restrição ambiental.

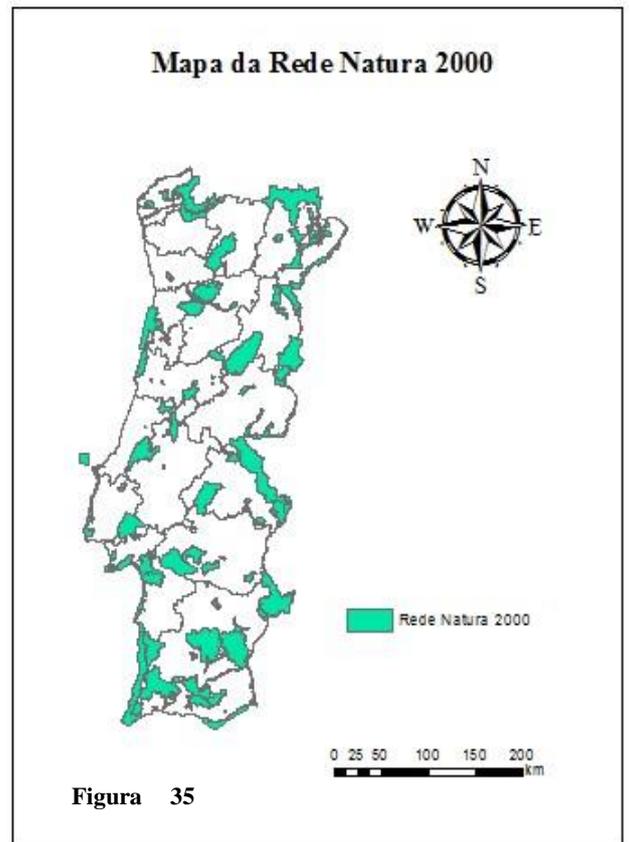
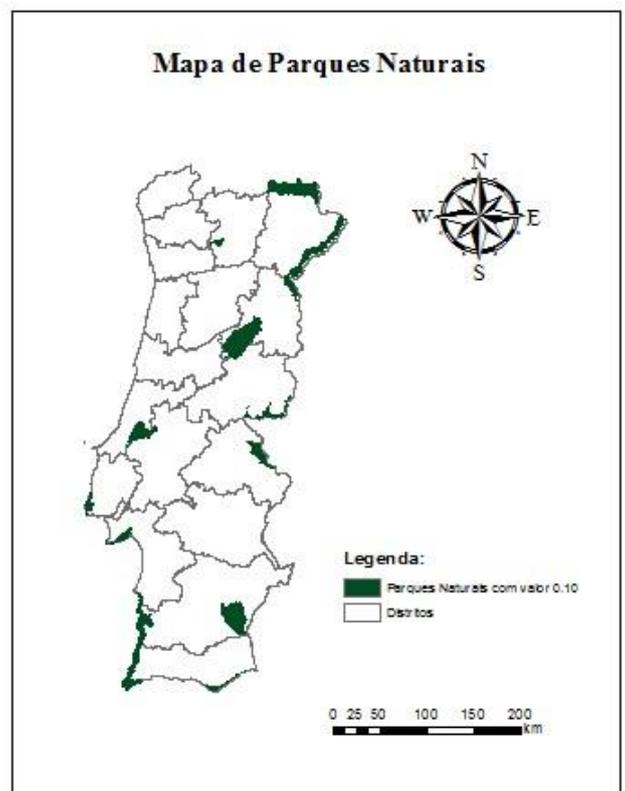


Figura 34 e 35 - Mapas de áreas protegidas e da Rede Natura 2000, respectivamente. Fonte: Elaborado pela própria.

São considerados critérios de restrição uma vez que delimitam zonas nas quais não é permitida a instalação de parques eólicos, devido às implicações adjacentes ao funcionamento dos aerogeradores. No caso dos Parques Naturais que obedecem a critérios ambientais que não mostrem qualquer limitação na coexistência com os mecanismos de funcionamento de um parque eólico, considera-se possível a implementação exclusiva de 10% do total da sua área para o cálculo do potencial eólico disponível.

Figura 36 - Mapa de restrição dos Parques Naturais. Fonte: Elaborado pela própria.



Este mapa representa as únicas áreas protegidas onde é possível implementar, em 10%, um parque eólico, isto é, atribui o valor 0.10 aquando da sua multiplicação pelo potencial eólico disponível no local (NEPs), assegurando que para cada valor de NEP's apenas é contabilizado 10% dessa área.

5.2.9. Mapa de velocidade do vento

O mapa de velocidade do vento gerado pela simulação de vento já foi apresentado anteriormente. Após aplicação da restrição à velocidade do vento, isto é, $V > 6,25$ m/s, obteve-se o mapeamento representada na figura 38:

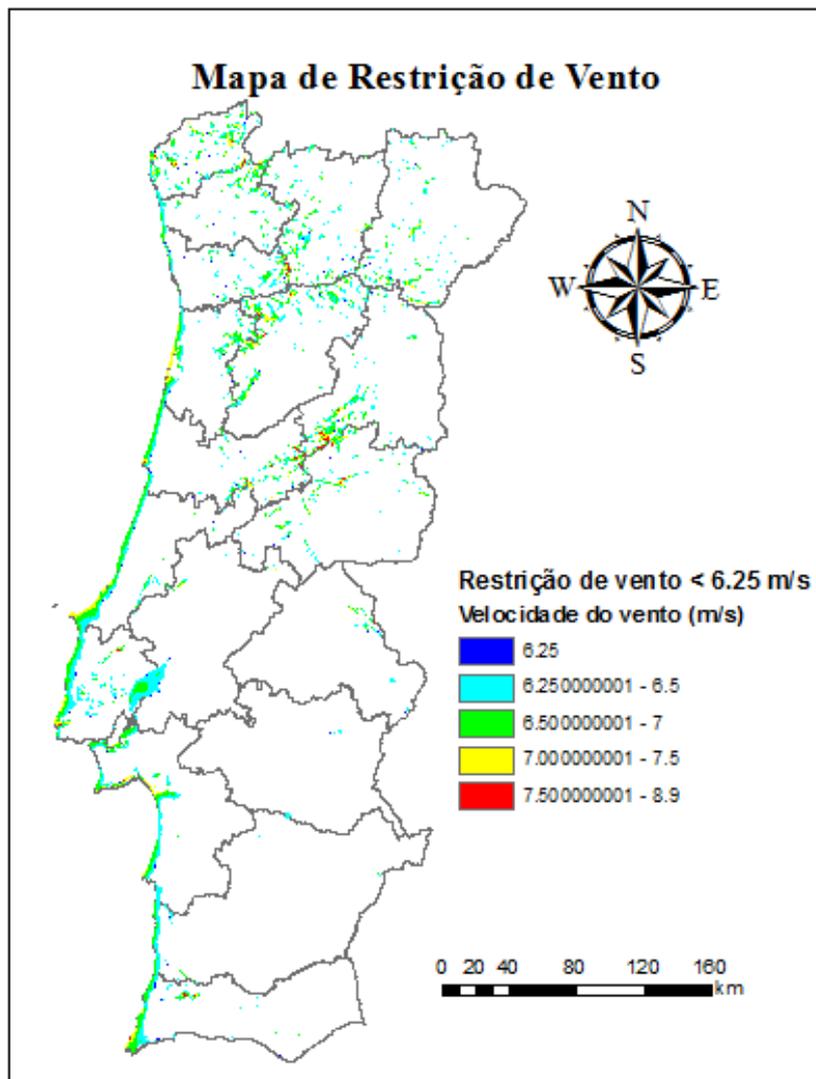


Figura 37 - Mapa de velocidade do vento, com divisão administrativa por Distritos. Fonte: Elaborado pela própria.

5.2.10. Parques Eólicos

Os Parques Eólicos são considerados um critério de restrição para o cálculo do potencial eólico disponível. A base de dados referentes aos PE foi criada em formato tabular através do *Excel*, sendo a informação nela contida descrita na tabela 3. Estes dados foram disponibilizados pela APREN tendo sido georreferenciados posteriormente. Devido a critérios de confidencialidade relacionada com parte da informação disponibilizada, a listagem completa não é aqui apresentada.

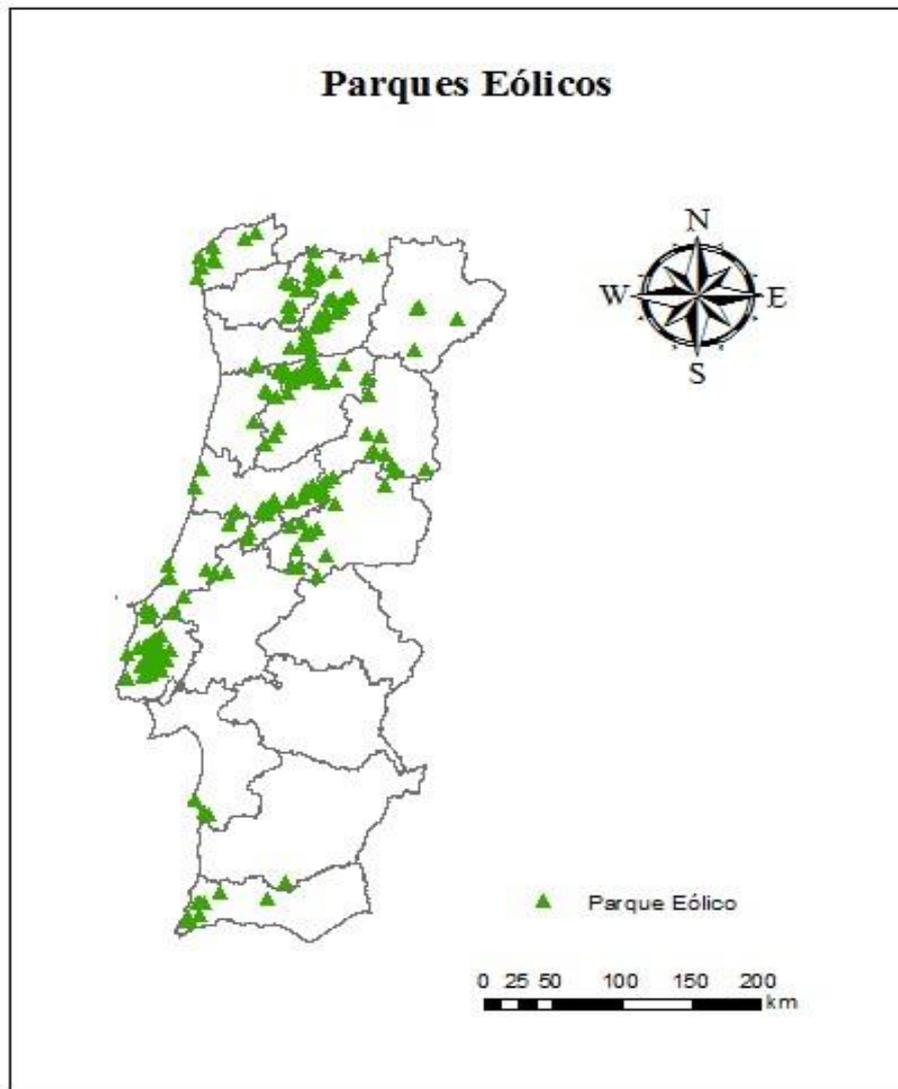


Figura 38 - Mapa de Parques Eólicos de Portugal Continental. Fonte: Elaborado pela própria.

Campo	Descrição
Localização	Nome do PE; Localização por Distrito, Concelho, Freguesia e Lugar; Coordenadas da localização central do PE em latitude e longitude.
Características	Potência Instalada em MW; Data de entrada em funcionamento; Estado do parque.
Gestão do parque	Grupo e empresa promotora do PE.
Turbinas	Marca; Modelo; Potência nominal (kW); Diâmetro do rotor (m); Altura (m); Quantidade e Ano de ligação.

Tabela 4 - Descrição dos campos incluídos no formulário informativo sobre os PE instalados em Portugal. Fonte: Elaborado pela própria.

É possível consultar a informação referente a cada Parque Eólico individual, apresentada em forma de tabela de atributos, criada como base de dados em forma tabular e através da plataforma ArcMap, como representado a título de exemplo na figura seguinte:

The screenshot shows the 'Identify' window in ArcMap. The 'Identify from' dropdown is set to 'Parques_MW'. The tree view shows 'Parques_MW' expanded to 'Ribamar'. The 'Location' field shows coordinates: '-110728.249 -73117.418 Meters'. Below this is a table of attributes:

Field	Value
FID	106
Shape	Point
ID	107
Y	39.005484
X	-9.405314
ID_1	107
Nome	Ribamar
Distrito	Lisboa
Concelho	Mafra
Freguesia	n.d
Lugar	Ribamar
Potencia_I	6
Data_de_en	2004
Estado	Em funcionamento
Grupo	Parque Eólico de Ribamar, Lda
Empresa_pr	Parque Eólico de Ribamar, Lda
Marca	REpower Systems AG
Modelo	MM82
Potência_n	2000
Diâmetro_d	82
Altura__m_	59
Qt_	3
Ano_de_lig	
F19	
PotenMW	6

Identified 1 feature

Figura 39 - Tabela de consulta de característica de um Parque Eólico seleccionado pelo utilizador.

A soma do potencial eólico (MW) em utilização dos parques do território continental foi feita através das ferramentas de cálculo *Excel*. São considerados 218 parques eólicos que no seu total representam 4.303,19 MW de potencial eólico produzido. Este valor será subtraído ao total de MW obtido no cálculo final do potencial eólico sustentável.

Segundo o documento *Parques Eólicos em Portugal*, publicado pela Energias Endógenas de Portugal (e2p), existe actualmente no país 4.649,9 MW de capacidade eólica. Contudo, este valor tem em consideração novo potencial eólico cujos parques correspondentes não têm coordenadas para os identificar neste trabalho comprometendo algumas metodologias aplicadas. Pelo exposto, é sugerida a actualização deste campo para trabalho futuro, sendo o valor a considerar o referido anteriormente, com uma diferença de 346.71 MW, suscetível de se considerar como um factor de desvio ao valor real final.

5.3. Identificação e quantificação do potencial eólico sustentável e disponível

Os cálculos finais das zonas de potencial eólico disponível dividem-se em duas fases:

1. Integração dos mapas de restrições no ArcMap;
2. Aplicação da fórmula de cálculo de Potencial Sustentável.

5.3.1. Cálculo do Potencial Eólico Sustentável e Disponível

A geração dos quatro mapas de potencial eólico foi executada a partir do Model Builder através da multiplicação de todos os mapas finais de restrições. Esse cálculo é efectuado a partir da ferramenta *Raster Calculator*, a qual integra apenas o que é comum a todos os mapas multiplicados. Através da ferramenta *Reclassify* colocou-se todos os mapas em 0 e 1, no formato *raster* (grelha), em que 1 representa a restrição pretendida, isto é, a informação a apresentar, e 0 os factores de exclusão, de modo a que o factor de multiplicação entre eles seja comum. O modelo criado para geração dos mapas finais foi o seguinte:

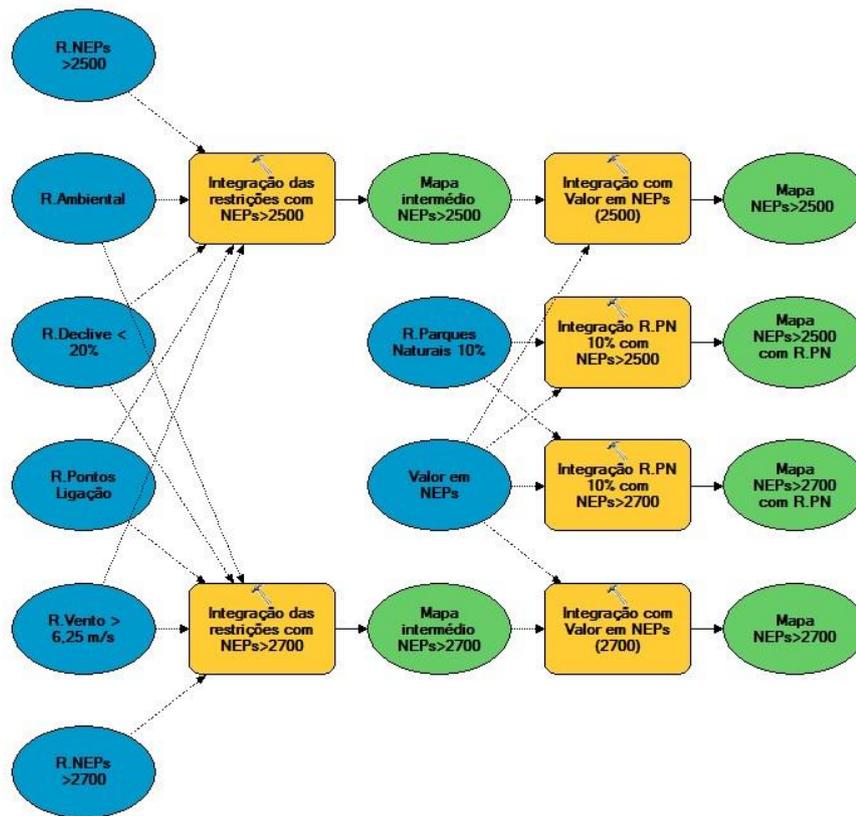


Figura 40 - Modelo de integração dos mapas de restrições, Model Builder. Fonte: Elaborado pela própria.

Legenda do organigrama: a azul, estão representados os mapas de origem para o cálculo dos mapas finais, ou seja, os mapas de restrição. As caixas amarelas indicam a ferramenta de cálculo utilizada, neste caso, a *Raster Calculator* que permite fazer operações de multiplicação de ca,adas de informação e a sua integração num só. A verde estão os mapas finais, produto das operações desempenhadas. Os mapas resultantes apresentam-se nas figuras 41 e 42 :

Mapa de NEPs > 2500:

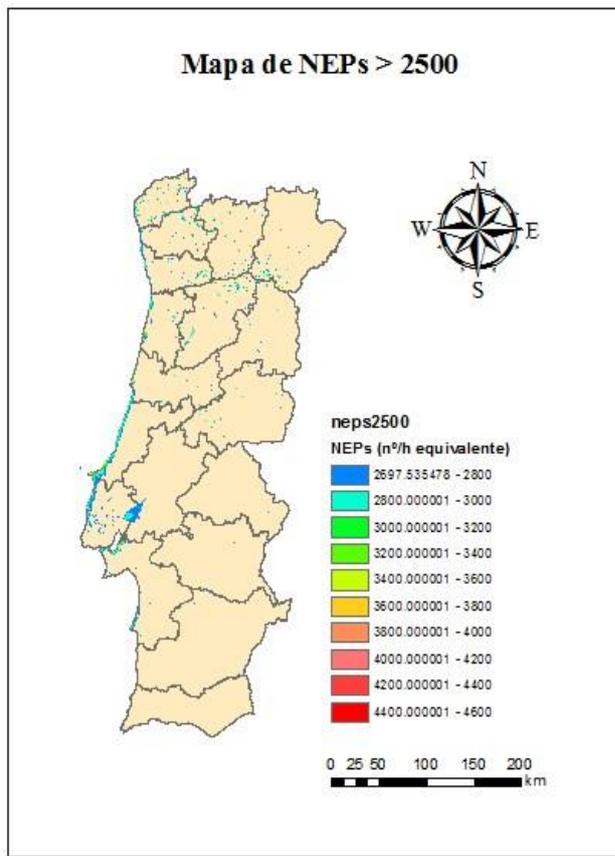


Figura 41 - Mapa de restrição de NEPs > 2500. Fonte: Elaborado pela própria.

Mapa de NEPs > 2500 com Parques Naturais:

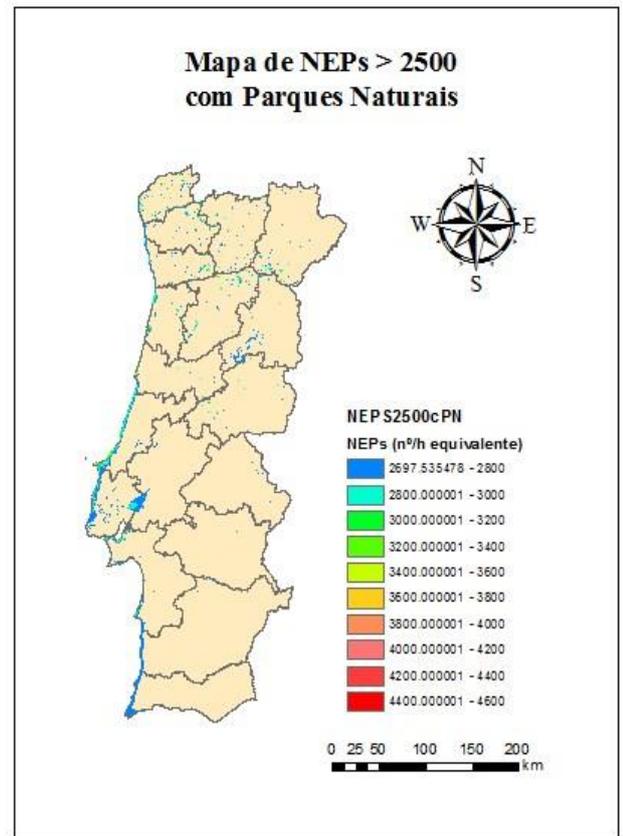


Figura 42 - Mapa de restrição de NEPs > 2500 com Parques Naturais. Fonte: Elaborado pela própria.

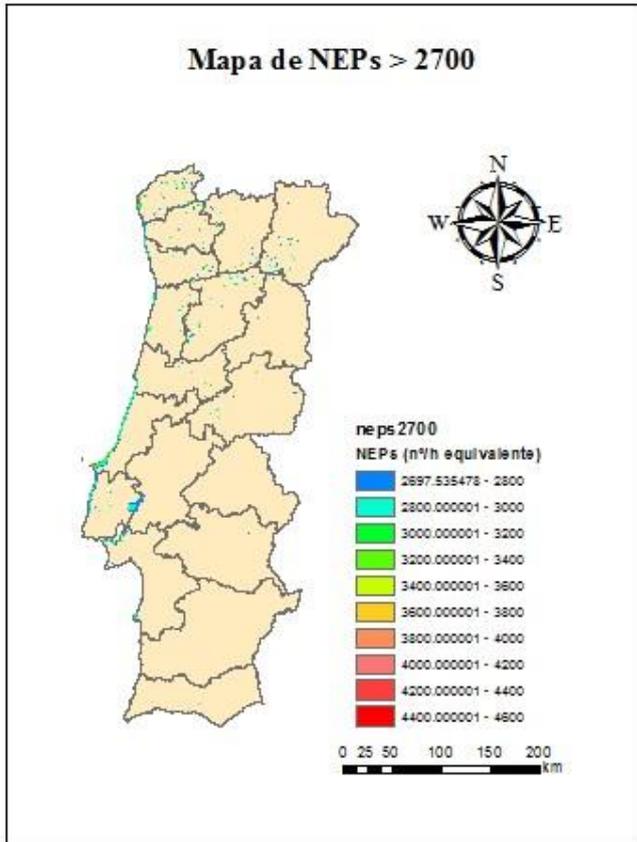
Mapa de NEPs > 2700:

Figura 43 - Mapa de restrição de NEPs > 2700. Fonte: Elaborado pela própria.

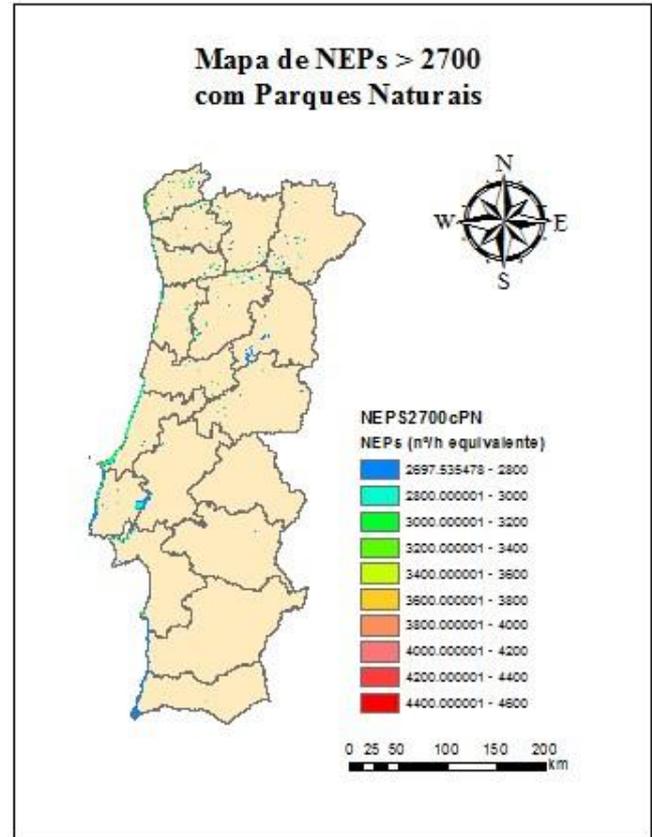
Mapa de NEPs > 2700 com Parques Naturais:

Figura 44 - Mapa de restrição de NEPs > 2700 com Parques Eólicos. Fonte: Elaborado pela própria.

O cálculo do potencial disponível resulta da diferença do potencial sustentável com o potencial total do Parque Eólico Nacional, em MW. Sendo o total de MW disponível nos parques eólicos em vigor de 4.303,19 MW (valor aferido através da soma dos valores individuais de potencial disponível em cada parque), através da aplicação da fórmula e subtração desse valor, segue-se o resultado para cada uma das 4 situações:

$$\text{Potencial Sustentável} = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \mu$$

Onde,

$$\alpha = \frac{\text{Potencia nominal da turbina (MW)}}{8760 \text{ (h/ano)}} = \frac{2,35}{8760} = 0,000268$$

$$\beta = \frac{d_x \cdot d_y}{C_x \cdot L_y \cdot D^2} = \frac{50 \cdot 50}{3.5 \cdot 92^2} = 0,0197$$

Para o caso de Portugal Continental, para cada cenário de NEPs, considera-se estar sobrestimado o total de potencial sustentável, uma vez não terem sido considerados alguns critérios relevantes, nomeadamente o de ocupação de solo, entre outros.

	2500	2500 com P.Natural	2700	2700 com P.Natural
Pot. Sustentável [MW]	11.947	12.328	8.881	9.183
Pot. Sustentável com F.O. [MW]	4.958	5.116	3.685	3.810
Pot. Disponível com F.O. [MW]	655	813	n.d.	n.d.

Tabela 5 - Tabela de valores de potencial eólico sustentável e disponível para Portugal Continental, para os 4 cenários de NEPs, em MW. Fonte: Elaborado pela própria.

Divisão Administrativa

A divisão administrativa encontra-se dentro dos critérios de localização. Recorreu-se ao mapa CAOP 2012, Carta Administrativa Oficial de Portugal, para Portugal Continental, disponível no www.igeo.pt. Apesar de o cálculo do potencial disponível ter sido feito para o território continental, recorreu-se à divisão administrativa por distritos e concelhos possibilitando assim uma análise com maior detalhe e projecção do que poderá vir a ser um projecto futuro de implementação de nova capacidade eólica ao nível distrital e concelhio.

O cálculo do potencial sustentável por divisão administrativa (Freguesias, Concelhos e Distritos) é também calculado através da ferramenta *Model Builder*, onde foi integrada informação correspondente a cada local administrativo com o potencial sustentável de Portugal Continental. Foram criados quatro mapas para cada divisão administrativa, correspondentes aos cenários criados para termos de comparação (NEPs > 2500 e 2700 com e sem Parques Naturais), através do modelo disponível no Anexo III. Os factores de ocupação do solo serão apenas aplicados aos Concelhos e aos Distritos por falta de informação disponível para o cálculo das Freguesias.

Por uma questão de visualização, os mapas de Freguesias e Concelhos serão dispostos em formato horizontal, por conterem informação mais pormenorizada.

Distribuição espacial do potencial sustentável por Freguesia (sem F.O.):

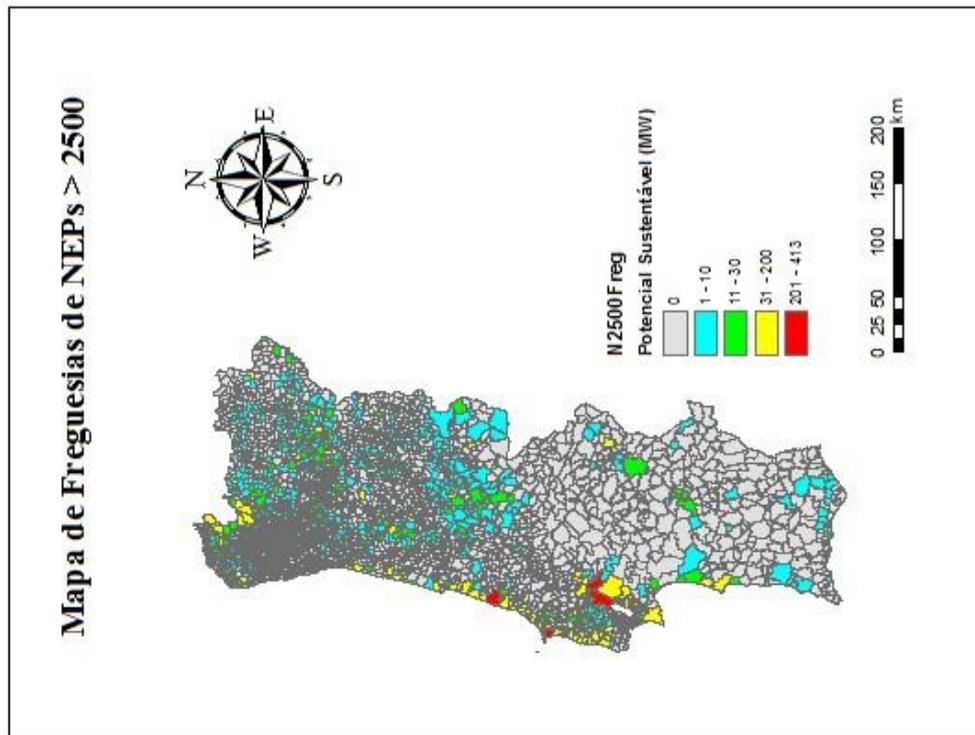


Figura 45 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Freguesias para NEPs > 2500. Fonte: Elaborado pela própria.

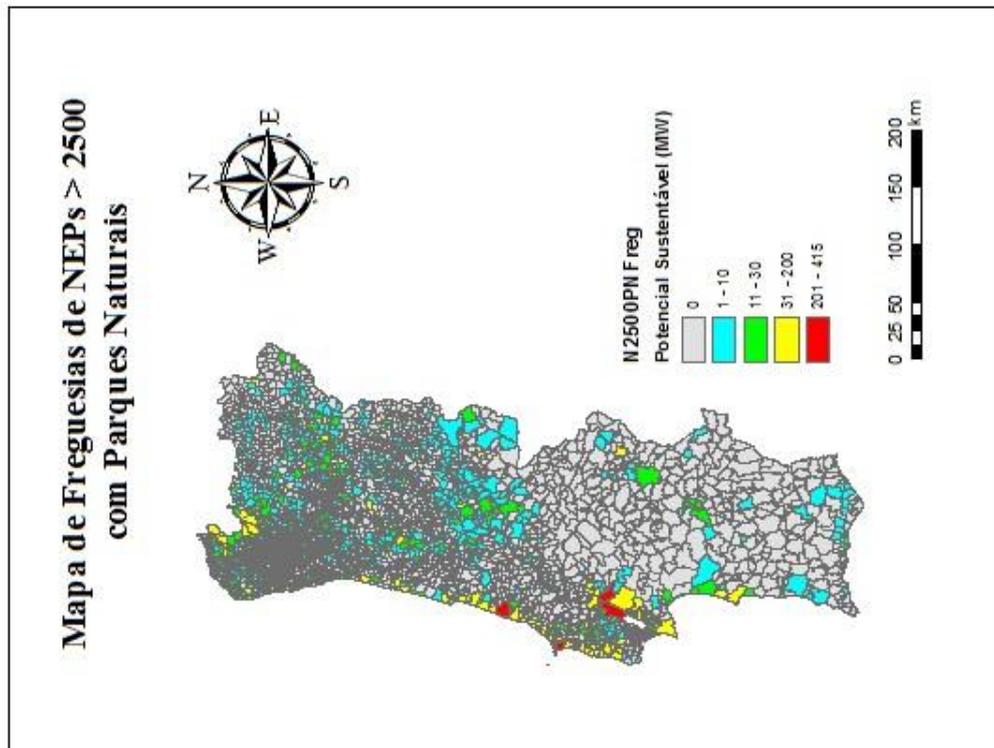


Figura 46 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Freguesias para NEPs > 2500 com Parques Naturais. Fonte: Elaborado pela própria.

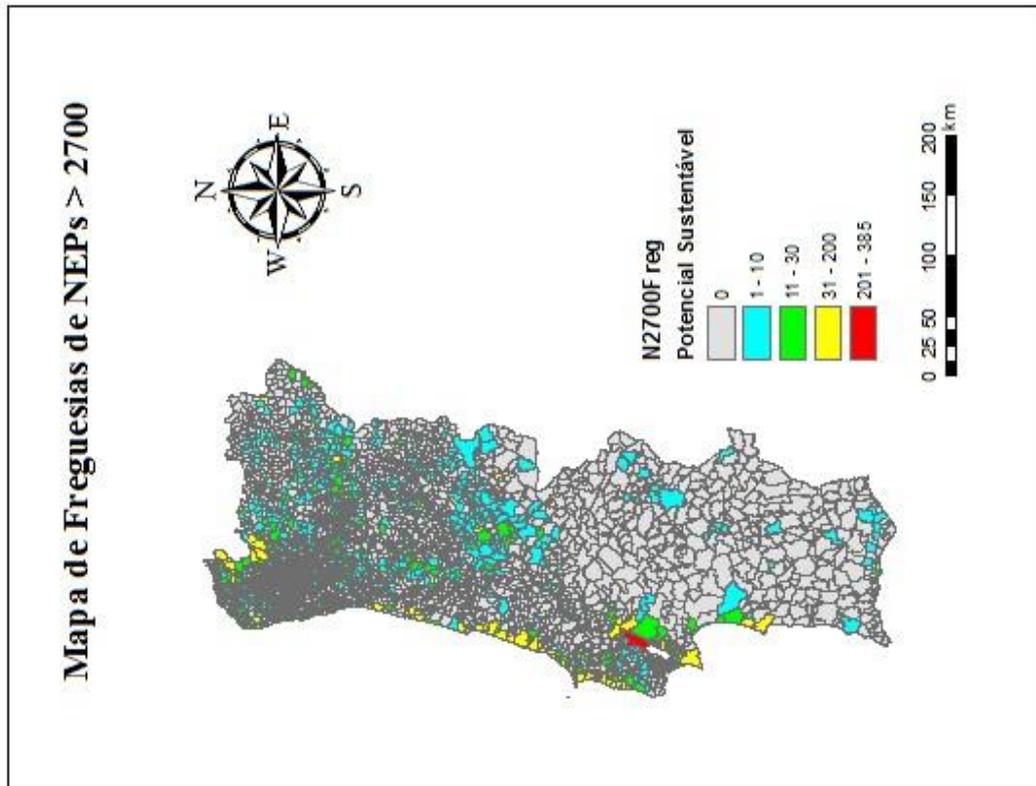


Figura 47 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Freguesias para NEPs > 2700. Fonte: Elaborado pela própria.

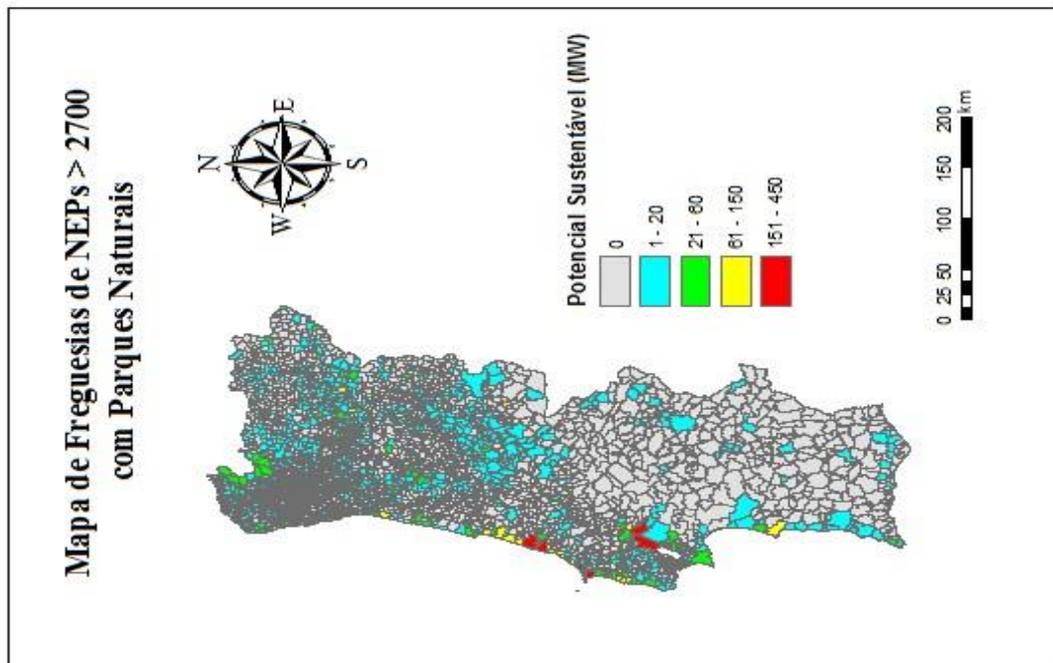


Figura 48 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Freguesias para NEPs > 2700 com Parques Naturais. Fonte: Elaborado pela própria.

Distribuição espacial do potencial sustentável por Concelho:

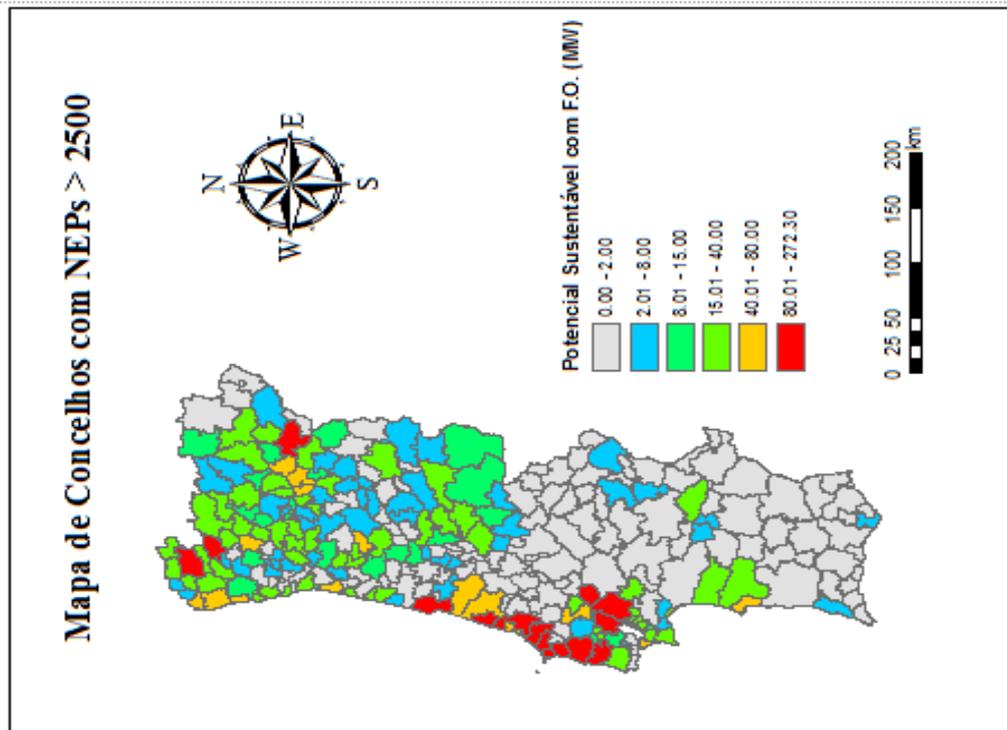


Figura 49 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Concelhos com NEPs > 2500. Fonte: Elaborado pela própria.

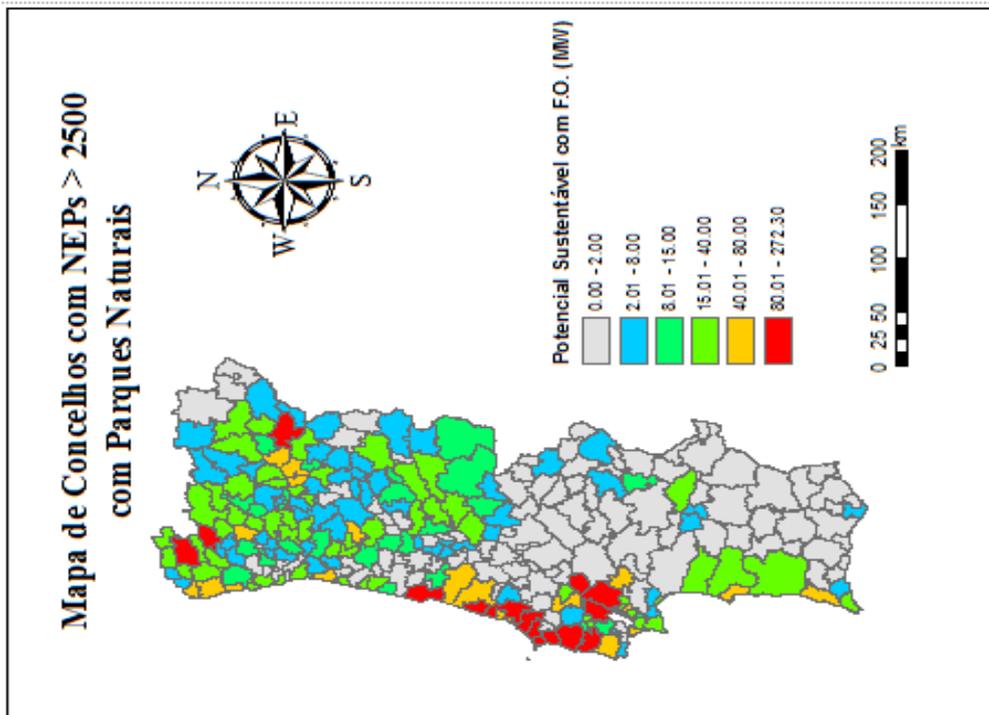


Figura 50 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Concelhos com NEPs > 2500 com Parques Naturais. Fonte: Elaborado pela própria.

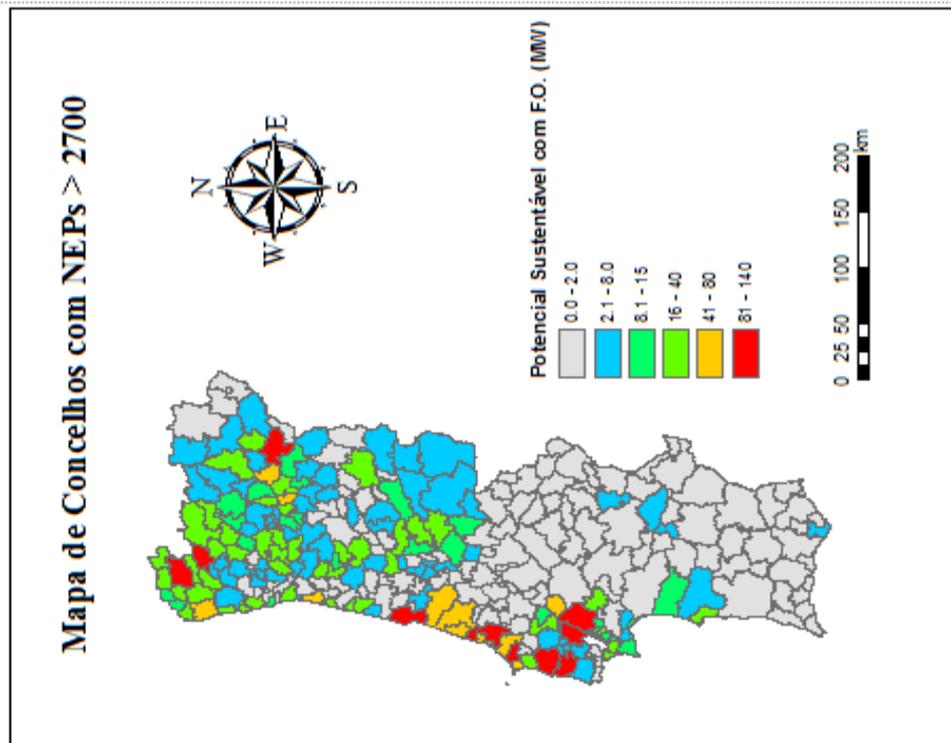


Figura 51 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Concelhos com NEPs > 2700. Fonte: Elaborado pela própria.

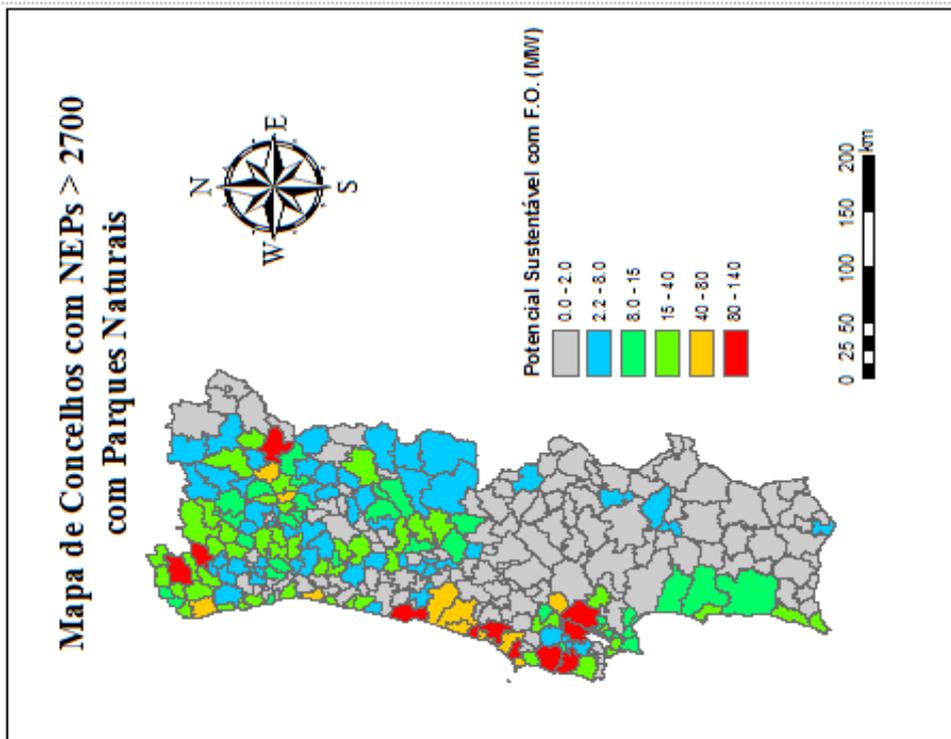


Figura 52 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Concelhos com NEPs > 2700 com Parques Naturais. Fonte: Elaborado pela própria.

O Concelho de Benavente tem o maior potencial sustentável, para os quatro cenários de NEPs considerados com os factores de ocupação.

Distribuição espacial do potencial sustentável por Distritos:

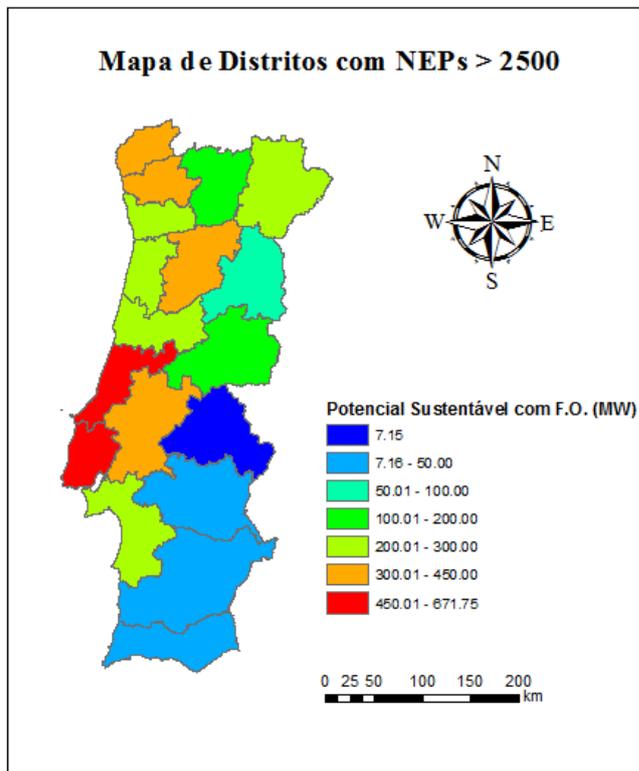


Figura 53 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Distritos com NEPs > 2500. Fonte: Elaborado pela própria.

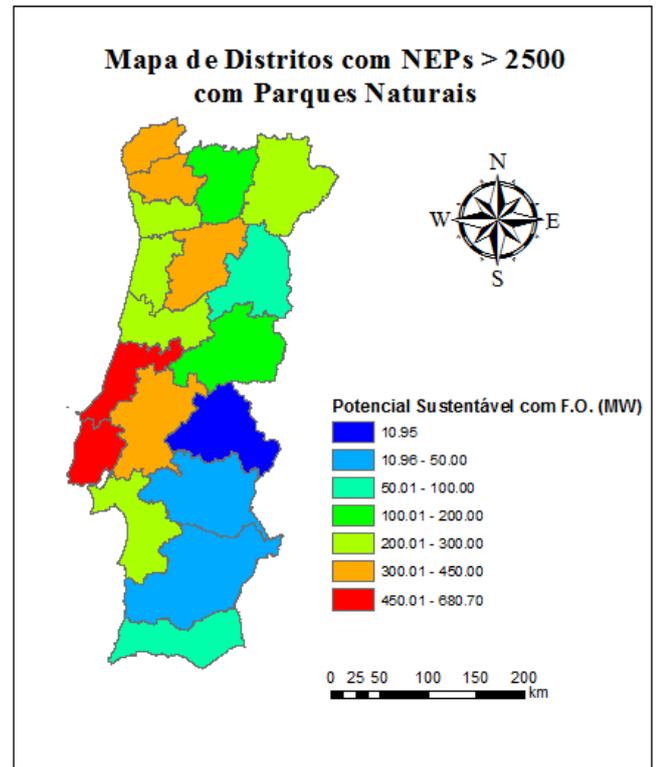


Figura 54 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Distritos com NEPs > 2500 com Parques Naturais. Fonte: Elaborado pela própria.

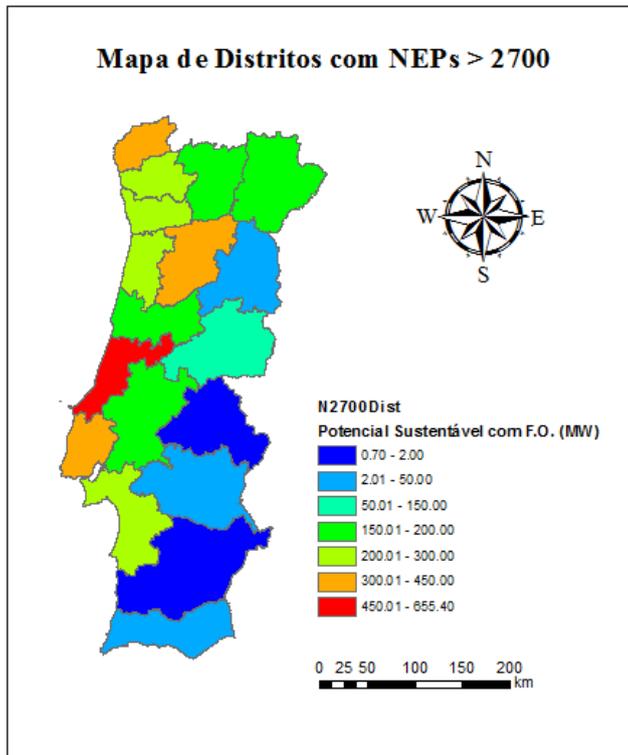


Figura 55 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Distritos com NEPs > 2700. Fonte: Elaborado pela própria.

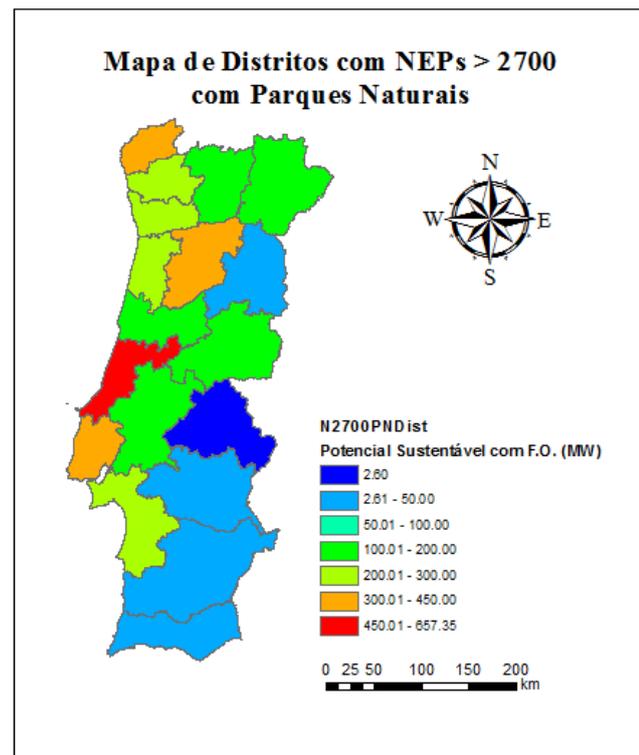


Figura 56 - Mapa de distribuição espacial do potencial sustentável por Distritos com NEPs > 2700 com Parques Naturais. Fonte: Elaborado pela própria.

O Distrito com maior potencial sustentável é Leiria, e em segundo lugar está Lisboa. Estes resultados são referentes aos quatro cenários de NEPs em consideração tendo como base todos os critérios de selecção e condicionantes descritos.

A base de dados criada na plataforma ArcMap possibilita a consulta directa da informação referente ao ponto seleccionado no mapa, sendo visualizada do seguinte modo:

Identify

Identify from: N2500Dist

N2500Dist
0

Location: -93576.662 -75337.082 Meters

Field	Value
AREA	244778000
COUNT	97911
Distrito	Lisboa
FID	10
FID	10
FOfinal	0.25
Id	0
POT_SUST	471
PotsustFOfinal	649.1
Shape	Polygon
SUM	89188600
ZONE_CODE	260

Figura 57 - Tabela de atributos de relação administrativa com o potencial eólico sustentável correspondente. “POT_SUST” corresponde ao Potencial Sustentável em MW.

A amarelo está representada a selecção do mapa pretendido, o qual contém a tabela de atributos para consulta, cuja inclui a divisão administrativa em questão (vermelho) e o correspondente potencial sustentável (verde).

É possível criar tabelas/relatórios com selecção de atributos de interesse, neste caso, e a título de exemplo, a relação Distrito - potencial sustentável correspondente, sob a seguinte forma:

Pot. Sustentável NEPs > 2500 (MW)

Distrito	Pot.Sust.F.O.
AVEIRO	209.25
BEJA	35.95
BRAGA	348.4
BRAGANÇA	286.1
CASTELOBRANCO	154.45
COIMBRA	219.55
ÉVORA	32.75
FARO	79.65
GUARDA	96.7
LEIRIA	680.7
LISBOA	662.35
PORTALEGRE	10.95
PORTO	216.8
SANTARÉM	403.75
SETÚBAL	248.9
VIANA DO CASTELO	354.15
VILA REAL	155.7
VISEU	341.95
Sum Pot.Sust.F.O.	4538.05

Figura 58 - Relatório de relação Distrito e o seu potencial sustentável correspondente (MW), com factores de ocupação do solo, para o caso de NEPs > 2500.

No anexo III é possível consultar a informação referente aos 4 cenários de NEPs para o caso dos Distritos. Os Concelhos e Freguesias não foram incluídos uma vez que a lista correspondente é demasiado extensa. Contudo, é possível a sua consulta rápida através da base de dados criada neste trabalho.

Capítulo 6

Conclusões

A presente dissertação teve por objectivo principal a actualização da base de dados dos parques eólicos de Portugal Continental, com recurso a ferramentas SIG, tendo sido esse objectivo cumprido satisfatoriamente.

No Capítulo 1 foi feito um enquadramento da situação da energia eólica e dos sectores adjacentes podendo-se afirmar que existe um enorme desafio no mercado do sector, no que se refere aos preços aplicados, em comparação com os preços dos combustíveis fósseis altamente subsidiados, com destaque para a energia do gás natural. Algumas instituições públicas de financiamento adoptaram e continuam a adoptar, em alguns casos, uma política de ajuda destinada a colmatar as lacunas resultantes de crises económicas por que passaram (e ainda passam) certos países da OCDE. No entanto, e não obstante os esforços envidados, continuam a ser necessárias novas fontes de financiamento a fim de desenvolver a indústria ligada às energias renováveis e tornar o seu potencial ainda mais viável, objectivo este a atingir ainda esta década. Finalmente, a incerteza sobre o futuro do mercado internacional do carbono mantém-se. Apesar da sensibilidade manifestada por parte de alguns governos no que respeita o uso de combustíveis fósseis e de se ter verificado algum progresso neste domínio, o volume das emissões de carbono mantém-se, o que não impede que se continue a lutar pela sua redução. Boas notícias são as que revelam que a tecnologia do vento continua a melhorar, tornando-se menos onerosa. O número de mercados competidores favoráveis - mesmo os de competição directa fortemente subsidiados de energia convencional - está a crescer, e os benefícios daí extraídos traduzem-se no desenvolvimento de indústrias locais e no aumento de postos no mercado de trabalho.

No Capítulo 2 foi dado a conhecer o Estado da Arte dos SIG e da Energia Eólica, bem como a integração existente entre ambos. Através da utilização dos SIG é possível utilizar informação georreferenciada (e georreferenciar), encontrar locais através de ferramentas de consulta espacial e aferir as relações entre diversos tipos de fenómenos locais, revelar padrões espaciais e identificar áreas de interesse do ponto de vista dos aproveitamentos eólicos. Os SIG permitem quantificar a distribuição espacial da energia do vento, decompondo a informação ao detalhe, mapeando e demonstrando a sua evolução temporal, quer para demonstrar mudanças já consumadas quer para antever essas mudanças.

No Estado da Arte foi dada a conhecer a situação energética a nível mundial e nacional. Conclui-se que a predominância dos combustíveis fósseis tende a declinar, acusando uma ligeira quebra no consumo global de energia primária, passando de 81% em 2010 para 75% em 2035. No sector da electricidade, as energias renováveis, lideradas pela hídrica e eólica, constituem metade da nova capacidade instalada para responder à procura crescente. A China e a UE lideram esta expansão e representam cerca de metade do crescimento. Contudo, serão necessários investimentos adicionais nas redes de transmissão em cerca de 10% do investimento de transmissão total (no caso da UE será necessário dedicar 25% do investimento às redes de transmissão). (AIE)

Para o caso de Portugal, em 2013, os valores respeitantes à produção de electricidade a partir de energia eólica revelam a importância que este sector da energia tem vindo a adquirir no território nacional.

No Capítulo 3 dá-se a conhecer as características principais do recurso eólico, sendo elas, a velocidade e direcção do vento, a orografia do terreno e o uso do solo, que inclui a rugosidade, obstáculos e declive. O vento, como fonte de energia eólica, é um recurso limpo e inesgotável, que tem a capacidade de fornecer grandes quantidades de energia. Tais vantagens, só por si, já constituem um motivo pelo qual este recurso está a ser explorado a nível global, tendo-se traduzido como fonte de motivação para o desenvolvimento do presente trabalho.

No Capítulo 4 foi descrita a metodologia necessária para a identificação do potencial eólico sustentável e disponível. As ferramentas informáticas necessárias ao desenvolvimento deste trabalho foram o modelo WA^SP e o programa ArcMap. Primeiramente simulou-se o vento para Portugal Continental, com base em 23 estações anemométricas, obtidas por modelação numérica de mesoscala, e cujos mapeamentos resultantes foram posteriormente combinados para a elaboração do mapa final do potencial eólico. A partir da integração de elementos georreferenciados considerados como elementos de restrição ao aproveitamento eólico, calculou-se o potencial sustentável e disponível do país para 4 cenários distintos, sendo eles (i) NEPs>2500, (ii) NEPs>2500 com 10% de Parques Naturais, (iii) NEPs>2700 e (iv) NEPs>2700 com 10% de Parques Naturais. Para além das restrições inerentes aos NEPs foi também considerado como restrição áreas com declive>20%, vento>6,25 m/s, distância dos parques eólicos aos pontos de ligação à rede eléctrica < 50 km, e áreas protegidas (incluindo a Rede Natura 2000).

No Capítulo 5 apresentaram-se mapas elaborados com base na aplicação da metodologia. Um dos objectivos desta dissertação era criar uma metodologia para a identificação de áreas de interesse do ponto de vista do aproveitamento eólico e a quantificação do potencial eólico sustentável. Para tal recorreu-se à plataforma *Model Builder*, do ArcGIS, a qual permite alterar

dados ao longo do tempo de forma rápida e prática, tornando esta ferramenta uma mais-valia para a futura actualização de informação relativa ao potencial eólico disponível no país, constituindo-se como uma contribuição para o planeamento de renováveis a nível nacional.

Os mapas de recurso energético foram obtidos por aplicação do *software* WA^SP e apresentados, para termo de comparação, no *software* SURFER. Importou-se as grelhas de recurso de cada simulação, a qual permitiu calcular a velocidade média do vento através dos valores A e k da curva de *Weibull*. Aquando da análise do resultado das simulações de vento, verificaram-se valores de velocidade do vento não expectáveis para a zona interior do Alentejo e Ribatejo. Este resultado prende-se com o valor excessivo de vento nas regiões aludidas comparando-o com trabalhos anteriores para o mesmo local. No intuito de colmatar estas divergências, optou-se por atribuir um valor de rugosidade superior para essa zona. Apesar de ter sido utilizado um modelo de microescala refinado, existe a hipótese dos valores de potencial eólico estarem subestimados aquando da simulação de vento, devido ao facto de se ter utilizado uma descrição de orografia do terreno com espaçamento entre curvas de nível igual a 100 metros, motivando um “alisamento” do terreno em algumas zonas do país. O modelo de turbina escolhido para essa avaliação já por si tem valores de produção elevados, podendo ser esse também um dos motivos para os elevados valores de vento verificados em alguns locais.

Dado que não foi possível aferir a localização exacta de cada turbina, impedindo, por esse motivo, o cálculo da área de cada parque já instalado, a configuração dos parques eólicos existentes não foi considerada para o cálculo do potencial sustentável mas apenas para o do potencial disponível.

Apesar de se considerar comumente que os valores mínimos de velocidade média do vento e o parâmetro NEPs – número de horas de produção anual equivalente à potência nominal de uma turbina, que tornam economicamente viável um projecto de Parque Eólico correspondem, respectivamente, a 6 m/s e 2000 a 2300 h/ano, devido a alterações na remuneração na venda de energia produzida por fonte renovável, optou-se assim por subir esses valores para 6,25 m/s e 2500 a 2700 h/ano.

O valor de potencial eólico referente ao Parque Eólico Nacional utilizado para o cálculo do potencial disponível foi aferido com base nos parques eólicos em funcionamento no período de construção da base de dados deste trabalho, sendo este um factor passível de se ajustar à medida que a capacidade eólica nacional vá evoluindo. Face ao exposto, o valor obtido em termos de potencial sustentável para Portugal Continental tendo como base os critérios de selecção e restrição apresentados foi, para os 4 cenários, (NEPs>2500 sem e com Parques Naturais e NEPs>2700 sem e com Parques Naturais, respectivamente) de 4.958 MW, 5.116 MW, 3.685

MW, 3.810 MW e o potencial disponível de 655 MW, 813 MW, e nenhum para os cenários de NEPs > 2700 h/ano, sendo o Distrito com maior potencial eólico, o de Leiria.

Com a metodologia desenvolvida foi possível identificar o potencial sustentável e o potencial disponível no território de Portugal Continental para os limites (restrições) atribuídas aos diversos factores aplicados. Tendo em conta as condições e restrições aplicadas ao potencial eólico de Portugal continental, de uma forma global o potencial disponível é já algo reduzido. Salienta-se o facto de se ter assumido que a produção energética dos PE em operação ronda a sua potência nominal, pelo que os valores obtidos para a capacidade disponível aqui apresentados são conservativos e carecem de verificação contra valores reais de potência produzida correspondente à capacidade instalada.

Os valores de algumas restrições são facilmente mutáveis para um curto período de tempo tendo em conta a tendência para reequipar e sobreequipar o PE nacional. A metodologia utilizada contribui assim para o desenvolvimento de projectos futuros desta natureza. As áreas de potencial disponível para cenário de NEPs > 2700 demonstraram ser um cenário sobrevalorizado com pouco potencial disponível, mas que no entanto pode ser semelhante a uma realidade futura e que por isso tem apenas interesse para projectos de reequipamento e/ou sobreequipamento de Parques Eólicos já em operação. No caso do cenário NEPs > 2500 verificou-se a existência de algum potencial disponível, útil para novos projectos, mas também para cenários de reequipamento do Parque Eólico Nacional.

Salienta-se o facto de a avaliação do potencial eólico ter tido como base para o mapeamento CORINE, na descrição da rugosidade, a sua reclassificação e adaptação ao modelo de simulação utilizado. Este procedimento acarretou algumas dificuldades na atribuição de valores a cada tipologia de ocupação do solo, mas revelou-se útil para utilização futura em situações em que a área a tratar é extensa e não é viável à construção dos mapeamentos de rugosidade com detalhe.

Dada a inexistência da informação necessária à implementação de factores de ocupação do solo ao tema Freguesias, esta análise não foi aqui efectuada.

As principais dificuldades resultantes deste trabalho prendem-se com a escassez de dados necessários para uma melhor abordagem e análise dos dados em estudo, bem como para a sua compreensão. Da mesma forma, alguma da informação utilizada neste trabalho encontrava-se protegida por critérios de confidencialidade, pelo que alguns resultados poderão não ser totalmente entendidos pelo leitor. Este facto impede ainda, nesta fase, a divulgação pública da base de dados desenvolvida. É no entanto de referir, que apesar da confidencialidade de alguma informação aqui utilizada, a metodologia desenvolvida poderá ser facilmente replicada a outras

geografias, sendo o tipo de base de dados desenvolvida uma mais-valia para o desenvolvimento do sector.

Trabalho futuro

Num trabalho futuro tenciona-se ajustar o potencial sustentável face às necessidades demográficas de consumo nas zonas habitacionais e industriais, isto é, adicionar uma restrição de ocupação urbana e industrial e respectivos consumos. Refinar dados através de novas metodologias e aplicação de outros modelos de turbina que sejam mais representativos da situação eólica por zona do país, é também um dos objectivos futuros. Incluir índices de correcção de erros de cálculo e construção de mapas, que são sujeitos a verificação manual. Introdução de critérios de controlo de qualidade da informação. Outras metas têm em conta a inserção de dados sobre o potencial económico dos parques eólicos e informação referente à potência máxima possível de se injectar em cada ponto de ligação à rede, bem como o desenvolvimento de metodologias de aferição dos factores de ocupação nas diversas divisões administrativas, em especial nas que se referem ao tema freguesias que não foi tratado neste trabalho.

Bibliografia

- Agência Internacional de Energia. (2011). *Outlook AIE 2011*.
- Allan, G., Mcgregor, P., & Swales, K. (2011). The importance of Revenue Sharing for the Local Economic Impacts of a Renewable Energy Project: A Social Accounting Matrix Approach. pp. Vol. 45(9), p.1171-1186.
- Allen, D. W. (Janeiro de 2011). Getting to Know ArcGIS ModelBuilder. BD New York Steet, Redlands, California 92373-8100: ESRI Press.
- APREN. (s.d.). *Assessment of costs and benefits of electricity production from renewable energy sources* . Obtido em 2 de Abril de 2012, de <http://www.apren.pt/gca/?id=245>
- APREN, *Associação de Energias Renováveis*. (s.d.). Obtido em Dezembro de 2013, de <http://www.apren.pt/>
- Barros, C., & Antunes, O. (2010). Energy Policy - Performance assessment of Portuguese wind farms: Ownership and managerial efficiency.
- Brown A., M. S. (2011). *Renewable Energy, Markets and Prospects by Technology*. Agência Internacional de Energia.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2001). *Wind Energy Handbook*. Reino Unido: John Wiley & Sons.
- Carrão, H., Painho, M., & Caetano, M. (Setembro de 2005). *Alterações da ocupação do solo em Portugal Continental 1985-2000*. Lisboa: Instituto do Ambiente.
- Carta Corine Land Cover 2009*. (Novembro de 2013). Obtido de iGEO: <http://www.igeo.pt/>
- Comissão Europeia*. (s.d.). Obtido em Março de 2014, de <http://ec.europa.eu/europe2020>
- Comissão Europeia, B. C. (17 de Maio de 2011). *Portugal: Memorandum of understanding on specific economic policy conditionality*. Obtido em Abril de 2013, de <https://infoeuropa.euroid.p/registo/000046765/>
- Costa, P. (2004). Atlas do Potencial Eólico de Portugal Continental . *Tese de mestrado*. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Cursos de Energias Renováveis*. (s.d.). Obtido em Abril de 2014, de <http://www.cursosenergiasrenovaveis.com/>
- Decreto-Lei nº34/2011. (8 de Março de 2011). *Diário da República 46: Série I*.
- DGEG . (s.d.). *Direcção Geral de Energia e Geologia*. Obtido em Outubro de 2012, de <http://www.dgeg.pt/>
- DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia*. (s.d.). Obtido em 2012
- DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia*. (Abril de 2014). Obtido de <http://www.dgeg.pt/>
- DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia. (Dezembro de 2013). *Estatísticas Rápidas*. Lisboa: DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia.

- Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). (8 de Março de 2012). *Renováveis – estatísticas rápidas Dezembro 2011; relatório técnico 82*.
- ENEOP - *Eólicas de Portugal*. (s.d.). Obtido em Fevereiro de 2014, de <http://www.eneop.pt/>
- ENEOP, *Eólicas de Portugal Lda*. (2013). Obtido de <http://www.eneop.pt/>
- ENERCON. (s.d.). *ENERCON project overview*. Obtido em Junho de 2014, de http://www.enercon.de/p/downloads/ENERCON_PU_en.pdf
- Estanqueiro, A., & Costa, P. (Junho 2003). A Methodology to Compute Wind Resource Grids in Complex Terrain Based on Multiple-Anemometric Stations. *European Wind Energy Conference (EWEC)*. Madrid.
- Estanqueiro, A., & Silva, F. (1996). *Energia Eólica, Curso de Formação*. Lisboa: INETI - Instituto de Tecnologias Energéticas, Departamento de Energias Renováveis, Az. Lameiros, 1699 - Lisboa Codex.
- Estanqueiro, A., Costa, P., & Simões, T. (04/2009). A Methodology for the Identification of the Sustainable Wind Potential. The Portuguese case study. Em P. '09 (Ed.), *Power Systems Conference and Exposition, 2009*. Seattle, USA: IEEE/PES.
- Estanqueiro, A., Costa, P., & Simões, T. (2006). Development and Validation of the Portuguese Wind Atlas. *European Wind Energy Conference (EWEC)*. Atenas.
- Estanqueiro, A., Costa, P., & Simões, T. (2008). A Methodology for the Identification of the Sustainable Wind Potential. *The Portuguese Case Study*.
- Europeu, I. d. (2013). *A Estratégia Europa 2020 e o Fundo Social Europeu*. Instituto de Gestão do Fundo Social Europeu.
- EWEA - European Wind Energy Association. (Fevereiro de 2014). Estatísticas Europeiras. *Wind in Power 2013*.
- EWEA. (Fevereiro de 2014). Energia do Vento . *Estatísticas Europeias de 2013*.
- FER. (s.d.). Obtido de <https://www.ccdrc.pt>
- Fernandes, M., Marujo, R., & Simões, T. e. (2011). *International Energy Agency (IEA) Wind 2011, 29 Portugal*. Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).
- Fidalgo, D., Justo, P., Nova, L., & Guerreiro, C. (2012). *A aplicação de ferramentas SIG na delimitação da Reserva Ecológica Nacional e Reserva Agrícola Nacional para o concelho de Mêda*.
- Governo de Portugal. (s.d.). Obtido em Outubro de 2012, de <http://www.portugal.gov.pt/pt.aspx>
- Grancho, N. J. (Janeiro 2003). *História dos SIG em Portugal*. Castelo Branco: U.NL, ISEGI.
- Hiester, T., & Pennel, W. (1983). *The Siting Handbook for Large Wind Energy Systems*. New York, USA: Windbooks.
- IEA, I. E. (2011). *IEA*. Obtido de <http://www.iea.org/topics/windpower/>
- INEGI. (2000). *Estimativas do potencial eólico de Portugal Continental*.
- INEGI e APREN. (2013). *Parques Eólicos em Portugal*. Lisboa: INEGI e APREN. Obtido de <http://e2p.inegi.up.pt/>

INEGI e APREN. (Dezembro de 2011). *Parques Eólicos em Portugal.; relatório técnico.*

Instituto Geográfico Português. (s.d.). Obtido de http://www.igeo.pt/produtos/Geodesia/inf_tecnica/sistemas_referencia/Datum_ETRS89.htm de

Instituto Geográfico Português. (Novembro de 2013). Obtido de <http://www.igeo.pt/>

Justus, C. W. (1978). Methods for Estimating Wind Speed Distributions. *Journal of applied Meteorology*, Vol.17, Nº3.

Justus, C. (1980). Vent et performances des éoliennes. Paris: SCM.

Lars Landberg, L. M. (2003). *Wind Resource Estimation - An Overview.* Dinamarca: Riso National Laboratory.

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia . (s.d.). Obtido em Abril de 2014, de <http://www.lneg.pt/iedt/projectos/442/>

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia . (Dezembro de 2013). Obtido de www.lneg.pt

LNEG, A. F.-R. (s.d.). Caracterização de Portugal Continental.

Lucas, M., Janss, G. F., & Ferrer, M. (Fevereiro de 2004). The effects of a wind farm on birds in a migration point: the Strait of Gibraltar. *Biodiversity & Conservation*, pp. Volume 13, Issue 2, pp 395-407.

Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). *Wind Energy Explained.* Reino Unido: John Wiley & Sons.

Manwell, J., McGowan, J., & Rogers, A. (2002). *Wind Energy Explained.* Amherst, USA: University of Massachusetts, John Wiley & Sons Ltd.

Mapa do Modelo Digital do Terreno (MDT). (Novembro de 2013). Obtido de iGEO: <http://www.igeo.pt/DadosAbertos/Listagem.aspx>

Marques da Silva, F. (1996). Caracterização do Recurso Eólico. *Em Curso de Formação - Acção do Programa Altener, Energia Eólica* (p. Cap. 2). Lisboa: Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação - INETI.

Marques da Silva, F. (1996). *Caracterização do Recurso Eólico. Curso de Formação - Acção do Programa Altener. Energia Eólica, Cap. 2.* Lisboa: Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI).

Marques, M. e. (2010). *Tecnologias SIG no apoio à caracterização do potencial eólico regional.* Lisboa: INEGI.

Matos, J. (5 de Julho de 2007). *Modelos Digitais do Terreno.* Obtido em 16 de Junho de 2013, de https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/187026/1/MDT_v2.pdf

Mentis, D. (2013). *Wind Energy Assessment in Africa, A GIS-based approach.* SE-100 44 STOCKHOLM : KTH Industrial Engineering and Management, Division of Energy Systems Analysis.

Meroney, R. (1991). Fluid Dynamics of Flow over Hills/Mountains - Insights Obtained through Physical Modeling. *Seminário de Escoamentos em Terrenos Complexos.* Coimbra: Universidade de Coimbra.

MIBEL . (s.d.). Obtido em 2013, de <http://www.mibel.com>

- Ministério da Economia. (Dezembro de 2001). *Eficiência Energética e Energias Endógenas*. Obtido em Junho de 2014, de http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/14/Programa_E4.pdf
- Ministério das Cidades, O. d. (2003). *Relatório do Estado do Ambiente 2002*. Lisboa: Instituto do Ambiente.
- Monteiro, C. D. (1997). *Integração de Energia Renovável na produção descentralizada de electricidade utilizando SIG*. Porto: FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Motersen, N., & Petersen, E. (1997). Influence of Topographical Input Data on the Accuracy of Wind Flow Modelling in Complex Terrain. *European Wind Energy Conference*. Dublin Castle, Ireland.
- Müller, S. M. (2011). *Renewable Energy, Markets and Prospects by Region*. Agência Internacional de Energia.
- NREL - National Renewable Energy Laboratory. (1985). *Wind Energy Resource Atlas of the United States*. Washington, DC 20402: Superintendent of Documents U.S. Government Printing Office.
- NREL - National Renewable Energy Laboratory. (2012). Obtido de <http://www.nrel.gov/news/press/2012/1985.html>
- Oliveira, T. &. (2009). *Guião Metodológico de Procedimentos Técnicos em Sistemas de Informação Geográfica*. Lisboa: Santa Casa da Misericórdia de Lisboa.
- Painho, M., & Curvelo, P. (2010). *Sistemas de Informação Geográfica - Unidade de Aprendizagem*. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa.
- Pereira, M. (1981). Shelter behind two-dimensional solid and porous fences. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic n°8*, 93-104.
- Pestana, D., & Velosa, S. (2006). *Introdução à Probabilidade e à Estatística*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis (PNAER)*. (s.d.). Obtido de <http://www.dgeg.pt>.
- REFOCUS. (Setembro/Outubro de 2002). Footprints in the Wind? *Environmental impacts of the wind power development*, pp. 30-33.
- REN - Rede Eléctrica Nacional. (5 de Julho de 2013). Renováveis abastecem 68% do consumo de electricidade no 1º semestre.
- REN. (Junho de 2014). Obtido de <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/>
- Simões, T. (2004). *Base de Dados do Potencial Energético do Vento em Portugal - Metodologia e Desenvolvimento*. Lisboa: INETI e FCUL.
- SNIG - Sistema Nacional de Informação Geográfica. (s.d.). Obtido em 2013, de <http://snig.igeo.pt/portal/>
- Stull, R. (1988). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers.
- Sybilla Benelli, R. D. (2009). *Evolução tecnológica do mapeamento do potencial eólico*. Brasil: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC.
- Tavares, B. (2010). *Parques Eólicos Offshore: Estudo de soluções de interligação do tipo HVAC e HVDC*.
- Troen, I. e. (1989). *European Wind Atlas*. Denmark: Risoe, Roskilde.

- Vogt, B. S.-S. (Agosto de 2010). Renewable and Sustainable Energy Reviews. *GIS-based approach for the evaluation of wind energy potential: A case study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship*.
- Wegley, H. R. (1980). A Siting Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems. Em *Windbooks*. Washigton, USA.
- WWEA - World Wind Energy Association. (Janeiro a Julho de 2013). Half-Year Report.
- XIX Governo Constitucional,. (2010). Energia 2020, um objectivo a 10 anos. p. <http://energia2020.fc.ul.pt/documentos1.php>.

Webgrafia:

- BiON
<http://bdigital.ufp.pt/bitstream/> (Consultado em: Novembro 2012)
<http://ubithesis.ubi.pt> (Consultado em: Novembro 2012)
<http://repositorio.ineg.pt> (Consultado em: Novembro 2012)
<http://www.rcaap.pt> (Consultado em: Dezembro 2012)
- DGEG - <http://www.dgeg.pt/> (Consultado em: Maio de 2013)
- ENE 2020 - http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_pt.pdf
(Consultado em Dezembro 2012)
- ENEOP - http://www.eneop.pt/subcanais_n1.asp?id_subcanal_n1=172&id_canal=110
http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/index_pt.htm (Consultado em
Novembro 2012)
- FER - <https://www.ccdrc.pt/> (Consultado em Maio 2013)
- GWEC – <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/02/GWEC-PRstats>
http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/02/GWEC-PRstats-2013_EN.pdf
http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/02/GWEC-PRstats-2013_EN.pdf (Consulta em Março 2013)
- INETI - http://codigopostal.ciberforma.pt/dir/lista_CAT3.asp?cat3=351 (Consultado em
Março 2013)
- Jornal Expresso -
http://www.energiasrenovaveis.com/DetailheNoticias.asp?ID_conteudo=937&ID_area=23
Consultado em: 2014
- Legislação Europeia -
http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/l27062_pt.htm
- OCDE - <http://www.oecd.org/> (Consultado em Janeiro de 2013)
- Portal do Governo - <http://www.portugal.gov.pt/pt.aspx> (Consultado em Dezembro 2012)
- <http://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogerador-de-eixo-horizontal/custo-comparativo/>
- <http://www.empreender.aip.pt/irj/go/km/docs/> (Consultado em Fevereiro 2013)
- <http://www.erse.pt>
- <http://www.igfse.pt/content.asp?startAt=2&categoryID=503&newsID=3559&offset=0>
(Consultado em Janeiro 2013)

Anexo I

Estado do Sector Eólico a nível mundial

Este anexo contém dados referentes ao Capítulo 2 – O Estado de Arte da Planeamento da Energia Eólica com integração nos Sistemas de Informação Geográfica.

I.1. Energia Eólica no Mundo

Ásia

Os mercados dominantes são o da China e da Índia.

Mais uma vez, em 2013 a China foi o maior mercado mundial de energia eólica, com a instalação de 5,5 GW de nova capacidade instalada, em apenas seis meses, um valor mais elevado que no ano anterior (5,4 GW). A China é responsável por 39% do mercado mundial para a nova capacidade instalada, mais que os 29% de 2012. Em Junho de 2013, a China tinha produzido um total de 80,8 GW de energia eólica.

A Índia adiu 1,2 GW (menos que em 2012, com 1,5 GW). As perspectivas para o mercado eólico na Índia permanecem uma incógnita, face à incerteza política que o país atravessa.

O mercado japonês e coreano continuam a crescer modestamente, com ambos os países com taxas de crescimento inferiores a 2% (valor para a primeira metade de 2013). Devido a este crescimento lento, o Japão apenas subiu do 13º lugar para o 15º. A Mongólia instalou o seu maior parque eólico este ano, com 50 MW de capacidade.

América do Norte

Os EUA sofreram um grande abalo na sua produção eólica, com a adição de apenas 1,6 MW, entre Janeiro e Julho de 2013 (28883 MW, 2012). As incertezas referentes ao futuro das Taxas de Crédito de Produção (PTC) têm levado a que, já em 2012, a maioria dos investidores tenham tentado ligar os seus parques eólicos à rede eléctrica nacional, de modo a anteciparem-se ao possível corte desta taxa. Devido a esta pressão, foram muito poucas as instalações verificadas em 2013. No entanto, é esperada uma subida substancial para 2014.

O Canadá instalou 377 MW na primeira metade de 2013, mais 50% que no ano anterior.

América Latina

O Brasil é o maior mercado eólico da América Latina e tornou-se o 14º maior mercado do mundo com a instalação de 281 MW, no período considerado. Attingiu um total de capacidade instalada de 2788 MW, traduzido num crescimento de 11,2%. É esperado que o Brasil continue líder de mercado nos próximos anos.

Oceânia

Existem vários incentivos na Austrália para o sector eólico. Na primeira metade de 2013, acrescentaram 475 MW de capacidade instalada, igualando a taxa de crescimento anual de 18%, de 2012. A Austrália deu um passo em frente e é o 13º lugar no *ranking* mundial.

NA Nova Zelândia não foram instaladas novas turbinas eólicas.

África

O maior parque eólico africano é recente e encontra-se em Marrocos, tendo incrementado 391 MW à capacidade instalada do país. Graças a Marrocos, a capacidade instalada de África cresceu 10%, pela primeira vez, bem mais que a média de crescimento mundial.

I.1.1. Capacidade Eólica Instalada Global

MW		Global installed wind power capacity – Regional Distribution		
		End 2011	New 2012	Total (End 2012)
AFRICA & MIDDLE EAST				
	Tunisia	54	50	104
	Ethiopia	-	52	52
	Egypt	550	-	550
	Morocco	291	-	291
	Iran	91	-	91
	Cape Verde	24	-	24
	Other ¹	23	-	37
	Total	1,033	102	1,135
ASIA				
	PR China	62,364	12,960	75,324
	India	16,084	2,336	18,421
	Japan	2,536	88	2,614
	Taiwan	564	-	564
	South Korea	407	76	483
	Pakistan	6	50	56
	Other ²	109	-	109
	Total	82,070	15,510	97,570
EUROPE				
	Germany	29,071	2,415	31,308
	Spain	21,674	1,122	22,796
	UK	6,556	1,897	8,445
	Italy	6,878	1,273	8,144
	France	6,827	757	7,564
	Portugal	4,379	145	4,525
	Denmark	3,956	217	4,162
	Sweden	2,899	846	3,745
	Poland	1,616	880	2,497
	Netherlands	2,772	119	2,391
	Turkey	1,836	506	2,312
	Romania	982	923	1,925
	Greece	1,634	117	1,749
	Ireland	1,614	125	1,738
	Austria	1,084	296	1,378
	Rest of Europe ³	3,815	1,106	4,922
	Total Europe	97,043	12,744	109,581
	of which EU-27 ⁴	94,352	11,895	106,041
LATIN AMERICA & CARIBBEAN				
	Brazil	1,431	1,077	2,508
	Argentina	113	54	167
	Costa Rica	132	15	147
	Nicaragua	62	40	102
	Venezuela	-	30	30
	Uruguay	43	9	52
	Caribbeans ⁵	271	-	229
	Other ⁶	229	-	229
	Total	2,280	1,225	3,505
NORTH AMERICA				
	USA	46,929	13,124	60,007
	Canada	5,265	935	6,200
	Mexico	569	801	1,370
	Total	52,763	14,860	67,576
PACIFIC REGION				
	Australia	2,226	358	2,584
	New Zealand	623	-	623
	Pacific Islands	12	-	12
	Total	2,861	358	3,219
	World total	238,050	44,799	282,587

¹ Israel, Jordan, Kenya, Libya, Nigeria, South Africa

² Bangladesh, Indonesia, Philippines, Sri Lanka, Thailand, Vietnam

³ Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Estonia, Finland, Faroe Islands, FYROM, Hungary, Iceland, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Malta, Norway, Romania, Russia, Switzerland, Slovakia, Slovenia, Ukraine

⁴ Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, UK

⁵ Caribbean: Aruba, Bonaire, Curacao, Cuba, Dominica, Dominican Republic, Guadalupe, Honduras, Jamaica, Martinique

⁶ Colombia, Chile, Ecuador, Peru

** Provisional Figure

Please note: Project decommissioning of approximately 267 MW and rounding affect the final sums

Figura 59 - Capacidade instalada global (MW) por distribuição regional (África, Ásia, Europa, América Latina e Carafbas, respectivamente). Fonte: GWEC, 2013.

I.2. Capacidade Eólica Instalada na Europa



Figura 60 - União Europeia 117,289 MW; Países candidatos 2,956 MW; EFTA 830 MW. Total Europeu: 121,474 MW. Fonte: EWEA.

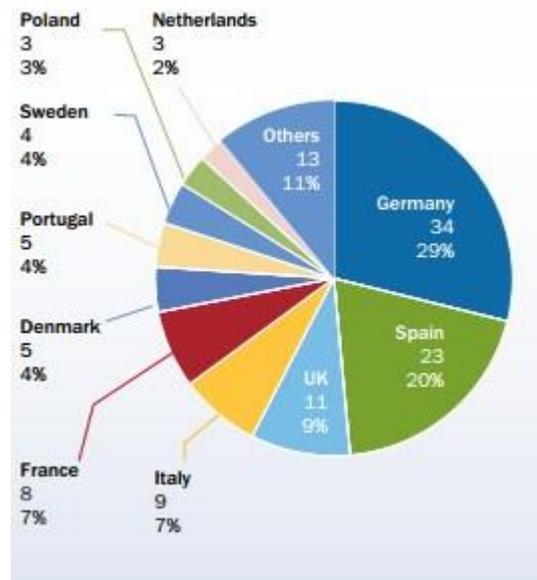


Figura 61 - Partilha de capacidade instalada total pelos Estados Membros da UE, em 2013 (Total 118 GW). Fonte: EWEA.

	Installed 2012	End 2012	Installed 2013	End 2013
EU Capacity (MW)				
Austria	296	1,377	308	1,684
Belgium	297	1,375	276	1,651
Bulgaria	158	674	7.1	681
Croatia	48	180	122	302
Cyprus	13	147	0	147
Czech Republic	44	260	9	269
Denmark	220	4,162	657	4,772
Estonia	86	269	11	280
Finland	89	288	162	448
France	814	7,623	631	8,254
Germany	2,297	30,989	3,238	33,730
Greece	117	1,749	116	1,865
Hungary*	0	329	0	329
Ireland	121	1,749	288	2,037
Italy	1,239	8,118	444	8,551
Latvia	12	60	2	62
Lithuania	60	263	16	279
Luxembourg	14	58	0	58
Malta	0	0	0	0
Netherlands	119	2,391	303	2,693
Poland	880	2,496	894	3,390
Portugal	155	4,529	196	4,724
Romania	923	1,905	695	2,599
Slovakia	0	3	0	3
Slovenia	0	0	2	2
Spain	1,110	22,784	175	22,959
Sweden	846	3,582	724	4,470
United Kingdom	2,064	8,649	1,883	10,531
Total EU-28	12,102	106,454	11,159	117,289
Total EU-15	9,879	99,868	9,402	108,946
Total EU-13	2,224	6,586	1,757	8,343

Figura 62 - Capacidade Eólica Instalada na UE, por país, 2013. Fonte: EWEA.

	Installed 2012	End 2012	Installed 2013	End 2013
Candidate Countries (MW)				
FYROM**	0	0	0	0
Serbia	0	0	0	0
Turkey	506	2,312	646	2,956
Total	506	2,312	646	2,956
EFTA (MW)				
Iceland	0	0	1,8	1,8
Liechtenstein	0	0	0	0
Norway	166	703	110	768
Switzerland	4	50	13	60
Total	170	753	125	830
Other (MW)				
Belarus	0	3	0	3
Faroe Islands	2	2	5	7
Ukraine	125	276	95	371
Russia*	0	15	0	15
Total	127	297	100	397
Total Europe	12,906	109,816	120,030	121,474

Figura 63 - Capacidade Eólica Instalada na UE; * data prevista ou estimada; ** antiga Jugoslávia, República de Macedónia. Fonte: EWEA.

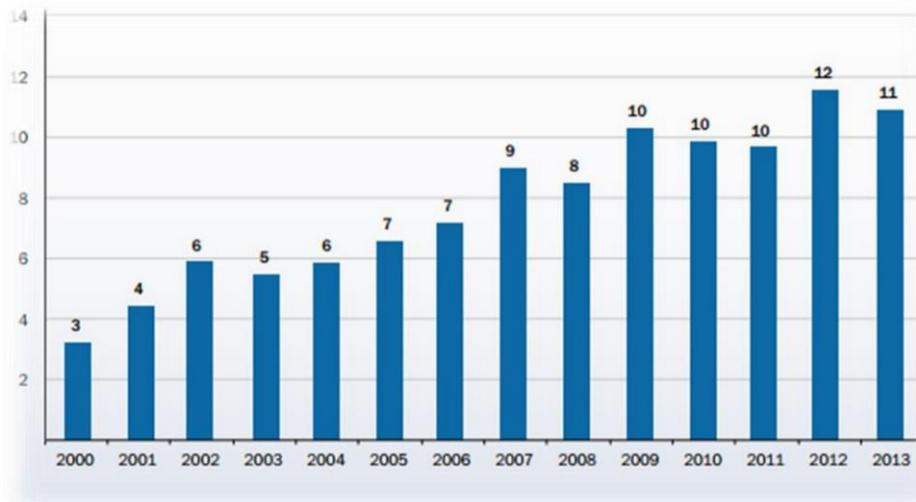


Figura 64 - Instalação anual de Energia Eólica de 2000 a 2013. Fonte: EWEA

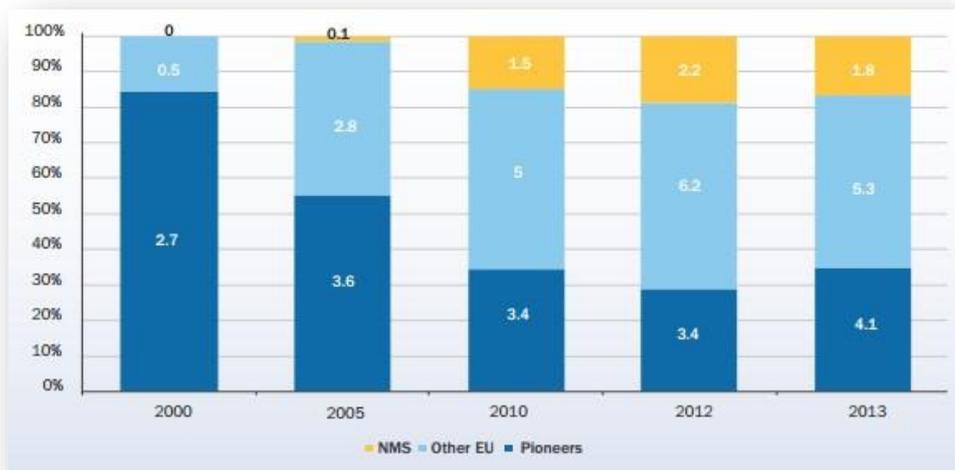


Figura 65 - Distribuição do Mercado Eólico pelos países pioneiros, pelos restantes países da UE e pelos novos Estados Membros, de 2000 a 2013 (GW). Fonte: EWEA.

I.2.1. Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020)

EU/ Metas dos Estados-Membros	Taxa de emprego (em %)	I&D em % do PIB	Metas de redução das emissões de CO ₂	Energias renováveis	Eficiência energética – redução do consumo de energia em Mtep	Abandono escolar precoce em %	Ensino superior em %	Redução da população em risco de pobreza ou de exclusão social
Grande objectivo da UE	75 %	3 %	-20 % (em comparação com os níveis de 1990)	20 %	Aumento de 20 % da eficiência energética, equivalente a 368 Mtep	10 %	40 %	20 000 000
Previsões UE ³	73,70-74 %	2,65-2,72 %	-20 % (em comparação com os níveis de 1990)	20 %	206,9 Mtep	10,30-10,50 %	37,50-38,0 %	Impossível de calcular devido a diferenças nas metodologias nacionais
AT	77-78 %	3,76 %	-16 %	34 %	7,16	9,5 %	38 %	235 000
BE	73,2 %	3,0 %	-15 %	13 %	9,80	9,5 %	47 %	380 000
BG	76 %	1,5 %	20 %	16 %	3,20	11 %	36 %	260 000
CY	75-77 %	0,5 %	-5 %	13 %	0,46	10 %	46 %	27 000
CZ	75 %	1 % (sector público e global)	9 %	13 %	n.d.	5,5 %	32 %	Manter o número de pessoas em risco de pobreza ou de exclusão social ao nível de 2008 (15,3 % da população total) tentando reduzi-lo em 30 000
DE	77 %	3 %	-14 %	18 %	38,30	<10 %	42 %	330 000 (desempregados de longa duração)
DK	80 %	3 %	-20 %	30 %	0,83	<10 %	At least 40 %	22 000 (agregados familiares com fraca intensidade de trabalho)
EE	76 %	3 %	11 %	25 %	0,71	9,5 %	40 %	Redução da taxa de risco de pobreza (após transferências sociais) para 15 % (17,5 % em 2010)
EL	70 %	a rever	-4 %	18 %	2,70	9,7 %	32 %	450 000
ES	74 %	3 %	-10 %	20 %	25,20	15 %	44 %	1 400 000-1 500 000
FI	78 %	4 %	-16 %	38 %	4,21	8 %	42 % (definição nacional estrita)	150 000

Metas dos Estados-Membros	Taxa de emprego (em %)	I&D em % do PIB	Metas de redução das emissões de CO ₂	Energias renováveis	Eficiência energética – redução do consumo de energia em Mtep	Abandono escolar precoce em %	Ensino superior em %	Redução da população em risco de pobreza ou de exclusão social
FR	75 %	3 %	-14 %	23 %	34,00	9,5 %	50 %	Redução em um terço da taxa de risco de pobreza persistente no período 2007-2012 ou em 1 600 000 pessoas
HU	75 %	1,8 %	10 %	14,65 %	2,96	10 %	30,3 %	450 000
IE	69-71 %	Aprox. 2 a (2,5 % PNB)	-20 %	16 %	2,75	8 %	60 %	186 000 até 2016
IT	67-69 %	1,53 %	-13 %	17 %	27,90	15-16 %	26-27 %	2 200 000
LT	72,8 %	1,9 %	15 %	23 %	1,14	<9 %	40 %	170 000
LU	73 %	2,3-2,6 %	-20 %	11 %	0,20	<10 %	40 %	Sem meta
LV	73 %	1,5 %	17 %	40 %	0,67	13,4 %	34-36 %	121 000
MT	62,9 %	0,67 %	5 %	10 %	0,24	29 %	33 %	6 560
NL	80 %	2,5 %	-16 %	14 %	n.d.	<8 %	>40 % 45 % previsto em 2020	100 000
PL	71 %	1,7 %	14 %	15,48 %	14,00	4,5 %	45 %	1 500 000
PT	75 %	2,7-3,3 %	1 %	31 %	6,00	10 %	40 %	200 000
RO	70 %	2 %	19 %	38 %	10,00	11,3 %	26,7 %	580 000
SE	Muito acima de 80 %	4 %	-17 %	49 %	12,80	<10 %	40-45 %	Redução da % de mulheres e homens que não integram a população activa (excepto estudantes a tempo inteiro), dos desempregados de longa duração e das baixas médicas de longa duração para um nível claramente inferior a 14 % até 2020
SI	75 %	3 %	4 %	25 %	n.d.	5 %	40 %	40 000
SK	72 %	1 %	13 %	14 %	1,65	6 %	40 %	170 000
UK	Sem meta no PNR	Sem meta no PNR	-16 %	15 %	n.d.	Sem meta no PNR	Sem meta no PNR	Metas quantitativas constantes do "Child Poverty Act" de 2010

Figura 66 e 67 - Estratégia Nacional para a Energia 2020, União Europeia. Fonte: http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_pt.pdf

I.3. Capacidade Eólica Instalada em outras fontes de Energia

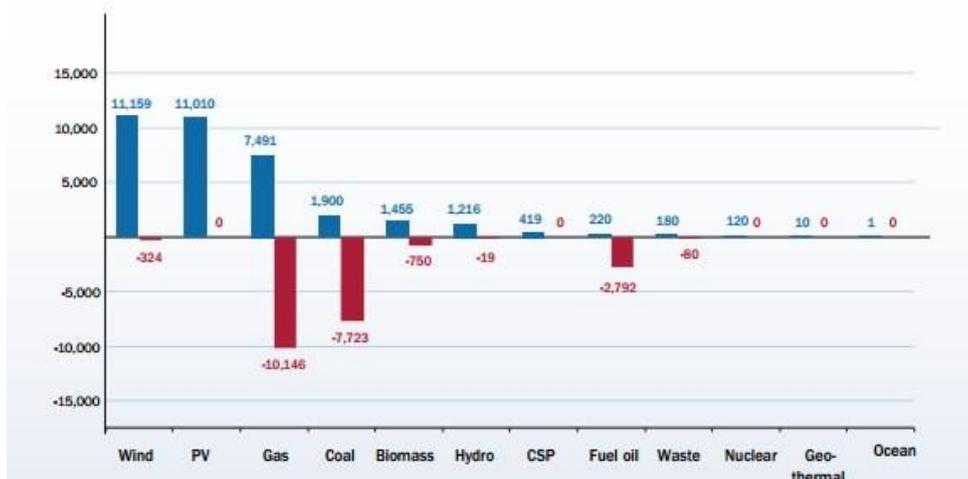


Figura 68 - Capacidade Instalada em outras fontes de energia (Eólica, Solar Fotovoltaica, Gás, Carvão, Biomassa, Hidroeléctrica, Solar Concentrada, Petróleo, Lixo, Nuclear, Geotérmica e Ondas, respectivamente), em MW. Fonte: EWEA.

I.3.1. Contribuição de cada fonte de energia para a Rede Eléctrica

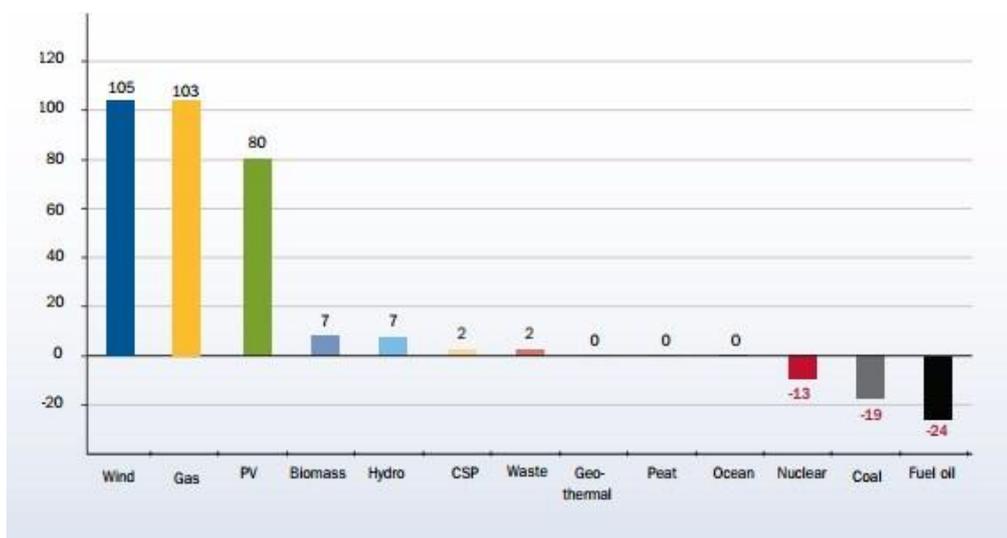


Figura 69 - Instalação de Capacidade Instalada na Rede Eléctrica da UE, desde 2000 a 2013 (GW); (Eólica, Solar Fotovoltaica, Gás, Carvão, Biomassa, Hidroeléctrica, Solar Concentrada, Petróleo, Lixo, Nuclear, Geotérmica e Ondas, respectivamente). Fonte: EWEA.

I.4. Energia Eólica em Portugal

Nos gráficos e tabelas seguintes constam dados que justificam a escolha de determinados parâmetros utilizados como base para o desenvolvimento deste trabalho.

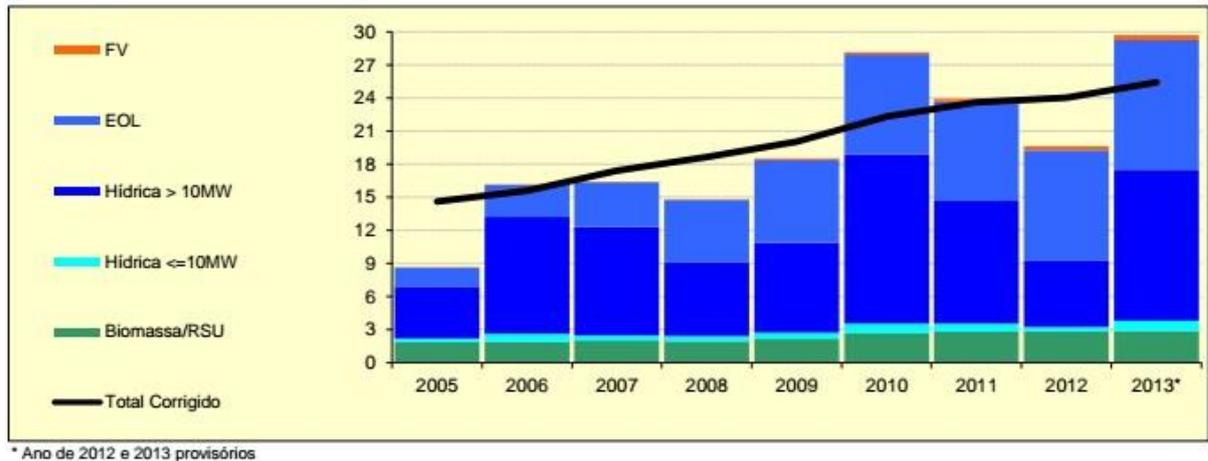


Figura 70 - Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis (TWh). Fonte: DGEG (Geologia, Dezembro de 2013).

Horas	Pot. Instalada (MW)					Produção (GWh)				
	2010	2011	2012	2013	% 2013	2010	2011	2012	2013	% 2013
Total	3 496	3 391	3 761	3 756	100%	8 656	7 827	8 583	9 842	100%
> 3000	213	25	72	615	16%	751	90	234	1 913	19%
> 2750 ≤ 3000	367	318	294	764	20%	1 142	873	836	2 217	23%
> 2500 ≤ 2750	796	269	516	757	20%	1 938	573	1 309	1 996	20%
> 2250 ≤ 2500	1 204	627	1 351	1 078	29%	2 927	1 555	3 134	2 571	26%
> 2000 ≤ 2250	834	1 365	866	471	13%	1 752	3 315	1 857	1 015	10%
> 1750 ≤ 2000	44	532	442	54	1%	84	1 011	847	104	1%
≤ 1750	38	254	220	18	0%	63	410	366	26	0%

Figura 71 - Caracterização do Parque Eólico Nacional por número de horas equivalente (NEPs), com potencia instalada estabilizada. Fonte: DGEG (Geologia, Dezembro de 2013)

PARQUES EÓLICOS EM PORTUGAL	LIGADOS À REDE (MW)	LIGADOS À REDE (MÁQ.)	EM CONSTRUÇÃO (MW)	EM CONSTRUÇÃO (MÁQ.)	TOTAL (MW)	TOTAL (MÁQ.)
CONTINENTE	4.649,9	2.361	133,3	63	4.783,2	2.424
MADEIRA	46,2	60	0,0	0	46,2	60
AÇORES	32,4	52	0,0	0	32,4	52
OFFSHORE	2,0	1	0,0	0	2,0	1
TOTAL	4.730,5	2.474	133,3	63	4.863,8	2.537

Tabela 6 - Valores de potência instalada para Portugal (MW), em 2013). Fonte: APREN.

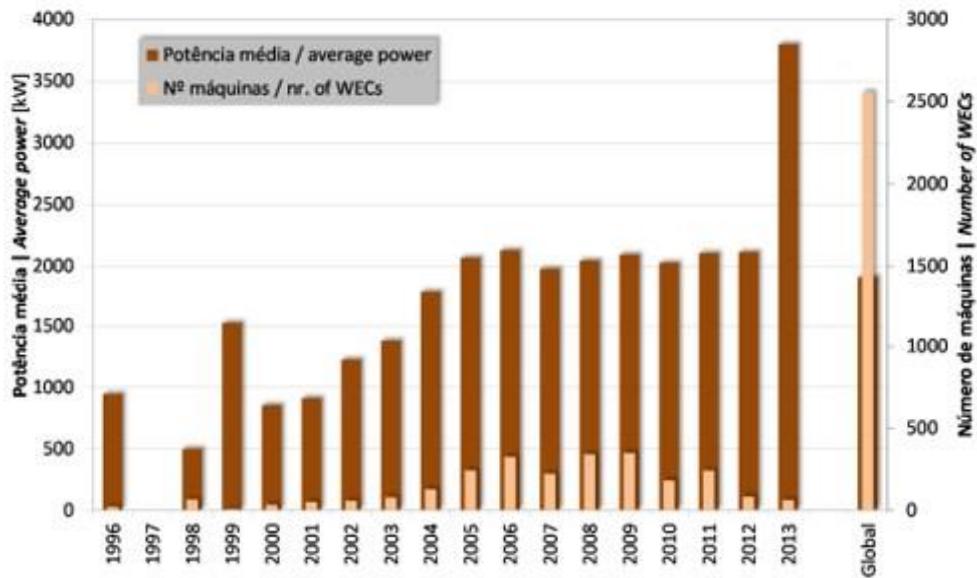


Figura 72 - Número de aerogeradores e potência unitária média (kW). Fonte: ((e2p), Dezembro de 2013)

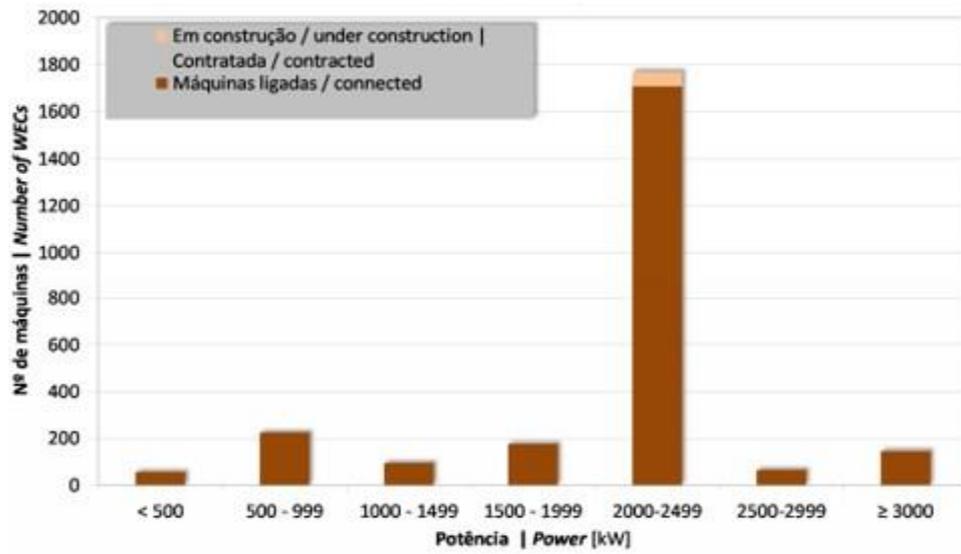


Figura 73 - Número de aerogeradores por classe de potência. Fonte: ((e2p), Dezembro de 2013)

Anexo II

Informação complementar à Metodologia

Este anexo contém informação útil para um melhor entendimento da Metodologia aplicada.

II.1. Ocupação do solo

II.1.1. Caracterização da ocupação do solo de Portugal Continental

A estrutura e composição da ocupação do solo varia de Norte a Sul do país.

Em 2000, 72% de Portugal Continental era ocupado por Floresta e Agricultura, e 14% por áreas mistas de Agricultura com áreas naturais. Os Territórios artificializados ocupavam cerca de 3% do continente e a Vegetação natural 9%.⁹

Nos territórios artificializados domina o tecido urbano descontínuo, que constitui cerca de 70% da área de ocupação desta classe. A indústria, comércio e equipamentos gerais representam a segunda ocupação artificial (12%), e em seguida os tecidos urbanos contínuos (6%) em igualdade com as áreas de extracção mineira (6%).

As ocupações mistas de Agricultura com áreas naturais estão repartidas por igual no continente por agricultura com espaços naturais (55%) e por Sistemas agro-florestais (45%).

As restantes ocupações contêm áreas com pouca representatividade no território nacional (2%), incluindo essencialmente áreas de rocha nua, massas de água e zonas húmidas. (Carrão, Painho, & Caetano, Setembro de 2005)

A região Norte caracteriza-se por ter uma vasta ocupação florestal (35%) e agrícola (46%), com uma apreciável área de vegetação natural (15%). Os territórios artificializados contribuem apenas com 4% para a composição do solo nesta região, todavia esse valor é o valor mais alto em termos de área.

Na região Centro as florestas são significativamente mais abundantes que em qualquer outro tipo de ocupação do solo (50%), e esta zona tem a maior área florestal de todas as regiões (1,4 milhões de hectares).

⁹ Os números apresentados são referentes ao território de Portugal Continental delimitado pela versão 3.0 da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP, Junho de 2004). As análises efectuadas ao nível das regiões tiveram por base a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS), versão de 2002.

Em Lisboa o tipo de ocupação do solo mais abundante é representado pela Agricultura (39%). Contudo, o que melhor caracteriza esta região é a percentagem de territórios artificializados, que é a maior do país (20%). No entanto, a área absoluta de territórios artificializados é inferior à das regiões Norte e Centro.

A região do Alentejo regista a maior percentagem de ocupação agrícola (62%), englobando as áreas mistas de agricultura com áreas naturais. É a região com a menor percentagem de ocupação de territórios artificializados (1%). A Floresta, essencialmente de folhosas, ocupa uma área extensa (34%).

O Algarve destaca-se pela percentagem de vegetação natural (21%), que é a maior de todas as regiões. Todavia, os tipos de ocupação mais abundantes são as áreas agrícolas (45%), seguidas da Floresta (> 30%). (Carrão, Painho, & Caetano, Setembro de 2005)

Em Portugal, devido à sua situação geográfica e geomorfologia, apenas nas montanhas a velocidade e regularidade do vento é susceptível de aproveitamento energético. A maior parte dessas características são encontradas a norte do rio Tejo, e a sul junto à Costa Vicentina e Ponta de Sagres, sendo raros na extensa planície alentejana.

II.1.2. Características do mapa de rugosidade Corine Land Cover 2009 (CLC 09)

Nomenclatura CORINE Land Cover

Nível 1	Nível 2	Nível 3	
1 Territórios artificializados	1.1 Tecido urbano	1.1.1 Tecido urbano contínuo	
		1.1.2 Tecido urbano descontínuo	
	1.2 Indústria, comércio e transportes	1.2.1 Indústria, comércio e equipamentos gerais	
		1.2.2 Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	
		1.2.3 Áreas portuárias	
		1.2.4 Aeroportos e aeródromos	
	1.3 Áreas de extracção de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção	1.3.1 Áreas de extracção de inertes	
		1.3.2 Áreas de deposição de resíduos	
		1.3.3 Áreas em construção	
	1.4 Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas	1.4.1 Espaços verdes urbanos	
		1.4.2 Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas	
	2 Áreas agrícolas e agro-florestais	2.1 Culturas temporárias	2.1.1 Culturas temporárias de sequeiro
			2.1.2 Culturas temporárias de regadio
2.1.3 Arrozaís			
2.2 Culturas permanentes		2.2.1 Vinhas	
		2.2.2 Pomares	
		2.2.3 Oliveais	
2.3 Pastagens permanentes		2.3.1 Pastagens permanentes	
2.4 Áreas agrícolas heterogéneas		2.4.1 Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	
		2.4.2 Sistemas culturais e parcelares complexos	
		2.4.3 Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	
	2.4.4 Sistemas agro-florestais		
3 Florestas e meios naturais e semi-naturais	3.1 Florestas	3.1.1 Florestas de folhosas	
		3.1.2 Florestas de resinosas	
		3.1.3 Florestas mistas	
	3.2 Florestas abertas, vegetação arbustiva e herbácea	3.2.1 Vegetação herbácea natural	
		3.2.2 Matos	
		3.2.3 Vegetação esclerófila	
		3.2.4 Florestas abertas, cortes e novas plantações	
	3.3 Zonas descobertas e com pouca vegetação	3.3.1 Praias, dunas e areais	
		3.3.2 Rocha nua	
		3.3.3 Vegetação esparsa	
		3.3.4 Áreas áridas	
		3.3.5 Neves eternas e glaciares	
4 Zonas húmidas	4.1 Zonas húmidas interiores	4.1.1 Paúis	
		4.1.2 Turfeiras	
	4.2 Zonas húmidas litorais	4.2.1 Sapais	
4.2.2 Salinas e aquicultura litoral			
4.2.3 Zonas entre-marés			
5 Corpos de água	5.1 Águas interiores	5.1.1 Cursos de água	
		5.1.2 Planos de água	
	5.2 Águas marinhas e costeiras	5.2.1 Lagoas costeiras	
		5.2.2 Desembocaduras fluviais	
		5.2.3 Oceano	

Figura 74 - Tabela de caracterização do mapa de rugosidade Corine Land Cover 2009

Escala de cores CLC 09 (ha)

Escala em ha	
111	- Tecido urbano contínuo
112	- Tecido urbano descontínuo
121	- Indústria, comércio e equipamentos gerais
122	- Redes viárias e ferroviárias e espaços associados
123	- Áreas portuárias
124	- Aeroportos e aeródromos
131	- Áreas de extracção de inertes
132	- Áreas de deposição de resíduos
133	- Áreas em construção
141	- Espaços verdes urbanos
142	- Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas
211	- Culturas temporárias de sequeiro
212	- Culturas temporárias de regadio
213	- Arrozaís
221	- Vinhas
222	- Pomares
223	- Olivais
231	- Pastagens permanentes
241	- Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes
242	- Sistemas culturais e parcelares complexos
243	- Agricultura com espaços naturais e semi-naturais
244	- Sistemas agro-florestais
311	- Florestas de folhosas
312	- Florestas de resinosas
313	- Florestas mistas
321	- Vegetação herbácea natural
322	- Matos
323	- Vegetação esclerófila
324	- Florestas abertas, cortes e novas plantações
331	- Praias, dunas e areais
332	- Rocha nua
333	- Vegetação esparsa
334	- Áreas áridas
335	- Neves eternas e glaciares
411	- Paúis
412	- Turfeiras
421	- Sapais
422	- Salinas e aquicultura litoral
423	- Zonas entre-marés
511	- Cursos de água
512	- Planos de água
521	- Lagoas costeiras
522	- Desembocaduras fluviais
523	- Oceano

Figura 75 - Escala de cores do mapa CLC 09.

Anexo III

Dados complementares ao Caso de Estudo

Este anexo inclui informação adicional ao desenvolvimento do caso de estudo, bem como resultados obtidos na criação da base de dados.

III.1. Simulação de vento

III.1.1. Redefinição da tabela do mapa de rugosidade

Valor	Caracterização	Red	Green	Blue	WA ^{SP}
10	Áreas urbanas	195	20	0	1
20	Culturas temporárias de sequeiro	255	255	100	0.05
30	Culturas temporárias de regadio	170	240	240	0.03
40	Florestas	0	160	0	0.6
50	Charnecas e vegetação esclerofila	115	0	0	0.35
60	Pradaria	170	170	0	0.25
70	Áreas de vegetação esparsa	255	235	175	0.05
80	Áreas de vegetação baixa e solo regularmente inundado	0	220	130	0.1
90	Áreas nuas	255	245	215	0.35
100	Lavouras complexas	255	180	50	0.4
110	Sistemas agro-florestais	210	240	100	0.2
120	Mosaico de vegetação natural (herbáceas, arbustos e árvores)	150	100	0	0.3
200	Corpos de água	0	70	200	0.0001

210	Zonas de neve e gelo permanente	255	255	255	0.0001
230	Dados nulos	65	65	65	0.03

Tabela 7 - Tabela do mapa de rugosidade CLC 09 redefinido para introdução da avaliação do potencial eólico do país. Fonte: Elaborado pela própria.

III.1.2. Características do modelo de turbina escolhido

MODELO: Enercon 92

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
POTÊNCIA	2,350 kW
DIÂMETRO DO ROTOR	92 M
ALTURA DA TORRE	85/98/104/108/138 M
ÁREA ABRANGENTE	6,648M²

Tabela 8 - Especificações técnicas do modelo de turbina seleccionado para avaliação de NEPs. Fonte: Enercon.

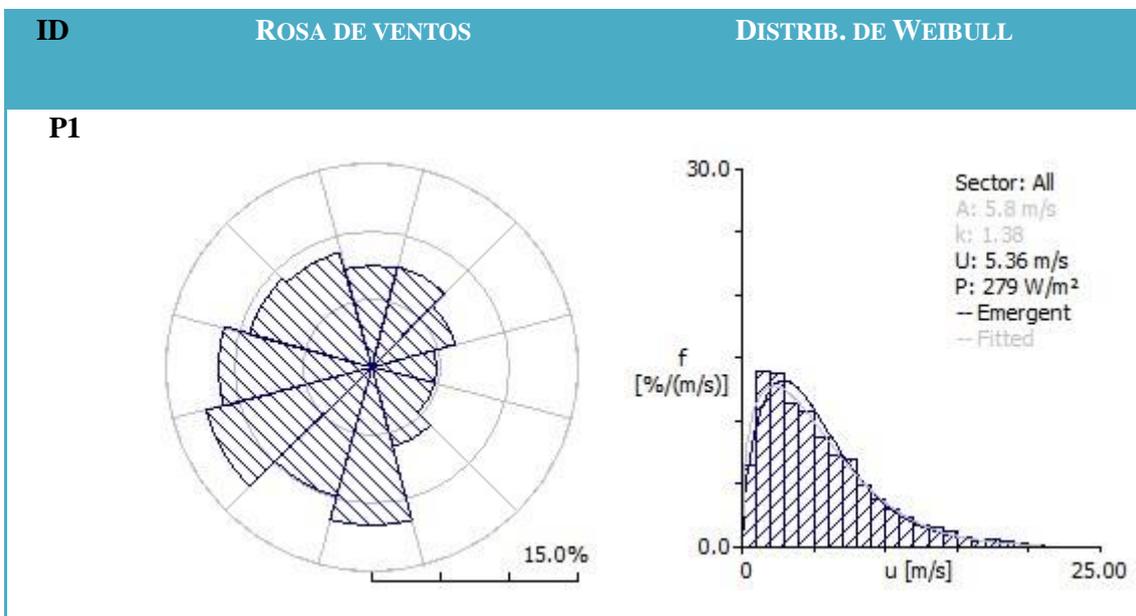
III.1.3. Parâmetros estatísticos do vento

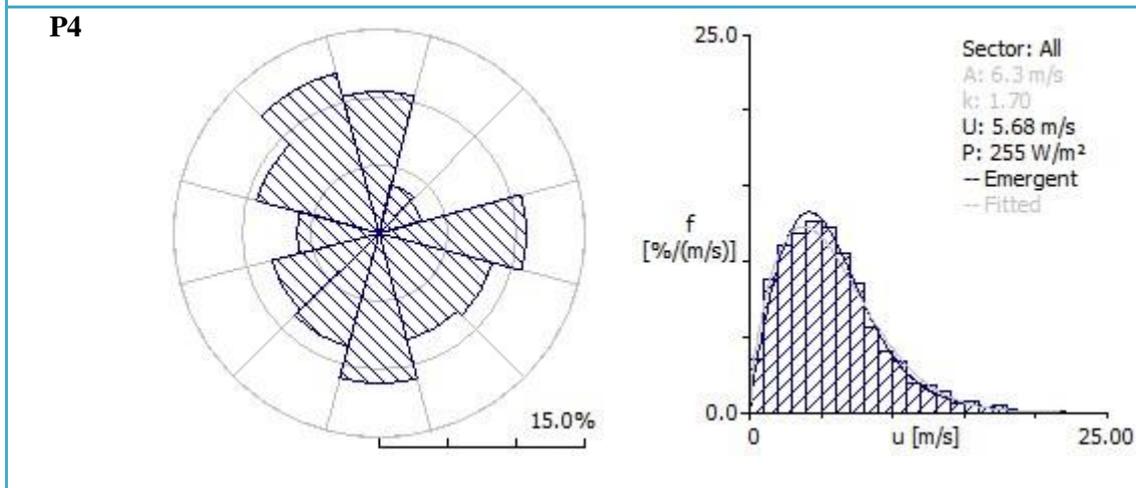
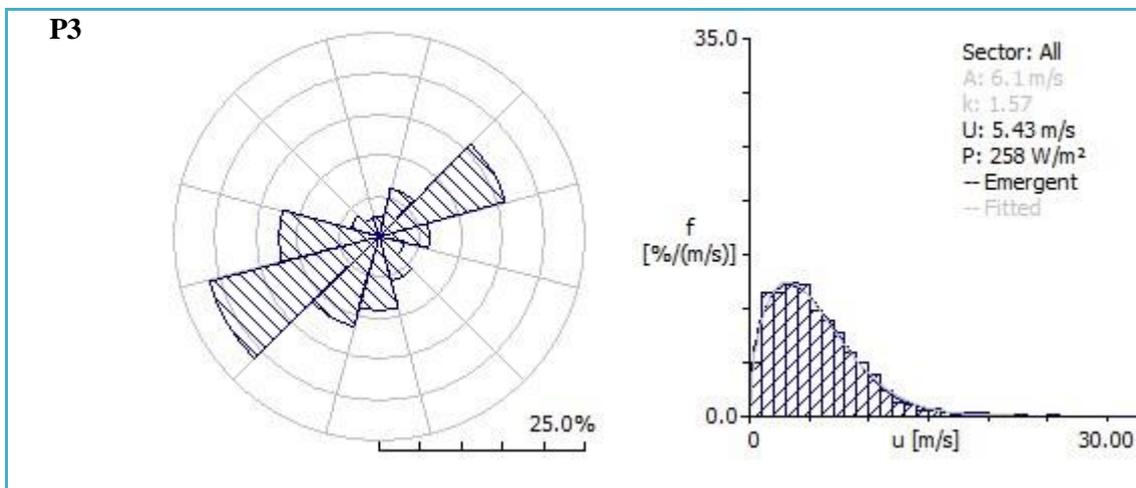
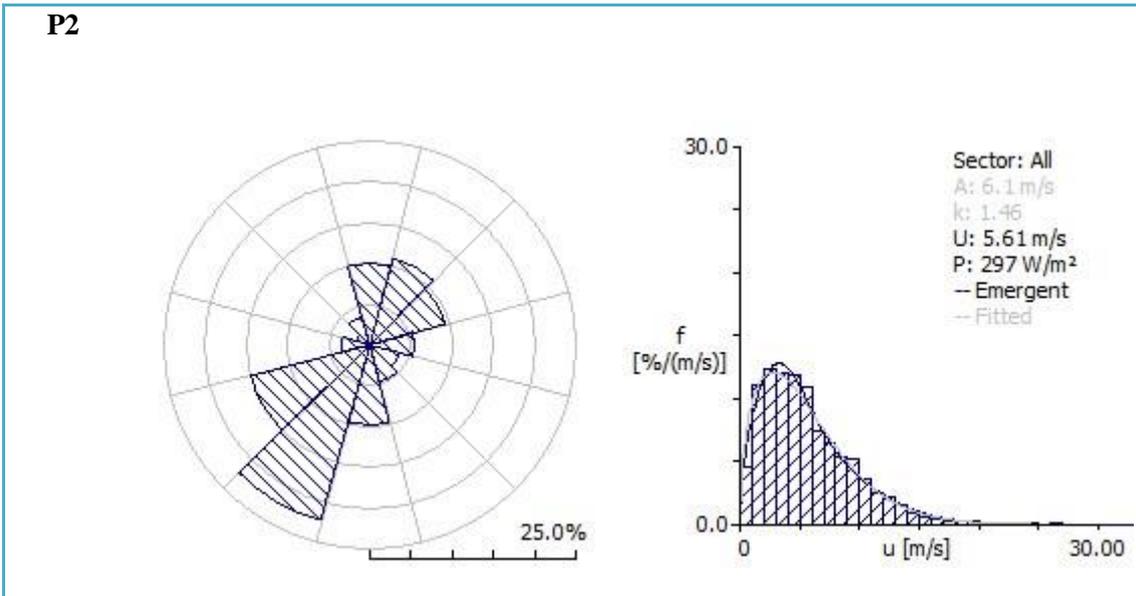
ID	COORDENADAS (M)	V (M/S)	FLUXO DE POTÊNCIA (W/M²)	A (M/S)	K
P1	-28373.627, 207675.817	5,32	278,91	5,8	1,38
P2	50724.318, 222833.670	5,64	297,21	6,1	1,46
P3	136515.668, 205253.061	5,47	256,59	6,1	1,57

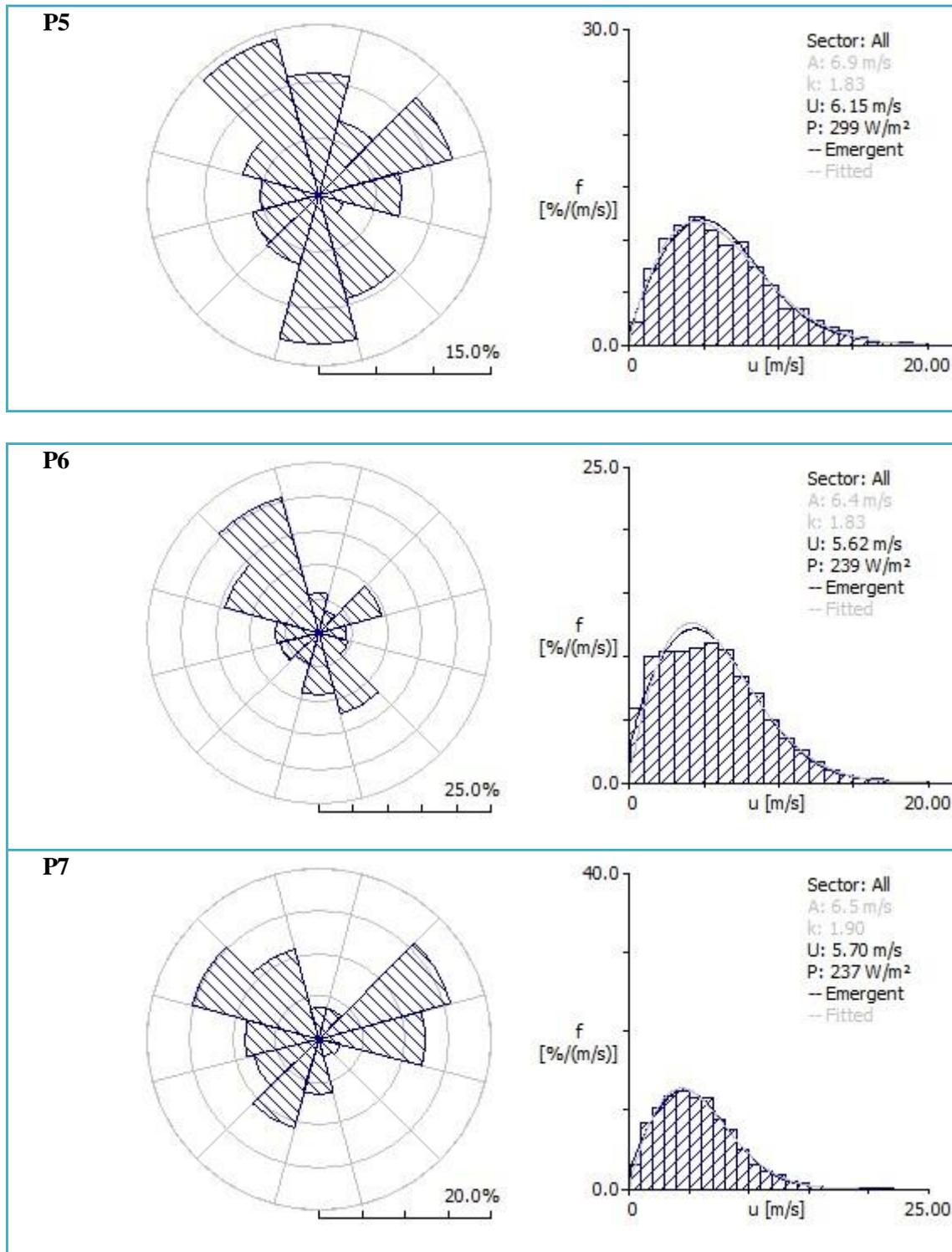
P4	-31415.401, 173724.651	5,66	255,12	6,3	1,70
P5	-39324.799, 142804.765	6,16	299,43	6,9	1,83
P6	-31414.444, 102791.035	5,57	237,41	6,4	1,83
P7	24562.589, 113704.662	5,69	234,28	6,5	1,90
P8	81756.613, 117949.348	5,7	266,52	6,2	1,60
P9	-58794.119, 67626.990	6,28	295,8	7,0	1,94
P10	-1599.987, 63990.132	5,19	206,48	5,8	1,65
P11	73239.467, 36708.976	5,56	197,47	6,4	2,8
P12	-61227.123, 7606.183	5,54	222,15	6,3	1,87
P13	-95299.669, -33620.656	6,64	298,07	7,5	2,34
P14	-36888.552, -42713.959	5,52	218,23	6,3	1,86
P15	20914.243, -60295.050	5,66	201,97	6,4	2,13
P16	-105642.614, -86366.334	6,32	241,83	7,1	2,50
P17	-89213.922, -133655.248	6,22	263,43	6,9	2,04

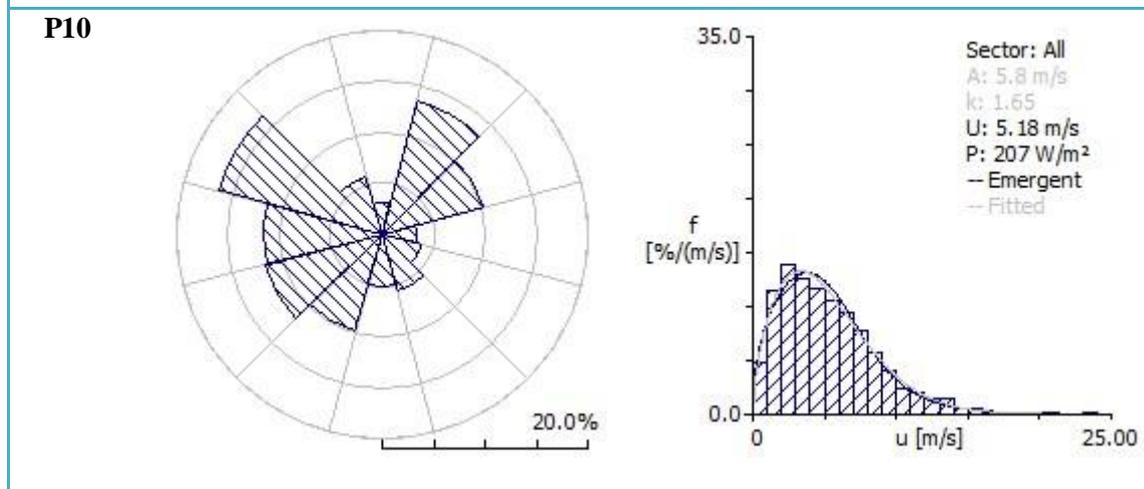
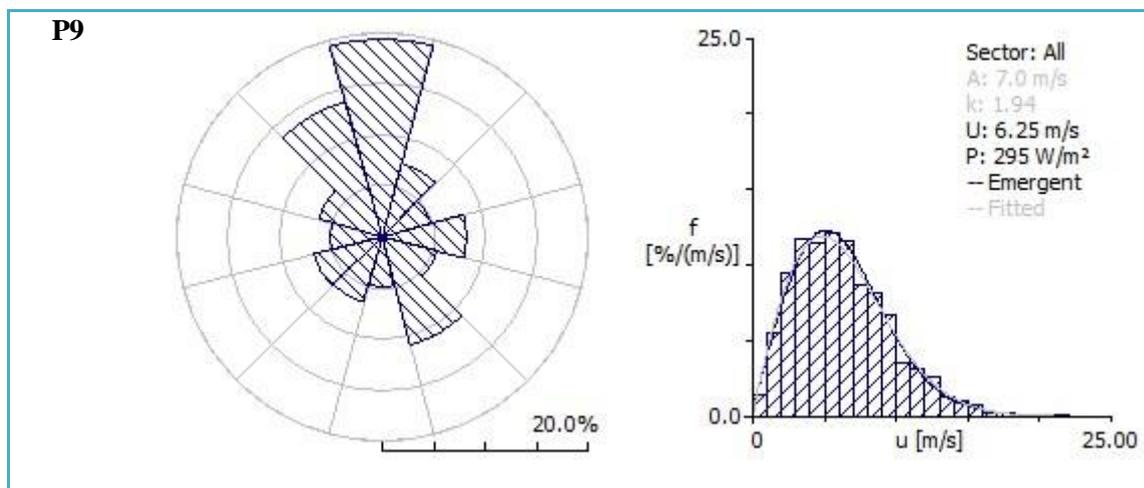
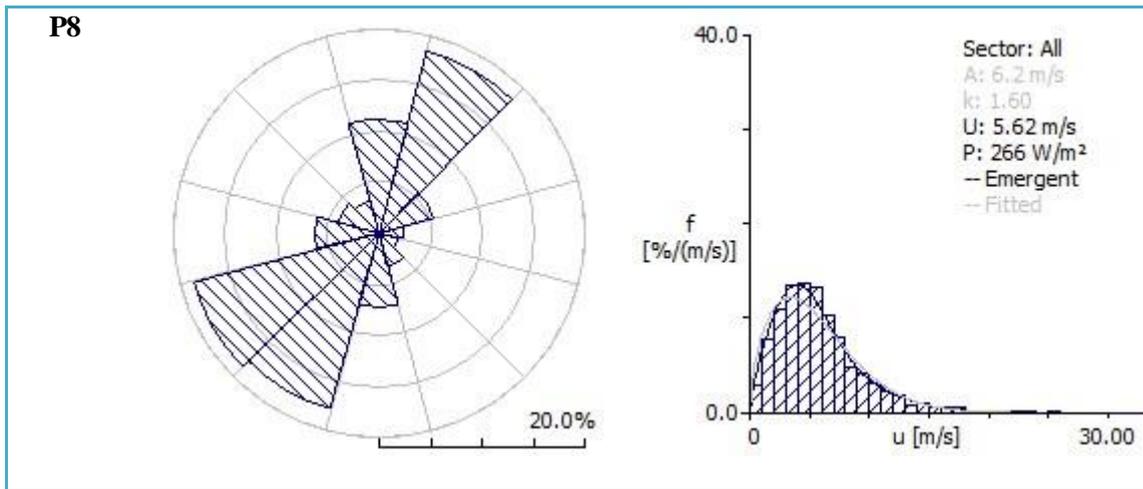
P18	-7073.337, -139716.908	5,72	202,36	6,4	2,16
P19	-58790.841, -187006.708	6,18	239,93	6,9	2,22
P20	20916.046, -198524.842	5,67	205,35	6,4	2,04
P21	-53314.418, -217926.465	6,06	243,13	6,8	2,14
P22	-69741.650, -288860.401	6,68	283,27	7,6	2,67
P23	19091.875, -290678.107	5,6	199,94	6,4	2,16

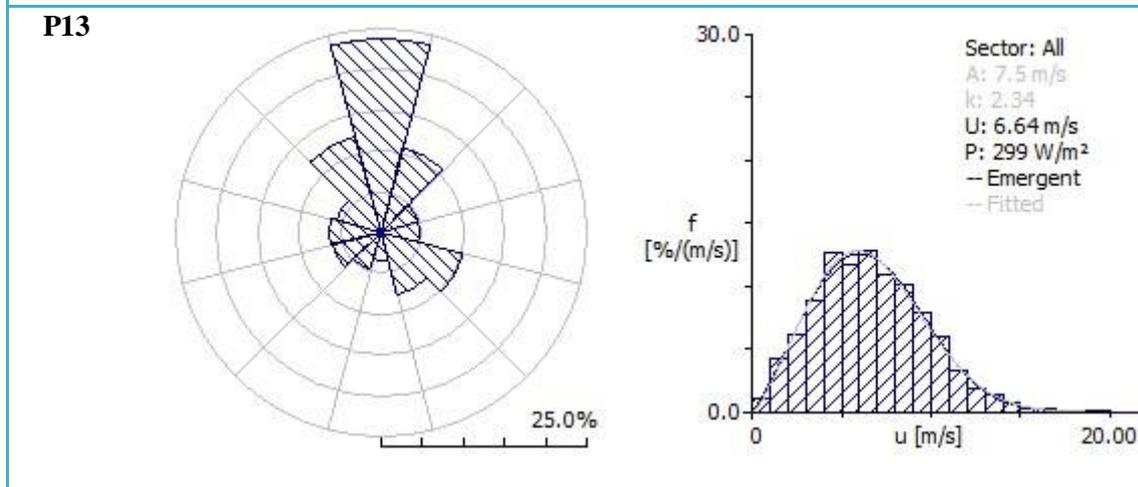
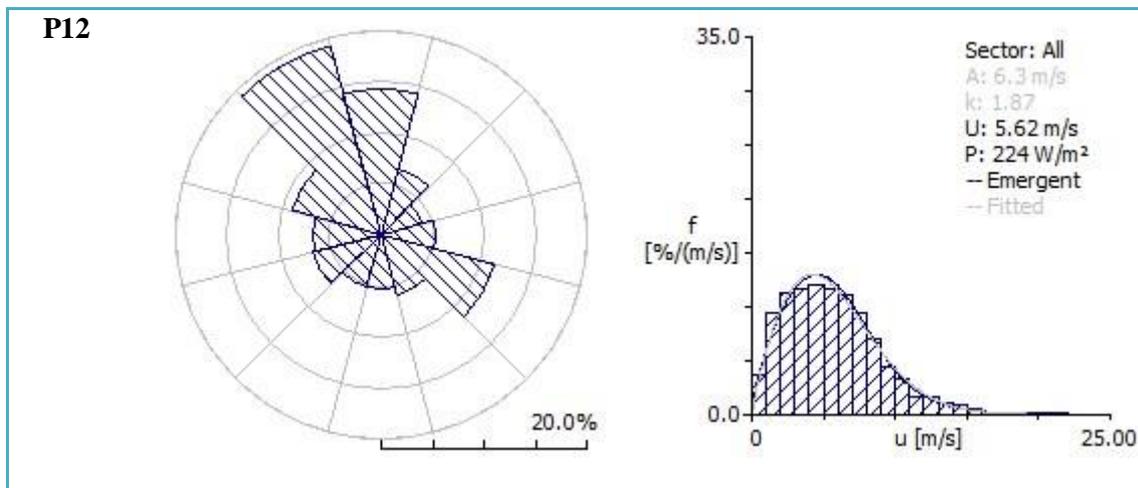
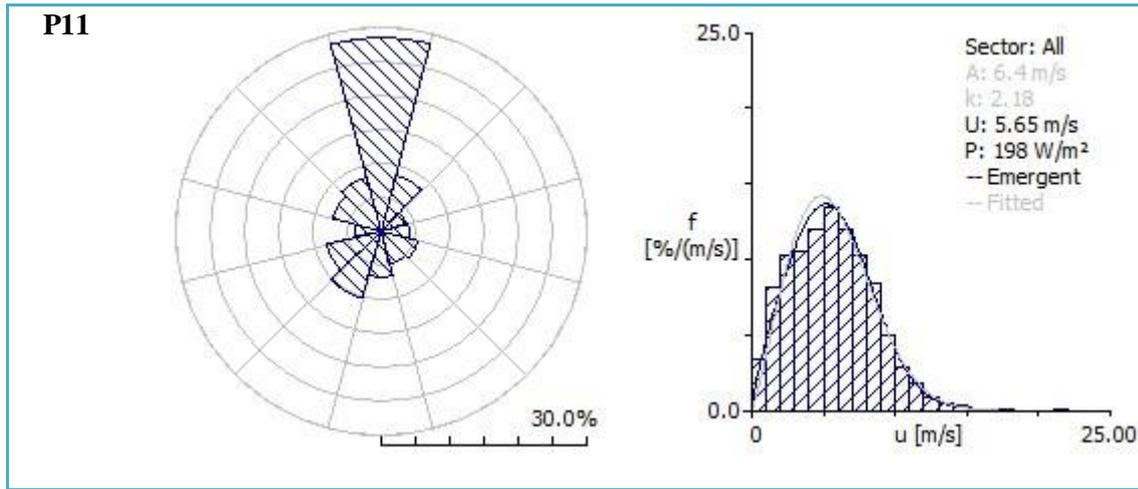
Tabela 9 - Resultados da geração de potencial eólico para Portugal Continental, no WASP.

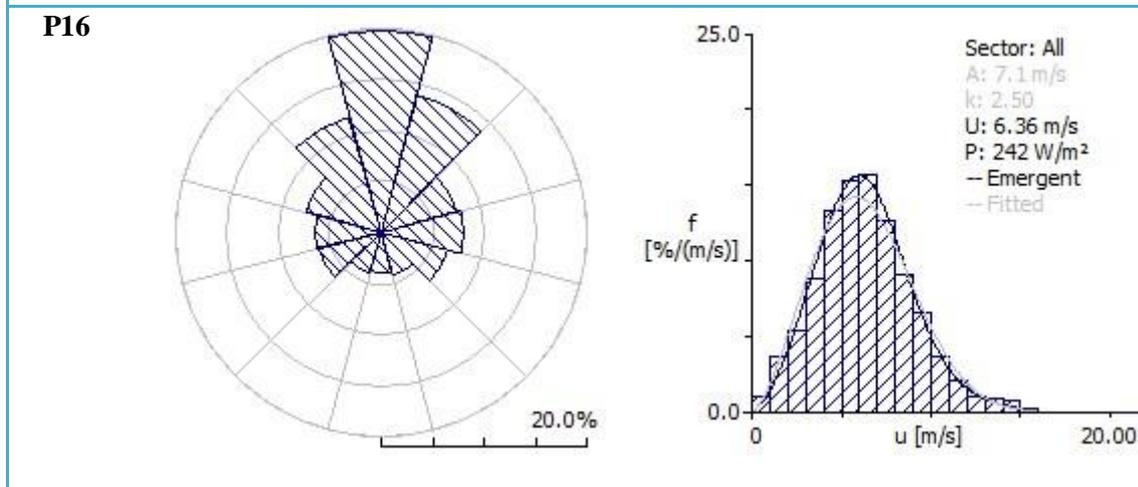
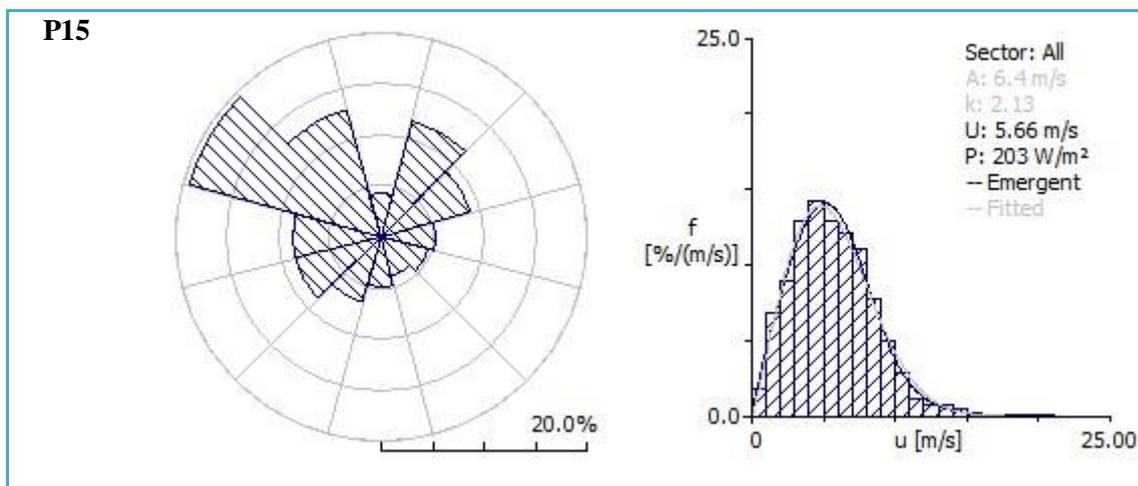
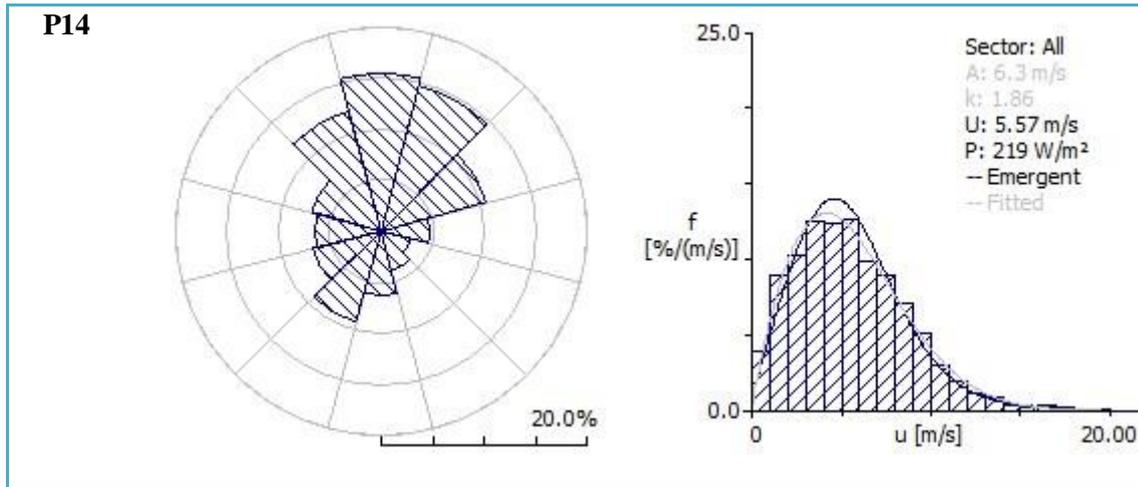


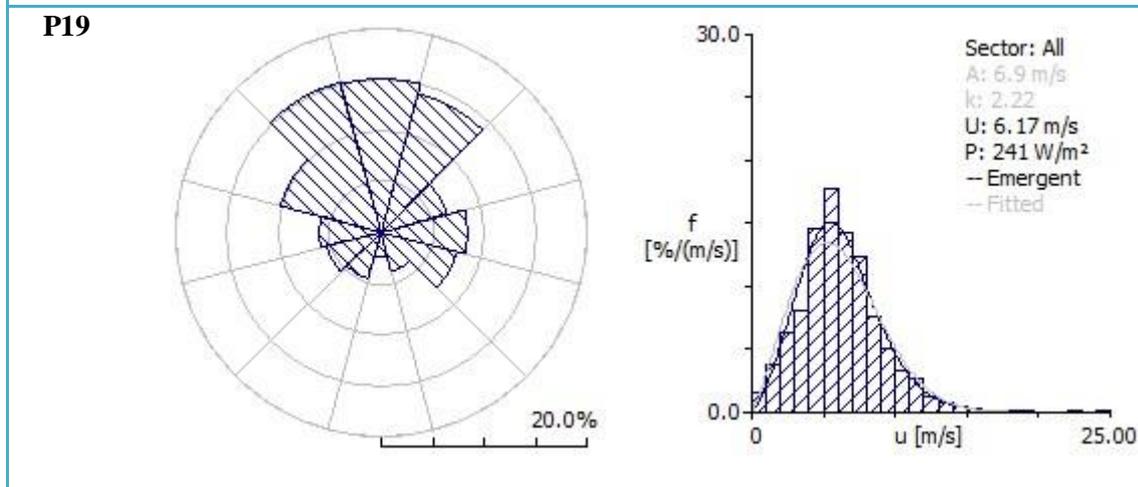
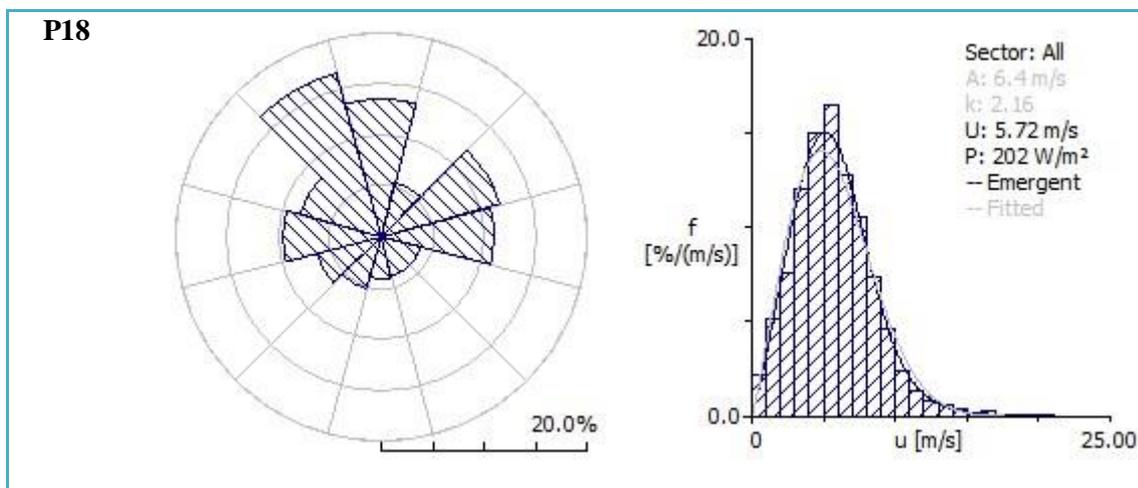
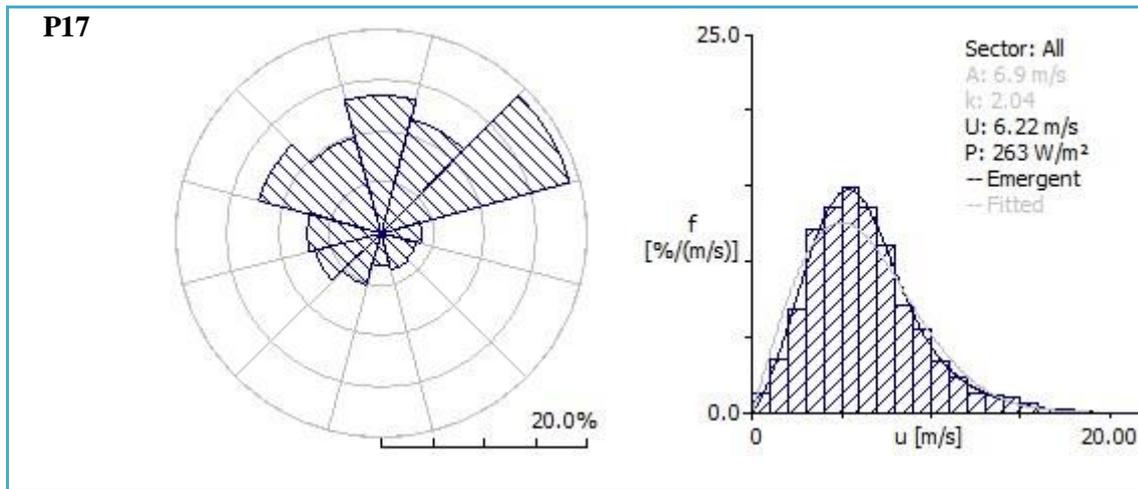


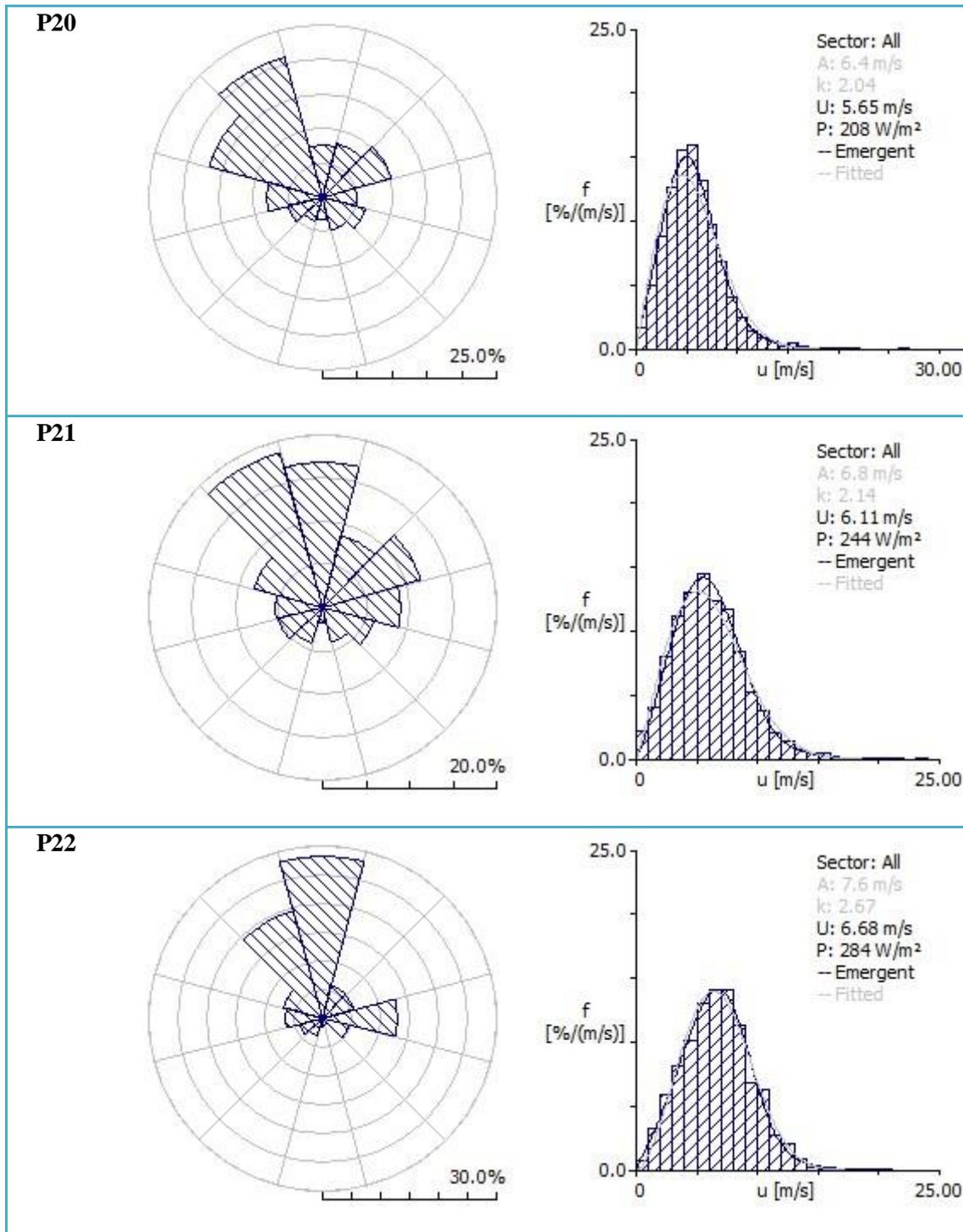












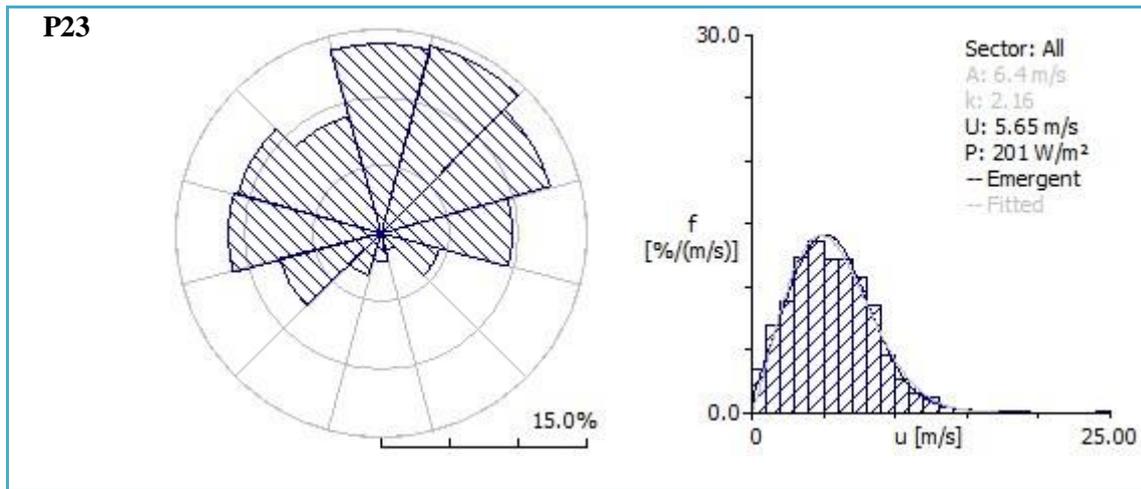


Tabela 10 - Resultados da geração de potencial eólico com respectiva Rosa de Ventos e curva da distribuição de Weibull.

III.2. Tabelas de Potencial Sustentável por Divisão Administrativa

Potencial Sustentável (MW) por DISTRITO

Para NEPs > 2500 com e sem Parques Naturais:

Pot.Sustentável NEPs > 2500 com P.N. (MW)

Distrito	Pot.Sust.F.O.
AVEIRO	209.25
BEJA	35.95
BRAGA	348.4
BRAGANÇA	286.1
CASTELOBRANCO	154.45
COIMBRA	219.55
ÉVORA	32.75
FARO	79.65
GUARDA	96.7
LEIRIA	680.7
LISBOA	662.35
PORTALEGRE	10.95
PORTO	216.8
SANTARÉM	403.75
SETÚBAL	248.9
VIANA DO CASTELO	354.15
VILA REAL	155.7
VISEU	341.95
Sum Pot.Sust.F.O.	4538.05

Figura 76 - Potencial Eólico Sustentável por Distrito (MW), para o cenário NEPs > 2500 com e sem Parques Naturais e com Factores de ocupação do solo. “Pot_Sust_FO” significa potencial sustentável com factor de ocupação do solo, em MW.

Para NEPs > 2700:

Pot.Sustentável NEPs > 2700 (MW)

Distrito	Pot_Sust_FO
AVEIRO	234.4
BEJA	1.8
BRAGA	262.35
BRAGANÇA	194.95
CASTELOBRANCO	112.6
COIMBRA	158.95
ÉVORA	8.3
FARO	5
GUARDA	29.85
LEIRIA	655.4
LISBOA	365.15
PORTALEGRE	0.7
PORTO	273.65
SANTARÉM	151.3
SETÚBAL	231.25
VIANA DO CASTELO	338.55
VILA REAL	155.65
VISEU	336.6
Sum Pot_Sust_FO	3516.45

Figura 77 - Potencial Eólico Sustentável por Distrito (MW), para o cenário NEPs > 2700. . “Pot_Sust_FO” ‘significa potencial sustentável com factor de ocupação do solo, em MW.

Para NEPs > 2700 com Parques Naturais:

Pot.Sustentável NEPs > 2700 com P.N. (MW)

Distrito	PotSustFO
AVEIRO	234.4
BEJA	31.05
BRAGA	262.35
BRAGANÇA	197.8
CASTELOBRANCO	117.55
COIMBRA	158.95
ÉVORA	8.3
FARO	29.05
GUARDA	49.85
LEIRIA	657.35
LISBOA	383.05
PORTALEGRE	2.6
PORTO	273.65
SANTARÉM	153.45
SETÚBAL	235
VIANA DO CASTELO	338.55
VILA REAL	159.5
VISEU	336.3
Sum PotSustFO	3628.75

Figura 78 - Potencial Eólico Sustentável por Distrito (MW), para o cenário NEPs > 2700 com Parques Naturais. . “Pot_Sust_FO” ‘significa potencial sustentável com factor de ocupação do solo, em MW.

