

**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**



**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DA ZONA  
DE ÉVORA – CONTRIBUIÇÃO PARA A REDUÇÃO  
DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>**

**Rui Miguel Gaspar Faustino**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em **Qualidade e Gestão do  
Ambiente**

*Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri*

**Orientador:** Professor António Heitor Reis

**Outubro 2009**

# **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DA ZONA DE ÉVORA – CONTRIBUIÇÃO PARA A REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>**

**Rui Miguel Gaspar Faustino**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em **Qualidade e Gestão do  
Ambiente**

*Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri*

**Orientador:** Professor António Heitor Reis



171364

*Ao meu avô, que está sempre presente e que sei  
que teria imenso orgulho neste momento do seu neto*

## **Agradecimentos**

Primeiro, gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor António Heitor Reis, por todo o acompanhamento, dedicação, apoio prestado e tempo dispendido durante toda a concepção deste trabalho, assim como todos os conselhos e sabedoria demonstrados. Tal disponibilidade foi essencial para o gosto e interesse na realização desta dissertação, bem como na aparente sensação de leveza de espírito durante a mesma.

Agradeço ao Sr. Samuel Bárias pela simpatia demonstrada e fornecimento das imagens das estações e dos valores base para esta tese, aquando do início desta longa e recompensadora viagem.

Uma palavra de apreço também ao Professor Rui Salgado, que me ajudou no esclarecimento de alguns valores necessários para a continuação do meu trabalho.

Em seguida, não posso deixar de agradecer a todos os meus amigos e colegas que sempre me apoiaram, antes e depois da vida universitária, durante toda a vida, sem os quais este trajecto não teria sido tão rico quanto o verificado.

Por fim, mas não menos importante, um obrigado muito especial para os meus pais, pois sem a sua paciência, ajuda e suporte, este percurso não teria, de todo, sido possível, bem como uma palavra distinta aos meus avós, tios e primo, todos eles com um papel fundamental na formação de quem sou hoje.

## Resumo

Neste trabalho é analisado o potencial eólico da região de Évora, tendo sido considerados quatro locais: Mitra, Portel, Reguengos e Colégio Verney. Com os dados de potência obtidos, foram escolhidas duas turbinas existentes no mercado, de potências nominais diferentes, para uma análise mais objectiva do real potencial da região. Apurou-se que, com a instalação de três turbinas menores, se obtém praticamente a mesma potência, por um preço consideravelmente inferior.

Foi ainda possível verificar-se que a quantidade evitada de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, ao considerar uma turbina de 5000 W (B) ou três 1000 W (A), é semelhante, concluindo-se que, considerando a eficiência, potencial, preço e emissões de CO<sub>2</sub> evitadas, a instalação de diversas turbinas A é a melhor opção.

Este trabalho reveste-se de particular interesse considerando o facto de ser do conhecimento geral que, nas regiões costeiras e montanhosas, o potencial eólico está bastante estudado, ao passo que nas regiões interiores tal não acontece.

**Palavras – Chave:** Potencial eólico; turbinas eólicas; Évora; vento; emissões de CO<sub>2</sub>.

# ASSESSMENT OF THE POTENTIAL WIND POWER IN ÉVORA – CONTRIBUTION TO THE REDUCTION OF CO<sub>2</sub> EMISSIONS

## Abstract

In this work, we assess the potential wind power in Évora, and four locations have been considered: Mitra, Portel, Reguengos and Évora. Based on the local wind power potential, two kinds of turbines were selected, for a more objective analysis of the region's useful wind power. It was found that the option for three small turbines allows the extraction of the same wind power that is extracted by the bigger turbine and at a considerably lower installation cost.

It was also found that the reduction in CO<sub>2</sub> emissions to the atmosphere, when considering the cases of one 5000 W (*B*) turbine and three 1000 W (*A*) turbines, is similar, therefore was concluded that, given the efficiency, potential, price and reduction of CO<sub>2</sub> emissions, the installation of several *A* turbines is the best option.

This work is of particular interest because in coastal and mountain areas the wind potential is quite known, while this is not the case of inland areas.

**Keywords:** Wind power; wind turbines; Évora; wind; CO<sub>2</sub> emissions

# Índice

<b>Agradecimentos</b>	<b>iii</b>
<b>Resumo</b>	<b>iv</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>x</b>
<b>Lista de tabelas</b>	<b>xiv</b>
<b>Lista de símbolos</b>	<b>xvii</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação .....	1
1.2 Relevância e objectivos .....	2
1.3 Conteúdo e organização .....	3
<b>2. A sustentabilidade das energia renováveis – a energia eólica</b>	<b>5</b>
2.1 A energia eólica actualmente .....	5
2.2 Aproveitamento da energia eólica.....	8
2.3 Estimativa do potencial sustentável do país .....	9
2.4 Descrição de um parque eólico .....	10
2.5 A variabilidade espacial dos recursos eólicos .....	11
2.6 Parâmetros condicionantes do aproveitamento do potencial eólico .....	12
2.6.1 Velocidade e direcção do vento .....	12
2.6.2 Orografia .....	13
2.6.3 Rugosidade e obstáculos .....	15
2.6.4 Edifícios .....	15
2.6.5 Barreiras vegetais .....	15
2.6.6 Árvores posicionadas aleatoriamente .....	16
2.6.7 Capacidade da rede eléctrica receptora .....	16

2.6.8 Ocupação do solo .....	17
2.6.9 Declive do terreno .....	18
2.6.10 Dados do vento .....	18
2.6.11 Capacidade da rede de transmissão .....	19
2.7 Factores a favor e contra a energia eólica .....	19
<b>3. Aproveitamento da energia eólica através das turbinas eólicas</b> .....	<b>22</b>
3.1 Extracção da energia do vento .....	23
3.2 Modo de funcionamento .....	24
3.2.1 Segurança .....	25
3.2.2 Construção .....	25
3.2.3 Nível de poluição sonora .....	25
3.2.4 Tamanho .....	26
3.3 Potência máxima e eficiência .....	27
3.3.1 O limite de Betz .....	27
3.4 Especificações actuais de uma turbina .....	31
<b>4. A electricidade desde a turbina ao consumidor</b> .....	<b>32</b>
4.1 Produção a pequena escala – micro-geração .....	33
4.2 Custos inerentes .....	35
4.3 Possibilidades e barreiras económicas .....	36
4.4 Influência da rugosidade do terreno em redor das turbinas .....	37
4.4.1 Classes e amplitudes de rugosidade .....	38
4.4.2 Perfil e tensões do campo do vento .....	39
4.5 Locais analisados .....	39
4.5.1 Mitra. ....	41
4.5.2 Portel .....	43
4.5.3 Reguengos .....	44
4.5.4 Verney .....	45
4.6 Tratamento dos dados e resultados – potencial eólico de cada local analisado.....	46
4.6 a) Curva de potência de uma turbina eólica .....	51
4.6.1 Mitra .....	54
4.6.1.1 50 Metros .....	54
a) Potência média por área de varrimento ( $Wm^{-2}$ ) .....	54
b) Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ ) .....	55
c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh).....	56
4.6.1.2 30 Metros .....	58

a) Potência média por área de varrimento ( $Wm^{-2}$ ).....	58
b) Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ ) .....	59
c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)60	
4.6.2 Portel .....	62
4.6.2.1 50 Metros .....	62
a) Potência média por área de varrimento ( $Wm^{-2}$ ) .....	62
b) Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ ) .....	63
c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)64	
4.6.2.2 30 Metros .....	66
a) Potência média por área de varrimento ( $Wm^{-2}$ ).....	66
b) Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ ) .....	67
c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)68	
4.6.3 Reguengos .....	70
4.6.3.1 50 Metros .....	70
a) Potência média por área de varrimento ( $Wm^{-2}$ ) .....	70
b) Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ ) .....	71
c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)72	
4.6.3.2 30 Metros .....	74
a) Potência média por área de varrimento ( $Wm^{-2}$ ) .....	74
b) Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ ) .....	75
c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)76	
4.6.4 Verney .....	78
4.6.4.1 50 Metros .....	78
a) Potência média por área de varrimento ( $Wm^{-2}$ ) .....	78
b) Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ ) .....	79
c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)80	
4.6.4.2 30 Metros .....	82
a) Potência média por área de varrimento ( $Wm^{-2}$ ) .....	82
b) Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ ) .....	83
c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)84	
4.6.5 Potencial eólico de cada local, considerando as perdas da linha (9%) ...	86
4.6.5.1 Mitra .....	86
4.6.5.1.1 50 Metros .....	86
4.6.5.1.2 30 Metros .....	87
4.6.5.2 Portel .....	89
4.6.5.2.1 50 Metros .....	89
4.6.5.2.2 30 Metros .....	90

4.6.5.3 Reguengos .....	92
4.6.5.3.1 50 Metros .....	92
4.6.5.3.2 30 Metros .....	93
4.6.5.4 Verney .....	95
4.6.5.4.1 50 Metros .....	95
4.6.5.4.2 30 Metros .....	96
4.6.5.5 Resumo dos valores obtidos para cada caso .....	98
4.7 Análise dos resultados obtidos .....	98
<b>5. Emissões de CO<sub>2</sub> – tecnologias associadas</b> .....	<b>102</b>
5.1 Dados globais de potência instalada .....	103
5.2 Tecnologias em desenvolvimento para redução de custos .....	104
5.3 Factor de capacidade .....	104
5.4 Poluição .....	104
5.5 Redução potencial das emissões de CO <sub>2</sub> nos locais analisados .....	105
5.5.1 Mitra .....	105
5.5.1.1 50 Metros .....	105
5.5.1.2 30 Metros .....	106
5.5.2 Portel .....	108
5.5.2.1 50 Metros .....	108
5.5.2.2 30 Metros .....	109
5.5.3 Reguengos .....	111
5.5.3.1 50 Metros .....	111
5.5.3.2 30 Metros .....	112
5.5.4 Verney .....	114
5.5.4.1 50 Metros .....	114
5.5.4.2 30 Metros .....	115
5.5.5 Resumo da poupança de emissões de CO <sub>2</sub> , para cada local e altura. ....	117
5.6 Análise dos resultados obtidos .....	118
<b>6. O futuro da energia eólica</b> .....	<b>123</b>
<b>7. Observações finais, conclusões e perspectivas futuras</b> .....	<b>127</b>
7.1 Observações finais .....	127
7.2 Conclusões .....	130
7.3 Perspectivas futuras .....	132
<b>Referências</b> .....	<b>133</b>

## Lista de figuras

2.1 Capacidade eólica mundial.GW <sup>-1</sup> (com extrapolação à data de publicação [2005]) ..6	
2.2 Parques eólicos nos EUA, Alemanha e Espanha, respectivamente .....10	
2.3 Quinta eólica nos EUA, com agricultura na área .....11	
2.4 Duração de uma campanha experimental vs. precisão nas estimativas .....13	
2.5 Orientações possíveis de linhas de cumeada .....14	
2.6 Mapa de altimetria da região .....14	
2.7 Rede eléctrica nacional – Figura base; Figura digitalizada .....17	
2.8 Distribuição espacial dos usos do solo da região .....17	
2.9 Mapa de declives da região .....18	
3.1 Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna .....22	
3.2 Partes de uma turbina eólica; Parque eólico .....23	
3.3 Detalhe de uma turbina eólica .....24	
3.4 Diversas actividades do dia-a-dia e respectivo nível de poluição sonora .....26	
3.5 Esquema para determinação do Limite de Betz aplicado a uma turbina actual .....27	
3.6 A produção da energia eólica .....29	
3.7 Velocidades do vento antes e depois de atravessar uma turbina .....29	
4.1 Transmissão de electricidade para as turbinas eólicas; Diagrama de um sistema eléctrico conectado à rede .....32	
4.2 Uma pequena turbina construída especificamente para uma casa .....33	
4.3 Micro-geração .....33	
4.4 Sistema de conversão de energia eólica. A carga eléctrica é trocada por pequenas trocas na frequência do fornecimento, apresentando uma carga associada ao gerador, sob uma larga amplitude de velocidades do vento .....34	
4.5 Turbina eólica conectada à rede, em funcionamento num grande sistema .....35	
4.6 Vista aérea da cidade de Évora .....40	
4.7 Vista a) da estação da Mitra .....41	
4.8 Vista b) da estação da Mitra .....42	
4.9 Vista c) da estação da Mitra .....42	
4.10 Vista d) da estação da Mitra .....42	
4.11 Vista a) da estação de Portel .....43	
4.12 Vista b) da estação de Portel .....43	

4.13 Vista c) da estação de Portel .....	44
4.14 Vista d) da estação de Portel .....	44
4.15 Vista da estação de Reguengos .....	45
4.16 Vista a) da estação do Colégio Verney .....	46
4.17 Vista b) da estação do Colégio Verney .....	46
4.18 Turbina FD2.7-1000-10 (1000 W) (turbina A) .....	49
4.19 Turbina FD6.4-5000-16 (5000 W) (turbina B) .....	50
4.20 Tipos de turbinas .....	51
4.21 Curva de potência para a turbina A .....	51
4.22 Curva de potência para a turbina B .....	52
4.23 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação da Mitra, a 50 m .....	54
4.24 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação da Mitra, a 50 m .....	56
4.25 Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 50 m .....	57
4.26 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação da Mitra, a 30 m .....	59
4.27 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação da Mitra, a 30 m .....	60
4.28 Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 30 m .....	61
4.29 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação de Portel, a 50 m .....	63
4.30 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação de Portel, a 50 m .....	64
4.31 Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 50 m .....	65
4.32 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação de Portel, a 30 m .....	67
4.33 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação de Portel, a 30 m .....	68
4.34 Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 30 m .....	69
4.35 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação de Reguengos, a 50 m .....	71
4.36 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação de Reguengos, a 50 m .....	72
4.37 Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 50 m .....	73
4.38 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação de Reguengos, a 30 m .....	75
4.39 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação de Reguengos, a 30 m .....	76
4.40 Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 30 m .....	77
4.41 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação do Verney, a 50 m .....	79
4.42 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação do Verney, a 50 m .....	80

4.43 Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 50 m .....	81
4.44 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação do Verney, a 30 m .....	83
4.45 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação do Verney, a 30 m .....	84
4.46 Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 30 m .....	85
4.47 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação da Mitra, a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %) .....	87
4.48 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação da Mitra, a 30 m, considerando as perdas da linha (9 %) .....	88
4.49 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação de Portel, a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %) .....	90
4.50 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação de Portel, a 30 m, considerando as perdas da linha (9 %) .....	91
4.51 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação de Reguengos, a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %) .....	93
4.52 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação de Reguengos, a 30 m, considerando as perdas da linha (9 %) .....	94
4.53 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação do Verney a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %) .....	96
4.54 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação do Verney, a 30 m, considerando as perdas da linha (9 %) .....	97
5.1 Total mundial da energia eólica instalada .....	103
5.2 CO <sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação da Mitra, a 50 m .....	106
5.3 CO <sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação da Mitra, a 30 m .....	107
5.4 CO <sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação de Portel, a 50 m .....	109
5.5 CO <sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação de Portel, a 30 m .....	110
5.6 CO <sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação de Reguengos, a 50 m .....	112
5.7 CO <sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação de Reguengos, a 30 m .....	113

5.8 CO <sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação do Verney, a 50 m .....	115
5.9 CO <sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação do Verney, a 30 m .....	116
5.10 Emissões de CO <sub>2</sub> evitadas (kg), para a estação da Mitra, considerando a instalação de três turbinas de 1000 W ou uma de 5000 W .....	119
5.11 Emissões de CO <sub>2</sub> evitadas (kg), para a estação de Portel, considerando a instalação de três turbinas de 1000 W ou uma de 5000 W .....	119
5.12 Emissões de CO <sub>2</sub> evitadas (kg), para a estação de Reguengos, considerando a instalação de três turbinas de 1000 W ou uma de 5000 W .....	120
5.13 Emissões de CO <sub>2</sub> evitadas (kg), para a estação do Verney, considerando a instalação de três turbinas de 1000 W ou uma de 5000 W .....	120
6.1 Ilustração do processo necessário à obtenção da licença de estabelecimento de um parque eólico .....	126

## Lista de tabelas

2.1 Relação entre a tecnologia e o custo, em dólares americanos, por kW instalado.....	6
2.2: Pontos de ligação à rede eléctrica e potências planeadas .....	17
3.1 Componentes de uma turbina e sua função .....	31
4.1 Classes de rugosidade e amplitudes associadas .....	38
4.2 $Z_0$ e $Z_{ref}$ de cada estação .....	47
4.3 Especificações da turbina FD2.7-1000-10 (1000 W) (turbina A) .....	49
4.4 Especificações da turbina FD6.4-5000-16 (5000 W) (turbina B) .....	50
4.5 Área ( $m^2$ ) e eficiência (%) de cada turbina analisada .....	53
4.6 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação da Mitra, a 50 m .....	54
4.7 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação da Mitra, a 50 m .....	55
4.8 Energia potencial mensal através das 2 turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 50 m .....	56
4.9 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação da Mitra, a 30 m .....	58
4.10 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação da Mitra, a 30 m .....	59
4.11 Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 30 m .....	60
4.12 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação de Portel, a 50 m .....	62
4.13 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação de Portel, a 50 m .....	63
4.14 Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 50 m .....	64
4.15 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação de Portel, a 30 m .....	66
4.16 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação de Portel, a 30 m .....	67
4.17 Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 30 m .....	68
4.18 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação de Reguengos, a 50 m .....	70
4.19 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação de Reguengos, a 50 m .....	71
4.20 Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 50 m .....	72
4.21 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação de Reguengos, a 30 m .....	74
4.22 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação de Reguengos, a 30 m .....	75

4.23 Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 30 m .....	76
4.24 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação do Verney, a 50 m .....	78
4.25 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação do Verney, a 50 m.....	79
4.26 Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 50 m.....	80
4.27 Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação do Verney, a 30 m .....	82
4.28 Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação do Verney, a 30 m .....	83
4.29 Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 30 m .....	84
4.30 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 50 m, considerando as perdas da linha (9%).....	86
4.31 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 30 m, considerando as perdas da linha (9%).....	87
4.32 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 50 m, considerando as perdas da linha (9%).....	89
4.33 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 30 m, considerando as perdas da linha (9%).....	90
4.34 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %) .....	92
4.35 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 30 m, considerando as perdas da linha (9 %) .....	93
4.36 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 50 m, considerando as perdas da linha (9%).....	95
4.37 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 30 m, considerando as perdas da linha (9%).....	96
4.38 Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), para cada estação, altura e turbina, considerando as perdas da linha (9 %) .....	98
4.39 Preço, por componente, de uma turbina de 1000 W .....	99

4.40 Preço, por componente, de uma turbina de 5000 W .....	99
4.41 Preço total de três turbinas de 1000 W .....	100
4.42 Preço total de uma turbina de 5000 W .....	100
5.1 Distribuição da potência eólica mundial .....	103
5.2 Kg de CO <sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação da Mitra, a 50 m. ....	105
5.3 Kg de CO <sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação da Mitra, a 30 m. ....	106
5.4 Kg de CO <sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação de Portel, a 50 m. ....	108
5.5 Kg de CO <sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação de Portel, a 30 m. ....	109
5.6 Kg de CO <sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação de Reguengos, a 50 m. ....	111
5.7 Kg de CO <sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação de Reguengos, a 30 m. ....	112
5.8 Kg de CO <sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação do Verney, a 50 m. ....	114
5.9 Kg de CO <sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação do Verney, a 30 m. ....	115
5.10 Poupança de emissões de CO <sub>2</sub> , para cada estação, altura e turbina .....	117
5.11 Emissões de CO <sub>2</sub> evitadas, considerando a instalação de três turbinas de 1000 W ou uma de 5000 W .....	118
5.12: Emissões de CO <sub>2</sub> evitadas, com cada turbina, por m <sup>2</sup> .....	121
5.13: Média das emissões de CO <sub>2</sub> evitadas, com cada turbina, por m <sup>2</sup> .....	121

## Lista de símbolos

**A – área ( $m^2$ )**

$km^2$  – quilómetros quadrados

ha – hectares

**dB – Decibéis (dB)**

**P – pressão (Pa)**

**Q – caudal ( $m^3 s^{-1}$ )**

**T – temperatura (K)**

$^{\circ}C$  – Celsius

**v – velocidade ( $ms^{-1}$ )**

**$W_p$  – potência (W)**

kW – QuiloWatt

MW – MegaWatt

GW – GigaWatt

**Z – altura (m)**

**$\rho$  – massa volúmica ( $kgm^{-3}$ )**

## Constantes

R – constante universal dos gases:  $8,31 \text{ (Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$

$R_g$  – mistura de gases ( $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

### *Massa Molecular*

$N_2$  – 14

$O_2$  – 16

## Acrónimos

*AIA* – Avaliação de Impacto Ambiental

*CGE* – Centro de Geofísica de Évora

*DGE* – Direcção Geral de Energia

*DGGE* – Direcção Geral de Energia e Geologia

*DIA* – Declaração de Impacto Ambiental

*EWEA* – European Wind Energy Association

*FER* – Fontes de Energia Renováveis

*MCOTA* – Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente

*RECAPE* – Relatório de Conformidade Ambiental do Projecto de Execução

*PDM* – Plano Director Municipal

## Abreviaturas

Betz – Coeficiente de Betz (0,59)

$CO_2$  – Dióxido de carbono

$N_2$  – Azoto

$O_2$  – Oxigénio

disp – Disponível

méd – Médio, média

máx – Máximo, máxima

ref, 0 – Referência



# Capítulo 1

## Introdução

*“O vento é a fonte de energia mundial com crescimento anual mais rápido, com taxas de desenvolvimento anual na ordem dos 30 %.”<sup>[1]</sup>*

Com as crescentes preocupações ambientais, e devido à aproximação do limite do consumo dos combustíveis fósseis, a energia eólica ganhou vantagem como fonte de energia renovável<sup>[1]</sup>.

A tecnologia da utilização do vento para gerar electricidade é a que verifica um desenvolvimento mais rápido a nível mundial. Esta energia é produzida, geralmente, através de turbinas com 3 lâminas, situadas no topo de altas torres, funcionando como *ventoinhas*, mas de um modo contrário – ao invés de utilizar electricidade para produzir vento, as turbinas utilizam o vento para gerar electricidade<sup>[1]</sup>.

Desde aproximadamente 1980, diversos testes e pesquisas neste âmbito ajudaram à redução dos custos da energia eólica desde 8 cêntimos por kWh, até 4/6 cêntimos, actualmente (relativamente ao dólar americano, 2007)<sup>[1]</sup>.

A energia eólica cresceu fenomenalmente na última década graças sobretudo às políticas e incentivos governamentais, envolvendo colaboração com parceiros industriais estratégicos, tendo em vista o desenvolvimento de tecnologias menos dispendiosas, o fomento do crescimento do mercado e, ao mesmo tempo, da identificação de novas aplicações possíveis para o vento<sup>[1]</sup>.

### 1.1 Motivação

A importância do desenvolvimento sustentável, económica e ambientalmente, é relevante, mas não é um objectivo fácil de atingir. A energia eólica pode ajudar, tendo nas últimas décadas sido alvo de um grande desenvolvimento.

É uma fonte de energia limpa, sem emissão de CO<sub>2</sub> ou outros poluentes fósseis, como o carvão e o gás. O tempo de retorno de uma turbina é de apenas alguns meses. Adicionalmente, os recursos eólicos são vastos e oferecem um grande potencial, sendo que o potencial eólico é mais do dobro relativamente à procura de electricidade em

2002. O grande potencial eólico, combinado com a sua competitividade económica e financeira com o passar dos anos, torna esta fonte energética uma fonte importantíssima na competição com os combustíveis fósseis. No futuro, será mesmo capaz de prevenir perturbações económicas, quando chegar a altura em que a exploração dos combustíveis fósseis decline, assumindo, então, um papel ainda mais importante no âmbito do desenvolvimento sustentável.

Assim, a importância deste trabalho prende-se com a necessidade de avaliação do potencial eólico, nomeadamente na região de Évora, sendo que, mesmo menor relativamente a outras regiões, como as zonas costeiras e montanhosas, merece um estudo e uma análise, tendo em conta a importância crescente e competitividade desta energia comparativamente às fontes fósseis. Com a avaliação do potencial eólico será possível inferir a competência da região de Évora neste sector, de modo à capacidade eólica poder ser considerada uma fonte alternativa de energia viável e sustentável.

Após a análise do potencial em cada zona, será também possível entender a quantidade de CO<sub>2</sub> não emitido para a atmosfera, devido à natureza limpa e sem emissões da energia eólica.

## **1.2 Relevância e objectivos**

Este trabalho tem em vista a análise do potencial eólico na região de Évora, através da avaliação de dados fornecidos pelo *Centro de Geofísica de Évora*. Tendo em conta o ano de 2007, foram estudadas quatro estações: Mitra, Portel, Reguengos e Colégio Luís Verney (Évora). Para essas estações, e para dados registados de 10 em 10 minutos, calculou-se a velocidade do vento para 50 m e 30 m de altura acima do solo, tendo em conta a altura a que se situa a estação e as características do terreno envolvente (frise-se que os valores utilizados de P foram considerados iguais a 10<sup>5</sup> Pa (pressão normal de referência), devido à inexistência de tais valores no *CGE*). Com essas velocidades, e depois de fazer uma triagem dos valores insuficientes para conseguir colocar uma turbina em funcionamento e do número de horas que a turbina passaria parada, foi possível calcular a potência respectiva de cada altura e estação.

Após esses cálculos, mensais, foi também possível obter os valores respectivos da energia, mensal e anual.

Para cada local e altura, em seguida, e posteriormente à escolha de duas turbinas existentes actualmente no mercado, ponderou-se o valor de potência obtido com a

eficiência calculada das mesmas turbinas. Note-se aqui que, devido às baixas velocidades verificadas na região, a eficiência é, igualmente, consideravelmente baixa.

Através das turbinas escolhidas para este trabalho, e considerando os valores do potencial eólico em questão, tentou inferir-se a rentabilidade da instalação de uma turbina de maiores dimensões ou de diversas menores.

Para finalizar este âmbito, note-se que os valores obtidos foram analisados tendo em conta as perdas actuais médias da linha eléctrica de transporte.

Com os dados obtidos, para além do potencial eólico de Évora, pretendeu ir-se, contudo, um pouco mais além; assim, foi ainda objecto de análise a quantidade de CO<sub>2</sub> potencial que *não* seria emitido para a atmosfera, considerando o potencial da energia eólica estudado.

### **1.3 Conteúdo e organização**

O presente trabalho divide-se em sete capítulos, cada um contendo diversos sub-capítulos. No primeiro capítulo faz-se uma pequena introdução genérica, procedendo-se, também, ao ponto da situação relativo à actualidade da energia eólica, bem como os objectivos que se pretende atingir e relevância actual do tema abordado.

No segundo capítulo demonstra-se a sustentabilidade das energias renováveis, com especial incidência sobre a energia eólica, bem como a sua viabilidade, avaliação dos recursos energéticos e estado actual. Procede-se ainda a uma estimativa do potencial eólico do país, descrevendo o funcionamento de um parque eólico na actualidade. O capítulo termina referindo a variabilidade espacial dos recursos eólicos, bem como os parâmetros condicionantes do aproveitamento do potencial.

Como base do terceiro capítulo tem-se o aproveitamento da energia eólica através das turbinas actuais. Refere-se o modo de extracção, bem como o funcionamento. Para terminar, é analisada a potência máxima e eficiência de uma turbina, genericamente, terminando o capítulo a mencionar as especificações das turbinas eólicas actualmente.

A ideia base do quarto capítulo assenta na electricidade desde uma turbina até ao consumidor comum, aludindo ainda à importância da pequena escala, ou micro-geração. O capítulo continua com a referência aos custos inerentes, possibilidades e barreiras económicas da instalação de turbinas eólicas. Segue-se, ainda, a alusão à importância da rugosidade do terreno em redor das turbinas eólicas, bem como a análise dos locais

determinados para a avaliação do potencial eólico neste trabalho. Após referir as turbinas escolhidas, de modo a obter uma análise mais real, o capítulo termina com a evidência dos resultados obtidos para cada local estudado, considerando, igualmente, as perdas que se verificam nas linhas eléctricas de transporte.

O quinto capítulo refere a importância das tecnologias associadas à redução das emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito de estufa, bem como a contribuição da energia eólica para esta redução. São apresentados os dados globais de potência instalada e as tecnologias em desenvolvimento nos dias que correm. O capítulo avança demonstrando a quantidade de CO<sub>2</sub> que seria evitada para a atmosfera (ponderando o potencial eólico calculado), prossegue com uma análise dos preços tendo em conta a instalação de três turbinas menores ou uma maior, aludindo, ainda, ao factor de capacidade e à poluição.

No capítulo seis é referido, sucintamente, o futuro da energia eólica, sendo no capítulo seguinte apresentadas as observações finais e conclusões derivadas deste trabalho, bem como algumas considerações referentes perspectivas futuras.

## Capítulo 2

### A sustentabilidade das energias renováveis – a energia eólica

O conceito de *sustentabilidade*, ou *desenvolvimento sustentável*, pode ser definido, amplamente, como o acto de viver, produzir e consumir, de um modo que vá de encontro às necessidades verificadas, não comprometendo a capacidade das gerações futuras de agirem de igual modo sustentado <sup>[2]</sup>.

A geração distribuída assume, actualmente, um importante papel nos sistemas energéticos modernos. O progresso tecnológico permitiu uma grande variedade de soluções rentáveis e de ponderação, comparando alguns anos atrás, em que se pensava que somente grandes estações centralizadas seriam viáveis <sup>[3]</sup>.

A ascensão da indústria de geração centralizada está associada com a reestruturação do sector eléctrico e o sentido do mercado nos dias que correm. Com tudo isto, assistiu-se a diversas oportunidades de negócio a investidores privados, não institucionais, em fornecer energia à rede, resultando num novo fluxo capital no ramo, advindo de sectores que, tradicionalmente, não investiam na área da energia <sup>[3]</sup>.

A avaliação do potencial energético é um passo necessário, mas não suficiente: é preciso assegurar não só o potencial, como também a viabilidade. Assim, é preciso avaliar a competição entre diferentes tecnologias, de modo a entender qual, em cada zona, uso e procura, é a opção mais favorável, tendo em conta um conjunto de critérios, incluindo o custo, fiabilidade e segurança ao nível de fornecimento <sup>[3]</sup>.

A previsão do potencial eólico é, actualmente, um tópico de discussão bastante importante, devido à importância económica e segurança. Assim, num ambiente de mercado, previsões erradas podem levar a distorções nos preços <sup>[3]</sup>.

#### 2.1 A energia eólica actualmente

A civilização actual depende da distribuição de energia, a uma grande escala. As trocas internacionais de combustíveis fósseis dos poucos países que exportam grandes quantidades representavam 4 % das trocas mundiais, em 2003. As linhas de fornecimento são vulneráveis a perturbações <sup>[2]</sup>.

Diversos conflitos podem ser atribuídos ao desejo pelo consumo do petróleo. O facto do carvão e petróleo serem baratos depósitos de grandes quantidades de energia facilmente acedida permitiu o rápido crescimento de diversas cidades com pouca atenção no que diz respeito a preocupações ambientais. Algumas falhas ocasionais dos sistemas de distribuição têm tido severas consequências, nomeadamente derrames de petróleo, a larga escala <sup>[2]</sup>.

<b>Tecnologia</b>	<b>Custos por kW instalado (\$)</b>
Ciclo combinado gás/óleo	\$445
Ciclo combinado avançado gás/óleo	\$576
Carvão	\$1092
Ciclo de gaseificação do carvão	\$1306
Despejos e lixeiras	\$1395
Geotérmica	\$1708
Biomassa	\$1732
Células de combustível	\$2041
Nuclear	\$2188
Solar térmica	\$2946
Solar fotovoltaica	\$4252

Tabela 2.1: Relação entre a tecnologia e o custo, em dólares americanos, por kW instalado <sup>[2]</sup>.

Potencialmente, o impacto ambiental mais prejudicial na utilização dos combustíveis fósseis é a possibilidade das alterações climáticas, devido à libertação de CO<sub>2</sub> extra. Esta ameaça é reconhecida mundialmente, e a maioria dos países transgressores possuem algumas políticas que permitam minimizar a ameaça <sup>[2]</sup>.

A natureza menos concentrada e dispersa das fontes renováveis de energia permite uma maior independência relativamente aos sistemas centralizados e, por conseguinte, sistemas de distribuição vulneráveis, incluindo a hipótese de sistemas sociais menos centralizados. Devido à maior distribuição das fontes e possibilidade de

estar mais perto do fim a utilizar, o sistema de distribuição de energia torna-se uma rede mais significativa para a troca de energia e muito menos vulnerável a perturbações de qualquer componente específica, seja por qualquer conflito, sobrecarga ou desastre natural <sup>[2]</sup>.

Considerada uma fonte de energia emergente há sensivelmente 20 anos, a energia eólica estabeleceu-se como um modo de exploração evoluído e global. Os custos de produção decresceram cerca de 50 % nos últimos 15 anos, aproximando-se dos custos das energias ditas convencionais. As turbinas eólicas actuais evoluíram drasticamente no que concerne ao seu poder, eficiência e fiabilidade <sup>[4]</sup>.

O futuro da indústria global eólica é, pois, bastante promissor: mesmo num cenário bastante convencional, o total de energia eólica instalada mundialmente terá capacidade para quadruplicar de 40 GW em 2003 para 160 GW em 2012 <sup>[4]</sup>.

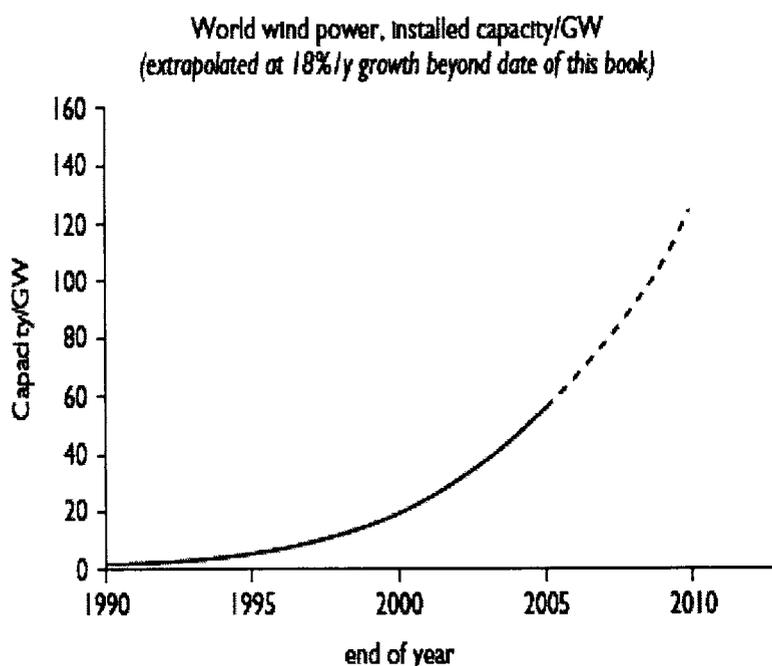


Figura 2.1: Capacidade eólica mundial.GW<sup>-1</sup> (com extrapolação à data de publicação [2005]) <sup>[2]</sup>.

## 2.2 Aproveitamento da energia eólica

O vento resulta do deslocamento de massas de ar, derivado dos efeitos das diferenças de pressão atmosférica entre duas regiões distintas e é influenciado por efeitos locais como a orografia e a rugosidade do solo <sup>[5]</sup>.

A energia eólica assenta na conversão da energia do vento em formas mais úteis, como electricidade, usando turbinas de vento, sendo que estas transformam a energia cinética do vento em energia mecânica <sup>[6]</sup>. A maior parte da energia eólica é gerada na forma de electricidade, ao converter a energia inerente à rotação das pás de uma turbina em corrente eléctrica, através de um gerador eléctrico. As turbinas eólicas convertem a energia cinética do vento em energia mecânica; esta energia pode ser utilizada em diversas actividades ou para alimentar um gerador que a transforma em energia eléctrica, podendo posteriormente ser injectada na rede eléctrica e distribuída ao consumidor <sup>[7]</sup>.

A tecnologia das turbinas eólicas tem assistido a uma grande evolução, muito devido aos avanços tecnológicos dos materiais, da engenharia, da electrónica e da aerodinâmica. Por norma, os aerogeradores estão agrupados em determinados locais, onde as condições do vento são favoráveis, denominando-se por Parques Eólicos. A electricidade por eles produzida é incorporada na rede eléctrica e distribuída aos consumidores da mesma forma que a produzida nas centrais térmicas convencionais. A energia produzida por qualquer aerogerador aumenta substancialmente com a velocidade do vento. Assim, os aerogeradores são instalados em zonas com maior potencial eólico, ou seja, em zonas mais ventosas. Como a velocidade do vento é afectada pelo relevo do solo, e aumenta com a altura acima do solo, as turbinas são montadas em torres extremamente elevadas <sup>[7]</sup>.

A disponibilidade e a velocidade do vento são determinantes para a sustentabilidade económica de um projecto de produção de energia eléctrica a partir deste recurso renovável. Assim, é indispensável proceder a uma avaliação do recurso antes de iniciar o projecto. Outro aspecto importante é a altura da torre que suporta a turbina eólica, pois a turbulência do vento é maior junto ao solo: se a altura da torre aumentar de 10 para 50 metros a quantidade de energia fornecida pelo vento duplica <sup>[7]</sup>.

A energia pode, igualmente, ter uma aplicação descentralizada, isto é, apenas utilizada para fornecer electricidade num dado local, longe da rede eléctrica de distribuição ao consumidor <sup>[7]</sup>.

A energia eólica é renovável, considerada limpa, e não contribui para o efeito de estufa nem com agentes tóxicos para a atmosfera, desde que utilizada como alternativa à electricidade produzida pelos combustíveis fósseis <sup>[7]</sup>.

### **2.3 Estimativa do potencial energético sustentável do país**

O cálculo do potencial sustentável do país constitui uma informação da máxima relevância no actual contexto nacional, em que se identificam as contribuições máximas das fontes de energia renováveis (*FER*) com vista à redução das emissões poluentes e ao cumprimento da Directiva Comunitária na sequência do protocolo de Quioto e eventual necessidade de aquisição de certificados verdes por parte das empresas portuguesas <sup>[8]</sup>. Embora o planeamento do reforço da rede eléctrica nacional esteja já em curso, do ponto de vista da maximização da produção dos aproveitamentos eólicos e da optimização dos recursos infraestruturais poderão, eventualmente, existir discrepâncias pontuais em algumas regiões. Assim, considera-se que o mapeamento do potencial eólico sustentável pode constituir uma contribuição, embora modesta, para a fundamentação deste planeamento <sup>[9]</sup>.

As recentes estratégias adoptadas por Portugal no que respeita às energias renováveis em geral e à eólica em particular, traduzem o facto do aproveitamento da energia eólica constituir o factor mais relevante no cumprimento das directivas comunitárias <sup>[10]</sup>, na sequência da ratificação do protocolo de Quioto <sup>[11]</sup>. Deste modo, a necessidade de preparar infra-estruturas (*e.g.* capacidade da rede de transmissão), bem como metodologias que permitam uma penetração máxima de energia eólica no sistema electroprodutor, encontram-se ainda em estudo ou em fase de desenvolvimento. A legislação e as tarifas publicadas, bem como as solicitações públicas para ligação à rede de transmissão, permitem prever que o aproveitamento do potencial eólico do país seja objecto de grande desenvolvimento nos próximos anos <sup>[9]</sup>.

## 2.4 Descrição de um parque eólico

A mais económica aplicação das turbinas eólicas consiste em grupos de grandes máquinas (de 700 kW para cima) dispostos a curta distância, denominados Parques Eólicos. Considerando a capacidade, um parque eólico pode variar, desde alguns até centenas de MW de potência. Um parque eólico é modular, o que significa que consiste em pequenos módulos, ou *turbinas*, sendo possível aumentar ou diminuir o tamanho do parque, conforme desejado. Podem ser adicionadas mais turbinas, consoante a demanda por electricidade aumente. Um parque eólico típico apenas utiliza cerca de 1 % da sua área, sendo que a restante percentagem é utilizada para diversas práticas de agricultura ou pastagem <sup>[1]</sup>.

As turbinas eólicas são, geralmente, instaladas em pequenos grupos de 2 a 5 unidades, ligadas à rede, ou em maiores grupos, de 10 a 30, com uma *linha de transmissão dedicada*, até um ponto de ligação adequado, perto de um cabo de alta tensão. A agricultura nos parques eólicos é extremamente popular entre os agricultores, devido ao seu terreno continuar a ser utilizado para diversas culturas ou pastagens, sendo que o gado não é perturbado pela actividade das turbinas. Um parque eólico típico de 20 turbinas pode atingir uma extensão superior a 1 km<sup>2</sup>, mas apenas 1 % da área é utilizado para hospedar as turbinas, infra-estruturas eléctricas e acessos; a área restante pode ser utilizada com outros propósitos, como a agricultura ou pastagens, ou mesmo habitat natural <sup>[1]</sup>.



Figura 2.2: Parques eólicos nos EUA, Alemanha e Espanha, respectivamente <sup>[1]</sup>.



Figura 2.3: Quinta eólica nos EUA, com agricultura na área <sup>[2]</sup>.

## 2.5 A variabilidade espacial dos recursos eólicos

Os recursos eólicos apresentam uma acentuada variabilidade espacial. Em Portugal verifica-se que a média anual da velocidade, a direcção, a intensidade de turbulência, os padrões sazonais e o perfil diário da velocidade média do vento se podem alterar substancialmente para distâncias reduzidas e características orográficas relativamente suaves. Assim, a sua caracterização espacialmente detalhada assume um carácter imperativo. Sendo Portugal um país caracterizado por orografia essencialmente complexa, a avaliação do potencial eólico é, normalmente, apenas válida em pequenas áreas em redor dos mastros anemométricos instalados para medição do vento (normalmente 5 x 5 km). Esta limitação leva a que os potenciais promotores, no início dos seus projectos, necessitem – salvo excepções – de proceder à realização de campanhas experimentais de medição do vento <sup>[9]</sup>.

Como regra geral, pode dizer-se que, dois locais situados a distâncias compreendidas entre 15 e 30 km um do outro, em áreas espacialmente extensas com características orográficas suaves, deverão ter exposição semelhante aos ventos dominantes. Em regiões planas esta distância poderá ir até cerca de 90 km <sup>[12]</sup>. Se forem consideradas regiões com características orográficas complexas, então estas distâncias serão apenas da ordem dos 5 a 8 km <sup>[13]</sup>, pois nestes casos devem ser consideradas perturbações do escoamento atmosférico induzidas pela orografia e, em alguns casos, pela rugosidade vegetal e obstáculos existentes <sup>[9]</sup>.

Nos últimos anos, tem sido frequente o aparecimento de projectos de parques eólicos de grandes dimensões – elevada capacidade e número de aerogeradores –

englobando áreas muito vastas. Estes implicam a instalação de mais do que um mastro anemométrico dentro da área que engloba o parque eólico e a aplicação de novas metodologias de avaliação da produção energética, como por exemplo, a utilização de mapas de recurso construídos à custa de dados de várias estações anemométricas – mapas de recurso compósitos <sup>[14]</sup>.

## **2.6 Parâmetros condicionantes do aproveitamento do potencial eólico**

A caracterização do recurso eólico num dado local, depende de diversos parâmetros que condicionam de forma, mais ou menos determinante, o escoamento atmosférico de um dado local ou de uma dada região <sup>[15]</sup>, sendo os seguintes os mais relevantes neste tipo de estudos:

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

### ***2.6.1 Velocidade e direcção do vento***

A correcta caracterização do escoamento atmosférico num dado local passa, necessariamente, pela medição da velocidade e direcção do vento. As campanhas experimentais de medida são, normalmente, realizadas nos locais onde se pretende instalar os parques eólicos durante, pelo menos, doze meses consecutivos, embora sempre que possível, esta deva ser prolongada por períodos superiores de forma a reduzir as incertezas associadas à variabilidade inter anual do escoamento atmosférico <sup>[9]</sup>.

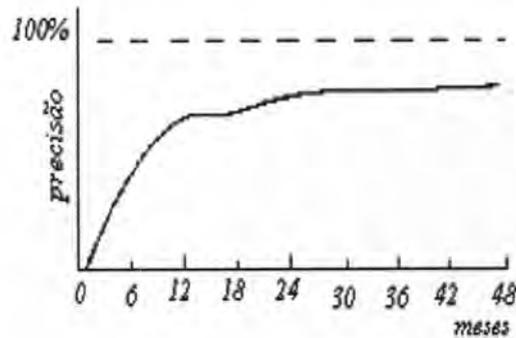


Figura 2.4: Duração de uma campanha experimental vs precisão nas estimativas <sup>[16]</sup>.

As medidas são, normalmente, obtidas a alturas que podem ir desde a altura meteorológica de referência, 10 m, e 80 m, sendo no entanto desejável, que estas sejam obtidas tão próximo quanto possível do rotor das turbinas a instalar <sup>[9]</sup>.

### 2.6.2 Orografia

A orografia constitui um dos elementos mais importantes na caracterização do escoamento atmosférico de um dado local, dada a sua elevada dependência da complexidade do terreno em análise (terreno plano, elevações de declive suave ou terreno montanhoso) <sup>[9]</sup>.

As montanhas podem alterar as características do escoamento atmosférico de diferentes formas. O aquecimento das encostas das montanhas durante o dia e arrefecimento durante a noite fazem com que o ar adjacente à montanha aqueça ou arrefeça por condução e mistura. A diferença de temperatura que se faz sentir entre o ar perto da montanha e o ambiente circundante vai dar origem a fenómenos de brisa. Quando a estabilidade estática é neutra, o escoamento sobre as montanhas cria gradientes de pressão na direcção do escoamento que juntamente com atrito por fricção à superfície pode produzir separação do fluxo <sup>[17]</sup>. Este fenómeno vai provocar turbilhões em esteira a montante ou a jusante da montanha, podendo atingir distâncias de várias vezes a altura da montanha, consoante o declive da mesma. Quando a separação ocorre a jusante da montanha, a esteira produzida pode ir até 10 ou 20 vezes a altura do cume da elevação, enquanto que, quando ocorre a montante, os turbilhões produzidos *aninham-se* na base da mesma e são estrangidos pela sua presença. Neste

caso, a esteira não vai além de duas vezes a altura da montanha. Este fenómeno é quase inexistente em elevações de inclinação suave, e neste caso, existindo concentração das linhas de corrente, verifica-se um aumento da velocidade do vento e consequente aumento de energia que pode ir até 2 vezes o valor obtido sem a perturbação do terreno [18].

A localização de um parque numa linha de cumeeada tem algumas vantagens, uma vez que esta actua como uma torre. Os efeitos de arrefecimento junto ao solo são parcialmente evitados e pode existir aceleração do vento aumentando desta forma a energia disponível no local. Neste tipo de terreno são vários os efeitos a ter em conta e o peso da componente térmica pode ser relevante devido aos ventos de vale e de montanha que, eventualmente, se formam [9].

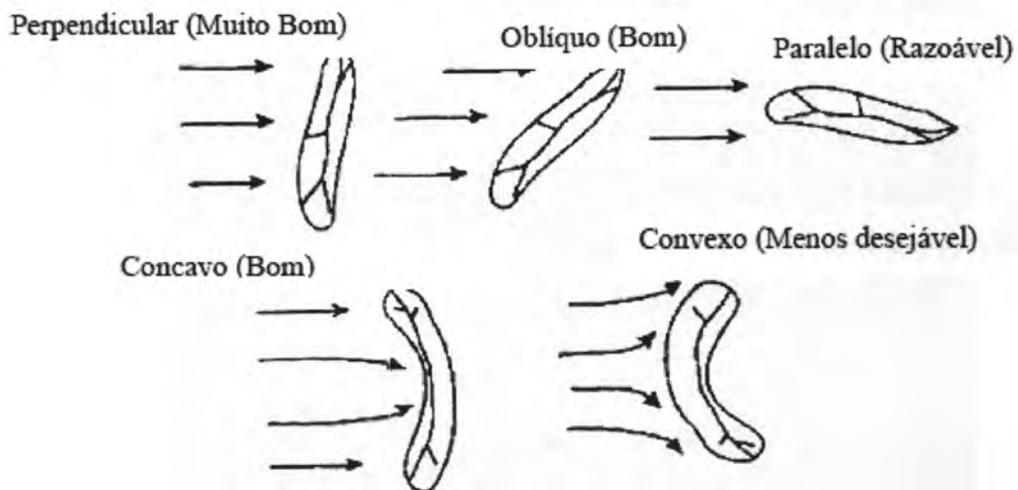


Figura 2.5: Orientações possíveis de linhas de cumeeada [16].



Figura 2.6: Mapa de altimetria da região [9].

### **2.6.3 Rugosidade e obstáculos**

A rugosidade de um dado local é outro dos parâmetros de entrada considerados indispensáveis neste tipo de estudos, uma vez que influencia de forma determinante o escoamento atmosférico junto ao solo e, conseqüentemente, a energia disponível num determinado local <sup>[9]</sup>.

Por rugosidade entende-se, no sentido mais geral do termo, o tipo de ocupação do solo característica de uma dada região ou local – vegetação, localidades, zonas de cultivo, etc. O local ideal é caracterizado por rugosidade homogênea e reduzida, sendo no entanto, mais frequente encontrar locais onde se encontram vários tipos de rugosidade que se interpenetram <sup>[9]</sup>.

### **2.6.4 Edifícios**

Muito embora não seja comum instalar aerogeradores nas proximidades de edifícios, este posicionamento pode ocorrer, por exemplo, em quintas ou na proximidade de estruturas urbanísticas. Para além disso, é frequente a instalação de mastros anemométricos em terrenos com obstáculos deste tipo durante as campanhas experimentais de caracterização geral do vento. As perturbações produzidas pelos edifícios aumentam em altitude a jusante. O escoamento é obstruído pelo edifício, formando uma esteira ainda a montante do mesmo. Após a passagem pelo obstáculo forma-se uma esteira em forma de ferradura que se estende ainda a alguma distância para jusante <sup>[9]</sup>.

### **2.6.5 Barreiras vegetais**

Em regra as barreiras vegetais são constituídas por filas de árvores posicionadas oblíqua ou perpendicularmente ao local que pretendem proteger. Existem no entanto algumas formas de minimizar a influência das barreiras vegetais, tais como a escolha de um local afastado (para jusante) ou para os lados da barreira ou, em última instância, a utilização de uma torre suficientemente alta para minimizar a perturbação do escoamento <sup>[9]</sup>.

O grau de perturbação do escoamento depende da altura, profundidade e porosidade da barreira vegetal. Como porosidade entende-se a percentagem de área aberta que se pode

ver quando se olha através da barreira vegetal. Quanto mais alta é a barreira, maior distância atinge o escoamento perturbado a jusante do obstáculo <sup>[12]</sup> e, conseqüentemente, maior distância é necessária para que o escoamento recupere a sua energia inicial <sup>[9]</sup>.

### ***2.6.6 Árvores posicionadas aleatoriamente***

A existência de árvores posicionadas de forma aleatória num local que à primeira vista demonstre algum interesse do ponto de vista energético pode constituir um problema. A esteira produzida por este tipo de obstáculo, embora de intensidade mais fraca do que a produzida pelos obstáculos referidos anteriormente, prolonga-se por maiores distâncias. A perda de velocidade pode variar entre 3 % e 20 %, e a perda de energia produzida pode variar entre 9 % e 40 %, dependendo estes valores do tipo de folhagem e da distância ao ponto de interesse <sup>[12]</sup>.

No caso de se escolher um local onde exista este tipo de obstáculo, deve considerar-se a hipótese de instalação de torres anemométricas de alturas elevadas de forma a minimizar a influência da barreira <sup>[9]</sup>.

*O planeamento do aproveitamento da energia eólica constitui uma tarefa complexa, exigindo a identificação de um conjunto alargado de informação <sup>[9]</sup>.*

### ***2.6.7 Capacidade da rede eléctrica receptora***

Uma das preocupações e dificuldades mais marcantes no desenvolvimento de aproveitamentos de energia eólica é, sem sombra de dúvida, a do escoamento da energia eléctrica produzida. O facto das áreas com maior potencial eólico se concentrarem em regiões remotas e, na sua maioria, do interior do país, conduz à existência de limites baixos para a potência de origem eólica que se poderia injectar na rede eléctrica. Esta limitação leva a que, na maioria dos casos, haja a necessidade de construir linhas de grande extensão e custo para ligar a rede pré-existente às subestações dos parques eólicos. Os custos associados à construção das linhas são, neste momento, ainda suportados, na sua grande maioria, pelos promotores, custos esses muito elevados, que colocam em causa muitos projectos <sup>[9]</sup>.

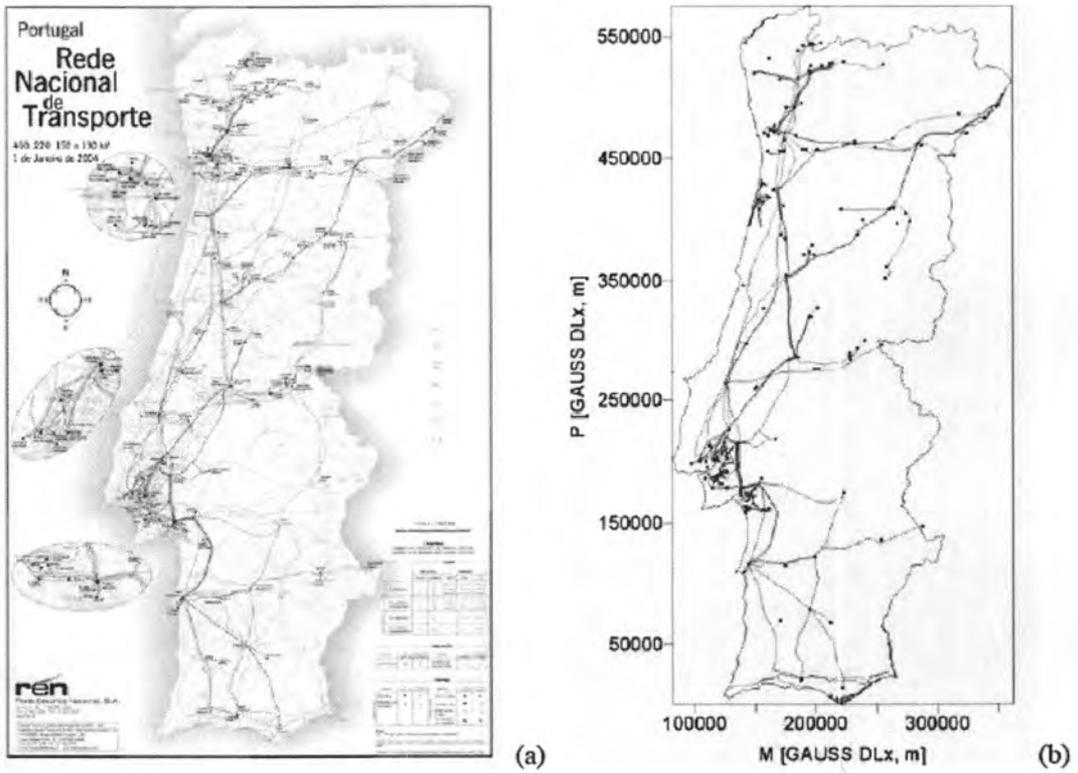


Figura 2.7: Rede Eléctrica Nacional – Figura Base; Figura digitalizada <sup>[19]</sup>.

### ÉVORA

	Ponto de ligação (MW)	Potência planeada (MW)
2004	25	-
2005	-	32
2006	-	33
2007	-	35

Tabela 2.2: Pontos de ligação à rede eléctrica e potências planeadas <sup>[7]</sup>.

### 2.6.8 Ocupação do solo



Figura 2.8: Distribuição espacial dos usos do solo da região <sup>[20]</sup>.

### 2.6.9 Declive do terreno

Tal como é do conhecimento geral, Portugal é um país cujo terreno apresenta na sua maioria uma grande complexidade, sendo excepção, quase única, a região interior central do Alentejo. É também verdade que a maioria dos locais interessantes do ponto de vista do aproveitamento eólico, se encontram nos pontos altos, e nalgumas zonas costeiras, elas próprias também de orografia complexa (e.g. SW Alentejano, Sotavento Algarvio e Região W). O declive do terreno tem uma influência não desprezável no aproveitamento do potencial energético do vento, quer do ponto de vista do próprio recurso eólico, quer do ponto de vista da instalação das turbinas no terreno, sobretudo com a actual tendência para a instalação de máquinas de grandes dimensões <sup>[9]</sup>.



Figura 2.9: Mapa de declives da região <sup>[9]</sup>.

### 2.6.10 Dados da velocidade do vento

Após recolhidos e armazenados, os dados experimentais da velocidade do vento passam por um conjunto de processos de controlo que validam o posterior processamento e caracterização do potencial eólico <sup>[21]</sup>. A ocorrência de falhas e erros nos registos de dados é, infelizmente, mais frequente do que o desejável, podendo ser originada por diversos motivos tais como:

- Sensores avariados;
- Sistema de registo deficiente;
- Cabos danificados e/ou mau contacto dos mesmos;
- Utilização de equipamento menos adequado;
- Problemas no *software* de registo ou de leitura;
- Condições atmosféricas adversas (descargas atmosféricas, gelo);
- Outros <sup>[9]</sup>.

A detecção e correcção destas falhas passa, necessariamente, pela inspecção dos dados, antes da sua utilização para qualquer fim, sendo efectuada de forma automática e manual. A primeira consiste na utilização de programas de processamento e filtragem de dados alfanuméricos e gráficos, determinando-se os parâmetros que permitem a detecção automática de erros nos ficheiros de dados (valores constantes durante longos períodos de tempo, zeros nos valores de velocidade, outro tipo de valores aparentemente anómalos, ou mesmo ausência de registos durante um determinado período). A segunda consiste na inspecção e visualização dos dados em editores de texto e gráfico convencionais, que permitem a detecção de pequenas falhas muitas vezes não detectadas pelo processo automático de controlo de qualidade. É de referir que, por sofisticado que seja o modelo de controlo automático, uma correcta validação dos dados passa, necessariamente, pela inspecção manual dos mesmos <sup>[9]</sup>.

É de frisar que a direcção do vento não é um factor fundamental para a análise do aproveitamento eólico, pois as turbinas rodam, não havendo, portanto, influência da direcção da qual o vento sopra relativamente ao potencial de um local.

### **2.6.11 Capacidade da rede de transmissão**

A rede eléctrica nacional está, desde o ano 2000, a proceder ao planeamento do reforço da rede eléctrica sendo a capacidade planeada para 2010 de, aproximadamente, 3750 MW <sup>[22]</sup>. Uma das informações mais solicitadas pelos interessados e potenciais promotores desta forma de energia renovável é, precisamente, a capacidade disponível por ponto de interligação, para avaliação da possibilidade de escoamento da potência prevista para os seus projectos. Esta informação encontra-se disponível, razoavelmente actualizada e facilmente acessível, nas entidades competentes (*e.g.* DGGE), tendo-se incluído uma ferramenta de consulta da mesma informação nesta base de dados <sup>[9]</sup>.

### **2.7 Factores a favor e contra a energia eólica**

Com o passar dos anos, tem-se verificado uma cada vez maior apetência pela utilização de fontes de energia renovável relativamente às energias designadas convencionais. Sendo a energia eólica uma energia renovável e gratuita, não importa quanta se utilize hoje, visto que estará igualmente disponível no futuro. Para além disso,

a energia eólica é uma fonte de energia limpa e não poluente, não produzindo gases de efeito de estufa nem outros agentes de poluição <sup>[7]</sup>.

A energia eólica assume um papel de complementaridade na produção de energia eléctrica, contribuindo para a diversificação dos modos de produção e para diminuir a dependência energética do exterior, materializada sobretudo na importação de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão) <sup>[7]</sup>.

Por todas estas razões, a energia eólica é, pois, um contributo de modo a atingir diversos compromissos internacionais, sobretudo o Protocolo de Quioto e a directiva comunitária, que impõe que a sua participação na produção de electricidade corresponda a 39 %, até 2010 <sup>[7]</sup>.

Por cada MWh de energia eléctrica de origem eólica são reduzidas entre 0,8 a 0,9 tons de emissões de gases com efeito de estufa que seriam produzidos pela utilização dos combustíveis fósseis na produção de energia eléctrica <sup>[7]</sup>.

A comparação da energia utilizada na manufactura com a energia produzida por uma estação designa-se por balanço energético. Pode ser expresso pelo tempo necessário para gerar a quantidade de energia equivalente utilizada na manufactura da turbina eólica ou estação <sup>[1]</sup>.

É expectável que um parque eólico compense a energia utilizada na concepção ou manufactura num espaço de 6 a 8 meses, sendo positivamente comparável com as estações a carvão ou nucleares, muito embora com tempo semelhante <sup>[1]</sup>.

Uma grande preocupação ambiental relacionada com a energia eólica é a mortalidade das aves. Normalmente, as lâminas das turbinas giram a grandes velocidades, e não são fáceis de detectar. As aves que se aproximam das lâminas são, assim, mortas quase instantaneamente, sendo as aves de rapina especialmente vulneráveis. Algumas soluções propostas para este problema incluem a alteração do *design* da torre, de modo a eliminar as vigas, que são utilizadas como poleiros, pintar as pás das turbinas com cores que chamem mais a atenção e mesmo reduzir a população de algumas aves, através do desbaste da vegetação local existente, sendo que com esta última medida se colocam outro tipo de questões <sup>[1]</sup>, nomeadamente ecológicos.

O efeito estético das turbinas é uma preocupação especial para os moradores em redor, que se têm queixado acerca da alta visibilidade das turbinas e do barulho resultante do girar das pás <sup>[1]</sup>.

O maior desafio que se coloca relativamente à utilização deste recurso renovável relaciona-se com a sua intermitência. Nem sempre o vento sopra quando a electricidade é necessária, sendo que à excepção de baterias, extremamente dispendiosas não se pode armazenar a energia de outro modo <sup>[1]</sup>.

Assim, sumariamente tem-se que:

- Não há emissões;
- A energia disponível é abundante e renovável;
- As turbinas podem ser instaladas sem alterar o ecossistema;
- As tecnologias existentes tornam as turbinas eólicas acessíveis <sup>[1]</sup>.

Mas:

- Existe uma dependência da disponibilidade do vento;
- As tecnologias são díspares, consoante a localização;
- A energia eólica ainda é considerada relativamente dispendiosa;
- Há quem considere, por vezes, as turbinas não aprazíveis à vista e um pouco barulhentas <sup>[1]</sup>.

A produção eólica deve, igualmente, ser acompanhada de medidas eficazes de redução do consumo de energia através do aumento da eficiência energética e da utilização racional da energia <sup>[7]</sup>.

Finalmente, deve frisar-se que a energia eólica é das tecnologias mais seguras. É ainda de salientar que, ao longo do tempo, nenhum membro tenha saído lesionado durante o procedimento normal de uma turbina, em mais de 25 anos e 70000 máquinas <sup>[1]</sup>.

## Capítulo 3

### Aproveitamento da energia eólica através das turbinas eólicas

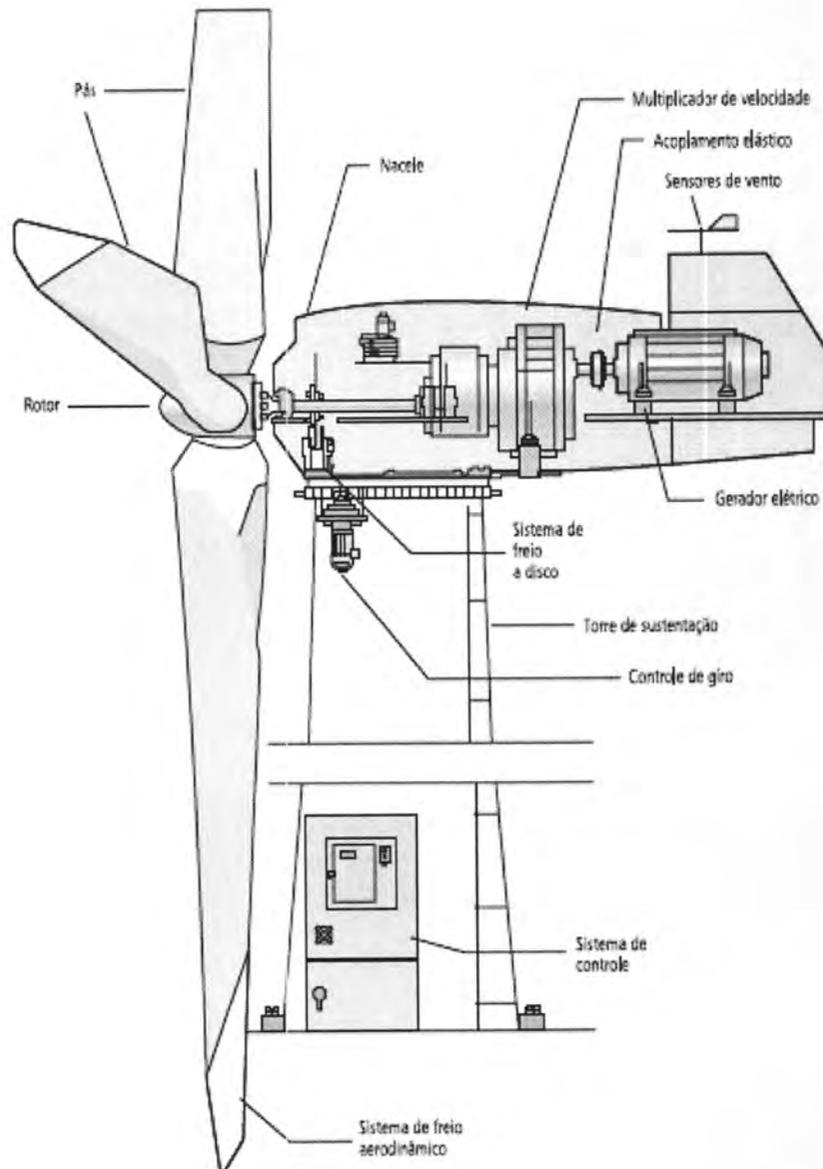


Figura 3.1: Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna <sup>[23]</sup>.

As turbinas consistem, fundamentalmente, em 4 componentes principais: rotor, sistema de transmissão, gerador e sistemas de controlo e orientação direccional, cada um planeado para trabalhar em conjunto com os outros, de modo a, com segurança, converter o movimento do vento em electricidade. Estes componentes estão fixos em

cima ou dentro da *nacelle*, que se situa na torre. A *nacelle* roda (ou *orienta*), consoante a direcção do vento <sup>[1]</sup>.

### 3.1 Extracção da energia do vento

A energia eólica, no fundo, não é mais que uma forma da energia solar – a luz incide na superfície terrestre, fazendo o ar aquecer e subir, o que, de facto, vai provocar ventos de superfície. As turbinas eólicas utilizam estes ventos, através das enormes pás colocadas nas torres que servem de suporte às turbinas. O vento faz as pás girar, rodando o gerador que, finalmente, produz electricidade <sup>[1]</sup>.

Ao mover as pás, estas giram uma haste, unida através de um conjunto de engrenagens, até ao gerador eléctrico. As turbinas, a longa escala, podem mesmo gerar desde 750 kW até 1,5 MW <sup>[1]</sup>.



Figura 3.2: Partes de uma turbina eólica; Parque eólico <sup>[24] [1]</sup>.

As turbinas eólicas situam-se, actualmente, em Parques Eólicos, onde um grande número de turbinas se encontra a curta distância, de modo a gerar electricidade disponibilizada, posteriormente, para a rede eléctrica. A electricidade é enviada através de transmissão e linhas de distribuição até aos consumidores <sup>[25] [1]</sup>.

### 3.2 Modo de funcionamento

Um dos modos de explicar o funcionamento é imaginando que uma turbina funciona de um modo inverso ao de uma ventoinha; ao invés de utilizar electricidade para produzir vento, processa-se exactamente o oposto. A maioria das turbinas que geram electricidade possui pás num rotor, movendo-se em redor de um eixo horizontal. O eixo está conectado a uma caixa de velocidades e a um gerador, situados no interior da *nacelle*. A *nacelle* é a parte maior situada no topo da torre, onde todos os componentes eléctricos estão situados. Geralmente, as turbinas eólicas começam a operar a velocidades perto dos  $3 \text{ ms}^{-1}$ , e atingem o poder máximo a aproximadamente  $15 \text{ ms}^{-1}$  (aproximadamente  $50 \text{ kmh}^{-1}$ ). Depois destas elevadas velocidades (ventos de temporal), as turbinas cessam o funcionamento, para protecção <sup>[1]</sup>.

A maioria das turbinas possui 3 pás, viradas contra a direcção do vento. O vento faz as pás girar, seguindo-se o movimento da haste que, estando conectada ao gerador, produz electricidade. O gerador é o mecanismo onde se produz a electricidade, através da energia mecânica, em oposição a um motor, que produz energia mecânica através da eléctrica <sup>[1]</sup>.

As pás são controladas de modo a rodar a aproximadamente 20 rotações por minuto, a uma velocidade constante. No entanto, tem-se verificado um aumento no número de aparelhos que operam a velocidades variáveis <sup>[1]</sup>.

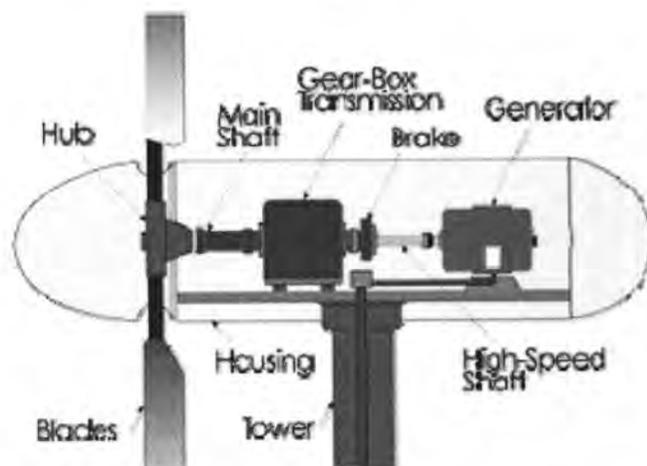


Figura 3.3: Detalhe de uma turbina eólica <sup>[1]</sup>.

### 3.2.1 Segurança

As turbinas eólicas possuem um tempo de vida aproximadamente de 20 a 25 anos, requerendo nesse tempo muito pouca manutenção. As turbinas são consideradas seguras; ao longo do tempo, não há registos de lesões ou danos a qualquer elemento público ou técnico, em qualquer parte do mundo <sup>[1]</sup>.

### 3.2.2 Construção

Uma turbina consiste num conjunto de 3 pás, que levam a um gerador, através de uma grande caixa de velocidades, instalada na *nacelle*, situada numa espécie de disco giratório, no topo da torre. Quando a velocidade do vento aumenta até um certo valor – *cut in speed* –, normalmente perto dos  $3 \text{ ms}^{-1}$ , a turbina começa a gerar electricidade, continuando até ao *cut out speed*, perto dos  $25 \text{ ms}^{-1}$ ; a esta velocidade, a turbina cessa o seu funcionamento, não aproveitando a energia do vento, e esperando que a velocidade desça para um valor mais adequado, que permita à turbina reiniciar o seu funcionamento. A turbina tem uma velocidade do vento óptima para o seu funcionamento, na qual a potência será máxima, que ronda os  $15 \text{ ms}^{-1}$ . Durante este processo, o gerador assegura que as pás mantêm uma velocidade rotacional constante de aproximadamente 20 rotações por minuto, as quais a caixa de velocidades transforma em 1500 rotações por minuto. Ventos mais fortes resultam num poder de produção mais elevado, mas não num número superior de rotações por minuto <sup>[1]</sup>.

### 3.2.3 Nível de poluição sonora

As turbinas eólicas não fazem muito barulho. Uma turbina de 1 MW produz sensivelmente 45 dB, a 300 m. Este nível de poluição sonora é semelhante ao ruído produzido por um frigorífico normal, em perfeito funcionamento, sendo que o ruído médio numa casa típica equivale a 50 dB. No entanto, este é apenas o nível de ruído produzido pela turbina em si, sendo que a velocidade do vento também se ouve bem, rondando os 40 dB. Assim, e seguindo a típica distância de exclusão de 300 ou 400 m até ao local da turbina, estas produzem um ruído praticamente inaudível. Algumas turbinas produzem ruído até 100 dB, mas este é medido no topo da torre, na caixa de velocidades. Com a turbina a funcionar de modo normal, é possível manter uma

conversa no topo da torre, o que demonstra o baixo nível de poluição sonora derivado de uma turbina <sup>[1]</sup>.

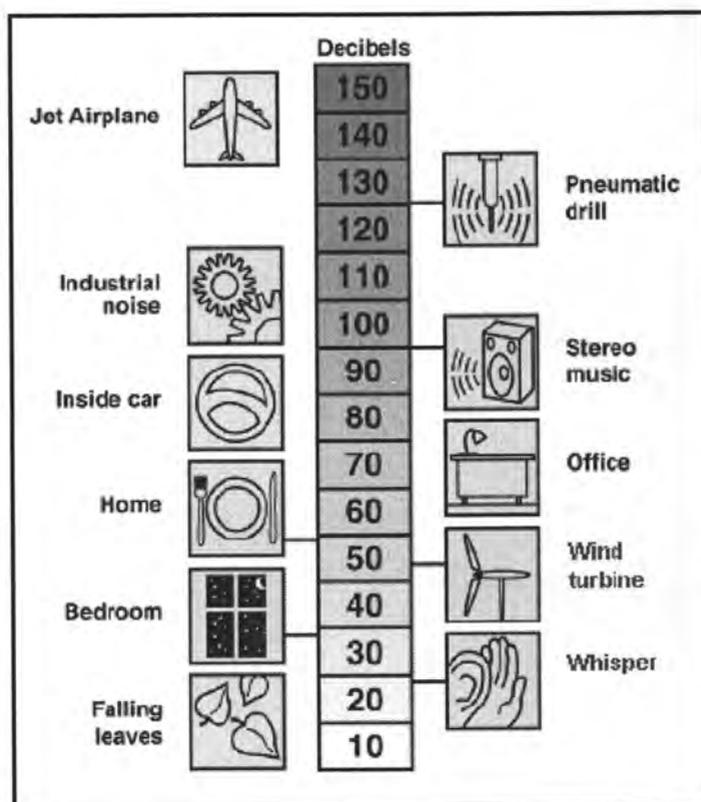


Figura 3.4: Diversas actividades do dia-a-dia e respectivo nível de poluição sonora <sup>[1]</sup>.

### 3.2.4 Tamanho

As turbinas eólicas possuem grandes dimensões, variando, geralmente, entre 50 a 80 m. O diâmetro do rotor, correspondendo ao alcance das lâminas, varia também, normalmente, entre os 50 e os 80 m <sup>[1]</sup>.

As torres das turbinas são construídas a partir de placas de aço laminado, e possuem, normalmente, 4 ou 5 m de diâmetro na base e cerca de 2 ou 3 m de diâmetro no topo. As turbinas são instaladas em fortes fundações de betão, bem enterradas no solo, com um pedestal, no qual se situa a torre propriamente dita, de modo a que o trabalhador ou proprietário possa trabalhar a terra até ao nível base da torre <sup>[1]</sup>.

As torres são, maioritariamente, tubulares e erigidas em aço. As lâminas são produzidas através de fibra de vidro, reforçadas com poliéster ou epóxi-madeira. Assim como a torre, as lâminas são, geralmente, cinzentas, devido a ser a cor menos notada e

berrante, em condições naturais de visibilidade. O acabamento é mate, de modo a reduzir a reflexão. Uma turbina típica dura, sensivelmente, 20 a 25 anos. No entanto, durante este tempo, alguns componentes podem precisar de substituição <sup>[1]</sup>.

Para reforçar esta ideia, frise-se que a primeira turbina produzida a grande escala, a Vestas 30 kWh, celebrou em Maio de 2000 o seu 20º aniversário, sendo que operou, constantemente, durante todo o seu tempo de vida, sem que nenhum dos seus componentes principais tivesse necessitado de reparação ou substituição <sup>[1]</sup>.

### 3.3 Potência máxima e eficiência

A energia máxima teórica que uma turbina pode extrair do vento situa-se abaixo dos 60 % da energia disponível, sendo este valor conhecido por limite de Betz <sup>[1]</sup>.

#### 3.3.1 O limite de Betz

O limite de Betz indica que, mesmo para os melhores aproveitamentos eólicos (turbinas de 2 ou 3 pás de eixo horizontal), se recupera apenas um máximo de 59% da energia do vento, o que significa que  $C_p$  máximo (teórico) é 0,59. Para uma aplicação real, este coeficiente é da ordem de 0,3 a 0,4 no máximo <sup>[1]</sup>. A teoria de Betz coloca em modelo a passagem do ar antes e após a turbina, por um tubo de corrente:

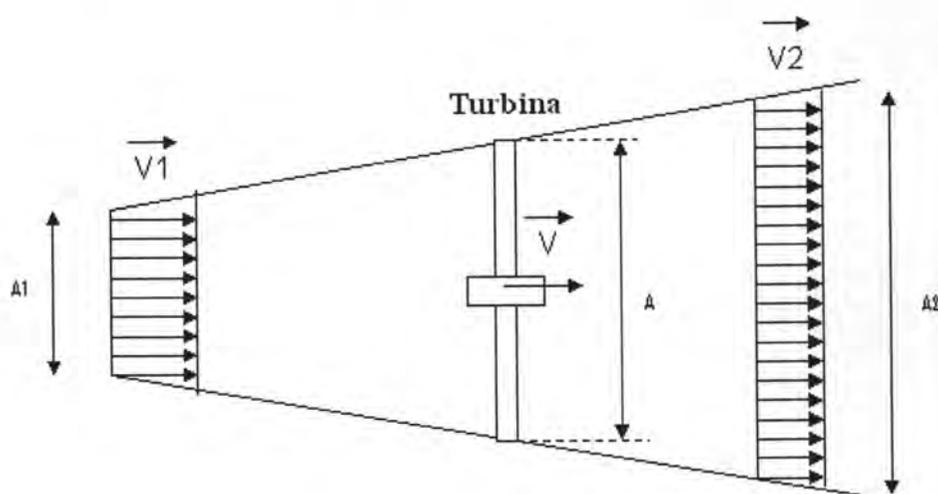


Figura 3.5: Esquema para determinação do Limite de Betz aplicado a uma turbina actual

[26]

onde  $v_1$  é a velocidade do vento antes das pás da turbina,  $v$  é a velocidade do vento nas pás da turbina,  $v_2$  é a velocidade do vento após ter transferido energia às pás da turbina, e  $v_1 > v > v_2$ , sendo estas velocidades paralelas ao eixo do rotor.

A fracção da potência máxima extraível (limite de Betz) pode ser deduzida através da expressão que dá a potência extraível:

$$W_{\text{disp}} = \frac{1}{2} Q (v_1^2 - v_2^2) \quad [27] \quad (3.1)$$

$$= \frac{1}{2} \rho A v_{\text{méd}} (v_1^2 - v_2^2) \quad [27] \quad (3.2)$$

$$= \frac{1}{4} \rho A (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2) \quad [27] \quad (3.3)$$

$$= \frac{1}{4} \rho A v_1^3 (1 - (v_2/v_1)^2 + (v_2/v_1) - (v_2/v_1)^3) \quad [27] \quad (3.4)$$

onde

$$v_{\text{méd}} = (v_1 + v_2) / 2 \quad (3.5)$$

e

$$Q = \rho A v \quad (3.6)$$

O máximo da potência extraível é obtido por via da derivada zero de  $E$  relativamente a  $v_2/v_1$  para uma dada velocidade  $v_1$  de um fluido e uma certa área  $A$ . Assim,  $E$  atinge o valor máximo quando  $v_2/v_1 = 1/3$  [27].

Substituindo em 3.4 resulta:

$$W_{\text{máx}} = 16/27 \times \frac{1}{2} \rho A v_1^3 \quad [27] \quad (3.7)$$

A equação mostra que a fracção da potência total disponível ( $\frac{1}{2} \rho A v_1^3$ ) que pode ser extraída do escoamento, ou seja, o limite de Betz, corresponde a  $16/27 \sim 0,59$ .

No entanto, esta medida de eficiência pode parecer um conceito redundante a aplicar à energia eólica, onde o combustível é inesgotável. A preocupação primária não é a própria eficiência, mas a melhoria da produtividade, de modo a fazer diminuir o preço associado à energia eólica [26].

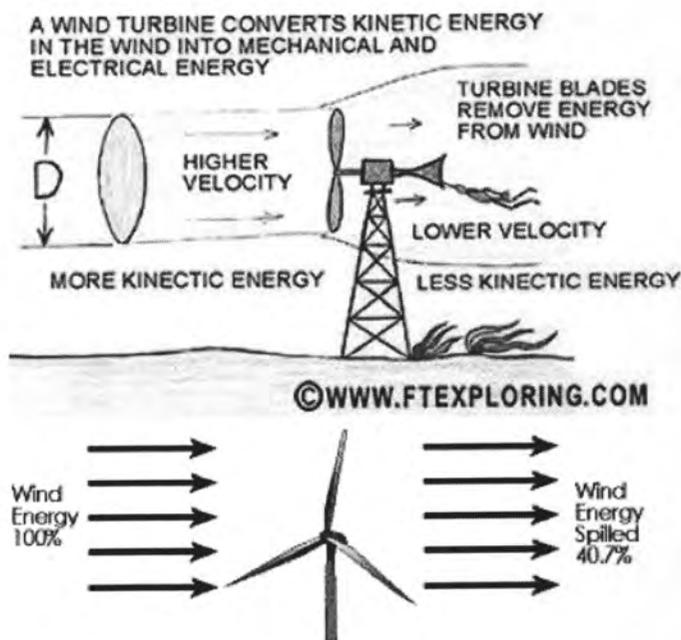


Figura 3.6: A produção de energia eólica [1].

Afigura-se impossível extrair todo o poder do vento, pois alguns fluidos necessitam ser mantidos no rotor [1].

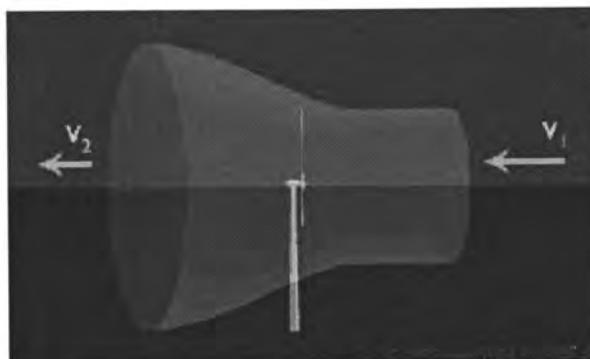


Figura 3.7: Velocidades do vento antes e depois de atravessar uma turbina [1].

Haverá sempre alturas sem vento. Assim, as turbinas eólicas deverão estar associadas a sistemas de armazenamento ou de geração, através da rede eléctrica, de modo ao fornecimento poder ser mantido <sup>[2]</sup>.

Idealmente, deseja-se que uma turbina eólica funcione com um  $C_p$  tão perto do limite de Betz quanto possível, sob uma grande variedade de velocidades do vento. A potência é aproximadamente proporcional a  $v^3$ , o cubo da velocidade do vento. A potência, no entanto, tem que ser limitada a grandes velocidades, de modo a proteger os mecanismos e componentes eléctricos de possíveis sobrecargas <sup>[1]</sup>.

### 3.5 Especificações actuais de uma turbina

Componente	Função
<i>Nacelle</i>	Contém as componentes centrais da turbina eólica, incluindo a caixa de velocidades, o sistema de orientação direccional e o gerador eléctrico
Pás do rotor	Capturam o vento e transferem a sua capacidade para o eixo do rotor
Eixo	Associado ao rotor pela haste de baixa velocidade da turbina eólica
Haste de baixa velocidade	Conectada ao eixo do rotor pela caixa de velocidades
Caixa de velocidades	Conectada à haste de baixa velocidade, tornando a haste de alta velocidade diversas vezes mais rápida que a de baixa velocidade (aproximadamente 50 vezes)
Haste de alta velocidade com travão mecânico	Conduz o gerador eléctrico ao proceder a aproximadamente 1500 rotações por minuto. O travão mecânico é utilizado como segurança para o travão aerodinâmico, ou quando a turbina está a ser servida
Gerador eléctrico	Normalmente um gerador de indução com uma capacidade eléctrica máxima de 500 a 1500 kW, numa turbina eólica moderna
Sistema de orientação direccional	Vira a <i>nacelle</i> com o rotor para o vento utilizando motores eléctricos ou de outro tipo
Controlador electrónico	Monitoriza continuamente a condição da turbina. Controla os sistemas de orientação direccional e de afastamento. Em casos de mal funcionamento, automaticamente detém a turbina, podendo ser concebida para sinalizar o computador operador da turbina através de um modem
Sistema hidráulico	Reinicia o travão aerodinâmico da turbina. Pode ter ainda outras funções
Sistema de arrefecimento	Arrefece o gerador eléctrico utilizando uma ventoinha eléctrica ou sistema de arrefecimento líquido. Adicionalmente, o sistema pode conter uma unidade de óleo de arrefecimento utilizada para arrefecer o óleo na caixa de velocidades
Torre	Suporta a <i>nacelle</i> e o rotor. Geralmente, é útil uma torre alta, pois a velocidade do vento aumenta com a distância ao solo
Anemómetro e ventoinha de vento	Mede a velocidade e direcção do vento enquanto envia sinais para o controlador para iniciar ou parar a turbina

Tabela 3.1: Componentes de uma turbina e sua função <sup>[1]</sup>.

## Capítulo 4

### A electricidade desde a turbina ao consumidor

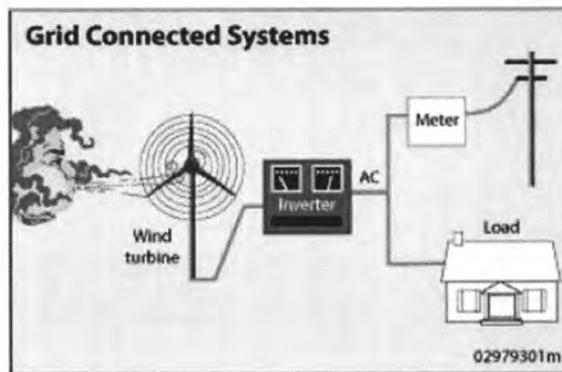
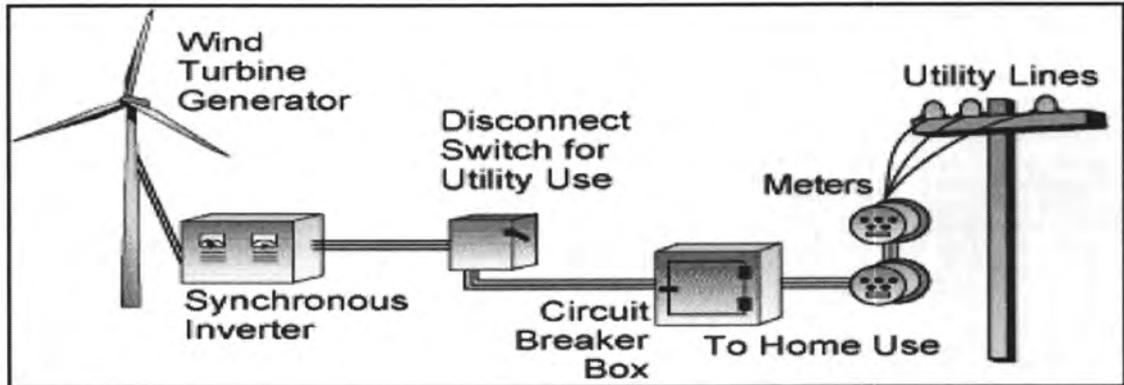


Figura 4.1: Transmissão de electricidade para as turbinas eólicas; Diagrama de um sistema eléctrico conectado à rede <sup>[1]</sup>.

Se a habitação estiver ligada à rede, nos dias mais ventosos será possível vender o excesso de potência gerada. Noutras ocasiões, quando a turbina não conseguir gerar toda a potência desejada será, igualmente, possível comprar potência da rede <sup>[1]</sup>.

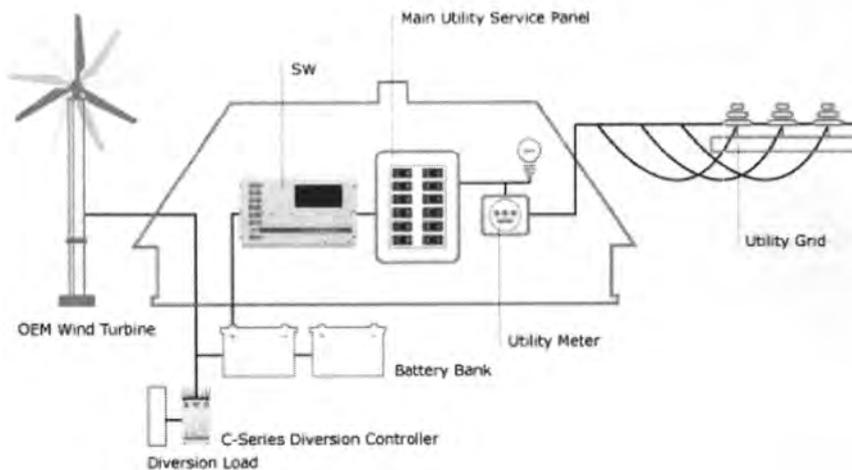


Figura 4.2: Uma pequena turbina construída especificamente para uma casa <sup>[1]</sup>.

#### 4.1 Produção a pequena escala – micro-geração



Figura 4.3: Micro-geração <sup>[27]</sup>.

A produção a pequena escala, ou microgeração, diz respeito a sistemas de geração eólicos, com capacidades de 100 kW (ou menos), e são usualmente utilizados para abastecer habitações, quintas ou mesmo pequenos negócios. O indivíduo adquire estes sistemas para reduzir ou eliminar as suas contas de electricidade, evitar a imprevisibilidade dos preços do gás natural, ou simplesmente para gerar a sua própria fonte limpa de energia <sup>[28]</sup>.

A maior parte das turbinas mais utilizadas atingem capacidades na ordem dos 3 MW; contudo, alguns aparelhos com capacidade entre 50 W e 1 kW são bastante comuns em barcos e casas de férias, ao passo que maiores aparelhos, com capacidades

que atingem os 100 kW, mas ainda assim considerados de pequena capacidade, são bastante propícios para quintas, agregados de casas, ou usos institucionais [2].

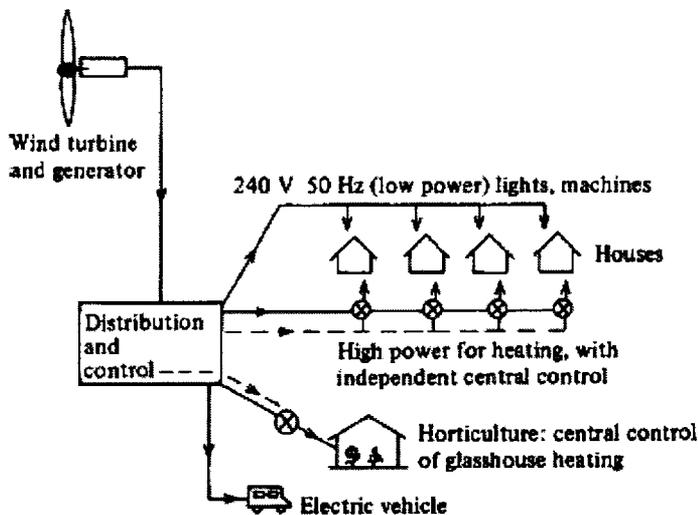


Figura 4.4: Sistema de conversão de energia eólica. A carga eléctrica é trocada por pequenas permutas na frequência do fornecimento, apresentando uma carga associada ao gerador, sob uma larga amplitude de velocidades do vento [2].

A geração de energia eléctrica, frequentemente, está associada à procura de carga através de uma rede comum regional ou local, normalmente denominada por *rede*. Os geradores podem consistir em estações eléctricas centralizadas ou de menor dimensão incluídas na geração, como as turbinas. A rede permite a partilha de geração e consumo, providenciando meios de fornecimento de baixo custo, fiáveis e bastante eficientes. Assim, quando um nó reduz o seu fornecimento, como com falta de vento, manutenção, ou poupança de combustível, a procura pode ser satisfeita através de outros geradores [2].

Os pequenos sistemas eólicos podem ser ligados à rede de distribuição eléctrica [1].

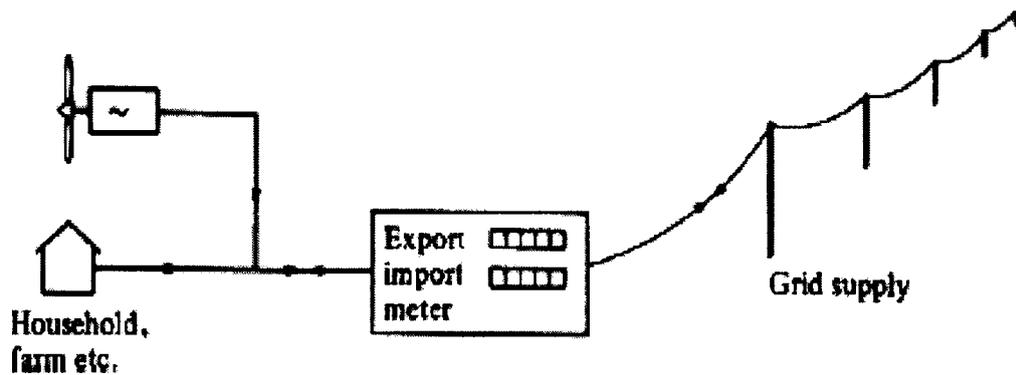


Figura 4.5: Turbina eólica conectada à rede, em funcionamento num grande sistema <sup>[2]</sup>.

Com os sistemas de energias renováveis a conseguir providenciar energia para a casa comum, muitas pessoas preferem as vantagens da ligação à rede. Um sistema com tais características permite providenciar potência quando o sol brilha, a água corre ou o vento corre. Qualquer excesso produzido terá como destino a rede eléctrica. Quando tais energias não se encontram disponíveis, a electricidade fornecida anteriormente à rede abastecerá qualquer gasto, eliminando, assim, os custos provenientes de aparelhos de armazenamento, como as caras baterias <sup>[1]</sup>.

## 4.2 Custos inerentes

Os custos da energia eléctrica produzida pelos aerogeradores são, fundamentalmente, determinados por:

- Custo do investimento (aerogerador, fundações, ligação à rede, ...);
- Tempo de vida útil do aerogerador;
- Taxa de juro do montante investido;
- Custos de exploração e manutenção;
- Quantidade de energia produzida/ velocidade média do vento <sup>[7]</sup>.

Qualquer aerogerador instalado numa zona de muito vento produz electricidade mais barata do que se estivesse situado numa zona com menos vento. Por esta razão é, pois, bastante importante fazer uma avaliação do recurso no local onde se pretende instalar um aerogerador <sup>[7]</sup>.

### 4.3 Possibilidades e barreiras económicas

Apesar dos custos dos aerogeradores ter decrescido nos últimos anos, esta terminologia requer um investimento inicial mais elevado por kW de potência instalada do que a produção de electricidade baseada em derivados de petróleo <sup>[7]</sup>.

A redução no custo dos aerogeradores tem vindo igualmente a verificar-se ao longo do tempo, e em 2004 esses custos variavam entre 650 a 900 € por kW instalado, dependendo do fabricante e da capacidade de produção da turbina. Contudo, em Portugal a redução dos custos não foi tão acentuada devido à tendência na instalação de aerogeradores de grandes dimensões, motivada pelas características dos locais a instalar e o elevado custo dos terrenos. Estima-se que os custos dos aerogeradores se situem entre 1000 e 1200 €kW<sup>-1</sup> <sup>[7]</sup>.

Para além dos custos referidos, diversas barreiras prevalecem ainda, contribuindo para o fraco desenvolvimento da energia eólica em Portugal, tais como:

- Ligação à rede: uma vez que os locais com maior potencial se encontram em locais remotos ou servidos por redes fracas, muitas vezes o escoamento de energia só é conseguido através da construção de novas linhas, o que eleva os custos ou até inviabiliza as operações, sendo também problemática a gestão da atribuição dos pontos de interligação;
- Procedimentos burocráticos: os trâmites administrativos de um projecto de energia eólica são complexos, burocráticos e morosos, envolvendo muitos organismos da Administração com critérios pouco explícitos e sem regras de organização entre os vários agentes envolvidos;
- Impacto ambiental: as principais incidências ambientais habitualmente apontadas são o ruído, o impacto visual e a influência na fauna avícola; no entanto, a evolução tecnológica (diminuição dos ruídos, turbinas mais potentes, menor número de unidades a instalar) tem tendência para compatibilizar os dois interesses <sup>[5]</sup>.

#### 4.4 Influência da rugosidade do terreno em redor das turbinas

A 1 km de altitude, o vento quase não é afectado pela superfície terrestre. Nas camadas inferiores atmosféricas, a velocidade do vento é afectada pela fricção com a superfície da Terra. Assim, há que se considerar a rugosidade do terreno, a influência dos obstáculos e o efeito do contorno dos terrenos ou a orografia da área <sup>[29]</sup>.

Quanto mais significativa for a rugosidade do terreno, mais será a velocidade do vento diminuída. Assim, quer altas árvores e arbustos em bosques e florestas, quer grandes edifícios, diminuem consideravelmente essa velocidade, bem como pistas de aeroporto e estradas. Por seu lado, as superfícies de água são mais suaves que as estruturas referidas, pelo que terão um efeito menor na velocidade do vento <sup>[29]</sup>.

A área em redor de um potencial local para implantação de uma turbina eólica raramente consiste num ponto homogéneo. Diferentes culturas, florestas, corredores e edifícios estão dispersos através do local. Assim, o resultado final consiste no vento a aproximar-se da turbina e alterar a velocidade, consoante a rugosidade da superfície. A paisagem, até uma distância de 10 km, terá influência e impacto no local da turbina, embora quanto mais longe as alterações na rugosidade, menor impacto será causado <sup>[29]</sup>.

A alteração de um local pouco rugoso para um muito rugoso irá aumentar o stress friccional da superfície e, conseqüentemente, conduzir o vento a uma diminuição da velocidade. Tais alterações provocam alterações na velocidade do vento, através do perfil do terreno. De modo a atingir-se o equilíbrio, deve existir uma superfície vasta a suficiente no local <sup>[29]</sup>.

Outras alterações na rugosidade ocorrerão antes do equilíbrio estar atingido. Como resultado, uma camada interna é formada, crescendo com a distância a jusante. A qualquer distância referida na qual o equilíbrio ainda não foi estabelecido, haverá uma torção no perfil do vento, a uma altura crítica. Abaixo da altura crítica, o perfil será perturbado pelas alterações à superfície. Acima da mesma, continuará a ser determinado pela rugosidade inicial da superfície <sup>[29]</sup>.

Se a velocidade do vento for a mesma sobre a área em questão, é ainda possível utilizar um logaritmo para descrever o perfil. Cada alteração na rugosidade subsequente pode ser tratada de igual modo, desde que as alterações não se verifiquem a uma curta distância <sup>[29]</sup>.

Para além destas alterações, mudanças na paisagem em redor podem criar alterações na temperatura da superfície ou fluxos de humidade que podem ter impacto

significativo na forma do perfil. Isto é aparente para alterações do mar para terra, ou gelo para terra. Tal efeito visa alterar a estabilidade do perfil do vento, tornando-se o movimento vertical do ar mais importante <sup>[29]</sup>.

#### 4.4.1 Classes e amplitude de rugosidade

As classes e amplitudes de rugosidade são características da paisagem utilizadas para avaliar condições do vento num potencial local para uma turbina. Uma elevada classe de rugosidade de 3 ou 4 caracteriza paisagens preenchidas com árvores e edifícios. Por seu lado, uma superfície marítima ou aquática possui uma classe de rugosidade de 0 <sup>[29]</sup>.

Pistas de aeroporto e estradas possuem uma classe correspondente de 0,5, sendo também verificado para paisagens abertas, pastadas por gado e pecuária. Moinhos fixos nestes terrenos aparentam ser vantajosos, devido ao facto da pastagem reduzir a rugosidade da superfície do terreno envolvente <sup>[29]</sup>.

A amplitude de rugosidade é definida pela altura acima do terreno,  $Z_0$ , em metros, na qual a velocidade do vento é, teoricamente, igual a 0.

Classe de Rugosidade – CR	Amplitude de Rugosidade – AR	Índice de Energia (%)	Paisagem
0	0,0002	10	Superfícies de água.
0,5	0,0024	73	Terreno completamente aberto com superfícies suaves e pouco rugosas, como pistas de aeroporto ou relva aparada.
1	0,03	52	Áreas agricultáveis abertas com vedações e sebes e edifícios muito pontuais. Colinas ligeiramente arredondadas.
1,5	0,055	45	Terrenos agricultáveis com algumas casas e sebes protegidas até 8 metros de altura, a uma distância aproximada de 1250 metros.
2	0,1	39	Terrenos agricultáveis com algumas casas e sebes protegidas até 8 metros de altura, a uma distância aproximada de 1250 metros.
2,5	0,2	31	Terreno agricultável com diversas casas, arbustos e plantas, ou sebes com 8 metros de altura a uma distância aproximada de 250 metros.
3	0,4	24	Vilas, pequenas cidades ou terrenos agricultáveis com diversas/altas sebes protegidas, florestas e terrenos muito rugosos e irregulares.
3,5	0,8	18	Grandes cidades com edifícios elevados.
4	1,6	13	Cidades muito grandes com edifícios muito elevados e arranha-céus

Tabela 4.1: Classes de rugosidade e amplitudes associadas <sup>[29]</sup>.

#### 4.4.2 Perfil e tensões do campo do vento

A tendência do perfil de velocidade do vento é a de diminuir perto do nível do solo. Este facto provoca forças complexas, ou *tensões*, que se podem designar por *tensões do campo do vento* <sup>[29]</sup>.

A velocidade do vento a uma certa altura do solo pode ser estimada em função de uma altura  $Z$  acima do solo, e a amplitude de rugosidade  $Z_0$  da tabela 4.1, a partir da fórmula:

$$V(z) = V_{ref} \frac{\ln \frac{z}{Z_0}}{\ln \frac{z_{ref}}{Z_0}} \quad (\text{m.s}^{-1}) \quad [29] \quad (4.1)$$

onde a velocidade de referência,  $V_{ref}$ , é uma velocidade conhecida, a uma altura de referência,  $Z_{ref}$ .

A fórmula parte do pressuposto que se verificam condições atmosféricas neutras, com estabilidade, sendo a superfície terrestre nem aquecida nem arrefecida, em comparação com a temperatura do ar <sup>[29]</sup>.

### 4.5 Locais analisados

#### Évora

A cidade de Évora é o principal pólo urbano da região, em termos populacionais e funcionais. A dinâmica social e económica da cidade tem conseguido contrariar a tendência da região no seu conjunto, mantendo um crescimento idêntico ao de outras cidades médias portuguesas <sup>[30]</sup>.

Pela sua localização, constitui-se como espaço fundamental entre o litoral alentejano e a Estremadura espanhola. De facto, a plataforma portuária de Sines assegura o transporte marítimo de cargas entre o sul e o norte da Europa, bem como o acesso rodoviário a toda a Europa, através da *cidade – porta* de Elvas. Refere-se ainda a

importância para a região e para o concelho de Évora a articulação possível com o Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva e com o Aeroporto de Beja <sup>[30]</sup>.

Pela sua dimensão, centralidade e visibilidade no contexto nacional, emerge como o pólo com melhores condições para liderar a hierarquia do sistema urbano regional. Com efeito, a cidade assume claramente uma vocação patrimonial, cultural, universitária e de serviços, com qualidade ambiental, que procura potenciar toda a área envolvente à própria cidade. Em articulação com o sistema urbano nacional, as cidades médias da região do Alentejo, com especial relevância para Évora deverão contribuir, solidariamente, para fomentar o desenvolvimento harmonioso da rede complementar regional <sup>[30]</sup>.

O concelho de Évora integra-se numa vasta planície que se estende ao sul de Portugal – a região do Alentejo. A planície alentejana apresenta uma ondulação suave a uma cota média de 240 metros e é pontuada por alguns relevos de pequena altitude, como a serra de S. Mamede. É cortada por três grandes bacias hidrográficas – as do Tejo, do Sado e do Guadiana <sup>[30]</sup>.



Figura 4.6: Vista aérea da cidade de Évora <sup>[30]</sup>.

O concelho de Évora tem uma área de 1309 km<sup>2</sup>, que corresponde a 5 % do total da Região <sup>[30]</sup>.

Apesar das transformações verificadas nos últimos anos, a paisagem da região ainda se caracteriza pela cultura de cereais em regime extensivo, com zonas de pastagens e manchas de floresta de sobro e azinho. O olival, as vinhas e as culturas de regadio são outras marcas características do concelho <sup>[30]</sup>.

O clima de Évora identifica-se, no essencial, com as características da região: clima tipicamente mediterrânico, por vezes com influência atlântica, com precipitação distribuída ao longo do ano de forma desigual, com o pico no Inverno, que alternam com Verões quentes e secos, entre Junho e Setembro <sup>[30]</sup>.

Em resumo, a Verões muito quentes opõem-se Invernos muito frios <sup>[30]</sup>.

No concelho existem vários tipos de solos que, pelas suas características, foram determinantes na sua utilização durante as várias ocupações humanas. Na sua maioria tratam-se de solos de fertilidade variável, com frequentes afloramentos rochosos, apresentando por vezes riscos de erosão; e solos litólicos, mediterrâneos, principalmente derivados de xisto, barros e calcário. Os solos de baixa fertilidade, que apresentam com frequência afloramentos rochosos, ocupam uma grande extensão na zona envolvente de Évora, distribuindo-se os solos mais ricos, quase exclusivamente, por estreitas faixas localizadas junto às linhas de água (Degebe, Xarrama, ribeira de Valverde) <sup>[30]</sup>.

#### **4.5.1 Mitra**

O Pólo da Mitra da Universidade de Évora fica situado em Valverde, na freguesia de Nossa Senhora da Tourega, a cerca de 12 km da cidade de Évora.



Figura 4.7: Vista a) da estação da Mitra <sup>[31]</sup>.

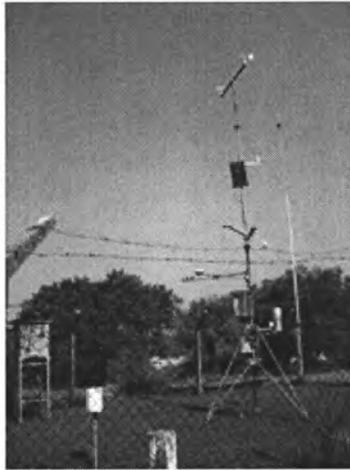


Figura 4.8: Vista b) da estação da Mitra <sup>[31]</sup>.

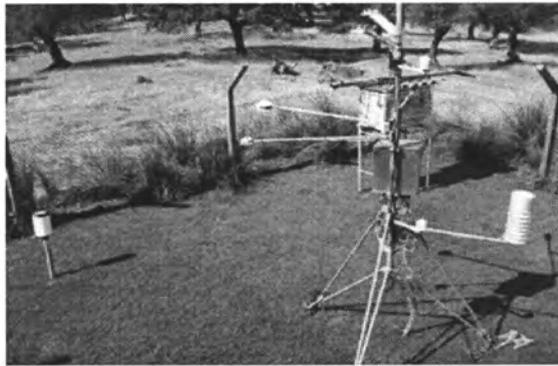


Figura 4.9: Vista c) da estação da Mitra <sup>[31]</sup>.



Figura 4.10: Vista d) da estação da Mitra <sup>[31]</sup>.

#### 4.5.2 Portel

Ocupando uma área de 601,14 km<sup>2</sup>, Portel é um território marcado por uma paisagem dominada pela serra; é considerada a capital do Montado e a porta de acesso ao Alqueva, factores economicamente importantes <sup>[32]</sup>.



Figura 4.11 Vista a) da estação de Portel <sup>[31]</sup>.

O concelho evidencia duas situações morfológicamente distintas, uma de relevo fortemente ondulado designada por Serra de Portel e outras de feição aplanada, as planícies <sup>[32]</sup>.



Figura 4.12: Vista b) da estação de Portel <sup>[31]</sup>.

Encontra-se situado na zona ecológica fito climática ibero mediterrânea – sub mediterrânea”, sendo a sua superfície dividida em:

57930 ha de superfície agrícola utilizada,  
1563 ha de matas e florestas,  
448 ha de superfície agrícola não utilizada,  
573 ha de outras superfícies <sup>[32]</sup>.



Figura 4.13: Vista c) da estação de Portel <sup>[31]</sup>.

Os elementos arbóreo – arbustivos mais evidentes são o sobreiro e azinheira <sup>[32]</sup>.



Figura 4.14: Vista d) da estação de Portel <sup>[31]</sup>.

#### ***4.5.3 Reguengos***

O concelho está enquadrado na magnífica planície alentejana e no azul da Albufeira do Alqueva, fazendo parte do distrito de Évora. É uma zona principalmente agrícola (cereais, olivais e vinha), caracterizada por Verões quentes e longos e Invernos curtos e chuvosos <sup>[33]</sup>.



Figura 4.15: Vista da estação de Reguengos <sup>[31]</sup>.

A região tem clima mediterrânico, com influências atlânticas. É um clima de Verões quentes e secos e Invernos curtos e chuvosos <sup>[33]</sup>.

A temperatura média anual corresponde a 16° C. O número médio de horas de sol descoberto equivale, por ano, a 2950, sendo as amplitudes térmicas fortes, superiores a 25 °C. A precipitação total anual varia entre os 600 e os 700 mm, sendo os ventos dominantes de NW e NE <sup>[33]</sup>.

Verifica-se a existência no concelho de um volume elevado de solos que apresentam fortes condicionantes ao uso produtivo directo. Segundo o *PDM*<sup>[34]</sup> do concelho, 42 % dos solos existentes são de classe E, em virtude de serem solos esqueléticos com elevados riscos de erosão e muito baixa fertilidade.

O concelho de Reguengos de Monsaraz possui um relevo que, apesar de ondulado, é pouco acentuado, constituindo-se essencialmente por duas grandes zonas: uma, com altitude oscilando entre os 150 m e 200 m, que se desenvolve ao longo dos limites SW e SE, atingindo o centro do concelho; outra, com altitudes oscilando entre os 200 m e 250 m, que se desenvolve a N e a NE do concelho, e se prolonga até quase aos limites a sul do concelho <sup>[33]</sup>.

#### ***4.5.4 Colégio Verney***

O Colégio *Verney* situa-se na cidade de Évora, sendo um dos pólos principais da Universidade de Évora.



Figura 4.16 Vista a) da estação do Colégio Verney.



Figura 4.17: Vista b) da estação do Colégio Verney.

#### **4.6 Tratamento dos dados e resultados – potencial eólico de cada local analisado**

Através dos dados fornecidos pelo *Centro de Geofísica de Évora* <sup>[35]</sup>, para o ano de 2007, de 10 em 10 min, e para as 4 estações alvo de análise, procedeu-se à análise do potencial eólico da região.

O primeiro passo consistiu na transformação dos valores de  $T_{ar}$  (°C) para  $T_{ar}$  (K).

Relativamente à pressão atmosférica  $P$  (Pa), estipulou-se um valor de referência de  $10^5$  Pa, devido à inexistência de tais valores no *CGE* <sup>[35]</sup>. Para o cálculo da potência ( $Wm^{-2}$ ) a 30 e 50 m de altura (alturas escolhidas para o presente estudo, por serem as alturas a partir das quais se considera a viabilidade da instalação e altura óptima, respectivamente), considerou-se a constante de Betz igual a 0,59, sendo a densidade do ar obtida através da fórmula:

$$\rho = P / (RT) \quad (4.2)$$

onde:

$$R = R_g / M \quad (4.3)$$

e

$$M = 0,8 A_{N_2} + 0,2 A_{O_2} \quad (4.4)$$

sendo R a constante dos gases ideais e representando A a massa molecular de N e O, correspondendo os valores de 0,8 e 0,2 à concentração relativa, aproximada, destes elementos na atmosfera.

No cálculo das velocidades verificadas a 30 m e 50 m, foram necessários os valores de  $Z_0$  e  $Z_{ref}$ , como descrito na fórmula 4.1. Esses valores, para cada caso, são os constantes da tabela 4.2:

	$Z_0$	$Z_{ref}(m)$
<b>Mitra</b>	0,055	6
<b>Portel</b>	0,03	6
<b>Reguengos</b>	0,03	2
<b>Verney</b>	0,4	7

Tabela 4.2:  $Z_0$  e  $Z_{ref}$  de cada estação

Para o cálculo da potência máxima extraível a cada altura ( $Wm^{-2}$ ), foi utilizada a fórmula:

$$W_{p \text{ máx}} = \rho_{ar} A v^3 \text{ Betz} \quad (4.5)$$

onde Betz = 0,59 (eq. 3.6)

Nas duas alturas pré-determinadas para este estudo, foram consideradas como velocidades mínima aproveitáveis do vento velocidades iguais ou superiores a  $2,5 \text{ ms}^{-1}$ , de modo a tentar maximizar o potencial eólico da região, visto não existirem muitos valores consideravelmente superiores, de 10 em 10 minutos. Todos os valores menores foram, neste caso, divididos por 6, de modo a obter-se um número de horas em que a turbina não estaria em funcionamento ( $10 \text{ mins} = 1/6 \text{ h}$ ).

Posteriormente, e com os dados da potência obtidos, o número de horas de cada mês e o número de horas em que a turbina estaria parada, através da fórmula:

$$\text{Energia por unidade de área varrida} = W_{p \text{ méd}} (h_{\text{mês}} - h_{v < 2,5 \text{ ms}^{-1}}) \quad (4.6)$$

obtiveram-se valores de energia ( $\text{Whm}^{-2}$ ) mensais para cada turbina.

Em seguida, através de pesquisa efectuada, foram escolhidas duas turbinas <sup>[36]</sup> para cálculos posteriores e maior realismo da análise do potencial eólico da região de Évora. Assim, as turbinas escolhidas foram:

- *Turbina A - FD2.7-1000-10 (1000 W)* <sup>[36]</sup>



Figura 4.18: Turbina FD2.7-1000-10 (1000 W) (turbina A) <sup>[36]</sup>.

<b>FD2.7-1000-10 (1000 W)</b>	
<b>Tipo</b>	3 pás
<b>Diâmetro do rotor (m)</b>	2,7
<b>Velocidade de arranque (ms<sup>-1</sup>)</b>	2,5
<b>Capacidade (W)</b>	1000
<b>Capacidade máxima (W)</b>	1300

Tabela 4.3: Especificações da turbina FD2.7-1000-10 (1000 W) (turbina A) <sup>[36]</sup>.

- *Turbina B – FD6.4-5000-16 (5000 W)* <sup>[37]</sup>



Figura 4.19: Turbina FD6.4-5000-16 (5000 W) (turbina B) <sup>[37]</sup>.

<b>FD6.4-5000-16 (5000 W)</b>	
<b>Tipo</b>	3 pás
<b>Diâmetro do rotor (m)</b>	6,4
<b>Velocidade de arranque (ms<sup>-1</sup>)</b>	2,5
<b>Capacidade (W)</b>	5000
<b>Capacidade máxima (W)</b>	6000

Tabela 4.4: Especificações da turbina FD6.4-5000-16 (5000 W) (turbina B) <sup>[37]</sup>.

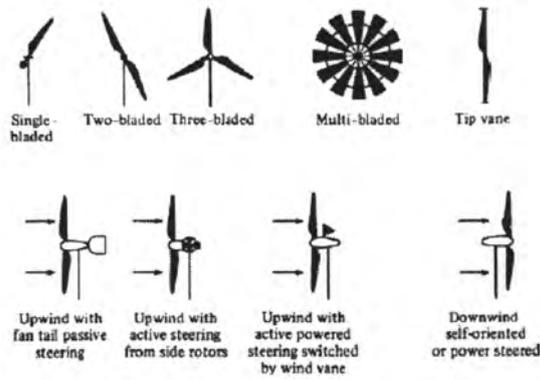


Figura 4.20: Tipos de turbinas <sup>[2]</sup>.

#### 4.6 a) Curva de potência de uma turbina eólica

As curvas de potência de uma turbina eólica são gráficos que indicam a potência eléctrica produzida pela turbina, a diferentes velocidades do vento.

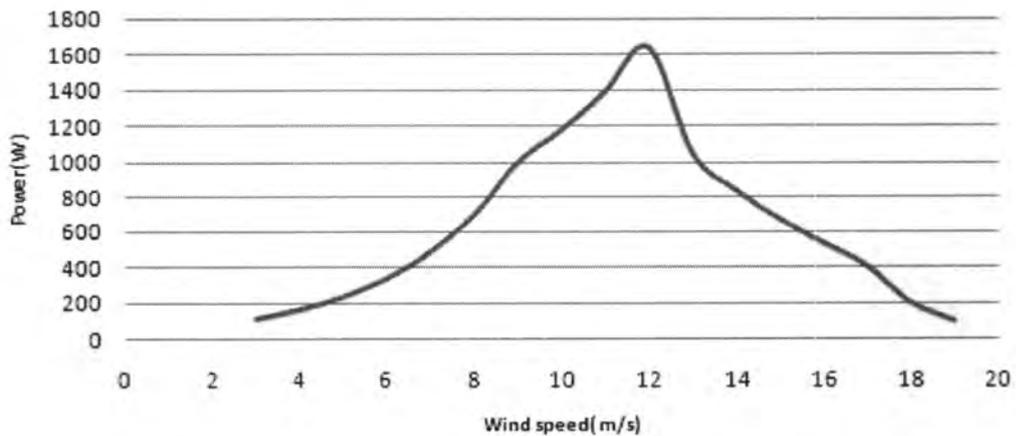


Figura 4.21: Curva de potência para a turbina A <sup>[36]</sup>.

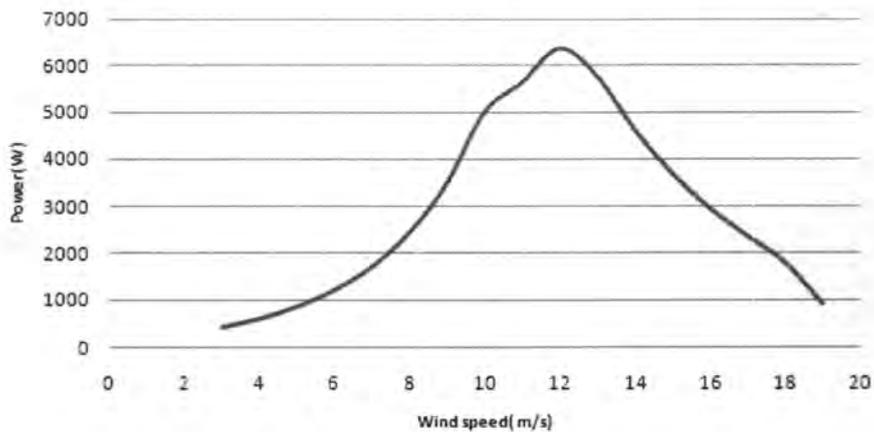


Figura 4.22: Curva de potência para a turbina B <sup>[37]</sup>.

Através dos valores da velocidade do vento de cada estação na região de Évora <sup>[35]</sup> estudados, e posterior análise da curva de potência de cada turbina, foi possível obter um valor  $W_{\text{máx real}}$ .

Com a turbina respectiva, e com os valores indicados na página do fabricante <sup>[36]</sup> <sup>[37]</sup>, procedeu-se ao cálculo da área de varrimento correspondente.

Depois, através da fórmula:

$$W_{p \text{ máx}} = v_i^3 \rho A \text{ Betz} \quad (4.5)$$

obteve-se um valor  $P_{\text{máx}}$  para cada turbina, à velocidade média do vento nos locais considerados.

Em seguida, com a fórmula:

$$\text{Eficiência} = W_{p \text{ real}} / W_{p \text{ máx}} \quad (4.7)$$

foram obtidos valores de eficiência, na ordem dos **16 %** e **10 %**, respectivamente, para cada turbina.

Com os dados de cada turbina apresentados na página do fornecedor <sup>[36]</sup> <sup>[37]</sup>, foram calculadas as áreas de varrimento correspondentes, bem como a eficiência de cada uma. Os valores obtidos foram os seguintes:

<b>Turbina</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Eficiência (%)</b>
<b>A</b>	5,73	16
<b>B</b>	32,17	10

Tabela 4.5: Área (m<sup>2</sup>) e eficiência (%) de cada turbina analisada.

Assim, os valores anteriormente calculados de energia, para cada mês, altura e local, foram relacionados com a área e eficiência das turbinas, obtendo-se, assim, um valor de energia para cada turbina, local, altura e instalação.

Outro cálculo que foi necessário efectuar diz respeito ao CO<sub>2</sub> que se evita ser lançado para a atmosfera, e sendo necessário estimar a quantidade de energia que deixa de ser pedida à produção centralizada de energia eléctrica, foi usado o coeficiente de eficiência do transporte, tendo em conta as perdas nas linhas de transporte, e que é da ordem de 9 %<sup>[38]</sup>. Assim, cada valor mensal de energia obtido, após relação com a área e eficiência da turbina, foi dividido por 0,91, correspondendo este valor à percentagem da corrente originária das centrais eléctricas que não é perdida no transporte nas linhas. Procedeu-se a esta divisão pois, se existem estas perdas no transporte, isso significa que, para se atingir um determinado potencial eólico teórico, é necessário uma produção centralizada extra de 9 %.

Para finalizar, após ponderação dos valores mensais de cada mês, local, altura e turbina com as perdas da linha, pretendeu-se tentar aferir a quantidade de CO<sub>2</sub> e outros gases com efeito de estufa que se evitariam lançar para a atmosfera.

Assim, e visto que por cada kWh de electricidade produzida numa central tendo como fonte qualquer energia não renovável se lançam aproximadamente 0,9 kg<sup>[39]</sup> (900 g) de gases para a atmosfera, os valores anteriores de energia foram divididos por 0,9; foram, portanto, obtidos valores de CO<sub>2</sub> evitados para a atmosfera, para cada local, altura e turbina, por ano.

## 4.6.1 Mitra

### 4.6.1.1 – 50 Metros

#### a) Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )

<b>Mês</b>	<b>Potência média por área de varrimento (<math>\text{Wm}^{-2}</math>)</b>
<i>Janeiro</i>	32,72
<i>Fevereiro</i>	54,99
<i>Março</i>	87,22
<i>Abril</i>	52,09
<i>Mai</i>	55,39
<i>Junho</i>	70,86
<i>Julho</i>	99,60
<i>Agosto</i>	73,77
<i>Setembro</i>	34,51
<i>Outubro</i>	30,33
<i>Novembro</i>	47,99
<i>Dezembro</i>	34,79
	<b>674,26</b>

Tabela 4.6: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação da Mitra, a 50 m.

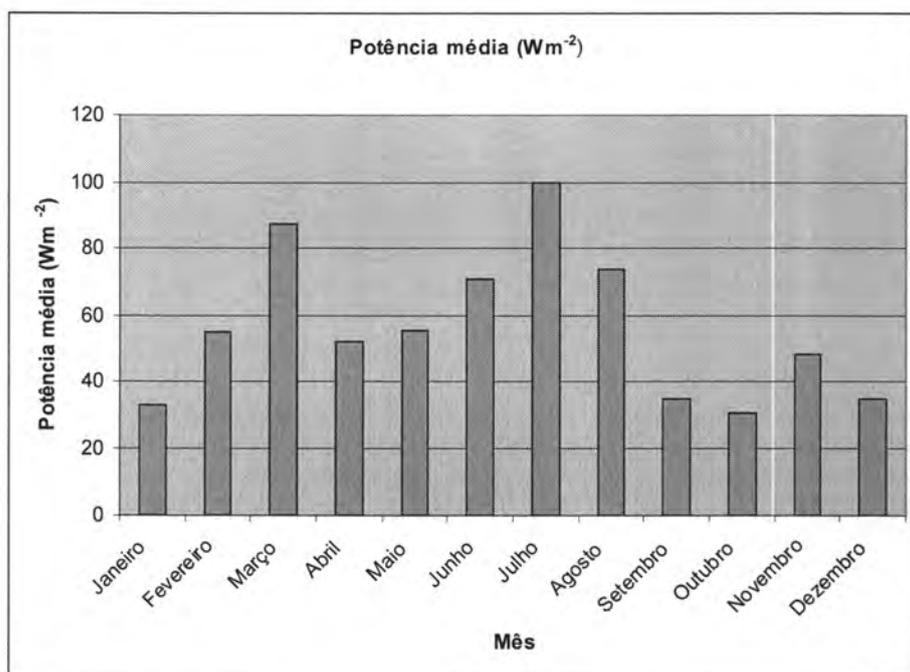


Figura 4.23: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação da Mitra, a 50 m.

**b) Energia por área de varrimento ( $\text{Whm}^{-2}$ )**

Mês	Energia por área de varrimento ( $\text{Whm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	12794
<i>Fevereiro</i>	25442
<i>Março</i>	49585
<i>Abril</i>	25749
<i>Mai</i>	31080
<i>Junho</i>	40128
<i>Julho</i>	63115
<i>Agosto</i>	42863
<i>Setembro</i>	15173
<i>Outubro</i>	14685
<i>Novembro</i>	25130
<i>Dezembro</i>	16896

**362639**

Tabela 4.7: Energia ( $\text{Whm}^{-2}$ ) mensal, para a estação da Mitra, a 50 m.

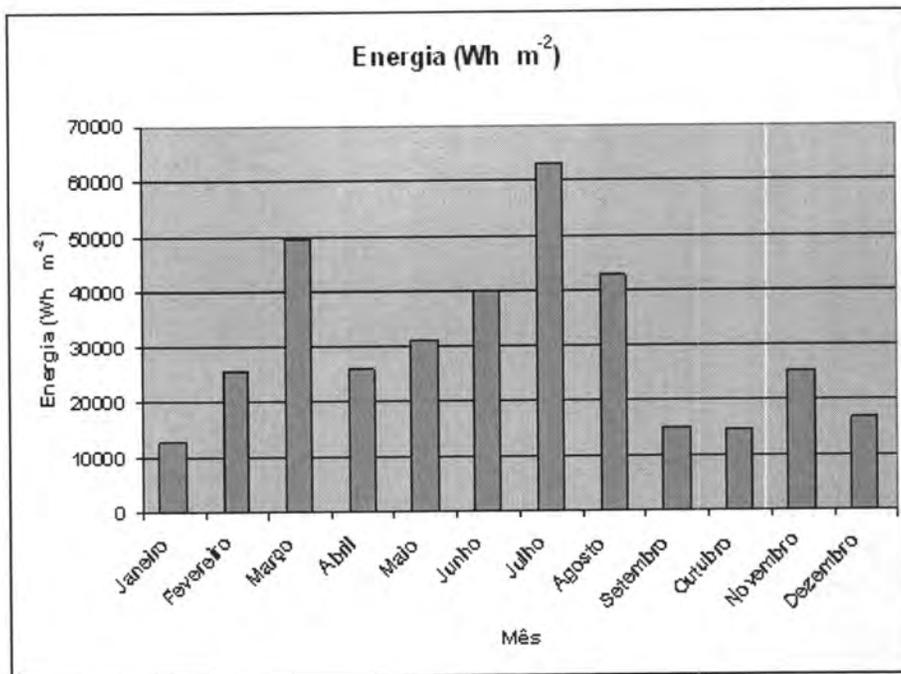


Figura 4.24: Energia ( $\text{Wh m}^{-2}$ ) mensal, para a estação da Mitra, a 50 m.

**c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)**

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	11729	39099
<i>Fevereiro</i>	23325	77754
<i>Março</i>	45459	151539
<i>Abril</i>	23607	78693
<i>Maió</i>	28494	94986
<i>Junho</i>	36790	122638
<i>Julho</i>	57864	192888
<i>Agosto</i>	39297	130995
<i>Setembro</i>	13911	46372
<i>Outubro</i>	13463	44879
<i>Novembro</i>	23040	76803
<i>Dezembro</i>	15490	51635
	<b>332468</b>	<b>1108281</b>

Tabela 4.8: Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 50 m.

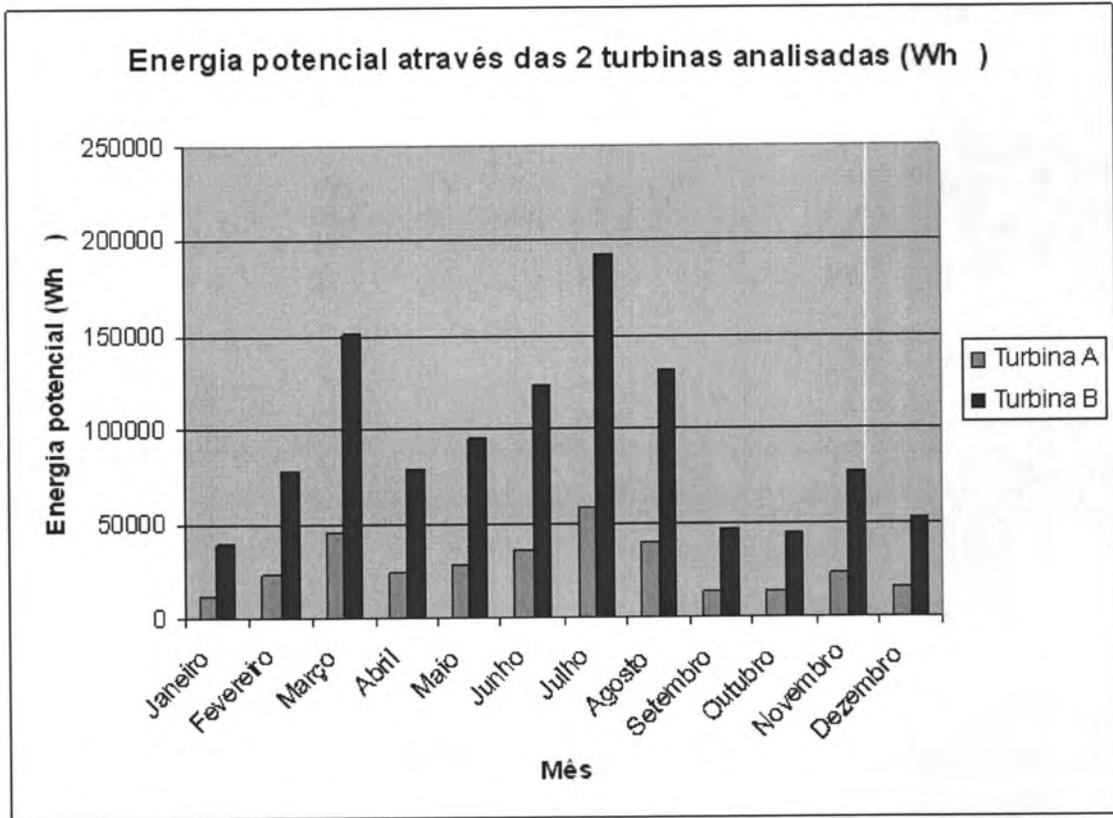


Figura 4.25: Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 50 m.

#### 4.6.1.2 – 30 Metros

##### a) Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )

Mês	Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	25,15
<i>Fevereiro</i>	42,98
<i>Março</i>	68,67
<i>Abril</i>	40,60
<i>Mai</i>	43,41
<i>Junho</i>	55,71
<i>Julho</i>	78,52
<i>Agosto</i>	57,94
<i>Setembro</i>	26,62
<i>Outubro</i>	23,33
<i>Novembro</i>	37,38
<i>Dezembro</i>	26,78
	<b>527,09</b>

Tabela 4.9: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação da Mitra, a 30 m.

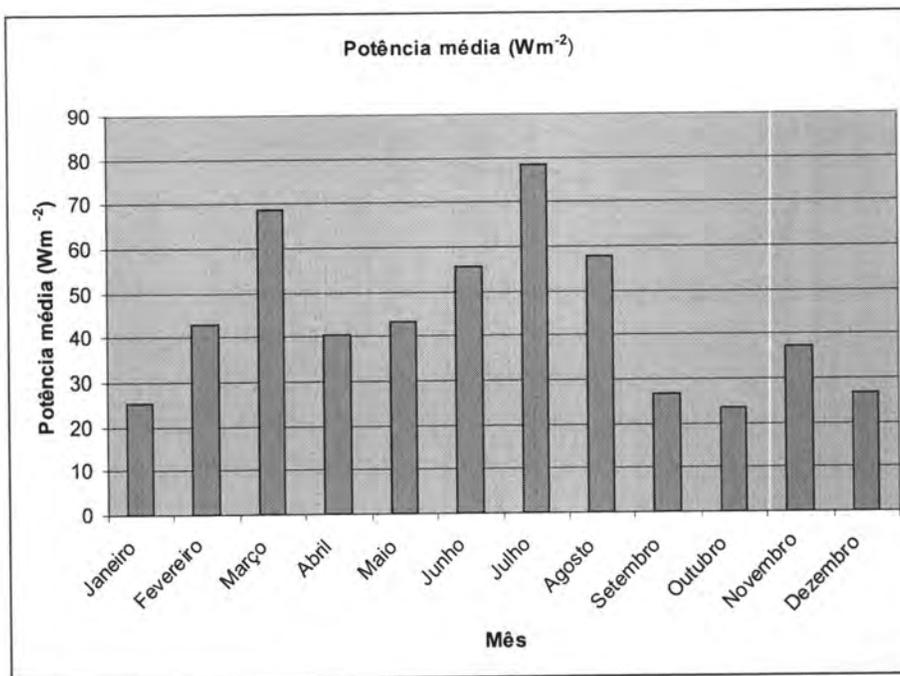


Figura 4.26: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação da Mitra, a 30 m.

**b) Energia por área de varrimento ( $\text{Whm}^{-2}$ )**

Mês	Energia por área de varrimento ( $\text{Whm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	8562
<i>Fevereiro</i>	18546
<i>Março</i>	37371
<i>Abril</i>	18364
<i>Maió</i>	23064
<i>Junho</i>	30157
<i>Julho</i>	47973
<i>Agosto</i>	31811
<i>Setembro</i>	10453
<i>Outubro</i>	10310
<i>Novembro</i>	18098
<i>Dezembro</i>	11652

**266361**

Tabela 4.10: Energia ( $\text{Whm}^{-2}$ ) mensal, para a estação da Mitra, a 30 m.

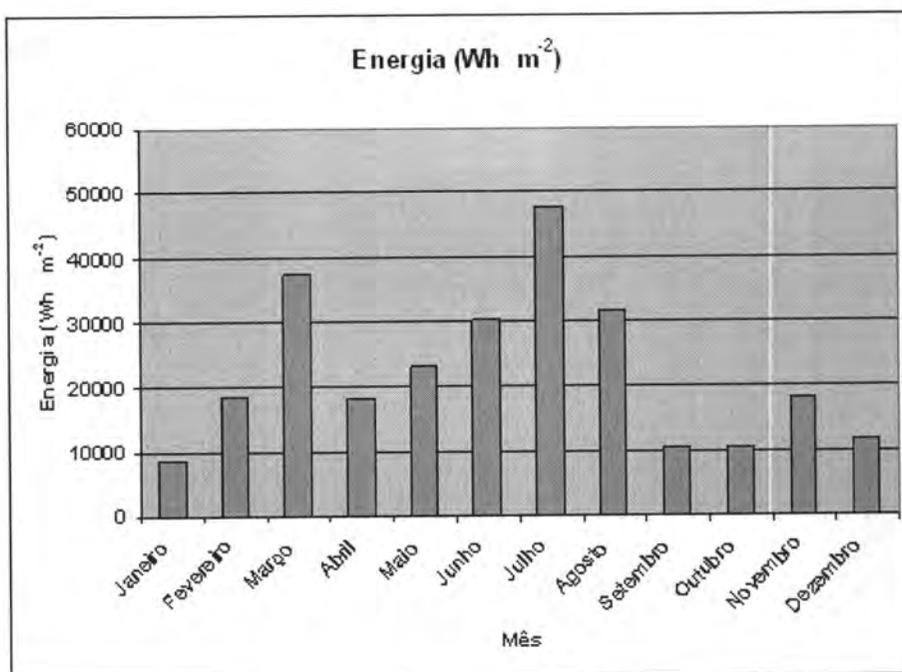


Figura 4.27: Energia ( $\text{Wh m}^{-2}$ ) mensal, para a estação da Mitra, a 30 m.

**c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)**

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	7850	26168
<i>Fevereiro</i>	17003	56679
<i>Março</i>	34261	114210
<i>Abril</i>	16836	56123
<i>Maio</i>	21145	70487
<i>Junho</i>	27648	92165
<i>Julho</i>	43981	146612
<i>Agosto</i>	29164	97220
<i>Setembro</i>	9584	31947
<i>Outubro</i>	9452	31509
<i>Novembro</i>	16592	55311
<i>Dezembro</i>	10683	35611
	<b>244200</b>	<b>814040</b>

Tabela 4.11: Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 30 m.

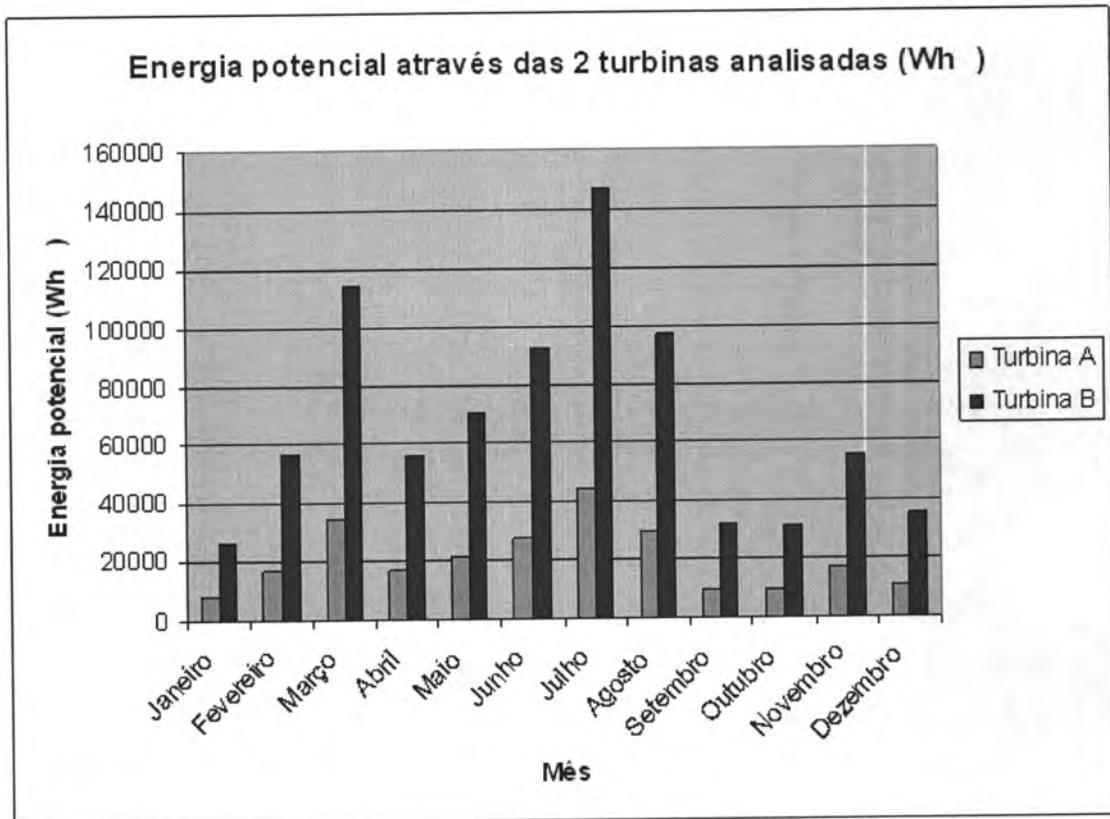


Figura 4.28: Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 30 m.

Para a estação da Mitra, o maior potencial verifica-se para os meses mais quentes, bem como Março. Existe uma distribuição relativamente uniforme dos valores, constatando-se Janeiro, Setembro e Outubro como os meses com os valores mais pequenos.

## 4.6.2 Portel

### 4.6.2.1 – 50 Metros

#### a) Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )

Mês	Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	35,41
<i>Fevereiro</i>	45,66
<i>Março</i>	90,92
<i>Abril</i>	43,15
<i>Mai</i>	45,68
<i>Junho</i>	86,77
<i>Julho</i>	129,56
<i>Agosto</i>	92,56
<i>Setembro</i>	33,77
<i>Outubro</i>	44,38
<i>Novembro</i>	46,13
<i>Dezembro</i>	35,96
	<b>729,95</b>

Tabela 4.12: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação de Portel, a 50 m.

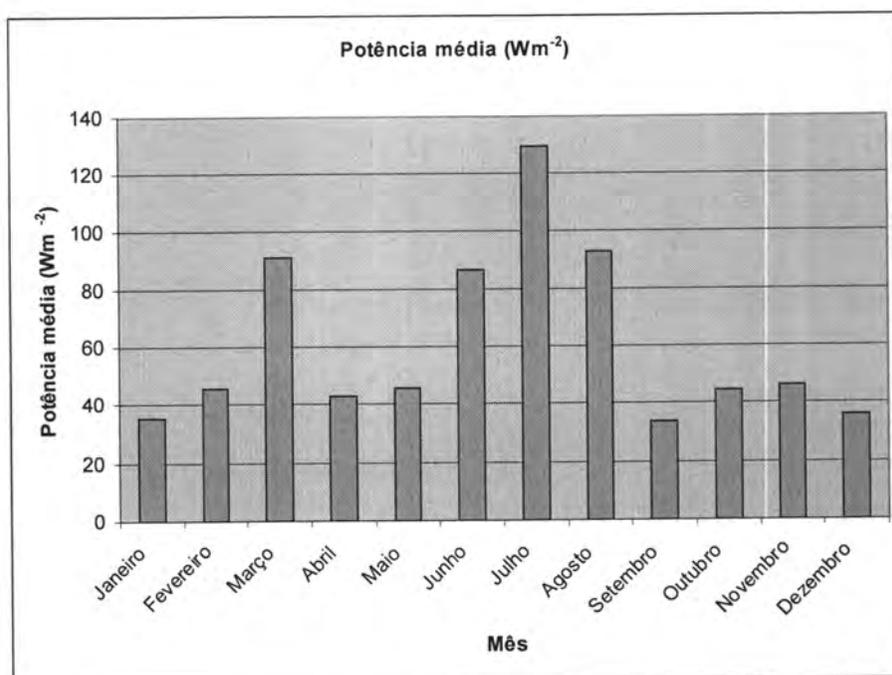


Figura 4.29: Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação de Portel, a 50 m.

**b) Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ )**

Mês	Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	9579
<i>Fevereiro</i>	18873
<i>Março</i>	45172
<i>Abril</i>	17204
<i>Mai</i>	22407
<i>Junho</i>	47708
<i>Julho</i>	79699
<i>Agosto</i>	49380
<i>Setembro</i>	10622
<i>Outubro</i>	16434
<i>Novembro</i>	14891
<i>Dezembro</i>	11609

**343578**

Tabela 4.13: Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação de Portel, a 50 m.

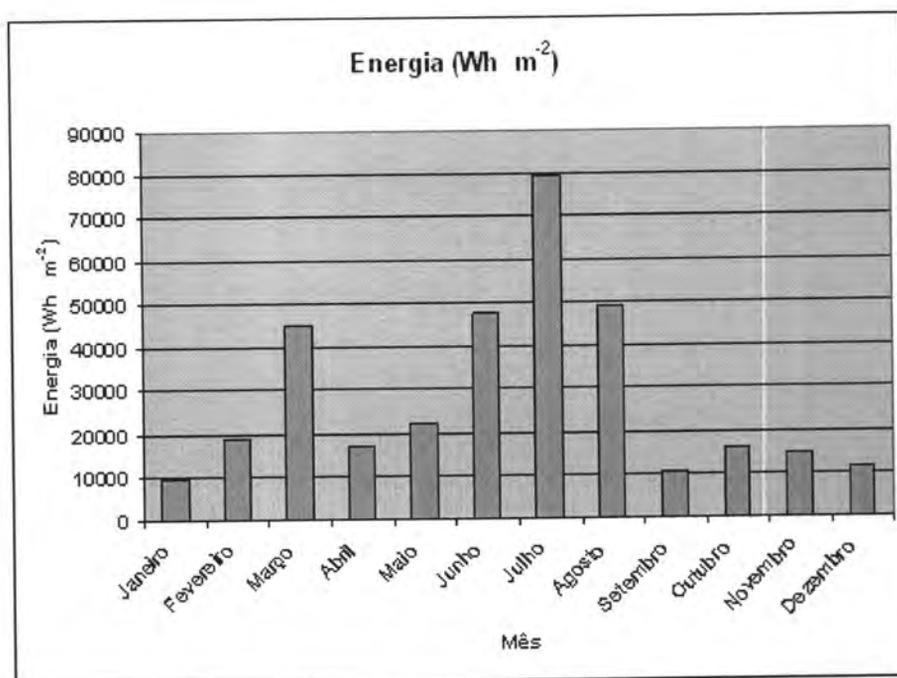


Figura 4.30: Energia (Whm<sup>-2</sup>) mensal, para a estação de Portel, a 50 m.

**c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)**

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	8782	29274
<i>Fevereiro</i>	17303	57680
<i>Março</i>	41414	138054
<i>Abril</i>	15772	52577
<i>Maió</i>	20543	68479
<i>Junho</i>	43739	145803
<i>Julho</i>	73068	243571
<i>Agosto</i>	45272	150914
<i>Setembro</i>	9738	32462
<i>Outubro</i>	15067	50225
<i>Novembro</i>	13652	45510
<i>Dezembro</i>	10643	35479
	<b>314993</b>	<b>1050027</b>

Tabela 4.14: Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 50 m.

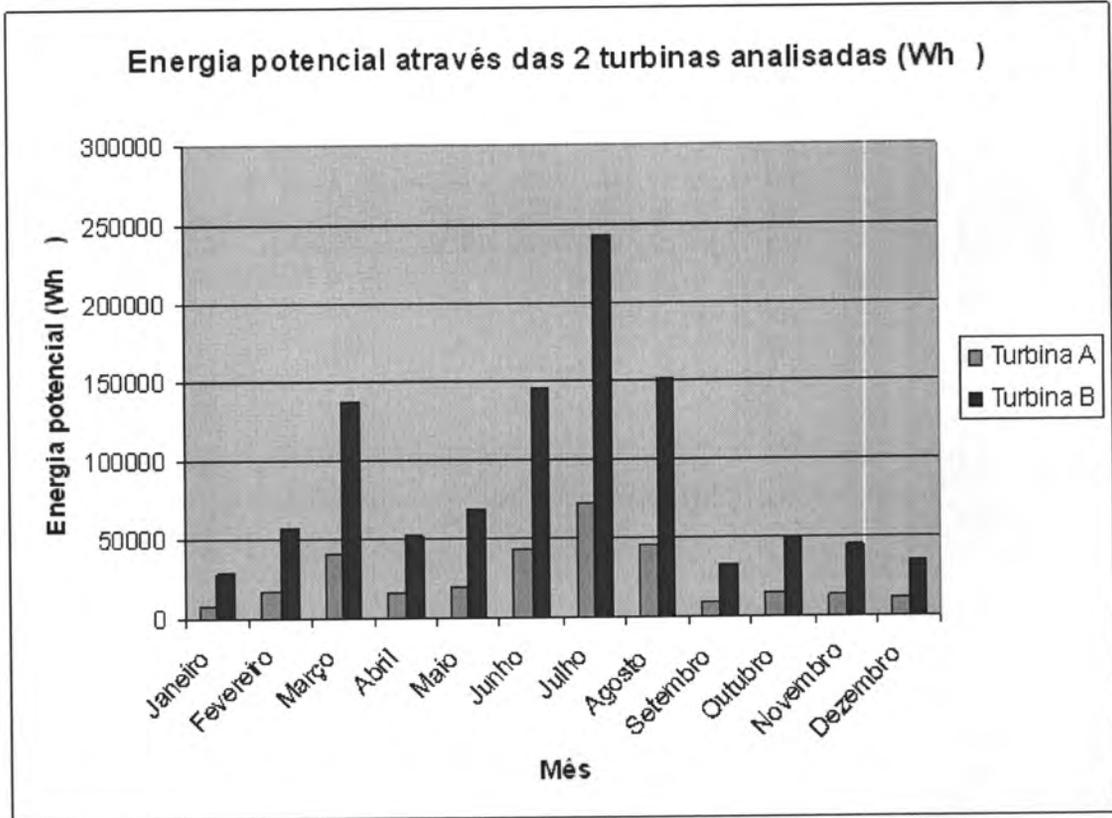


Figura 4.31: Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 50 m.

#### 4.6.2.2 – 30 Metros

##### a) Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )

Mês	Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	28,16
<i>Fevereiro</i>	36,29
<i>Março</i>	73,05
<i>Abril</i>	34,51
<i>Maio</i>	36,45
<i>Junho</i>	69,71
<i>Julho</i>	104,38
<i>Agosto</i>	74,41
<i>Setembro</i>	27,02
<i>Outubro</i>	35,50
<i>Novembro</i>	37,01
<i>Dezembro</i>	28,73

**585,20**

Tabela 4.15: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação de Portel, a 30 m.

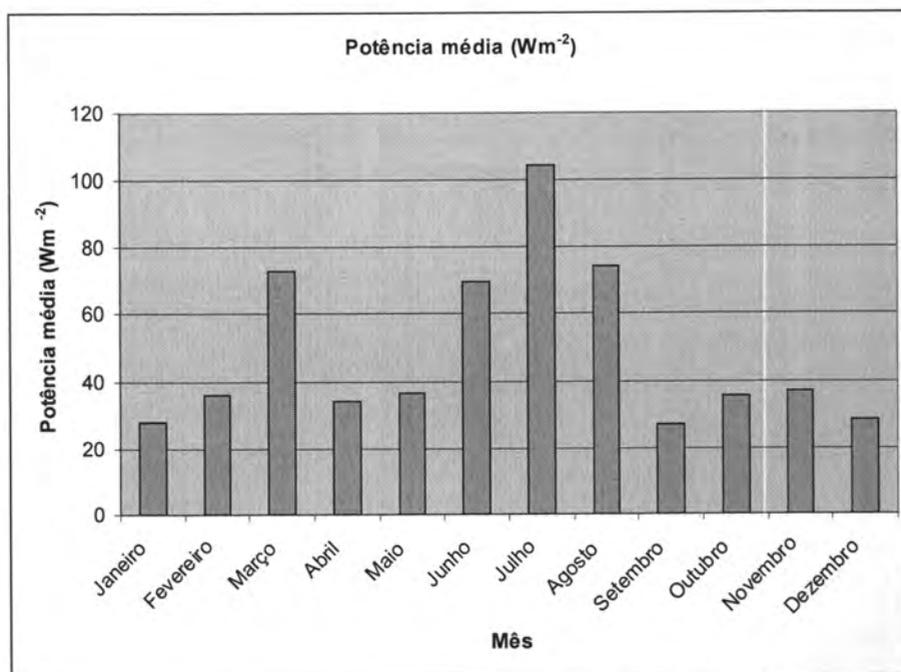


Figura 4.32: Potência média mensal (Wm<sup>-2</sup>), para a estação de Portel, a 30 m.

**b) Energia por área de varrimento (Whm<sup>-2</sup>)**

Mês	Energia por área de varrimento (Whm <sup>-2</sup> )
<i>Janeiro</i>	6800
<i>Fevereiro</i>	13704
<i>Março</i>	34514
<i>Abril</i>	13003
<i>Mai</i>	16811
<i>Junho</i>	36737
<i>Julho</i>	62645
<i>Agosto</i>	38074
<i>Setembro</i>	8038
<i>Outubro</i>	12324
<i>Novembro</i>	11394
<i>Dezembro</i>	8680

**262723**

Tabela 4.16: Energia (Whm<sup>-2</sup>) mensal, para a estação de Portel, a 30 m.

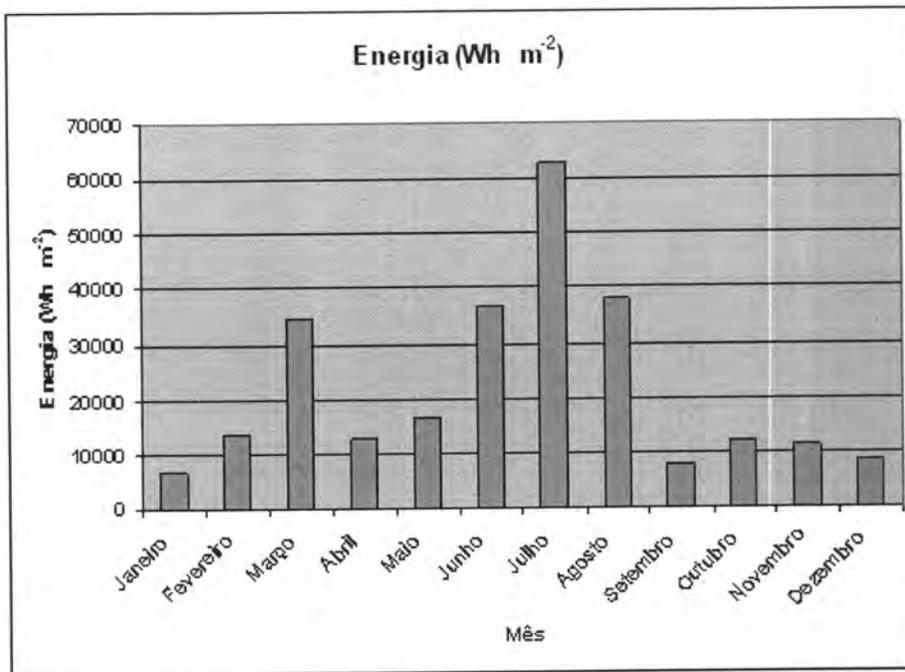


Figura 4.33: Energia ( $\text{Wh m}^{-2}$ ) mensal, para a estação de Portel, a 50 m.

**c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)**

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	6234	20781
<i>Fevereiro</i>	12564	41881
<i>Março</i>	31643	105481
<i>Abril</i>	11921	39739
<i>Maió</i>	15413	51378
<i>Junho</i>	33681	112275
<i>Julho</i>	57433	191451
<i>Agosto</i>	34906	116359
<i>Setembro</i>	7369	24565
<i>Outubro</i>	11298	37663
<i>Novembro</i>	10446	34821
<i>Dezembro</i>	7958	26528
	<b>240865</b>	<b>802922</b>

Tabela 4.17: Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 30 m.

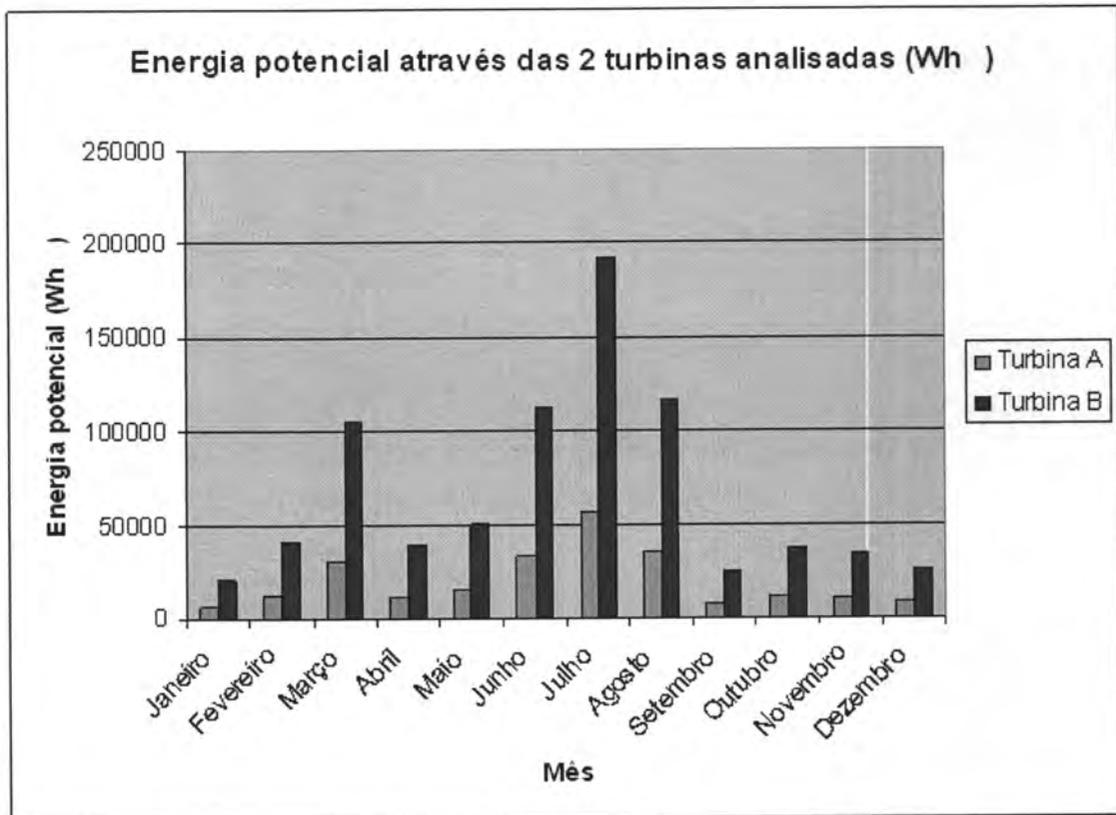


Figura 4.34: Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 30 m.

Na estação de Portel, a distribuição dos valores já não é tão uniforme como na Mitra; ainda assim, os valores superiores encontram-se, de igual modo, no Verão e Março, havendo, significativamente, um grande potencial em Julho. Os meses com menor potencial correspondem a Janeiro e Setembro.

### 4.6.3 Reguengos

#### 4.6.3.1 – 50 Metros

##### a) Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )

Mês	Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	87,39
<i>Fevereiro</i>	0,00
<i>Março</i>	0,00
<i>Abril</i>	0,00
<i>Mai</i>	0,00
<i>Junho</i>	0,00
<i>Julho</i>	15,78
<i>Agosto</i>	199,65
<i>Setembro</i>	119,83
<i>Outubro</i>	139,37
<i>Novembro</i>	253,10
<i>Dezembro</i>	218,50
	<b>1033,63</b>

Tabela 4.18: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação de Reguengos, a 50 m.

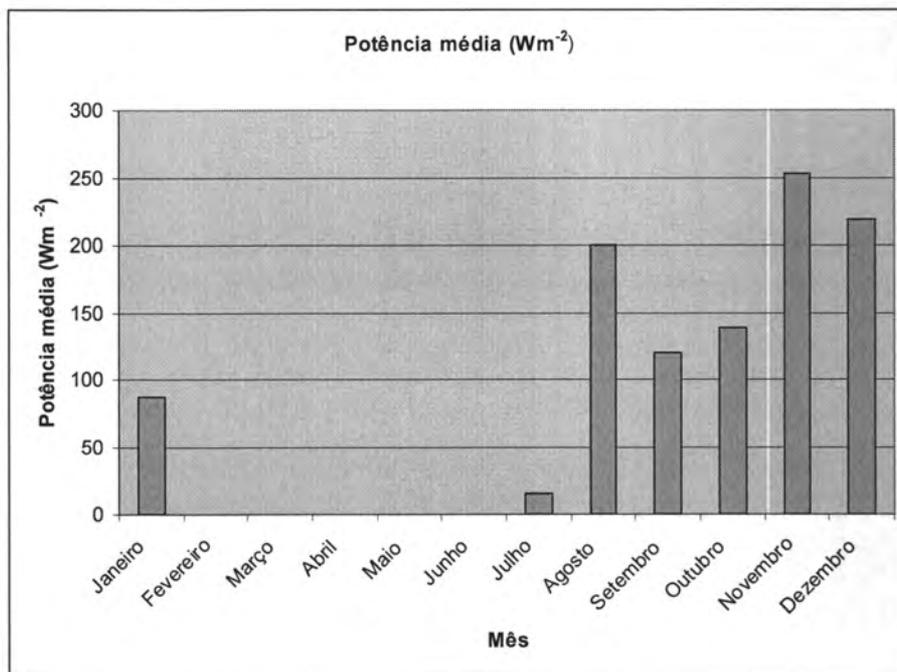


Figura 4.35: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação de Reguengos, a 50 m.

**b) Energia por área de varrimento ( $\text{Whm}^{-2}$ )**

Mês	Energia por área de varrimento ( $\text{Whm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	22691
<i>Fevereiro</i>	0
<i>Março</i>	0
<i>Abril</i>	0
<i>Maio</i>	0
<i>Junho</i>	0
<i>Julho</i>	858
<i>Agosto</i>	128178
<i>Setembro</i>	66805
<i>Outubro</i>	76099
<i>Novembro</i>	149710
<i>Dezembro</i>	129608

**573947**

Tabela 4.19: Energia ( $\text{Whm}^{-2}$ ) mensal, para a estação de Reguengos, a 50 m.

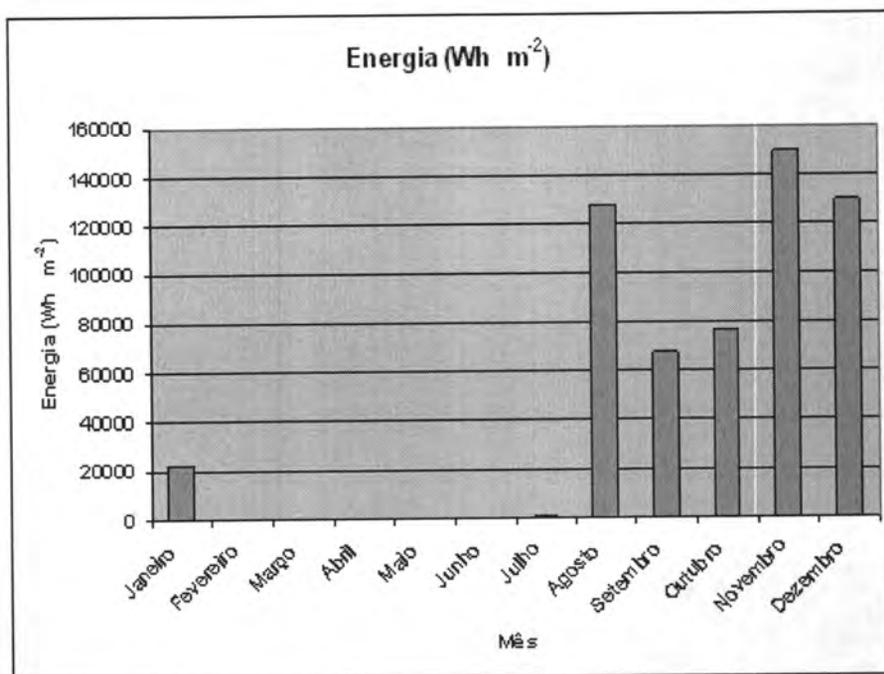


Figura 4.36: Energia (Whm<sup>-2</sup>) mensal, para a estação de Reguengos, a 50 m.

**c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)**

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	20803	69348
<i>Fevereiro</i>	0	0
<i>Março</i>	0	0
<i>Abril</i>	0	0
<i>Maió</i>	0	0
<i>Junho</i>	0	0
<i>Julho</i>	786	2621
<i>Agosto</i>	117513	391730
<i>Setembro</i>	61246	204165
<i>Outubro</i>	69767	232569
<i>Novembro</i>	137254	457535
<i>Dezembro</i>	118824	396101
	<b>526195</b>	<b>1754068</b>

Tabela 4.20: Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 50 m.

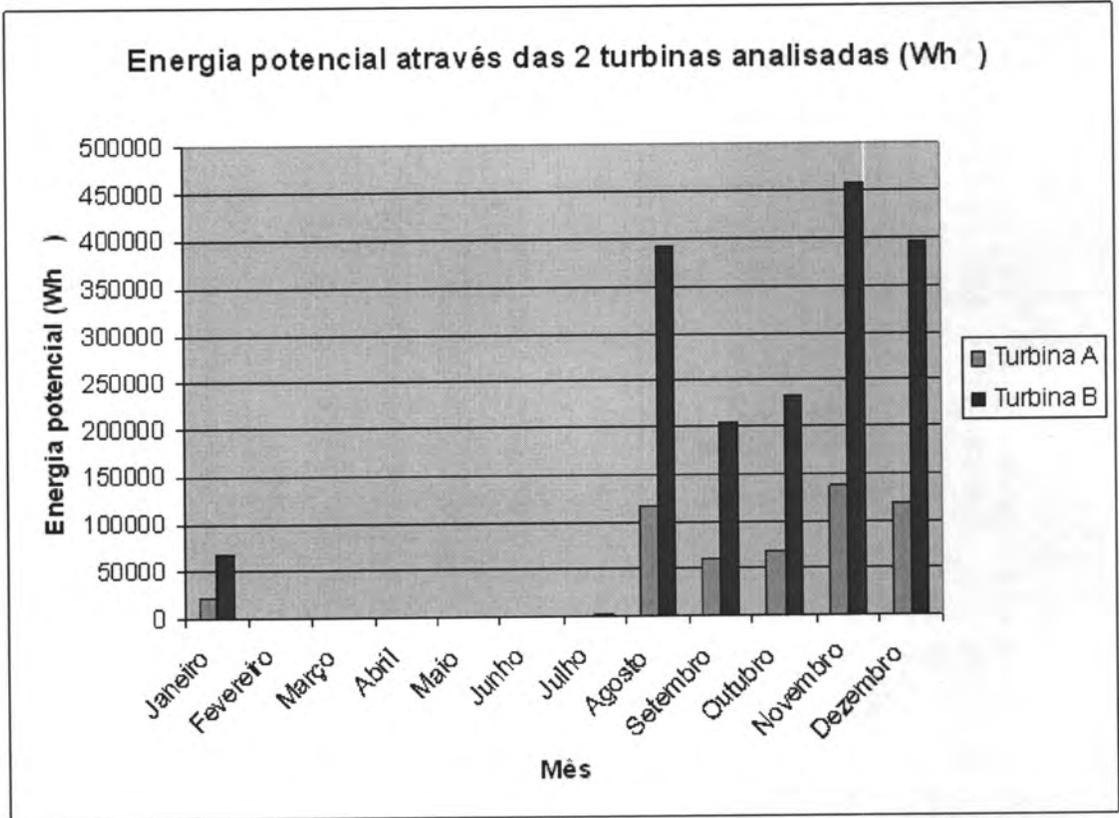


Figura 4.37: Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 50 m.

#### 4.6.3.2 – 30 Metros

##### a) Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )

Mês	Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	70,43
<i>Fevereiro</i>	0,00
<i>Março</i>	0,00
<i>Abril</i>	0,00
<i>Maio</i>	0,00
<i>Junho</i>	0,00
<i>Julho</i>	12,73
<i>Agosto</i>	160,94
<i>Setembro</i>	96,29
<i>Outubro</i>	112,23
<i>Novembro</i>	200,03
<i>Dezembro</i>	179,64
	<b>832,28</b>

Tabela 4.21: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação de Reguengos, a 30 m.

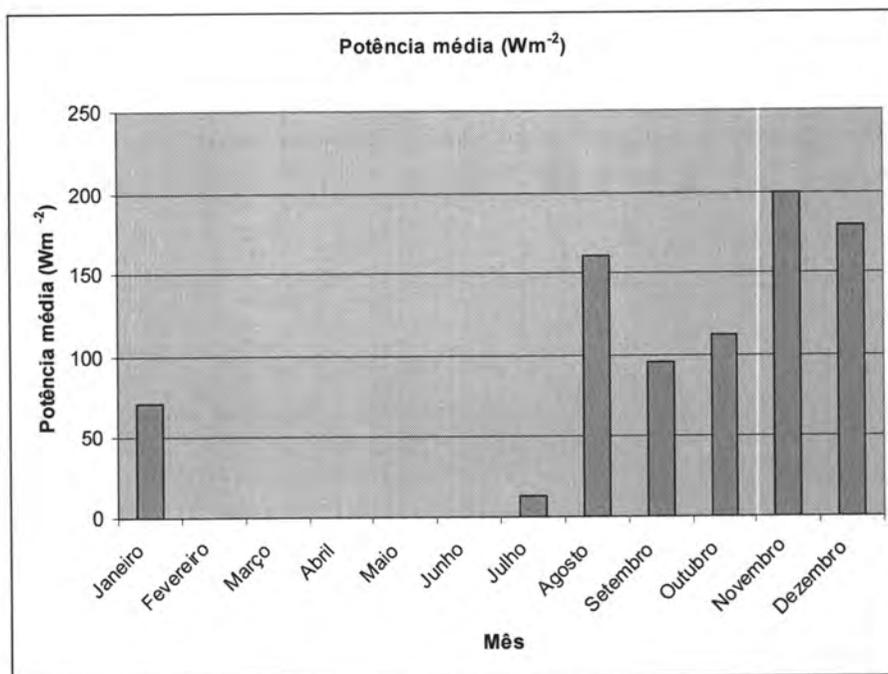


Figura 4.38: Potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ), para a estação da Reguengos, a 30 m.

**b) Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ )**

Mês	Energia por área de varrimento ( $Whm^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	17700
<i>Fevereiro</i>	0
<i>Março</i>	0
<i>Abril</i>	0
<i>Maio</i>	0
<i>Junho</i>	0
<i>Julho</i>	681
<i>Agosto</i>	100617
<i>Setembro</i>	50841
<i>Outubro</i>	58974
<i>Novembro</i>	115651
<i>Dezembro</i>	103141

**447605**

Tabela 4.22: Energia ( $Whm^{-2}$ ) mensal, para a estação de Reguengos, a 30 m.

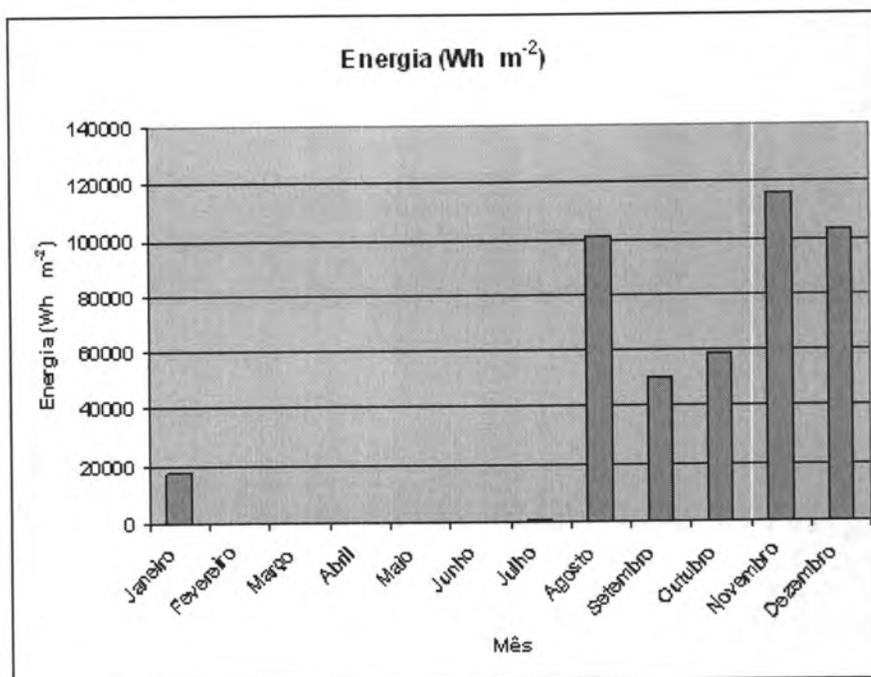


Figura 4.39: Energia (Whm<sup>-2</sup>) mensal, para a estação de Reguengos, a 30 m.

**c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)**

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	16228	54095
<i>Fevereiro</i>	0	0
<i>Março</i>	0	0
<i>Abril</i>	0	0
<i>Maio</i>	0	0
<i>Junho</i>	0	0
<i>Julho</i>	624	2081
<i>Agosto</i>	92246	307500
<i>Setembro</i>	46611	155378
<i>Outubro</i>	54068	180235
<i>Novembro</i>	106029	353446
<i>Dezembro</i>	94559	315213
	<b>410364</b>	<b>1367949</b>

Tabela 4.23: Energia potencial mensal através das 2 turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 30 m.

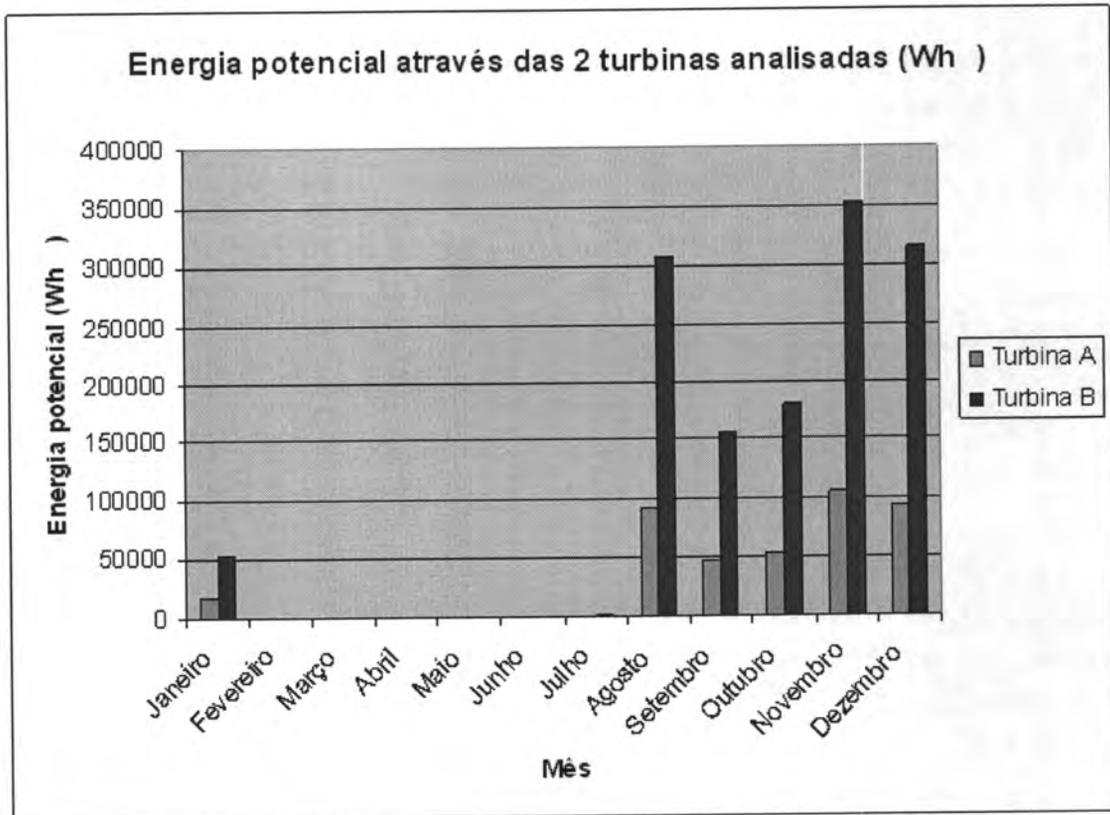


Figura 4.40: Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 30 m.

Reguengos é um caso curioso. Apesar de haver quase sete meses sem qualquer vento aproveitável, é o local com maior potencial. Ao contrário das outras estações, os meses com maiores valores correspondem a Novembro e Dezembro, tendo Agosto um potencial, também, bastante assinalável, chegando os valores a ultrapassar 300 kWh. De Fevereiro a Junho, incluindo ainda alguns dias de Julho, o potencial, nesta estação, é nulo.

#### 4.6.4 Verney

##### 4.6.4.1 – 50 Metros

##### a) Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )

<b>Mês</b>	<b>Potência média por área de varrimento (<math>\text{Wm}^{-2}</math>)</b>
<i>Janeiro</i>	46,55
<i>Fevereiro</i>	38,68
<i>Março</i>	111,99
<i>Abril</i>	59,02
<i>Mai</i>	61,24
<i>Junho</i>	62,73
<i>Julho</i>	109,24
<i>Agosto</i>	75,57
<i>Setembro</i>	25,72
<i>Outubro</i>	36,31
<i>Novembro</i>	44,86
<i>Dezembro</i>	49,36
	<b>721,28</b>

Tabela 4.24: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação do Verney, a 50 m.

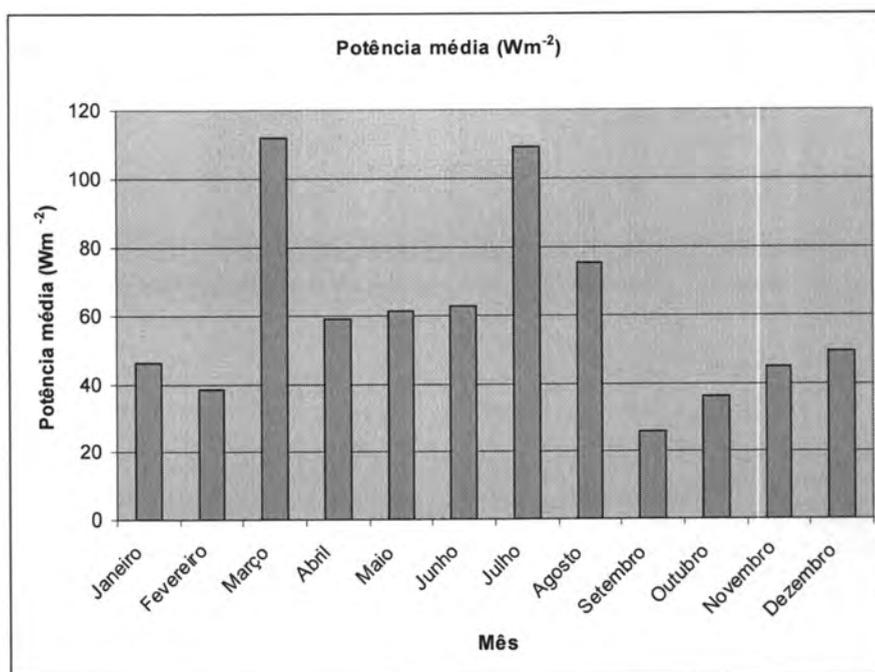


Figura 4.41: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação do Verney, a 50 m.

**b) Energia por área de varrimento ( $\text{Whm}^{-2}$ )**

Mês	Energia por área de varrimento ( $\text{Whm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	20389
<i>Fevereiro</i>	15886
<i>Março</i>	65607
<i>Abril</i>	31332
<i>Maio</i>	36561
<i>Junho</i>	34901
<i>Julho</i>	71150
<i>Agosto</i>	43804
<i>Setembro</i>	9395
<i>Outubro</i>	17273
<i>Novembro</i>	22708
<i>Dezembro</i>	25765

**394771**

Tabela 4.25: Energia ( $\text{Whm}^{-2}$ ) mensal, para a estação do Verney, a 50 m.

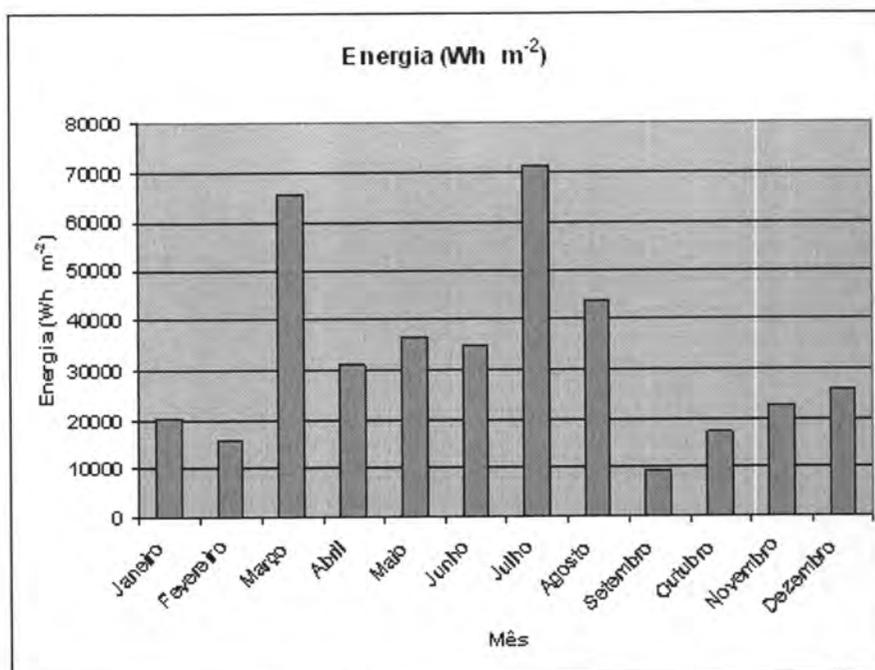


Figura 4.42: Energia ( $\text{Wh m}^{-2}$ ) mensal, para a estação do Verney, a 50 m.

**c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)**

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	18693	62312
<i>Fevereiro</i>	14564	48550
<i>Março</i>	60148	200504
<i>Abril</i>	28725	95756
<i>Maió</i>	33519	111735
<i>Junho</i>	31997	106663
<i>Julho</i>	65230	217444
<i>Agosto</i>	40160	133873
<i>Setembro</i>	8613	28712
<i>Outubro</i>	15836	52789
<i>Novembro</i>	20819	69399
<i>Dezembro</i>	23622	78742
	<b>361926</b>	<b>1206478</b>

Tabela 4.26: Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 50 m.

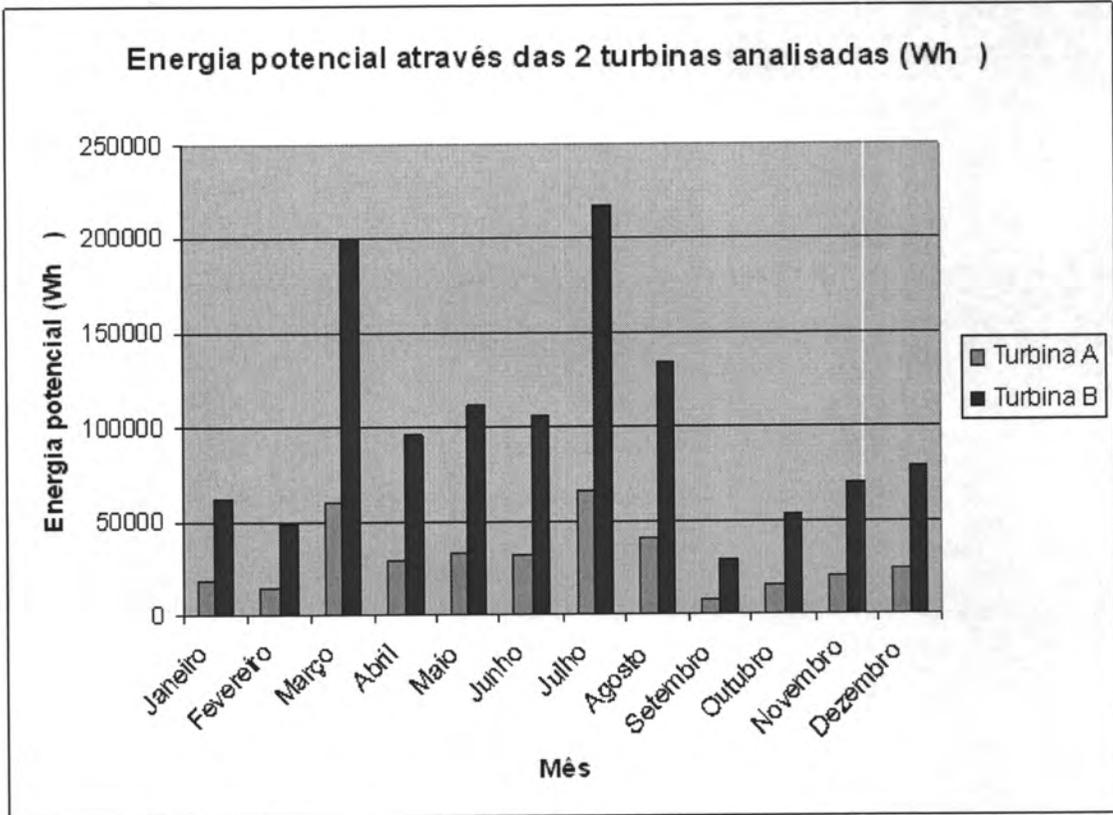


Figura 4.43: Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 50 m.

#### 4.6.4.2 – 30 Metros

##### a) Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )

Mês	Potência média por área de varrimento ( $\text{Wm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	32,68
<i>Fevereiro</i>	26,62
<i>Março</i>	79,62
<i>Abril</i>	41,50
<i>Mai</i>	43,09
<i>Junho</i>	44,21
<i>Julho</i>	77,86
<i>Agosto</i>	53,50
<i>Setembro</i>	17,68
<i>Outubro</i>	25,53
<i>Novembro</i>	31,35
<i>Dezembro</i>	34,69

**508,32**

Tabela 4.27: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação do Verney, a 30 m.

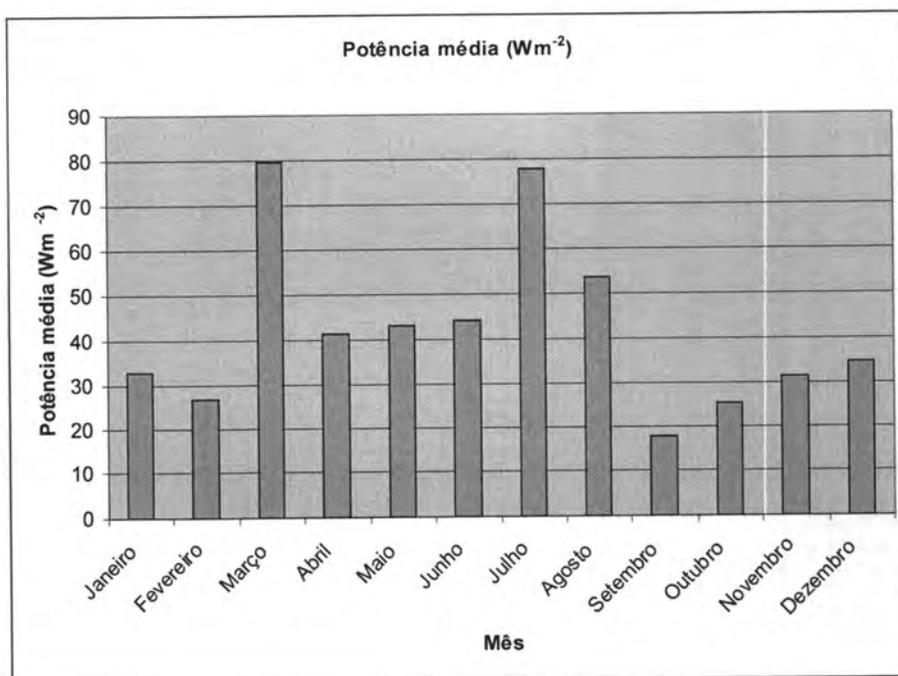


Figura 4.44: Potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ), para a estação do Verney, a 30 m.

**b) Energia por área de varrimento ( $\text{Whm}^{-2}$ )**

Mês	Energia por área de varrimento ( $\text{Whm}^{-2}$ )
<i>Janeiro</i>	12915
<i>Fevereiro</i>	9264
<i>Março</i>	44058
<i>Abril</i>	19960
<i>Maio</i>	23511
<i>Junho</i>	22613
<i>Julho</i>	49231
<i>Agosto</i>	28874
<i>Setembro</i>	5543
<i>Outubro</i>	10797
<i>Novembro</i>	14561
<i>Dezembro</i>	16617

**257944**

Tabela 4.28: Energia ( $\text{Whm}^{-2}$ ) mensal, para a estação do Verney, a 30 m.

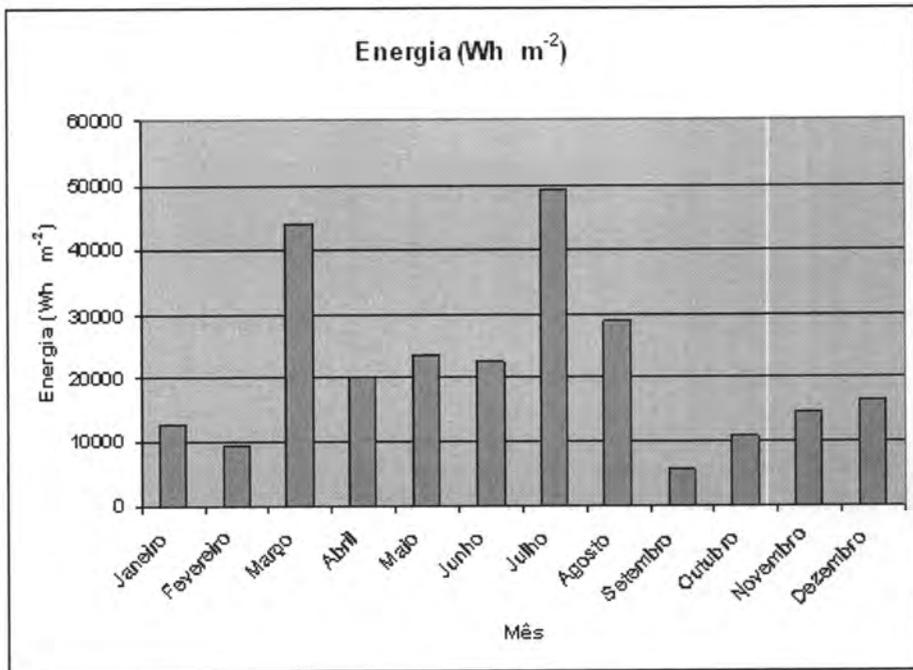


Figura 4.45: Energia (Whm<sup>-2</sup>) mensal, para a estação do Verney, a 30 m.

**c) Energia potencial disponível através da turbina A e B (Wh)**

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	11841	39470
<i>Fevereiro</i>	8493	28312
<i>Março</i>	40393	134648
<i>Abril</i>	18299	61001
<i>Maió</i>	21555	71852
<i>Junho</i>	20732	69109
<i>Julho</i>	45135	150456
<i>Agosto</i>	26472	88243
<i>Setembro</i>	5082	16940
<i>Outubro</i>	9899	32999
<i>Novembro</i>	13350	44501
<i>Dezembro</i>	15235	50785
	<b>236483</b>	<b>788316</b>

Tabela 4.29: Energia potencial mensal através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 30 m.

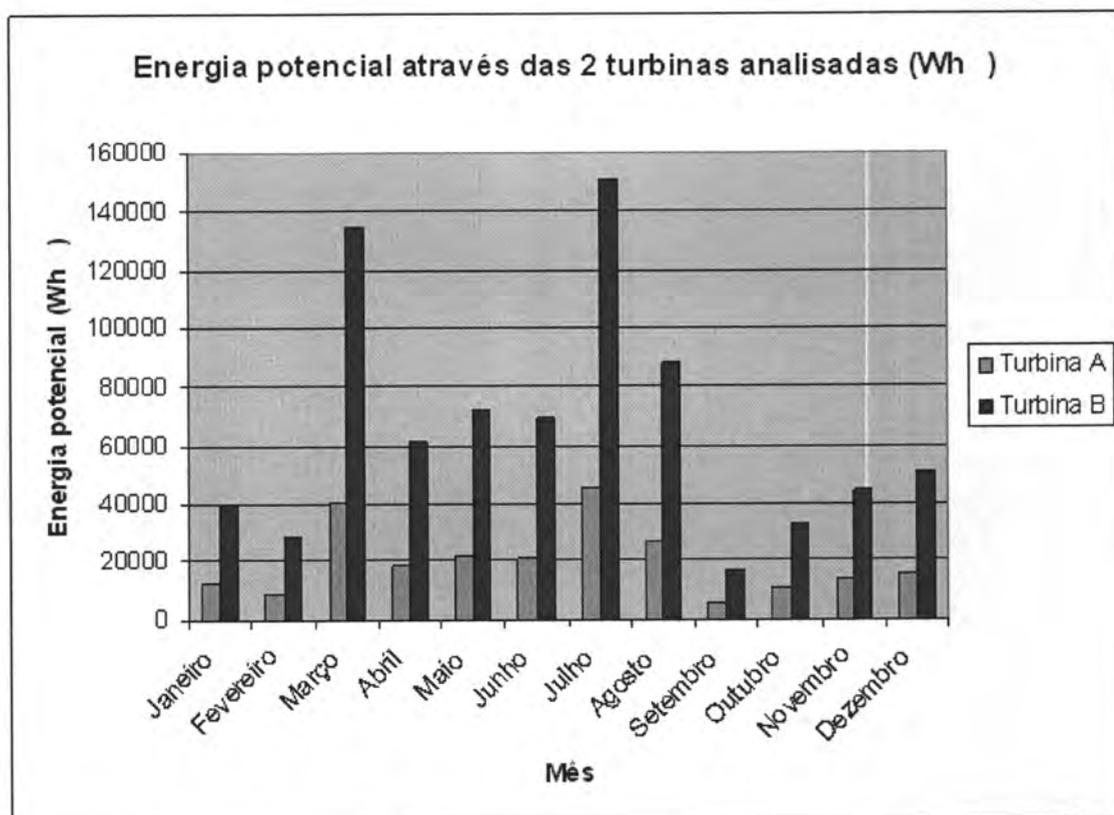


Figura 4.46: Energia potencial extraível através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 30 m.

No que diz respeito à estação do Verney, os valores são, como a Mitra e Portel, relativamente uniformes, com os valores superiores a verificarem-se nos meses de Março, Julho e Agosto. Os dois meses com potencial mais baixo são, de modo semelhante às duas primeiras estações estudadas, Fevereiro e Setembro, sendo que de Abril a Junho os valores ainda são relativamente aprazíveis.

#### 4.6.5 Potencial eólico de cada local, considerando as perdas da linha (9 %<sup>[38]</sup>)

##### 4.6.5.1 Mitra

##### 4.6.5.1.1 – 50 Metros

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	12889	42966
<i>Fevereiro</i>	25632	85444
<i>Março</i>	49955	166526
<i>Abril</i>	25941	86475
<i>Mai</i>	31312	104380
<i>Junho</i>	40428	134767
<i>Julho</i>	63586	211965
<i>Agosto</i>	43183	143951
<i>Setembro</i>	15287	50958
<i>Outubro</i>	14795	49318
<i>Novembro</i>	25318	84398
<i>Dezembro</i>	17022	56742

Tabela 4.30: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %).

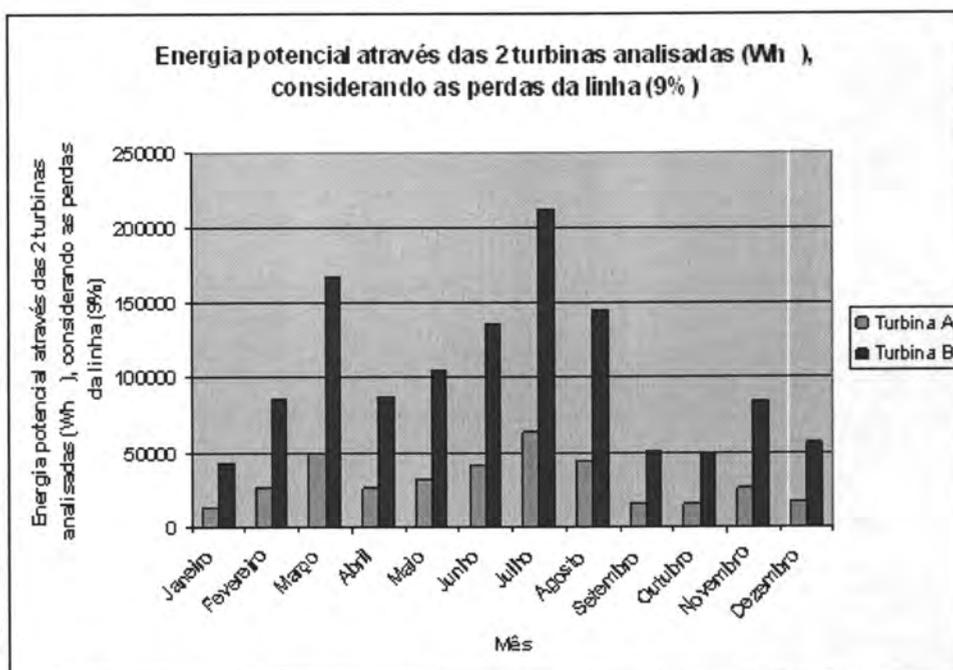


Figura 4.47: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação da Mitra, a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %).

#### 4.6.5.1.2 – 30 Metros

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	8626	28756
<i>Fevereiro</i>	18684	62284
<i>Março</i>	37650	125506
<i>Abril</i>	18501	61673
<i>Maió</i>	23236	77458
<i>Junho</i>	30383	101280
<i>Julho</i>	48331	161112
<i>Agosto</i>	32049	106835
<i>Setembro</i>	10531	35107
<i>Outubro</i>	10387	34625
<i>Novembro</i>	18233	60781
<i>Dezembro</i>	11739	39133

Tabela 4.31: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação da Mitra, a 30 m, considerando as perdas da linha (9 %).

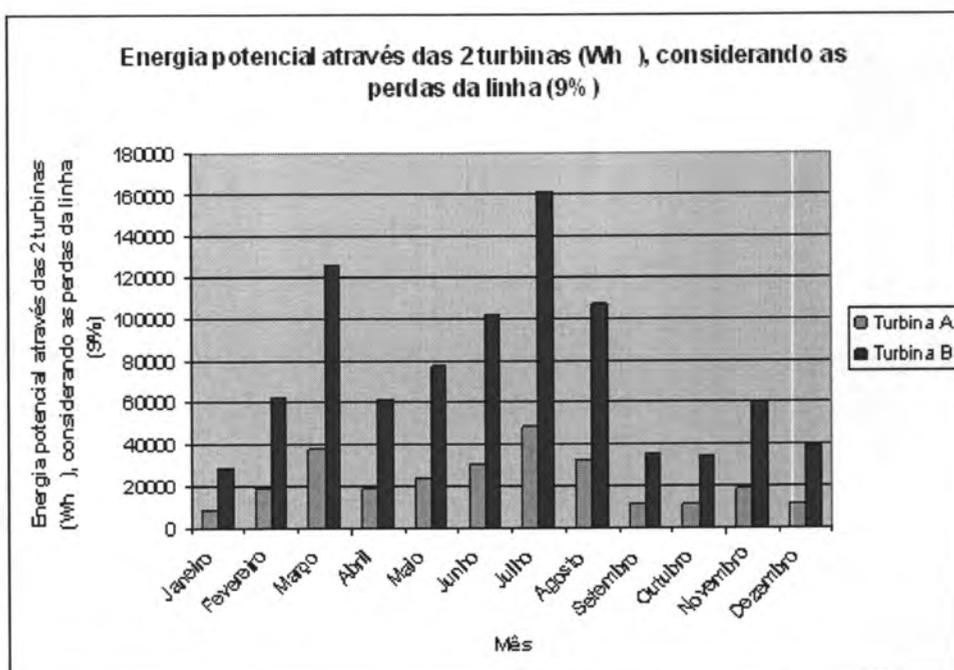


Figura 4.48: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação da Mitra, a 30 m, considerando as perdas da linha (9 %).

#### 4.6.5.2 Portel

##### 4.6.5.2.1 – 50 Metros

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	9650	32169
<i>Fevereiro</i>	19014	63384
<i>Março</i>	45510	151707
<i>Abril</i>	17332	57777
<i>Mai</i>	22574	75252
<i>Junho</i>	48065	160223
<i>Julho</i>	80294	267660
<i>Agosto</i>	49749	165839
<i>Setembro</i>	10701	35672
<i>Outubro</i>	16557	55193
<i>Novembro</i>	15002	50011
<i>Dezembro</i>	11696	38988

Tabela 4.32: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %).

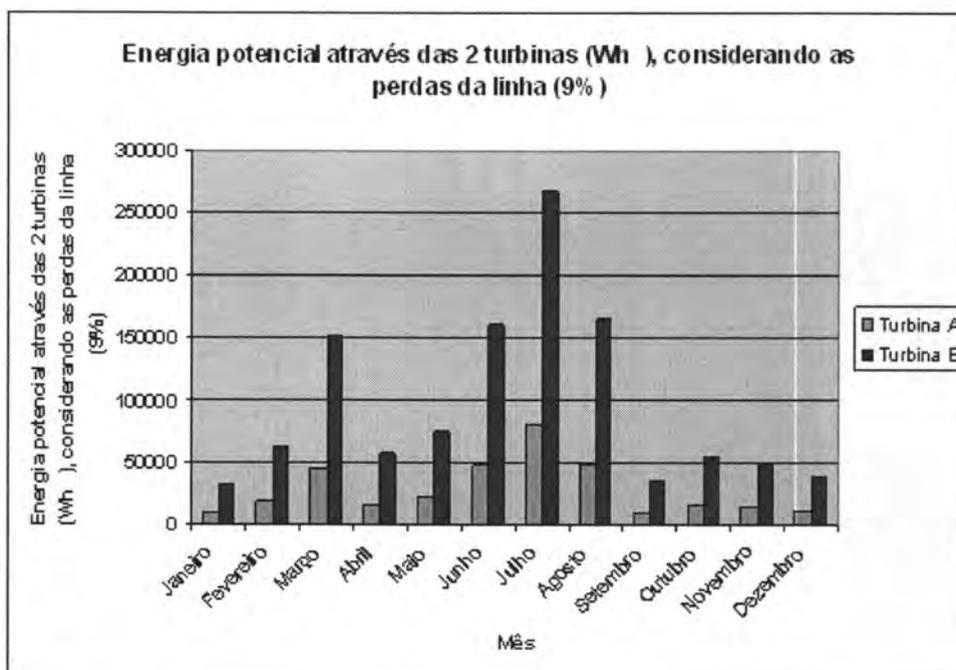


Figura 4.49: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação de Portel, a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %).

#### 4.6.5.2.2 – 30 Metros

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	6851	22836
<i>Fevereiro</i>	13806	46023
<i>Março</i>	34772	115914
<i>Abril</i>	13100	43669
<i>Maio</i>	16937	56460
<i>Junho</i>	37012	123379
<i>Julho</i>	63113	210386
<i>Agosto</i>	38358	127867
<i>Setembro</i>	8098	26994
<i>Outubro</i>	12416	41388
<i>Novembro</i>	11479	38265
<i>Dezembro</i>	8745	29151

Tabela 4.33: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Portel, a 30 m, considerando as perdas da linha (9 %).

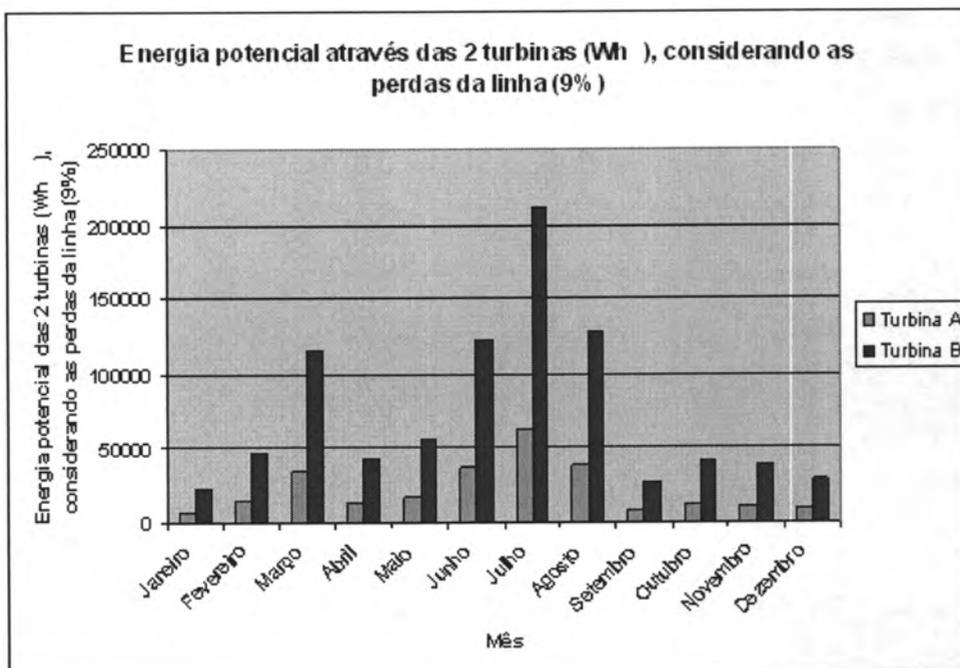


Figura 4.50: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação de Portel, a 30 m, considerando as perdas da linha (9%).

### 4.6.5.3 Reguengos

#### 4.6.5.3.1 – 50 Metros

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	22861	76207
<i>Fevereiro</i>	0	0
<i>Março</i>	0	0
<i>Abril</i>	0	0
<i>Maio</i>	0	0
<i>Junho</i>	0	0
<i>Julho</i>	864	2880
<i>Agosto</i>	129135	430473
<i>Setembro</i>	67304	224357
<i>Outubro</i>	76667	255570
<i>Novembro</i>	150828	502785
<i>Dezembro</i>	130576	435276

Tabela 4.34: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %).

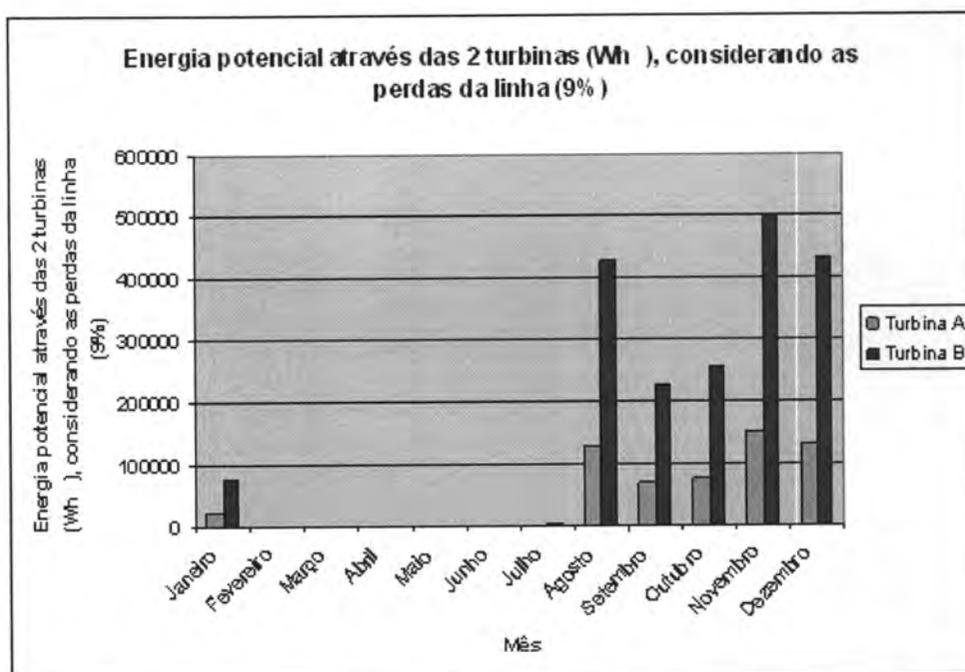


Figura 4.51: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação de Reguengos, a 50 m, considerando as perdas da linha (9%).

#### 4.6.5.3.2 – 30 Metros

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	17833	59445
<i>Fevereiro</i>	0	0
<i>Março</i>	0	0
<i>Abril</i>	0	0
<i>Maio</i>	0	0
<i>Junho</i>	0	0
<i>Julho</i>	686	2287
<i>Agosto</i>	101369	337912
<i>Setembro</i>	51221	170745
<i>Outubro</i>	59415	198060
<i>Novembro</i>	116515	388402
<i>Dezembro</i>	103911	346388

Tabela 4.35: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação de Reguengos, a 30 m, considerando as perdas da linha (9%).

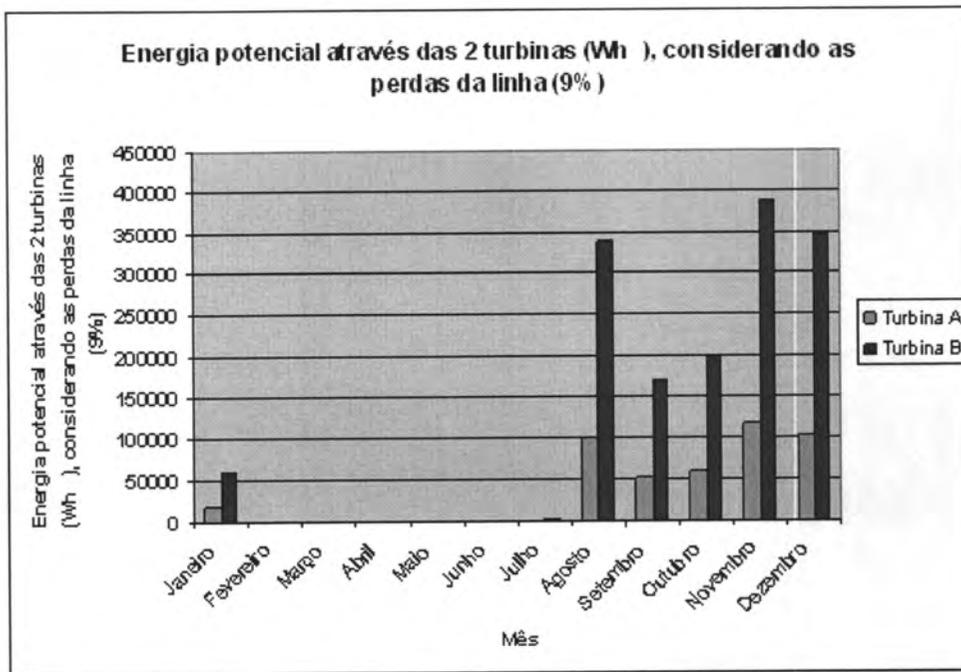


Figura 4.52: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação de Reguengos, a 30 m, considerando as perdas da linha (9%).

#### 4.6.5.4 Verney

##### 4.6.5.4.1 – 50 Metros

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	20541	68475
<i>Fevereiro</i>	16005	53351
<i>Março</i>	66097	220334
<i>Abril</i>	31566	105226
<i>Maio</i>	36834	122786
<i>Junho</i>	35162	117212
<i>Julho</i>	71681	238949
<i>Agosto</i>	44132	147113
<i>Setembro</i>	9465	31552
<i>Outubro</i>	17402	58010
<i>Novembro</i>	22878	76263
<i>Dezembro</i>	25958	86530

Tabela 4.36: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 50 m, considerando as perdas da linha (9 %).

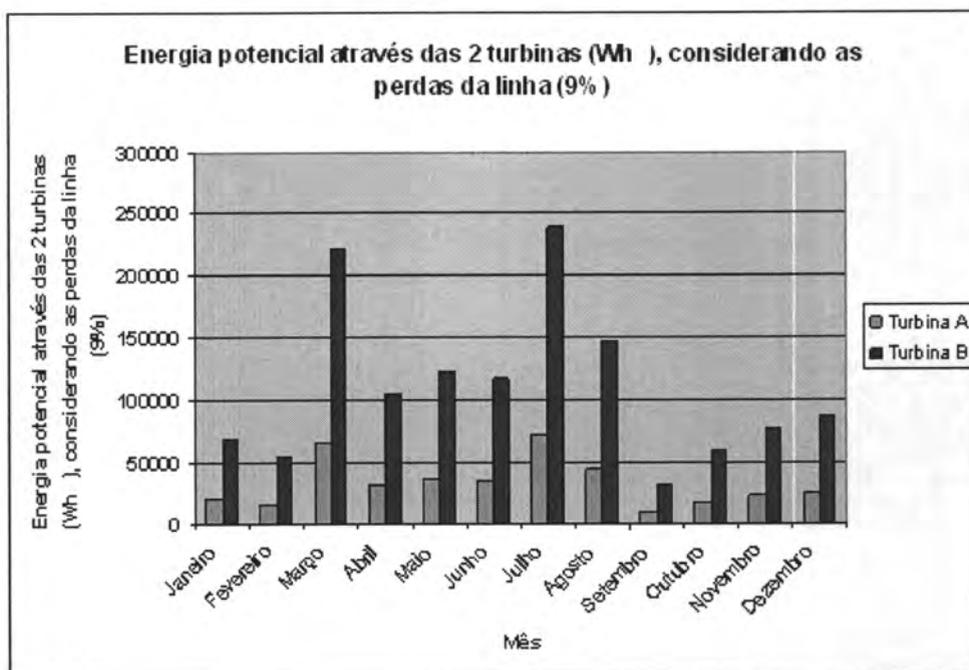


Figura 4.53: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação do Verney, a 50 m, considerando as perdas da linha (9%).

#### 4.6.5.4.2 – 30 Metros

Mês	Turbina A (Wh)	Turbina B (Wh)
<i>Janeiro</i>	13012	43374
<i>Fevereiro</i>	9333	31112
<i>Março</i>	44387	147965
<i>Abril</i>	20109	67034
<i>Maió</i>	23686	78958
<i>Junho</i>	22782	75944
<i>Julho</i>	49599	165337
<i>Agosto</i>	29090	96970
<i>Setembro</i>	5584	18616
<i>Outubro</i>	10878	36262
<i>Novembro</i>	14670	48902
<i>Dezembro</i>	16742	55808

Tabela 4.37: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas através das duas turbinas analisadas (Wh), para a estação do Verney, a 30 m, considerando as perdas da linha (9 %).

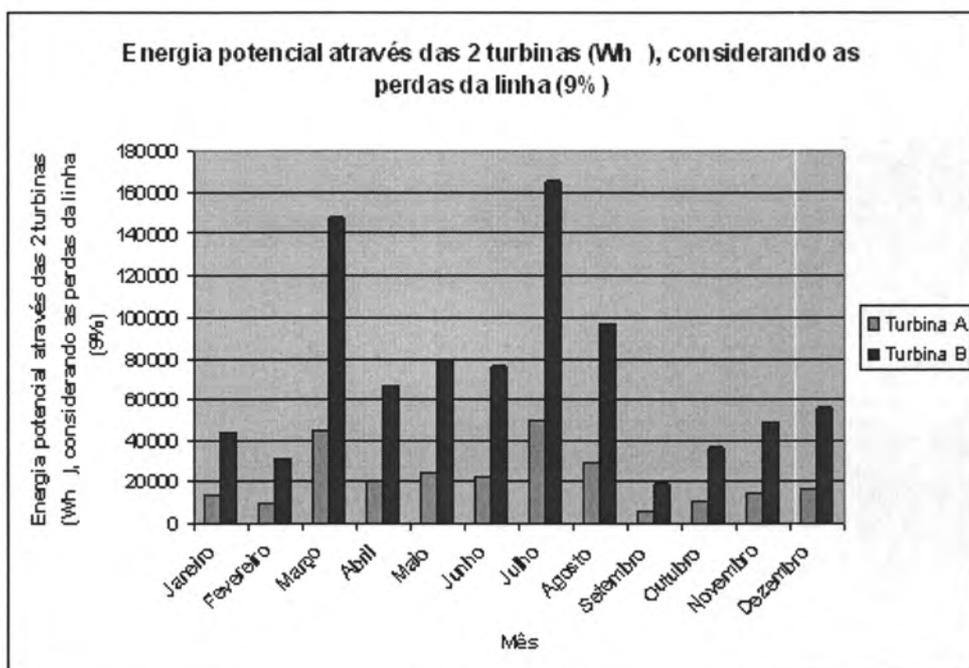


Figura 4.54: Energia potencial poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), com as duas turbinas, para a estação do Verney, a 30 m, considerando as perdas da linha (9%).

#### 4.6.5.5 Resumo dos valores obtidos para cada caso

<i>Factor de perda em linha</i>
<b>0,91</b>

		<b>Turbina A (Wh)</b>	<b>Turbina B (Wh)</b>
<b>Mitra</b>	<i>50 Metros</i>	365349	1217891
	<i>30 Metros</i>	268352	894550
<b>Portel</b>	<i>50 Metros</i>	346146	1153876
	<i>30 Metros</i>	264687	882332
<b>Reguengos</b>	<i>50 Metros</i>	578236	1927547
	<i>30 Metros</i>	450950	1503240
<b>Verney</b>	<i>50 Metros</i>	397720	1325800
	<i>30 Metros</i>	259872	866282

Tabela 4.38: Energia poupada com origem nas centrais eléctricas (Wh), para cada estação, altura e turbina, considerando as perdas da linha (9 %).

#### 4.7 Análise dos resultados obtidos

Através do estudo do potencial eólico obtido, e devido à análise do desempenho das duas turbinas para cada estação e altura em simultâneo, surge uma questão:

*Seria mais rentável colocar uma turbina com maior área de varrimento e potencial aproveitável em cada local ou várias turbinas de menores dimensões e menor potencial?*

A resposta surge através de uma análise dos preços de mercado para ambas as turbinas. Actualmente, constata-se os seguintes os preços praticados <sup>[40]</sup>:

<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Preço por unidade (€)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>1000W</b>	<i>Corpo da turbina</i>	514,64	514,64
	Torre <sup>[A]</sup> e	208,60 <sup>[A]</sup>	208,60
	acessórios <sup>[B]</sup>	472,50 <sup>[B]</sup>	472,50
	Controlador de conexão à rede	-	-
	<i>SMA</i>	-	859,60
<b>Total</b>			<b>2055,34</b>

Tabela 4.39: Preço, por componente, de uma turbina de 1000 W.

<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Preço por unidade (€)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>5000W</b>	<i>Corpo da turbina</i>	2793,00	2793,00
	Torre <sup>[A]</sup> e	490,00 <sup>[A]</sup>	490,00
	acessórios <sup>[B]</sup>	871,50 <sup>[B]</sup>	871,50
	Controlador de conexão à rede	-	588,00
	<i>SMA</i>	-	2572,50
<b>Total</b>			<b>7315,00</b>

Tabela 4.40: Preço, por componente, de uma turbina de 5000 W.

Pode inferir-se que o custo da instalação de uma turbina de 5000W é mais do triplo do que uma turbina de 1000W.

Assim, e analisando os dados potencial eólico obtidos para a região, consegue constatar-se, facilmente, que a relação entre as turbinas é, sensivelmente, 1/3.

Através dessa relação, fez-se uma comparação entre o preço da instalação de uma turbina de 5000W e três turbinas de 1000W.

Os resultados obtidos são apresentados nas tabelas 4.41 e 4.42:

<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Preço por unidade (€)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>1000W</b>	<i>Corpo da turbina</i>	514,64	1543,92
	Torre <sup>[A]</sup> e acessórios <sup>[B]</sup>	208,60 <sup>[A]</sup>	625,80
		472,50 <sup>[B]</sup>	1417,50
	Controlador de conexão à rede	-	-
	<i>SMA</i>	-	2578,80
<b>Total</b>			<b>6166,02</b>

Tabela 4.41: Preço total de três turbinas de 1000 W.

<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Preço por unidade (€)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>5000W</b>	<i>Corpo da turbina</i>	2793,00	2793,00
	Torre <sup>[A]</sup> e acessórios <sup>[B]</sup>	490,00 <sup>[A]</sup>	490,00
		871,50 <sup>[B]</sup>	871,50
	Controlador de conexão à rede	-	588,00
	<i>SMA</i>	-	2572,50
<b>Total</b>			<b>7315,00</b>

Tabela 4.42: Preço total de uma turbina de 5000 W.

Portanto, pode apurar-se que, com a instalação de três turbinas de 1000 W, relativamente a uma de 5000 W, se obtém praticamente a mesma potência eléctrica de origem eólica (devido à relação de 1/3), por menos 1148,98 €, em cada local.

Podia, efectivamente, argumentar-se que com uma turbina de 5000W se poderiam aproveitar velocidades superiores do vento; no entanto, devido a estas velocidades na região de Évora serem relativamente baixas comparadas com outros locais do país (nomeadamente junto à costa e zonas mais montanhosas), a turbina passaria muito tempo sem funcionar.

Logo, para além do factor financeiro mais atractivo na instalação das três turbinas, acresce a condição de uma turbina de 5000W passar bastante tempo parada, em comparação com as de 1000W. É certo que a área de varrimento da turbina mais potente é maior, mas a eficiência é quase metade da constatada pela menos potente (10% e 16%, respectivamente), sendo esse outro dos motivos pelo qual é mais atractivo, financeiramente, instalar as três turbinas menores.



## Capítulo 5

### Emissões de CO<sub>2</sub> – tecnologias associadas

Nos últimos anos, o desenvolvimento do aproveitamento da energia eólica em Portugal evoluiu de forma marcante. O volume de projectos assumido, quer pelas entidades governamentais quer pelos investidores em parques eólicos, prevê a instalação de 3750 MW até ao final de 2010, multiplicando por mais de dez vezes a actual capacidade. Apesar do crescimento previsível para os próximos anos neste sector, existem poucas ferramentas de planeamento de infra-estruturas e de identificação sistemática de locais que apresentem indicadores de elevado potencial eólico <sup>[9]</sup>.

Com base em estudos efectuados e nas novas tecnologias associadas à construção de aerogeradores, pode afirmar-se que Portugal apresenta condições para o cumprimento dos compromissos nacionais no âmbito da União Europeia (directiva comunitária na sequência da ratificação do protocolo de Quioto) a qual estabelece que 39 % da energia eléctrica utilizada deverá ser obtida por fontes de energia renováveis <sup>[9]</sup>.

A questão da emissão de gases para a atmosfera consequentes da evolução tecnológica e do crescimento da população, que originam o efeito de estufa e o aquecimento global do planeta, têm vindo desde há alguns anos a preocupar a população em geral e a comunidade científica mundial. Esta questão tornou-se central entre os investigadores, e desde o protocolo de Quioto, assumiu uma importante dimensão também para as entidades governamentais. O receio da responsabilização pelos efeitos da emissão de resíduos e produtos resultantes do incorrecto uso de recursos disponíveis levou a que alguns governantes, principalmente os europeus, dessem sinais claros de inquietação, originando uma reflexão sobre as políticas energéticas <sup>[9]</sup>. A procura do equilíbrio entre os interesses do desenvolvimento económico, indissociável da utilização da energia, e a preservação ambiental no sentido em que aqueles não deverão colocar em causa a qualidade de vida das gerações futuras, origina questões como a urgência e a sustentabilidade das opções energéticas, onde se coloca a possibilidade de as energias renováveis assumirem nalguns sectores um papel de destaque. Embora noutros sectores pareça incontornável a utilização de fontes convencionais de energia, a sua utilização deve também ser revista <sup>[41]</sup>.

## 5.1 Dados globais de potência instalada

### Capacidade instalada (MW)

Posição	País	2005	2006	2007
1	Alemanha	18415	20622	21283
2	Espanha	10028	11615	12801
3	EUA	9149	11603	12634
4	Índia	4430	6270	7231
5	Dinamarca (e Ilhas Feroé)	3136	3140	-
6	China	1260	2604	2956
7	Itália	1718	2123	-
8	Reino Unido	1332	1963	2191
9	<b>PORTUGAL</b>	<b>1022</b>	<b>1716</b>	<b>1874</b>
10	Canadá	683	1459	1670

Tabela 5.1 Distribuição da potência eólica mundial <sup>[1]</sup>.

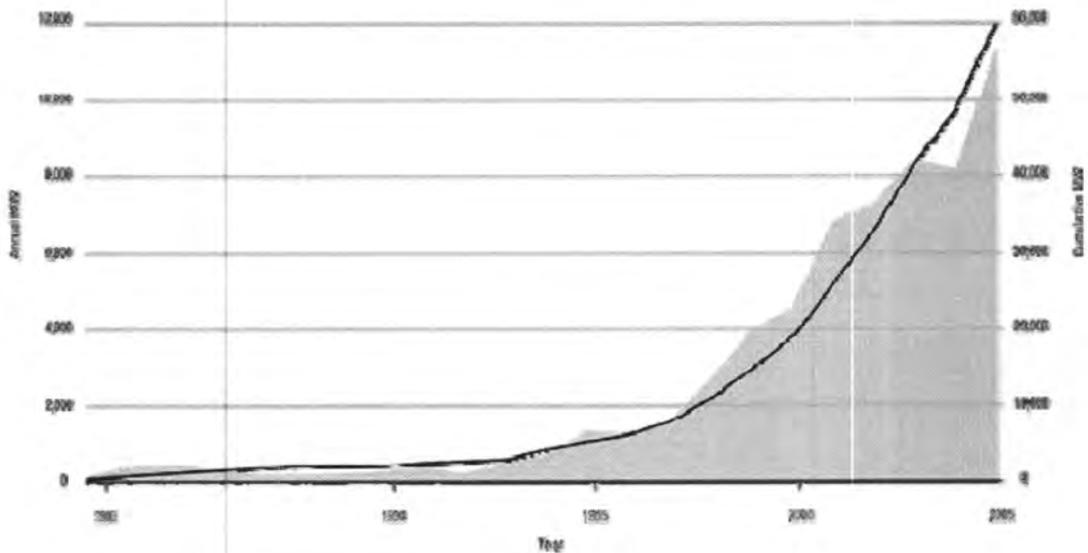


Figura 5.1: Total mundial da potência eólica instalada <sup>[1]</sup>.

## 5.2 Tecnologias em desenvolvimento para redução de custos

Comercialmente, a energia eólica é uma das fontes de obter electricidade mais económica, nos dias que correm. Em comparação com as estações geradoras a carvão ou instalações hidroeléctricas, as turbinas eólicas podem ser facilmente colocadas, rápida e economicamente. O equipamento actual é eficiente, altamente seguro e sem prejuízo para o ambiente <sup>[1]</sup>.

O vento, como se sabe, não é constante, mas considerando que a sociedade requer um fornecimento de electricidade constante, são sempre necessárias *estações-base* de armazenamento. O que o vento e outras energias renováveis fazem é suplementar estas estações e reduzir o consumo de carvão e, por conseguinte, gases de efeito de estufa e emissões de aerossóis <sup>[1]</sup>.

## 5.3 Factor de capacidade

O factor de capacidade, ou de carga, é a quantidade de tempo necessária para uma fonte de energia ser capaz de produzir electricidade. Uma estação a carvão tem uma capacidade de 65 % a 85 %, ou seja, é capaz de produzir durante 65 % a 85 % do tempo, sendo que o restante tempo é ocupado pela manutenção, greves, ... Uma turbina eólica, por seu lado, tem uma capacidade de aproximadamente 40 %, dependendo da quantidade de vento disponível <sup>[1]</sup>.

## 5.4 Poluição

As turbinas são colocadas nos locais mais adequados, de modo a rentabilizar a velocidade do vento: colinas, montes, ou amplos espaços abertos estão entre as mais propícias localizações. A poluição resulta apenas da concepção dos materiais e maquinaria e do uso de grandes equipamentos durante a montagem das torres <sup>[1]</sup>.

## 5.5 Redução potencial das emissões de CO<sub>2</sub> nos locais analisados

<i>Emissões CO<sub>2</sub>/kWh</i>
<b>0,9 kg<sup>[39]</sup></b>

### 5.5.1 Mitra

#### 5.5.1.1 – 50 Metros

<b>Mês</b>	<b>Turbina A (kg)</b>	<b>Turbina B (kg)</b>
<i>Janeiro</i>	11600	38669
<i>Fevereiro</i>	23069	76899
<i>Março</i>	44960	149873
<i>Abril</i>	23347	77828
<i>Mai</i>	28181	93942
<i>Junho</i>	36385	121290
<i>Julho</i>	57228	190769
<i>Agosto</i>	38865	129556
<i>Setembro</i>	13758	45862
<i>Outubro</i>	13315	44386
<i>Novembro</i>	22786	75959
<i>Dezembro</i>	15320	51068
	<b>328814</b>	<b>1096102</b>

Tabela 5.2: Kg de CO<sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação da Mitra, a 50 m.

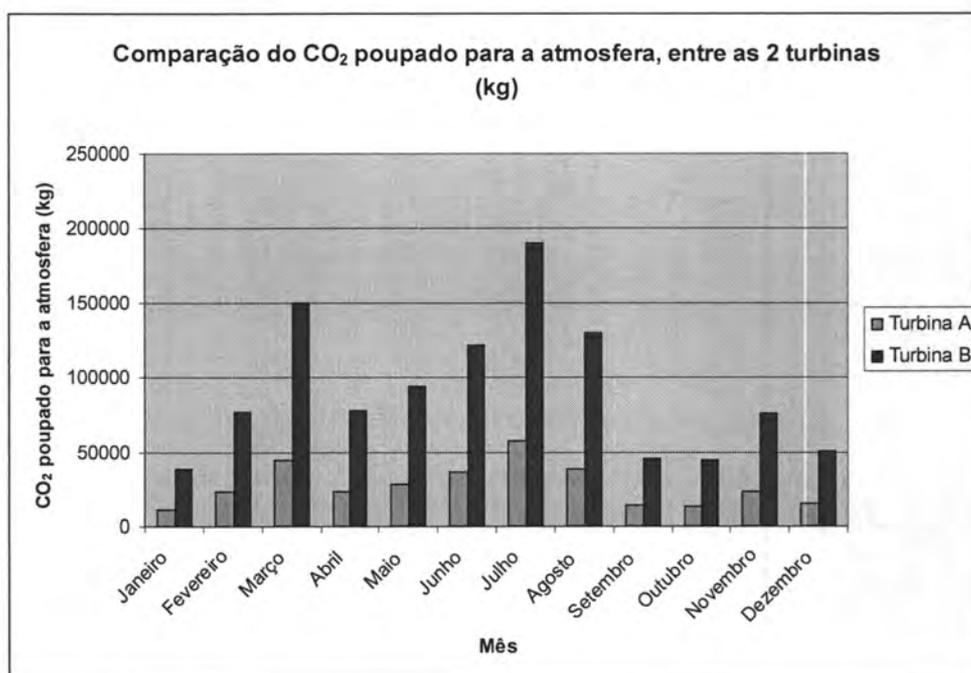


Figura 5.2: CO<sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação da Mitra, a 50 m.

#### 5.5.1.2 – 30 Metros

Mês	Turbina A (kg)	Turbina B (kg)
<i>Janeiro</i>	7764	25880
<i>Fevereiro</i>	16816	56056
<i>Março</i>	33885	112955
<i>Abril</i>	16651	55506
<i>Maio</i>	20913	69712
<i>Junho</i>	27344	91152
<i>Julho</i>	43498	145001
<i>Agosto</i>	28844	96151
<i>Setembro</i>	9478	31596
<i>Outubro</i>	9348	31162
<i>Novembro</i>	16410	54703
<i>Dezembro</i>	10565	35220
	<b>241517</b>	<b>805095</b>

Tabela 5.3: Kg de CO<sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação da Mitra, a 30 m.

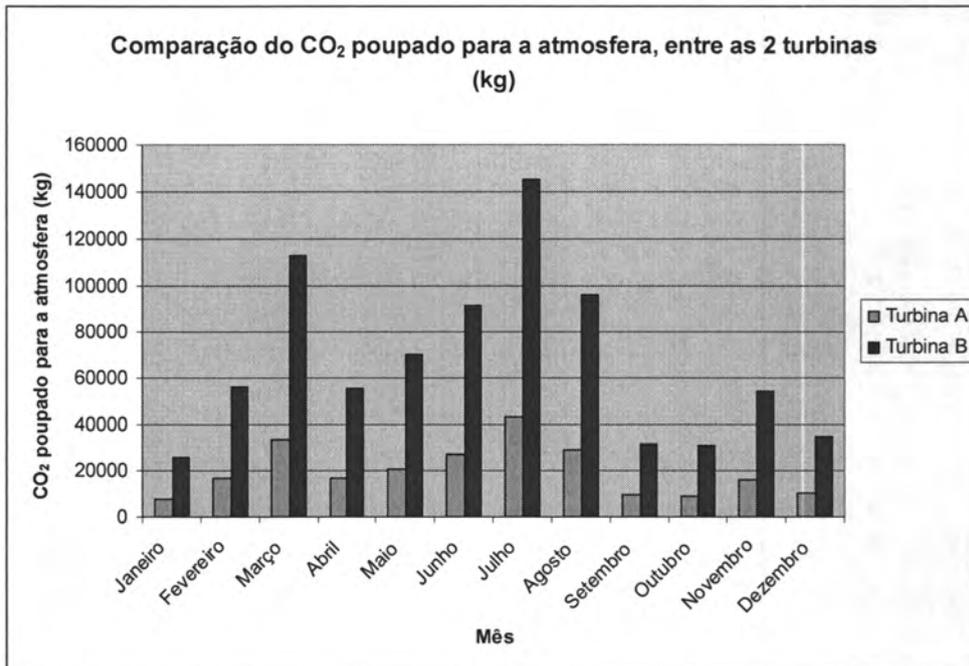


Figura 5.3: CO<sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação da Mitra, a 30 m.

## 5.5.2 Portel

### 5.5.2.1 – 50 Metros

Mês	Turbina A (kg)	Turbina B (kg)
<i>Janeiro</i>	8685	28952
<i>Fevereiro</i>	17113	57046
<i>Março</i>	40959	136537
<i>Abril</i>	15599	51999
<i>Mai</i>	20317	67727
<i>Junho</i>	43258	144201
<i>Julho</i>	72265	240894
<i>Agosto</i>	44774	149255
<i>Setembro</i>	9631	32105
<i>Outubro</i>	14901	49674
<i>Novembro</i>	13502	45009
<i>Dezembro</i>	10526	35089
	<b>311531</b>	<b>1038488</b>

Tabela 5.4: Kg de CO<sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação de Portel, a 50 m.

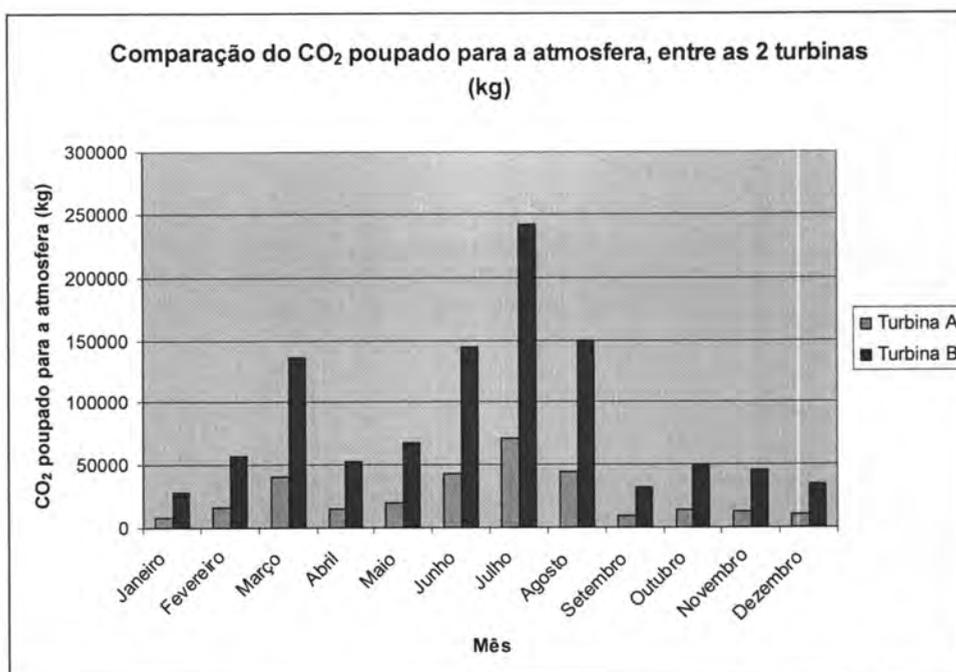


Figura 5.4: CO<sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação de Portel, a 50 m.

#### 5.5.2.2 – 30 Metros

Mês	Turbina A (kg)	Turbina B (kg)
<i>Janeiro</i>	6166	20553
<i>Fevereiro</i>	12426	41421
<i>Março</i>	31295	104322
<i>Abril</i>	11790	39302
<i>Maió</i>	15243	50814
<i>Junho</i>	33311	111041
<i>Julho</i>	56801	189347
<i>Agosto</i>	34522	115080
<i>Setembro</i>	7288	24295
<i>Outubro</i>	11174	37249
<i>Novembro</i>	10331	34439
<i>Dezembro</i>	7870	26236
	<b>238218</b>	<b>794099</b>

Tabela 5.5: Kg de CO<sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação de Portel, a 30 m.

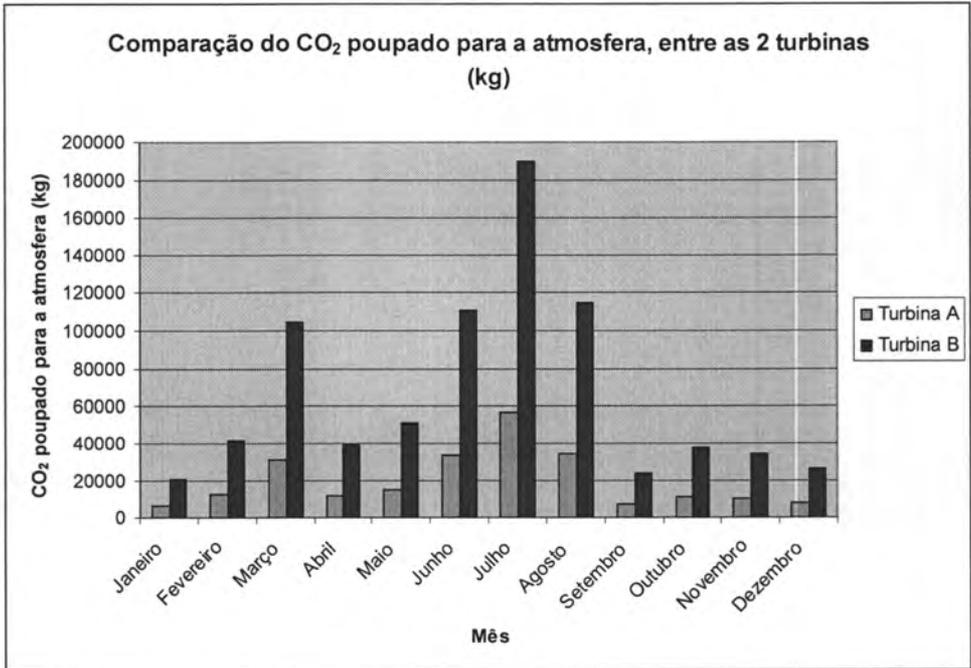


Figura 5.5: CO<sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação de Portel, a 30 m.

### 5.5.3 Reguengos

#### 5.5.3.1 – 50 Metros

Mês	Turbina A (kg)	Turbina B (kg)
<i>Janeiro</i>	20575	68586
<i>Fevereiro</i>	0	0
<i>Março</i>	0	0
<i>Abril</i>	0	0
<i>Mai</i>	0	0
<i>Junho</i>	0	0
<i>Julho</i>	778	2592
<i>Agosto</i>	116222	387425
<i>Setembro</i>	60573	201921
<i>Outubro</i>	69001	230013
<i>Novembro</i>	135745	452507
<i>Dezembro</i>	117519	391748
	<b>520412</b>	<b>1734793</b>

Tabela 5.6: Kg de CO<sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação de Reguengos, a 50 m.

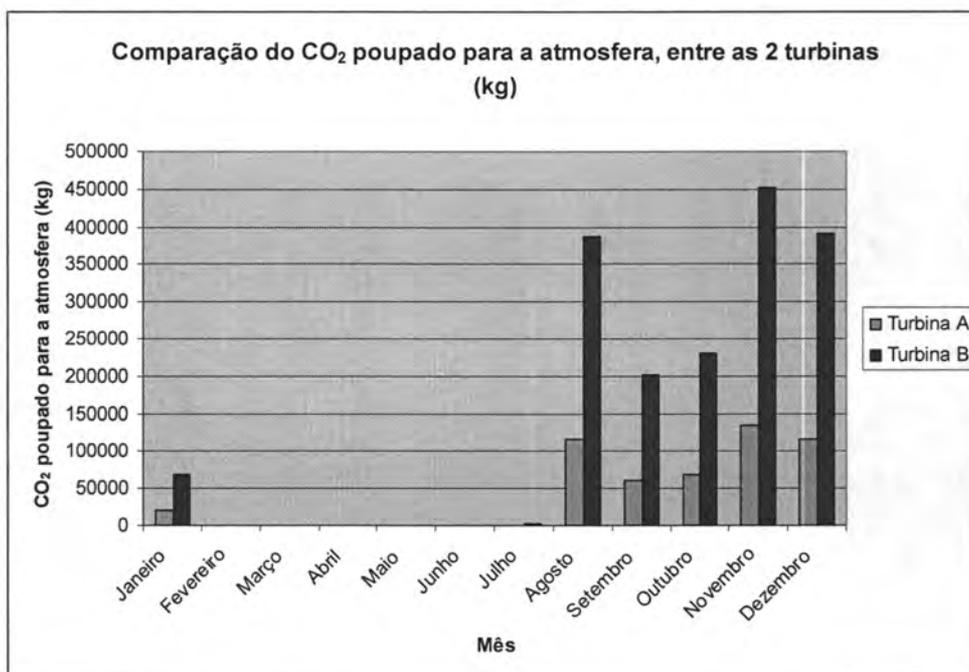


Figura 5.6: CO<sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação de Reguengos, a 50 m.

#### 5.5.3.2 – 30 Metros

Mês	Turbina A (kg)	Turbina B (kg)
<i>Janeiro</i>	16049	53501
<i>Fevereiro</i>	0	0
<i>Março</i>	0	0
<i>Abril</i>	0	0
<i>Mai</i>	0	0
<i>Junho</i>	0	0
<i>Julho</i>	618	2059
<i>Agosto</i>	91232	304121
<i>Setembro</i>	46099	153671
<i>Outubro</i>	53474	178254
<i>Novembro</i>	104863	349562
<i>Dezembro</i>	93520	311749
	<b>405855</b>	<b>1352916</b>

Tabela 5.7: Kg de CO<sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação de Reguengos, a 30 m.

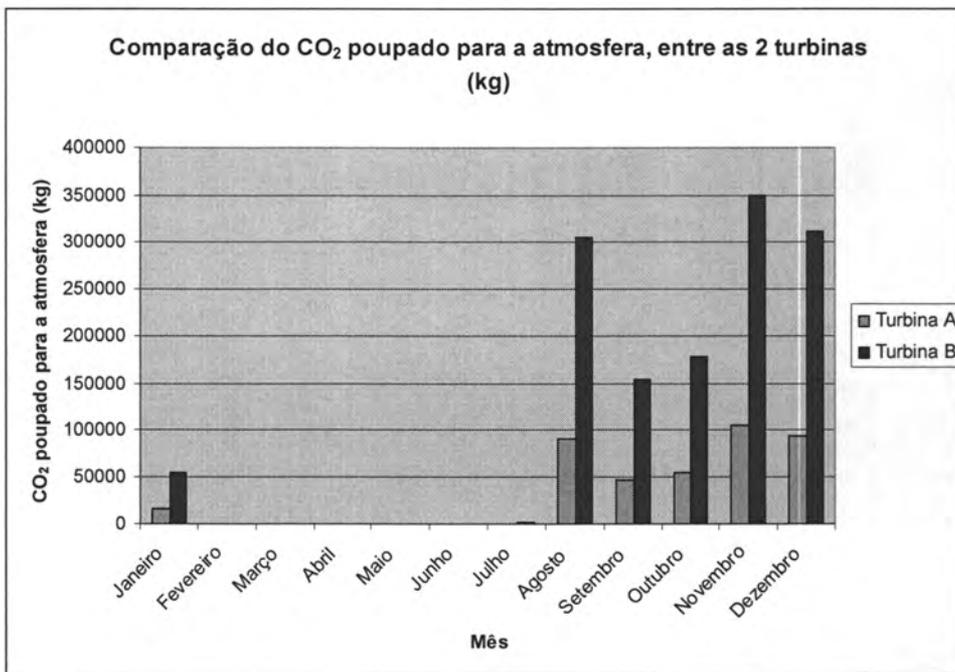


Figura 5.7: CO<sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação de Reguengos, a 30 m.

## 5.5.4 Verney

### 5.5.4.1 – 50 Metros

<b>Mês</b>	<b>Turbina A (kg)</b>	<b>Turbina B (kg)</b>
<i>Janeiro</i>	18487	61627
<i>Fevereiro</i>	14404	48016
<i>Março</i>	59487	198300
<i>Abril</i>	28410	94703
<i>Mai</i>	33151	110507
<i>Junho</i>	31646	105490
<i>Julho</i>	64513	215054
<i>Agosto</i>	39719	132402
<i>Setembro</i>	8519	28397
<i>Outubro</i>	15662	52209
<i>Novembro</i>	20590	68636
<i>Dezembro</i>	23362	77877
	<b>357948</b>	<b>1193220</b>

Tabela 5.8: Kg de CO<sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação do Verney, a 50 m.

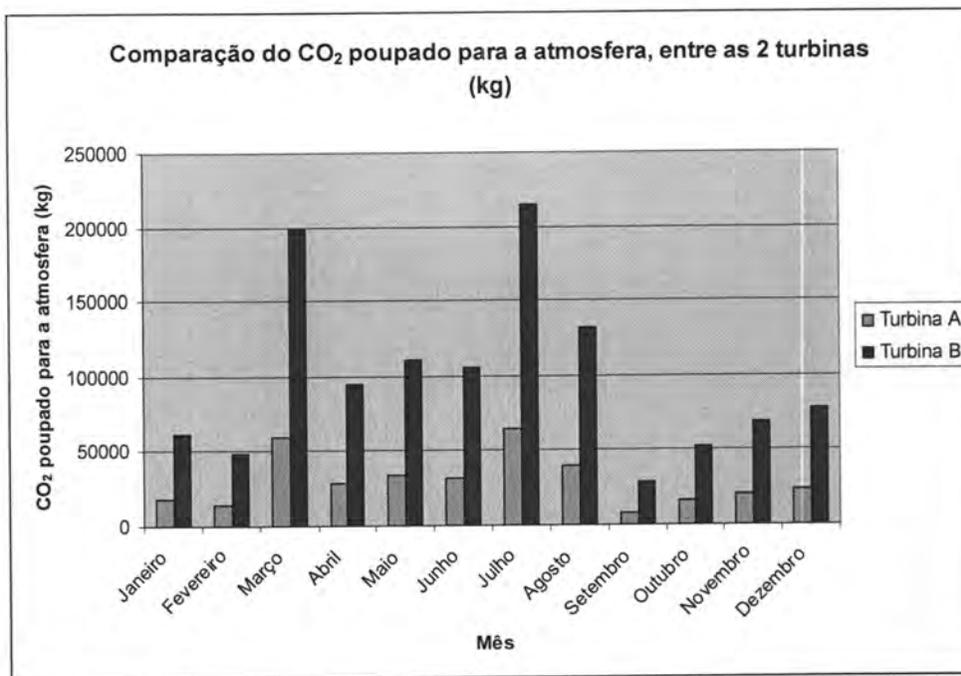


Figura 5.8: CO<sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação do Verney, a 50 m.

#### 5.5.4.2 – 30 Metros

Mês	Turbina A (kg)	Turbina B (kg)
<i>Janeiro</i>	11710	39037
<i>Fevereiro</i>	8400	28000
<i>Março</i>	39949	133169
<i>Abril</i>	18098	60330
<i>Maió</i>	21318	71062
<i>Junho</i>	20504	68350
<i>Julho</i>	44639	148803
<i>Agosto</i>	26181	87273
<i>Setembro</i>	5026	16754
<i>Outubro</i>	9790	32636
<i>Novembro</i>	13203	44012
<i>Dezembro</i>	15067	50227
	<b>233885</b>	<b>779654</b>

Tabela 5.9: Kg de CO<sub>2</sub> potencialmente poupados para a atmosfera, com cada turbina, na estação do Verney, a 30 m.

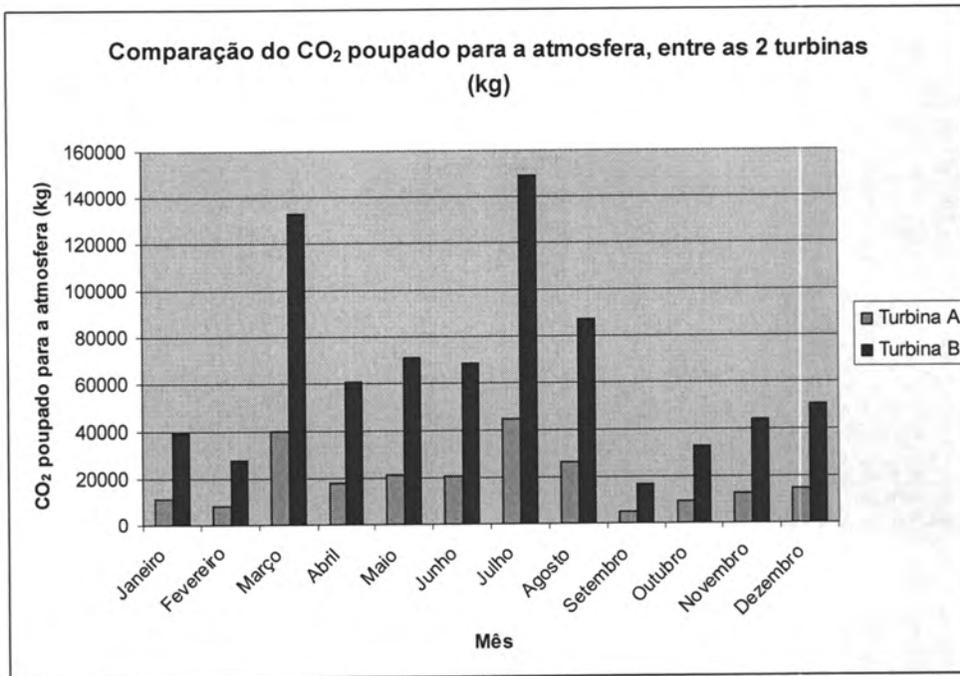


Figura 5.9: CO<sub>2</sub> poupado para a atmosfera (kg), com cada turbina, para a estação do Verney, a 30 m.

### 5.5.5 Resumo da poupança de emissões de CO<sub>2</sub>, para cada local e altura

		Emissões de CO <sub>2</sub> potencialmente poupadas (considerando a turbina A) (kg)	Emissões de CO <sub>2</sub> potencialmente poupadas (considerando a turbina B) (kg)
<b>Mitra</b>	50 <i>Metros</i>	365,3	1218
	30 <i>Metros</i>	268,4	894,6
<b>Portel</b>	50 <i>Metros</i>	346,1	1154
	30 <i>Metros</i>	264,7	882,3
<b>Reguengos</b>	50 <i>Metros</i>	578,2	1928
	30 <i>Metros</i>	451,0	1503,2
<b>Verney</b>	50 <i>Metros</i>	397,7	1326
	30 <i>Metros</i>	259,9	866,3

Tabela 5.10: Poupança de emissões de CO<sub>2</sub>, para cada estação, altura e turbina.

## 5.6 Análise dos resultados obtidos

*Esta análise torna-se particularmente interessante considerando o facto de, a nível nacional, se saber que, nas regiões costeiras e montanhosas, o potencial eólico é bastante aprazível, ao passo que nas regiões interiores, como no Alentejo, pouco se saber, em concreto, neste campo, nomeadamente valores de potencial aproveitável e emissões de CO<sub>2</sub> evitadas para a atmosfera.*

Relativamente à poupança das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, a questão é semelhante à analisada em 4.8; assim, se com cada turbina, as emissões evitadas para a atmosfera foram demonstradas na tabela 5.10, com três turbinas de 1000W ou uma de 5000W evitava-se o seguinte:

		<b>Emissões de CO<sub>2</sub> potencialmente poupadas (considerando três turbinas de 1000W) (kg)</b>	<b>Emissões de CO<sub>2</sub> potencialmente poupadas (considerando uma turbina de 5000W) (kg)</b>
<b>Mitra</b>	<i>50 Metros</i>	1096	1218
	<i>30 Metros</i>	805,2	894,6
<b>Portel</b>	<i>50 Metros</i>	1038	1154
	<i>30 Metros</i>	794,1	882,3
<b>Reguengos</b>	<i>50 Metros</i>	1735	1928
	<i>30 Metros</i>	1353	1503
<b>Verney</b>	<i>50 Metros</i>	1193	1326
	<i>30 Metros</i>	779,7	866,3

Tabela 5.11: Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas, considerando a instalação de três turbinas de 1000 W ou uma de 5000 W.

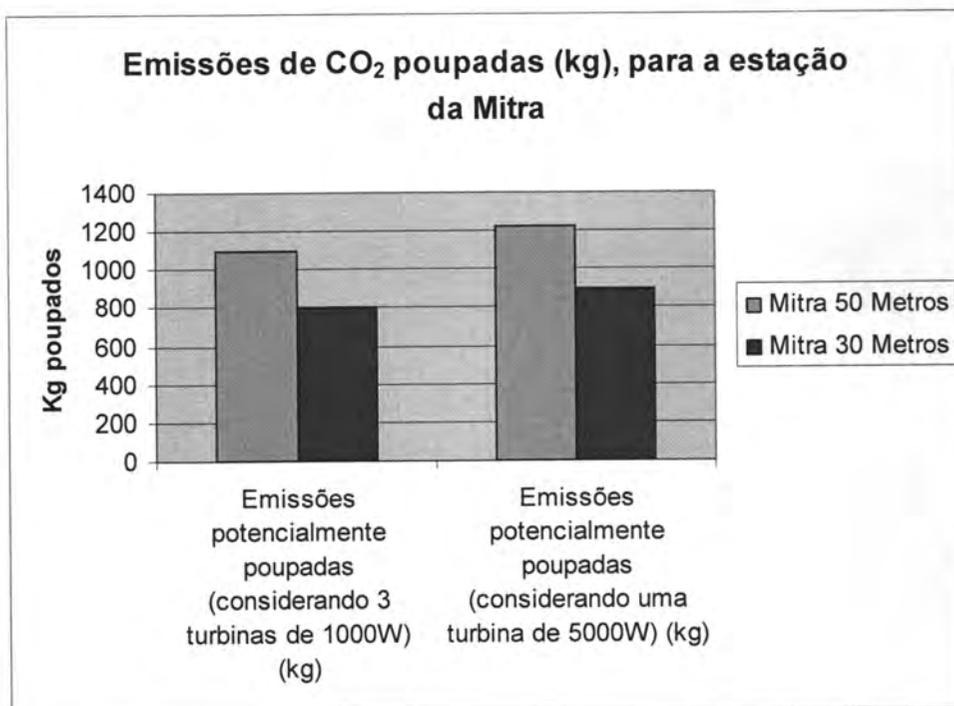


Figura 5.10: Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas (kg), para a estação da Mitra, considerando a instalação de três turbinas de 1000 W ou uma de 5000 W.

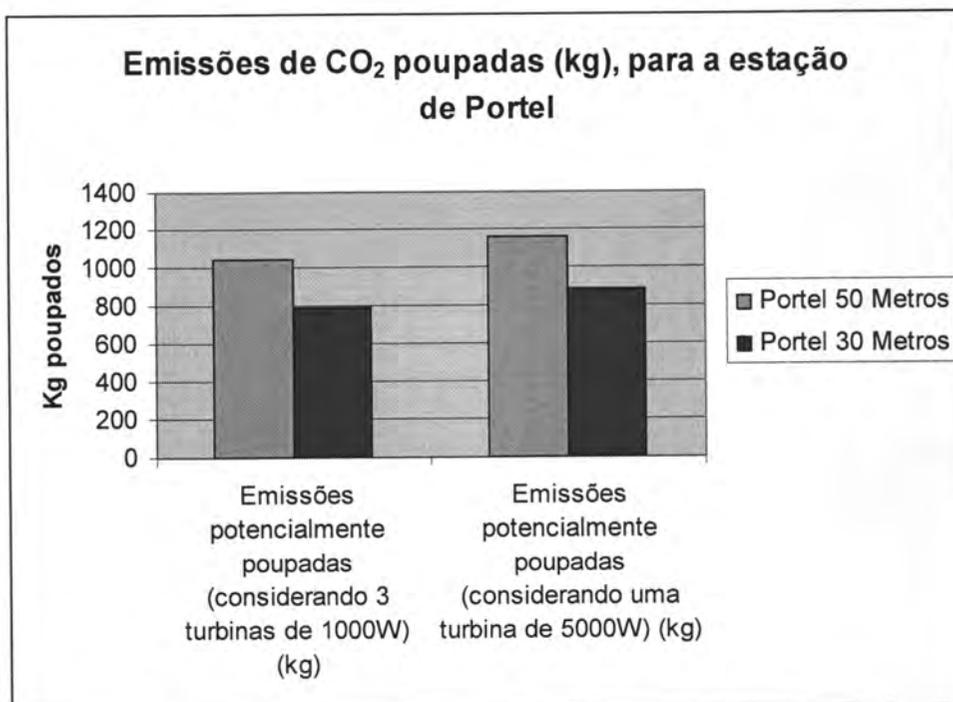


Figura 5.11: Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas (kg), para a estação de Portel, considerando a instalação de três turbinas de 1000 W ou uma de 5000 W.

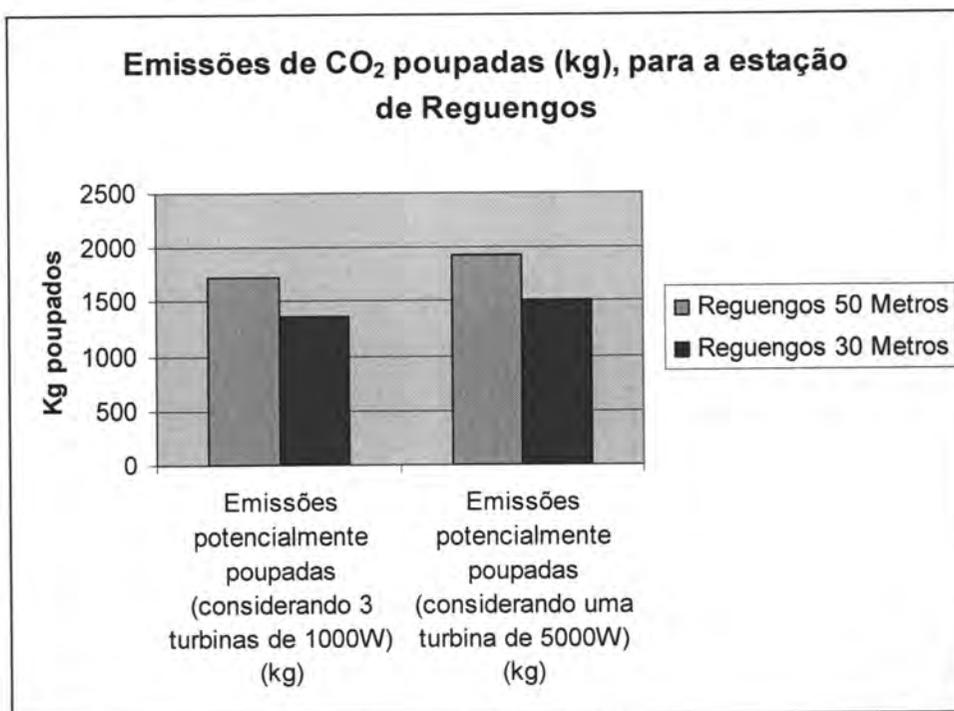


Figura 5.12: Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas (kg), para a estação de Reguengos, considerando a instalação de três turbinas de 1000 W ou uma de 5000 W.

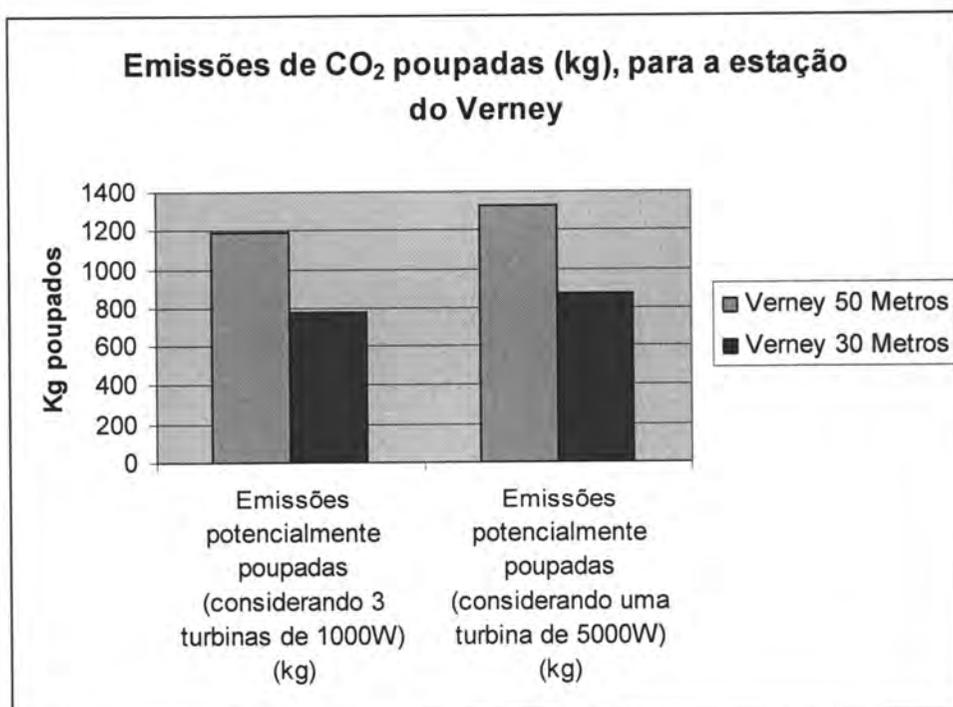


Figura 5.13: Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas (kg), para a estação do Verney, considerando a instalação de três turbinas de 1000 W ou uma de 5000 W.

		<b>Emissões de CO<sub>2</sub> potencialmente poupadas por m<sup>2</sup> (considerando uma turbina de 1000W) (kg)</b>	<b>Emissões de CO<sub>2</sub> potencialmente poupadas por m<sup>2</sup> (considerando uma turbina de 5000W) (kg)</b>
<b>Mitra</b>	<i>50 Metros</i>	63,8	37,9
	<i>30 Metros</i>	46,8	27,8
<b>Portel</b>	<i>50 Metros</i>	60,4	35,9
	<i>30 Metros</i>	46,2	27,4
<b>Reguengos</b>	<i>50 Metros</i>	100,9	59,9
	<i>30 Metros</i>	78,7	46,7
<b>Verney</b>	<i>50 Metros</i>	69,4	41,2
	<i>30 Metros</i>	45,4	26,9

Tabela 5.12: Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas, com cada turbina, por m<sup>2</sup>.

	<b>1000 W</b>	<b>5000 W</b>
<i>50 m</i>	73,6	43,7
<i>30 m</i>	54,3	32,2

Tabela 5.13: Média das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas, com cada turbina, por m<sup>2</sup>.

Para a estação da Mitra, a 50 m, com três turbinas menores, evitar-se-iam 1,1 toneladas de CO<sub>2</sub>, enquanto que, com uma turbina mais potente, se evitavam 1,2 toneladas, aproximadamente; A mesma relação existe a 30 m, com as três turbinas a evitarem 805 kg, enquanto que com uma o evitável seriam 895 kg.

No que diz respeito à estação de Portel, as poupanças com três turbinas corresponderiam a 1 tonelada, enquanto com a turbina maior seriam 1,2 toneladas; a 30 m, o que se evitava em CO<sub>2</sub> seria, para cada caso, respectivamente, 795 kg e 880 kg, sensivelmente.

Para a estação de Reguengos, as emissões de CO<sub>2</sub> potencialmente evitáveis seriam, a 50 m, 1,7 toneladas, enquanto com a maior turbina a diferença não seria muito maior, com 1,9 tons poupadas; a 30 m, as três turbinas evitariam 1,4 toneladas, ao passo que com a turbina mais potente se pouparia para a atmosfera 1,5 toneladas.

Por último, para a estação do Verney, a 50 m, as três turbinas poupariam 1,2 toneladas, enquanto a turbina menos eficiente pouparia 1,3 toneladas; para os 30 m as diferenças são bastante semelhantes, com 780 kg não emitidos de CO<sub>2</sub> para a atmosfera com as três turbinas, e 870 kg, aproximadamente, com uma turbina.

Assim, pode verificar-se que a quantidade de CO<sub>2</sub> evitada para a atmosfera é quase semelhante, em todas as estações, sendo que, novamente, aliado à maior atractibilidade do factor financeiro da instalação das turbinas de 1000W, bem como maior eficiência destas, se torna ainda mais correcta a decisão de prosseguir para as três turbinas menores. Mesmo nas duas estações onde a quantidade de CO<sub>2</sub> evitado é um pouco mais díspar, em Reguengos e no Verney, para além das diferenças não serem quer economicamente, quer ambientalmente significativas, há ainda a considerar o aspecto social muitas vezes associado, como é o caso de uma turbina de maiores dimensões ser menos estética à vista na paisagem relativamente a turbinas menores, mesmo que várias.

Através da análise de emissões evitadas por m<sup>2</sup>, a conclusão é semelhante: para todas as estações e alturas, as poupanças com uma turbina menor são mais visíveis; em média, a 50 m, com a turbina de 1000 W, as emissões evitadas, por m<sup>2</sup>, são de 73,6 kg, sendo de 54,3 kg, a 30 m. Por seu lado, com a turbina de 5000 W, por m<sup>2</sup>, poupar-se-ia, a 50 m, 43,7 kg, ao passo que, a 30 m, o evitável seriam 32,3 kg.

A relação entre poupanças de CO<sub>2</sub> para as duas turbinas é, aproximadamente, 1/1,7.

Pese embora a potência mais baixa, a instalação de três turbinas de 1000 W é mais barata e a eficiência maior, sendo o potencial eólico obtido e emissões de CO<sub>2</sub> praticamente semelhantes.

## Capítulo 6

### O futuro da energia eólica

De um modo sucinto, a energia eólica evita importar petróleo ou gás natural, contribuindo, por isso, para aliviar a dependência e a factura energética do país. Por outro lado, evita as emissões de CO<sub>2</sub> e os custos associados à poluição, bem como o esgotamento dos recursos energéticos não renováveis <sup>[7]</sup>.

A energia eólica é um recurso nacional, fiável e que gera cinco vezes mais emprego por € investido do que as tecnologias nucleares ou associadas ao carvão <sup>[7]</sup>.

Tendo em conta a necessidade do cumprimento da Directiva Comunitária, respeitante ao Protocolo de Quioto, que impõe como meta 39% de produção de energia eléctrica com base nas energias renováveis até 2010, assim como as recentes medidas de apoio, como a remuneração da energia produzida para níveis perto do praticado nos países Europeus, prevê-se a instalação de cerca de 4500 MW de capacidade de geração em energia eólica <sup>[5]</sup>.

Até Fevereiro de 2006 estavam licenciados mais 2789 MW de energia eólica, o que, tendo em conta o tempo de licenciamento actual (> 2 anos) <sup>[5]</sup>, poderá elevar a potência instalada de eólica, em 2009, acima dos 2000 MW.

É ainda necessária a centralização dos processos de licenciamento num único organismo, que coordenaria e teria a cargo todo o procedimento administrativo, de forma a diminuir os prazos de implementação dos projectos os quais, actualmente, rondam os 2 a 4 anos <sup>[5]</sup>.

Um dos objectivos dos programas globais é o de reduzir o custo da utilidade-escala da produção da energia eólica em 3 cêntimos por kWh em locais terrestres e com menor velocidade do vento, e 5 cêntimos em zonas marítimas. Um local com vento fraco é aquele onde a média anual da velocidade não é superior a 6 ms<sup>-1</sup>, ou 21 kmh<sup>-1</sup> <sup>[1]</sup>.

A assinatura do protocolo de Quioto, em 1997, passando para a escala nacional as preocupações relativas às reduções das emissões dos gases responsáveis pelo efeito de estufa, traduz a consciencialização cada vez maior da urgência do combate às

alterações climáticas e vem aumentar significativamente o interesse e expansão da indústria eólica a nível mundial <sup>[42]</sup>.

A nível global, a capacidade global instalada ultrapassou, no final de 2002, os 31000 MW, enquanto o número de postos de trabalho, directo e indirecto, rondava os 70000. Estimativas efectuadas pelo *EWEA* apontam para que, em 2012, a capacidade eólica instalada se situe nos 325000 MW <sup>[42]</sup>.

Tomando o preço médio de venda de 80 € por MWh, 2200 horas de produção anual, 10 % das vendas como custos variáveis e um período de amortização do investimento de 20 anos, obtém-se uma estimativa de cerca de 310 M € como resultado operacional para o total dos 3750 MW a instalar até 2010, enfatizando, assim, a atractibilidade do sector ao nível da exploração comercial da energia produzida <sup>[42]</sup>.

A falta de uma actuação concertada no sector em Portugal, quer ao nível dos principais investidores, quer do estabelecimento de políticas públicas para o seu desenvolvimento, não tem permitido a participação das empresas portuguesas no desenvolvimento e fabrico de aerogeradores e componentes, salvo algumas excepções <sup>[42]</sup>.

Existem actualmente planos e propostas de alguns construtores de aerogeradores para instalar em Portugal unidades de montagem final. No entanto, grande parte destas propostas visa apenas a montagem de componentes importados e o apoio à instalação local da potência determinado pelo Estado português, enquanto objectivo nacional para 2010 <sup>[42]</sup>.

Uma das formas de acelerar a integração de empresas portuguesas neste sector seria o fabrico sob licença de aerogeradores e componentes em território nacional através, por exemplo, da constituição de parcerias ou consórcios entre empresas portuguesas e as estrangeiras detentoras de *know-how* <sup>[42]</sup>.

Existem competências e áreas tecnológicas em Portugal, especificamente nas empresas nacionais, que podem ser aplicadas para o desenvolvimento e fabrico de componentes para aerogeradores e promover uma entrada rápida das mesmas neste negócio, desde que exista vontade e investidores dispostos a arriscar num sector com um crescimento anual superior a 30 % <sup>[42]</sup>.

O desenvolvimento da indústria eólica em Portugal, e em particular a criação de uma fileira industrial no sector, pode ser estimulado por um conjunto de incentivos e políticas públicas que actuem quer no lado da oferta, quer da procura, à semelhança do

que acontece nos países europeus em que a taxa de crescimento desta indústria foi, e ainda é, mais significativa <sup>[42]</sup>.

O conjunto de medidas implementadas naqueles países varia, conduzindo aos resultados mencionados anteriormente, desde que correctamente adoptados, agindo sobre o estímulo ao investimento, bem como sobre a procura, de modo a sustentar, a médio e longo prazo, os investimentos efectuados. Entre essas medidas destacam-se:

- Desenvolvimento de planos, nacionais e locais, para a produção e utilização de energia eólica;
- Obrigatoriedade de aquisição da energia eólica produzida a um preço fixo por parte das companhias eléctricas de distribuição, com tempo suficiente para amortização dos investimentos;
- Fixação do preço de aquisição de energia, estabelecido, geralmente, em redor dos 80 ou 90 % dos preços de venda a retalho;
- Criação, em conjunto com a banca privada, de um sistema que permita o recurso a empréstimos com taxas mais favoráveis para a implementação de unidades produtivas e para desenvolvimento de parques eólicos; em alguns países é ainda pago aos produtores de energia a partir de fontes renováveis um incentivo por kWh produzido, adicionalmente, ao valor pago pelas distribuidoras.
- Desenvolvimento de sistemas de incentivo à instalação de unidades de produção no país;
- Possibilitar aos investidores amortizações aceleradas dos seus investimentos;
- Concedidos sistemas de incentivo à utilização de energias renováveis aos consumidores através, nomeadamente, de mecanismos de dedução fiscal <sup>[42]</sup>.

Ação	Resp.	Duração prevista / Prazo legal
Pedido de informação prévia	Município	50 dias
Entrada e verificação do processo de AIA	DGE	Duração indefinida
Processo de AIA	MCOTA	20 dias
Declaração de conformidade	MCOTA	15 dias
Discussão Pública	MCOTA	50 dias
DIA favorável condicionada	MCOTA	35 dias
Aprovação dos projectos de execução	MCOTA	Duração indefinida
RECAPE - Rel. De Conformidade Ambiental do Proj. Execução	MCOTA	45 dias
Reconhecimento de Interesse Público (caso REN ou RAN ou Rflorestal)	MCOTA	40 dias
Licença de Estabelecimento	DGE	5 dias
Licença de Obra	Município	Duração indefinida
Duração Total Mínima Prevista pelos Promotores		290 dias úteis

Figura 6.1: Ilustração do processo necessário à obtenção da licença de estabelecimento de um parque eólico <sup>[42]</sup>.

A energia eólica mostra-se como uma das fontes renováveis com maior potencialidade e maior desenvolvimento futuro, não apenas pelas metas estabelecidas, mas também pelo interesse que desperta nas entidades e empresas, o desenvolvimento de projectos de grande envergadura e visibilidade, além do retorno financeiro bastante atractivo <sup>[5]</sup>.

Revela-se um mercado em franco crescimento, ainda longe da maturidade, cujo potencial significativo se situa a vários níveis: exploração comercial de energia, produção de equipamentos, manutenção e serviços e investigação e desenvolvimento.

## Capítulo 7

### Observações finais, conclusões e perspectivas futuras

#### 7.1 Observações finais

No presente trabalho descreveu-se, sucintamente, a ideia de *desenvolvimento sustentável*, sendo que é de extrema importância que o consumo vá de encontro às necessidades verificadas, não comprometendo a capacidade sustentada das gerações futuras. A avaliação do potencial energético é um passo bastante importante, pois para além do potencial, é necessário assegurar, também, a viabilidade; é preciso avaliar a competição entre diferentes tecnologias, de modo a entender qual, em cada zona, uso e procura, é a opção mais favorável.

Fonte de energia emergente há sensivelmente 20 anos, a energia eólica estabeleceu-se como um modo de exploração evoluído e global. Os custos de produção decresceram cerca de 50% nos últimos 15 anos, aproximando-se dos custos das energias ditas convencionais. A natureza menos concentrada e dispersa das fontes renováveis de energia permite uma maior independência relativamente aos sistemas centralizados e, por conseguinte, sistemas de distribuição vulneráveis, incluindo a hipótese de sistemas sociais menos centralizados.

O futuro da indústria global eólica é bastante promissor, pois mesmo num cenário hipotético, o total de energia eólica instalada mundialmente terá capacidade para quadruplicar de 40 GW em 2003 para 160 GW em 2012, ajudando, para isso, a evolução profunda que a tecnologia das turbinas tem verificado.

A disponibilidade e a velocidade do vento são determinantes para a sustentabilidade económica de um projecto de produção de energia eléctrica a partir desse recurso renovável, sendo indispensável proceder a uma avaliação do recurso antes de iniciar o projecto. A caracterização do recurso eólico num dado local, depende de diversos parâmetros que condicionam de forma, mais ou menos determinante, o escoamento atmosférico de um dado local ou de uma dada região, sendo os seguintes os mais relevantes neste tipo de estudos a velocidade e direcção do vento, a orografia local, os obstáculos e rugosidade, como a vegetação e o uso do solo, ou a capacidade da rede eléctrica receptora e de transmissão.

A energia eólica assume um papel de complementaridade na produção de energia eléctrica, contribuindo para a diversificação dos modos de produção e para diminuir a dependência energética do exterior, materializada sobretudo na importação de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão).

Favoravelmente, entre os factores mais relevantes encontram-se a ausência de emissões, a possibilidade de instalação de turbinas sem alterar o ecossistema, a abundância e o facto do vento ser renovável, bem como a acessibilidade das tecnologias existentes actualmente; de um modo contrário, as críticas mais frequentes resultam da dependência da disponibilidade do vento, a disparidade das tecnologias, consoante a localização, alguns custos não tão acessíveis na exploração eólica, bem como algum barulho e efeito estético negativo verificado.

Foi ainda referido o aproveitamento da energia eólica através das turbinas, sendo que a energia máxima teórica que uma turbina pode extrair do vento situa-se abaixo dos 60% (limite de Betz). Este limite refere que, mesmo para os melhores aproveitamentos eólicos, se recupera apenas um máximo de 59% da energia do vento. Para uma aplicação real, este coeficiente é da ordem de 0,3 a 0,4.

Ao haver, sempre, períodos sem vento, as turbinas eólicas deverão estar associadas a sistemas de armazenamento ou de geração, através da rede eléctrica, de modo ao fornecimento poder ser mantido.

Foi igualmente descrito o percurso da electricidade, desde a turbina até ao consumidor comum referindo, ainda, a micro-geração.

Nos custos inerentes à tecnologia de exploração eólica referem-se, frequentemente, o custo do investimento, o tempo de vida útil do aerogerador, bem como a taxa de juro da verba investida e custos de exploração e manutenção. Apesar dos custos dos aerogeradores ter decrescido nos últimos anos, esta terminologia requer um investimento inicial mais elevado por kW de potência instalada do que a produção de electricidade baseada em derivados de petróleo. Para além dos custos referentes consideram-se, muitas vezes, também como barreiras do desenvolvimento eólico em Portugal, factores como a ligação à rede e diversos e complicados procedimentos burocráticos.

Por seu lado, as turbinas podem ser de diversos tipos, destacando-se as de três pás, como as FD2.7-1000-10 (1000 W) e FD6.4-5000-16 (5000 W), estudadas neste trabalho.

Sucintamente, a energia eólica evita importar petróleo ou gás natural, contribuindo, por isso, para aliviar a dependência e a factura energética do país. Por outro lado, evita as emissões de CO<sub>2</sub> e os custos associados à poluição, bem como o esgotamento dos recursos energéticos não renováveis, sendo a energia eólica um recurso nacional, fiável e que gera cinco vezes mais emprego por € investido do que as tecnologias nucleares ou associadas ao carvão. Porém, é ainda necessária a centralização dos processos de licenciamento em apenas um único organismo, que coordenaria e teria a cargo todo o procedimento administrativo, de forma a diminuir os prazos de implementação dos projectos os quais, actualmente, rondam os 2 a 4 anos. A falta de uma actuação concertada no sector em Portugal, quer ao nível dos principais investidores quer do estabelecimento de políticas públicas para o seu desenvolvimento, não tem permitido a participação das empresas portuguesas no desenvolvimento e fabrico de aerogeradores e componentes, salvo algumas excepções.

Uma das formas de acelerar a integração de empresas portuguesas no sector eólico seria o fabrico sob licença de aerogeradores e componentes em território nacional através, por exemplo, da constituição de parcerias ou consórcios entre empresas portuguesas e as estrangeiras detentoras de *know-how*.

O desenvolvimento da indústria eólica em Portugal, e em particular a criação de uma fileira industrial no sector, podem ser estimulados por um conjunto de incentivos e políticas públicas que actuem quer no lado da oferta, quer da procura, à semelhança do que acontece nos países europeus em que a taxa de crescimento desta indústria foi, e ainda é, mais significativa. Entre essas medidas destacam-se o desenvolvimento de planos para a produção e utilização da energia eólica, a obrigatoriedade de aquisição da energia eólica produzida a um preço fixo por parte das companhias eléctricas de distribuição, a fixação do preço de aquisição de energia, a criação de um sistema que permita o recurso a empréstimos com taxas mais favoráveis para a implementação de unidades produtivas e para desenvolvimento de parques eólicos, o desenvolvimento de sistemas de incentivo à instalação de unidades de produção no país e a possibilidade aos investidores da amortização acelerada dos seus investimentos.

A energia eólica mostra-se como uma das fontes renováveis com maior potencialidade e maior desenvolvimento futuro, não apenas pelas metas estabelecidas, mas também pelo interesse que desperta nas entidades e empresas, o desenvolvimento de projectos de grande envergadura e visibilidade, além do retorno financeiro bastante atractivo. Revela-se um mercado em franco crescimento, ainda longe da maturidade, cujo potencial significativo se situa a vários níveis: exploração comercial de energia, produção de equipamentos, manutenção e serviços e investigação e desenvolvimento.

## **7.2 Conclusões**

Com os dados do potencial eólico obtidos, e em conjunto com a análise das duas turbinas referidas para cada estação e altura, surgiu a dúvida se seria mais rentável colocar uma turbina maior ou diversas menores.

Para a estação da Mitra, o maior potencial verifica-se para os meses mais quentes, bem como Março. Existe uma distribuição relativamente uniforme dos valores, constatando-se Janeiro, Setembro e Outubro como os meses com os valores mais pequenos.

Na estação de Portel, a distribuição dos valores já não é tão uniforme como na Mitra; ainda assim, os valores superiores encontram-se, de igual modo, no Verão e Março, havendo, contudo, um grande potencial em Julho. Os meses com menor potencial correspondem a Janeiro e Setembro.

Reguengos é um caso interessante. Apesar de haver quase sete meses sem qualquer vento aproveitável, é o local com maior potencial. Ao contrário das outras estações, os meses com maiores valores correspondem a Novembro e Dezembro, tendo Agosto um potencial, também, bastante assinalável, chegando os valores a ultrapassar 300 kWh. De Fevereiro a Junho, incluindo ainda alguns dias de Julho, o potencial, nesta estação, é nulo.

No que diz respeito à estação do Verney, os valores são, como a Mitra e Portel, relativamente uniformes, com os valores superiores a verificarem-se nos meses de Março, Julho e Agosto. Os dois meses com potencial mais baixo são, de modo semelhante às duas primeiras estações estudadas, Fevereiro e Setembro, sendo que de Abril a Junho os valores ainda são relativamente aprazíveis.

Através dos preços praticados actualmente, e considerando que a relação entre as turbinas é, sensivelmente, 1/3, concluiu-se que, ao preferir as três turbinas de menores dimensões mas maior eficiência, se obtém praticamente o mesmo potencial eólico por menos 1148,98 €, em cada local.

Com uma turbina de 5000W poderiam, eventualmente, aproveitar-se velocidades superiores do vento; no entanto, devido a estas velocidades na região de Évora serem relativamente baixas comparadas com outros locais do país, a turbina passaria muito tempo parada.

Neste trabalho foi também assinalada a importância das tecnologias associadas à redução das emissões de CO<sub>2</sub>, bem como a contribuição da energia eólica para esta redução, sendo que, nos últimos anos, o desenvolvimento dos aproveitamentos de energia eólica em Portugal evoluiu de forma marcante.

Com base em estudos efectuados e nas novas tecnologias associadas à construção de aerogeradores, pode afirmar-se que Portugal apresenta condições para o cumprimento dos compromissos nacionais no âmbito da União Europeia (directiva comunitária na sequência da ratificação do protocolo de Quioto) a qual estabelece que 39% da energia eléctrica utilizada deverá ser obtida por fontes de energia renováveis.

Comercialmente, a energia eólica é uma das fontes de obter electricidade mais económica, nos dias que correm. Em comparação com as estações geradoras a carvão ou instalações hidroeléctricas, as turbinas eólicas podem ser facilmente colocadas, rápida e economicamente. O vento, como se sabe, não é constante, mas considerando que a sociedade requer um fornecimento de electricidade constante, são sempre necessárias *estações-base* de armazenamento. O que o vento e outras energias renováveis fazem é suplementar estas estações e reduzir o consumo de carvão e, por conseguinte, gases de efeito de estufa e emissões de aerossóis.

Sobre a contribuição do potencial eólico relativamente às emissões de CO<sub>2</sub>, a questão é semelhante à da rentabilidade de uma turbina maior ou diversas menores: pode concluir-se que a quantidade de CO<sub>2</sub> evitada para a atmosfera é quase semelhante, em todas as estações, sendo que, mais uma vez, aliado à maior atractibilidade do factor financeiro da instalação das turbinas de 1000W, bem como maior eficiência destas, este factor torna ainda mais correcta a decisão de prosseguir para as três turbinas menores. Mesmo no aspecto estético na paisagem, uma turbina de menores dimensões leva vantagem.

Através da análise de emissões evitadas por  $m^2$ , a conclusão é semelhante: para todas as estações e alturas as poupanças com uma turbina menor são mais visíveis; em média, a 50 m, com a turbina de 1000 W, as emissões evitáveis, por  $m^2$ , são de 73,6 kg, sendo de 54,3, a 30 m. Por seu lado, com a turbina de 5000 W, por  $m^2$ , poupar-se-ia, a 50 m, 43,7 kg, ao passo que, a 30 m, o evitável seriam 32,3 kg. A relação entre as duas é, aproximadamente, 1,7.

Mesmo considerando a sua potência mais baixa da turbina mais eficiente, a instalação é mais barata e o potencial eólico obtido e emissões de  $CO_2$  são, praticamente, semelhantes às da turbina mais potente (e menos eficiente).

Todas estas conclusões se tornam particularmente interessante considerando o facto de, a nível nacional, se saber que, nas regiões costeiras e montanhosas, o potencial eólico é bastante aprazível, ao passo que nas regiões interiores, como no Alentejo, pouco se saber, em concreto, neste campo, nomeadamente valores de potencial aproveitável e emissões de  $CO_2$  evitadas para a atmosfera.

### **7.3 Perspectivas futuras**

A partir deste trabalho, vários caminhos se poderão seguir. É possível prosseguir-se com uma análise mais exaustiva, ainda mais autêntica, examinando as reais necessidades da região de Évora, tendo em conta os gastos com electricidade produzida em centrais com combustíveis fósseis, e o que custaria a implementação de turbinas e parques eólicos na região, de um modo desenvolvido, sustentável e capaz de satisfazer as reais urgências da zona, nunca descurando, igualmente, quer os aspectos sociais, quer os aspectos ambientais.

É também possível prosseguir com esta avaliação do potencial eólico para a região de Évora tomando em conta outros anos anteriores a 2007, e mesmo a partir de 2008, de modo a tentar, de certo modo, prever a evolução desta tecnologia, bastante promissora, e enquadrar o potencial de Évora com o potencial de outras cidades, de modo a obter um mapa eólico extremamente útil para o país, para diversos anos, futuramente.

Se houver possibilidade de criar condições para a evolução desta tecnologia em Évora, o primeiro passo para a sua implementação pode considerar-se dado.

## Referências

- 1 Stinner, A. *Wind Energy*, 2007;
- 2 Twidell, J., Weir, T. *Renewable Energy Resources, 2<sup>nd</sup> Edition*, Taylor and Francis, London and New York, 2006;
- 3 Miranda, V. *Wind Power, Distributed Generation: New Challenges, New Solutions*. Turk J. Elec. Engin., VOL. 14, NO3 2006, TÜBITAK 455-471;
- 4 <http://www.gwec.net> – consultado em Fevereiro de 2009;
- 5 <http://www.energiasrenovaveis.com> – consultado em Fevereiro de 2009;
- 6 <http://www.wwindea.org> – consultado em Fevereiro de 2009;
- 7 <http://www.dgge.pt> – consultado em Fevereiro de 2009;
- 8 Instituto do Ambiente (2003). *Plano Nacional para as Alterações Climáticas*. Volume Síntese – Cenários e Esforço de Redução. Instituto do Ambiente, Lisboa;
- 9 Esteves, T. *Base de Dados do Potencial Energético do Vento em Portugal – Metodologia e Desenvolvimento*, 2004;
- 10 Directiva: 2001/77/CE de 27 de Setembro, Jornal Oficial nº L283 de 27.10.2003, pp33-40;
- 11 Decisão do Conselho: 2002/358/CE de 25 de Abril, Jornal Oficial nº L130 de 15.05.2002, pp1-3;
- 12 Wegley, H., Ramsdell, J., Orgil, M., Drake, R. (1980). *A Sitting Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems*. Windbooks, Washington, USA;

13 Mortensen, N., Landberg, L., Petersen, E. *Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP). Vol. I: Getting Started, 1993*. Risoe National Laboratory, Roskilde, Dinamarca;

14 Costa, P., Estanqueiro, A. (2003). *A Methodology to Compute Wind Resource Grids in Complex Terrain Based on Multiple Anemometric Stations*. European Wind Energy Conference, Junho, Madrid;

15 Simões, T. (1999). *Caracterização do Escoamento Atmosférico e Locais com Elevado Potencial Eólico*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Relatório de Estágio de Licenciatura;

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

17 Plate, E. (1982). *Engineering Meteorology. Fundamentals of Meteorology and Their Applications to Problems in Environmental and civil Engineering*. Studies in Wind Energy and Industrial Aerodynamics. Vol. I. Elsevier, USA;

18 Meroney, R. *Fluid Dynamics of Flow over Hills/Mountains – Insights Obtained through Physical Modelling, 1991* Seminário de Escoamentos em Terrenos Complexos, Universidade de Coimbra, Coimbra;

19 <http://www.ren.pt> – consultado em Abril de 2009;

20 <http://www.snig.igeo.pt> – consultado em Maio de 2009;

21 Pedersen, B., Pedersen, T., Klug, H., Borg, N., Kelley, N., Dahlberg, J. *Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation, 1999*. Wind Speed Measurement and Use of Cup Anemometry, nº 11, Raymond S. Hunter, Renewable Energy Systems, Glasgow, U.K;

22 DGE (2003). *1º Relatório de avaliação da realização das metas indicativas relativas à produção de electricidade a partir de fontes renováveis em Portugal*. Direcção Geral de Energia, Lisboa;

23 Energia Eólica;

24 Bennett, S. *Encyclopedia of Energy*. Global Media – Education for Everyone. 2007, Delhi;

25 Cruden, G. *Energy Alternatives*. Lucent Books. 2005, EUA;

26 <http://www.electronica-pt.com> – consultado em Junho de 2009;

27 <http://en.wikipedia.org> – consultado em Junho de 2009;

28 <http://www.carbontrust.co.uk> – consultado em Julho de 2009;

29 Rahgeb, M. *Wind Shear and Roughness*. 2007;

30 <http://www.cm-evora.pt> – consultado em Setembro de 2009;

31 <http://sambal.kicks-ass.net> – consultado em Junho de 2009;

32 <http://www.cm-portel.pt> – consultado em Setembro de 2009;

33 <http://www.cm-reguengos-monsaraz.pt> – consultado em Setembro de 2009;

34 [http://www.cm-reguengos-monsaraz.pt/NR/rdonlyres/E1B6768D-47E9-4DD3-ACAC-34FB5B21C788/0/PDM\\_RMZPlantaOrdenamento\\_NorteAbr1995.pdf](http://www.cm-reguengos-monsaraz.pt/NR/rdonlyres/E1B6768D-47E9-4DD3-ACAC-34FB5B21C788/0/PDM_RMZPlantaOrdenamento_NorteAbr1995.pdf) – consultado em Setembro de 2009;

35 <http://www.cge.uevora.pt> – consultado em Maio de 2009;

36 <http://www.idigitalworld.net/1000.html> – consultado em Janeiro de 2009;

37 <http://www.idigitalworld.net/5000.html> – consultado em Janeiro de 2009;

38 <http://www.centrodeinformacao.ren.pt> – consultado em Julho de 2009;

39 <http://www.nei.org> – consultado em Julho de 2009;

40 <http://windturbinepowerusa.com> – consultado em Setembro de 2009;

41 Gonçalves, H., Joyce, A., Silva, L. *Uma Contribuição para os Objectivos de Política Energética e Ambiental*, 2002. Fórum Energias Renováveis em Portugal. INETI/ADENE, Lisboa;

42 O Potencial Eólico Português. Artigo Economia Pura – Outubro 2003.