

Instituto Politécnico de Setúbal



Escola Superior de Ciências Empresariais

Escola Superior de Tecnologia de Setúbal

**Caracterização do Ruído produzido por
um parque eólico.**

Efeito sobre a população.

Sara Cristina Domingos Simões

**TESE DE MESTRADO EM SEGURANÇA E HIGIENE NO
TRABALHO**

Orientador: Nuno Nunes

Setúbal, 2015

Projeto realizado sob a orientação de
Nuno António Neves Nunes

Professor Doutor
do Departamento de Engenharia Mecânica
da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Nuno António Neves Nunes, meu orientador, pela sua dedicada orientação, paciência e estímulo em todas as etapas deste projeto.

Estendo os meus agradecimentos a todos os professores do 1º e 2º Ano de Mestrado em SHT pelas suas valorosas contribuições didáticas e pessoais, assim como aos colegas, pelo companheirismo, pela interajuda e por tornarem agradáveis os momentos em que estivemos juntos, apesar dos vários contratemplos que tivemos ao longo do ano letivo.

RESUMO

Nos últimos anos tem-se verificado um rápido crescimento da potência instalada de energia eólica em Portugal. Com a evolução verificada no aproveitamento da energia eólica, quer em quantidade de parques eólicos, quer na dimensão dos aerogeradores e tendo em conta as características específicas das componentes do seu funcionamento, verificou-se que a atual legislação não acompanha adequadamente o impacto do ruído e como tal tornou-se indispensável uniformizar os critérios de avaliação do ruído provocado pela instalação e funcionamento dos aerogeradores.

As preocupações inerentes à instalação dos aerogeradores dizem respeito ao ruído que estes emitem e o conseqüente incómodo para as pessoas, bem como os efeitos adversos que estes provocam na saúde das pessoas.

Este trabalho tem como objetivo a análise e caracterização do ruído de baixa frequência produzido por um parque eólico, por forma a perceber os níveis de ruído que os aerogeradores emitem e acrescentam ao ruído ambiente já existente, assim como o grau de incomodidade que induzem nas envolventes mais próximas.

Para o efeito, fez-se primeiramente uma revisão de literatura sobre a energia eólica, caracterizando-se posteriormente os aerogeradores e os elementos que o constituem. Para a caracterização do ruído emitido pelos aerogeradores, descreveu-se as fontes de ruído de aerogeradores, as características do ruído dos aerogeradores, assim como, a perceção que se tem do ruído dos aerogeradores. Além disso, referiu-se quais os efeitos do ruído dos aerogeradores na saúde humana.

Serão abordadas metodologias de avaliação e medição, com o objetivo de obtenção de resultados próximos da realidade, através da análise dos diferentes casos de estudo realizados. Na análise dos dados obtidos teve-se em conta o cumprimento do Regulamento Geral do Ruído.

Palavras-chave: Energia Eólica, Parque Eólico, Aerogeradores, Ruído, Incomodidade

ABSTRACT

In the last years rapid growth for installed wind energy has become evident. This evolution can be seen in designated wind parks both in quantity and dimension of the installed wind generators and specific characteristics of the same. Ongoing legislation does not match the impact as for example noise levels and as such become indispensable the standardization of the evaluation criteria for these installation and quality of the equipment's installed.

There should be immediate worries regarding the installation and operation of the generators for noise levels as they are uncomfortable to people and the relating effects that they may cause to overall health.

The goal of this work is to analysis and characterizes low frequency levels produced by a wind park, taking in account noise levels and existing ambient noise to evaluate the impact in its surroundings.

It is presented a revision for ongoing related literature on Wind power, known specifics for the generators and its components. In the description of the generators, noise levels sources has been taken in account as well as specific characteristics and perception relating this to the effects they cause to human health.

With the objective of obtaining results as closer to reality as possible, evaluation and measurement specific methodologies will be applied to analysis different case studies. General regulation for noise levels has been taken in account to evaluate the results.

Keywords: Wind Power, Wind Park, Generators, noise, discomfort

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE GRÁFICOS	x
LISTA DE EQUAÇÕES	xi
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xi
INTRODUÇÃO	1
1. REVISÃO DE LITERATURA	4
1.1. RECURSO EÓLICO	4
1.2. A ENERGIA EÓLICA	4
1.2.1. VANTAGENS DA ENERGIA EÓLICA.....	5
1.2.2. DESVANTAGENS DA ENERGIA EÓLICA.....	6
1.3. AEROGERADORES	6
1.3.1. TIPOS DE AEROGERADORES	6
1.3.2.1. AEROGERADORES DE EIXO VERTICAL	7
1.3.2.2. AEROGERADORES DE EIXO HORIZONTAL	8
1.4. RUÍDO DE AEROGERADORES.....	13
1.4.1. FONTES DE RUÍDO DE AEROGERADORES	13
1.4.1.1. RUÍDO MECÂNICO	13
1.4.1.2. RUÍDO AERODINÂMICO	14
1.4.2. CARACTERÍSTICAS DO RUÍDO DOS AEROGERADORES	18
1.4.3. PERCEÇÃO DO RUÍDO DOS AEROGERADORES	19

1.4.4.	EFEITOS DO RUÍDO DOS AEROGERADORES NA SAÚDE HUMANA	21
1.4.4.1.	SÍNDROME DA TURBINA EÓLICA (STE)	22
1.4.4.2.	DOENÇA VIBROACÚSTICA (DVA)	23
1.4.4.3.	DESFECHO EM TRIBUNAL DOS EFEITOS DO RUÍDO DOS AEROGERADORES NA SAÚDE HUMANA (CASO TORRES VEDRAS).....	25
2.	ENQUADRAMENTO LEGAL	28
3.	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DAS MEDIÇÕES DE RUÍDO.....	32
3.1.	CASO DE ESTUDO 1 – PARQUE EÓLICO DE FANHÕES	33
3.2.	CASO DE ESTUDO 2 – PARQUE EÓLICO DE CATEFICA	36
3.3.	CASO DE ESTUDO 3 – PARQUE EÓLICO DA SERRA DA CAPUCHA	36
3.4.	CASO DE ESTUDO 4 – PARQUE EÓLICO DA MARAVILHA I.....	39
3.5.	CASO DE ESTUDO 5 – OUTROS LOCAIS PARA COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES	41
4.	METODOLOGIA.....	42
4.1.	OBJETIVOS	42
4.2.	INSTRUMENTOS.....	43
4.3.	PROCEDIMENTO	46
5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	48
5.1.	RESULTADOS OBTIDOS NAS MEDIÇÕES	48
5.1.1.	CASO DE ESTUDO 1 – PARQUE EÓLICO DE FANHÕES	48
5.1.2.	CASO DE ESTUDO 2 – PARQUE EÓLICO DE CATEFICA	51
5.1.3.	CASO DE ESTUDO 3 – PARQUE EÓLICO DA SERRA DA CAPUCHA	53
5.1.4.	CASO DE ESTUDO 4 – PARQUE EÓLICO DA MARAVILHA I.....	55
5.1.5.	CASO DE ESTUDO 5 – OUTROS LOCAIS PARA COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES	57
5.2.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS MEDIÇÕES	58
	CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	77
	BIBLIOGRAFIA	82
	APÊNDICES	86
	ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Parque Eólico Middelgrunden na Dinamarca (7)	7
Figura 2 - Parque Eólico Osório no Brasil (8).....	7
Figura 3 - Aerogeradores de eixo vertical (9).....	8
Figura 4 - Esquema de um aerogerador de eixo horizontal frontal (9).....	9
Figura 5 - Esquema de um aerogerador de eixo horizontal à retaguarda (9).....	9
Figura 6 - Aerogeradores de eixo horizontal (9)	10
Figura 7 – Aerogerador com caixa multiplicadora (10)	12
Figura 8 - Aerogerador sem caixa multiplicadora (10)	13
Figura 9 - Componentes e nível de potência sonora num aerogerador e respetivos caminhos de transmissão de ruído: componentes estruturais (s/b) e o ar (a/b) (11)	14
Figura 10 - Esquema do fluxo em torno de uma pá do rotor (11)	15
Figura 11 – Ruído de bordo de fuga (12)	16
Figura 12 – Ruído do vórtice da extremidade da pá (12)	16
Figura 13 – Ruído de separação (perda de sustentação) (12)	17
Figura 14 – Ruído da camada limite laminar (12).....	17
Figura 15 – Ruído de bordo de fuga embotado (12).....	18
Figura 16 – Incomodidade sonora associada a diferentes fontes sonoras (13).....	20
Figura 17 – Propagação do ruído de aerogeradores (19).....	21
Figura 18 - Quinta	26
Figura 19 - Quinta e Aerogerados n.º 1, 2, 3 e 4	26
Figura 20 - Aerogerador n.º 2	27
Figura 21 - Aerogerador n.º 1	27
Figura 22 - Aerogerador n.º 4	27
Figura 23 - Pás dos aerogeradores	27
Figura 24 - Ponte 25 de Abril e Aerogerador	32
Figura 25 – Aerogerador Gamesa G80 – 2MW (32).....	33
Figura 26 - Aerogerador Enercon E-70 E4 – 2MW (34).....	36
Figura 27 - Aerogerador Enercon E-82 E2 – 2,0MW (34).....	39
Figura 28 – Sonómetro Larson Davis, modelo SoundTrack™ LxT.....	45
Figura 29 - Anemómetro RS, modelo 180-7111	45
Figura 30 - Localização das medições efetuadas (Fanhões).....	48

Figura 31 - Localização das medições efetuadas (Catefica).....	51
Figura 32 - Localização das medições efetuadas (Serra da Capucha).....	53
Figura 33 - Localização das medições efetuadas (Maravilha I)	55
Figura An.B_1 - Constituição do Aerogerador Gamesa G80 - 2MW (32)(33).....	103
Figura An.E_1 - Constituição do Aerogerador Enercon E-70 E4 - 2MW e Enercon E-82 E2 – 2MW (34).....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores limite de exposição a ruído ambiente exterior (29)	29
Tabela 2 - Valores limite de incomodidade a ruído ambiente exterior (29).....	30
Tabela 3 - Valores limite para cada período de referência (29)	31
Tabela 4 - Características técnicas aerogerador Gamesa G80 – 2MW (32) (33).....	34
Tabela 5 - Características técnicas aerogerador Enercon E-70 E4 – 2MW (34) (35)	37
Tabela 6 - Características técnicas aerogerador Enercon E-82 E2– 2MW (34) (35)	40
Tabela 7 - Valores obtidos nas medições (Fanhões)	50
Tabela 8 - Valores obtidos nas medições (Catefica)	52
Tabela 9 - Valores obtidos nas medições (Serra da Capucha)	54
Tabela 10 - Valores obtidos nas medições (Maravilha I).....	56
Tabela 11 - Valores obtidos nas medições (Zonas sem presença de aerogeradores)	58
Tabela 12 – Valores dos indicadores de ruído (L_d , L_e e L_n) e cálculo do indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den})	60
Tabela 13 – Valores do nível sonoro equivalente ponderado curva A (L_{Aeq}) e cálculo do indicador do nível de avaliação (L_{Ar})	61
Tabela 14 – Valores da diferença Δ entre o nível de avaliação (L_{Ar}) e o ruído residual (L_{Aeq} (RR)).....	62
Tabela 15 – Valores dos indicadores de ruído (L_d , L_e e L_n) e cálculo do indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den})	65
Tabela 16 – Valores do nível sonoro equivalente ponderado curva A (L_{Aeq}) e cálculo do indicador do nível de avaliação (L_{Ar})	66
Tabela 17 – Valores da diferença Δ entre o nível de avaliação (L_{Ar}) e o ruído residual (L_{Aeq} (RR)).....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de potência do aerogerador Gamesa, modelo G80 de 2MW para $\rho=1.225\text{kg/m}^3$ (32)	35
Gráfico 2 - Curva de potência do aerogerador E-70 E4 / 2MW (36)	38
Gráfico 3 - Curva de potência do aerogerador E82 E2 / 2.0MW (34)	41
Gráfico 4 – Comparação entre as amplitudes de aerogeradores Gamesa G80 – 2MW dos Parques Eólicos de Fanhões e Catefica	59
Gráfico 5 – Representação gráfica dos níveis sonoros envolvidos na avaliação dos critérios de exposição e incomodidade	63
Gráfico 6 – Comparação entre as amplitudes de aerogeradores Enercon E-70 E4 – 2MW e E-82 E2 – 2MW dos Parques Eólicos da Serra da Capucha e Maravilha I.....	64
Gráfico 7 – Representação gráfica dos níveis sonoros envolvidos na avaliação dos critérios de exposição e incomodidade	67
Gráfico 8 – Comparação entre as amplitudes de aerogeradores Gamesa G80 – 2MW e Enercon E-70 E4 – 2MW dos Parques Eólicos da Catefica e Serra da Capucha.....	68
Gráfico 9 – Comparação das medições n.º 4, 7, 9, 15 e 16 (Zonas com e sem aerogeradores)	72
Gráfico 10 – Comparação das medições n.º 4, 7, 9, 15 e 17 (Zonas com e sem aerogeradores)	73
Gráfico 11 – Comparação das medições n.º 4, 7, 9, 15 e 18 (Zonas com e sem aerogeradores)	74
Gráfico 12 – Comparação das medições n.º 4, 7, 9, 15 e 19 (Zonas com e sem aerogeradores)	75
Gráfico 13 – Comparação das medições n.º 4, 7, 9, 15 e 20 (Zonas com e sem aerogeradores)	76
Gráfico Ap.III_1 - Medição n.º 1	90
Gráfico Ap.III_2 - Medição n.º 2.....	91
Gráfico Ap.III_3 - Medição n.º 3.....	91
Gráfico Ap.III_4 - Medição n.º 4.....	92
Gráfico Ap.III_5 - Medição n.º 5.....	92
Gráfico Ap.III_6 - Medição n.º 6.....	93
Gráfico Ap.III_7 - Medição n.º 7.....	93

Gráfico Ap.III_8 - Medição n.º 8.....	94
Gráfico Ap.III_9 - Medição n.º 9.....	94
Gráfico Ap.III_10 - Medição n.º 10	95
Gráfico Ap.III_11 - Medição n.º 11	95
Gráfico Ap.III_12 - Medição n.º 12	96
Gráfico Ap.III_13 - Medição n.º 13	96
Gráfico Ap.III_14 - Medição n.º 14	97
Gráfico Ap.III_15 - Medição n.º 15	97
Gráfico Ap.III_16 - Medição n.º 16	98
Gráfico Ap.III_17 - Medição n.º 17	98
Gráfico Ap.III_18 - Medição n.º 18	99
Gráfico Ap.III_19 - Medição n.º 19	99
Gráfico Ap.III_20 - Medição n.º 20	100

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (29).....	28
Equação 2 – Nível de avaliação (29).....	30

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a.c.	Antes de Cristo
AC	Corrente alternada
CO ₂	Dióxido de carbono
dB (A)	Decibel ponderado curva A
dB (Z)	Decibel ponderado curva Z
DC	Corrente contínua
DVA	Doença Vibroacústica
ECG	Eletrocardiograma
EEG	Eletroencefalograma
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases de efeito de estufa
Hz	Hertz
H	Hidrogénio
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
IP	Classe de isolamento e grau de proteção

ISO	Organização Internacional de Normalização
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kv	Kilovolt
kvA	Kilovolt-ampere
kw	Kilowatt
K1	Correção tonal
K2	Correção impulsiva
L _{Aeq}	Nível sonoro equivalente ponderado curva A
L _{Aleq}	Nível sonoro equivalente com a constante de integração impulsivo ponderado curva A
L _{Ar}	Nível de avaliação
L _d	Indicador de ruído diurno
L _{den}	Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno
L _e	Indicador de ruído entardecer
L _n	Indicador de ruído noturno
L _{WA}	Nível de potência sonora ponderado curva A
m	metro
min	minuto
m/s	metro por segundo
MW	Megawatt
NP	Norma Portuguesa
n.º	Número
q	Valor de relação percentual
RA	Ruído Ambiente
RBF	Ruído de Baixa Frequência
rpm	Rotações por minuto
RR	Ruído Residual
STE	Síndrome da Turbina Eólica
V	Volt
ZM	Zona mista
ZNC	Zona não classificada
ZS	Zona sensível
ρ	Massa volúmica
°C	Grau Celsius

INTRODUÇÃO

A necessidade de energias alternativas encontrou na energia eólica uma fonte inesgotável de produção de energia elétrica. Este facto, aliado ao desenvolvimento tecnológico, originou um crescimento exponencial, quer dos equipamentos quer da sua implementação, descurando os impactes negativos que estes provocam na sua área de influência. Devido a esta crescente expansão e desenvolvimento da construção de parques eólicos seria de esperar uma atenção significativa a esta temática por parte das entidades públicas com atribuições no domínio do ordenamento e planeamento do território, verificando-se atualmente que ainda é uma área muito pouco trabalhada nos instrumentos de planeamento em vigor (planos municipais e planos especiais de ordenamento do território).

Com a evolução verificada no aproveitamento da energia eólica, quer em quantidade de parques eólicos, quer na dimensão dos aerogeradores e tendo em conta as características específicas das componentes do seu funcionamento, verificou-se que a atual legislação não acompanha adequadamente o impacto do ruído e como tal tornou-se indispensável uniformizar os critérios de avaliação do ruído provocado pela instalação e funcionamento dos aerogeradores.

As preocupações inerentes à instalação dos aerogeradores dizem respeito ao ruído que estes emitem e o conseqüente incómodo para as pessoas, bem como os efeitos adversos que estes provocam na saúde das pessoas.

Após a instalação dos parques eólicas as populações vizinhas começaram a queixar-se de perturbações do sono, dores de cabeça, zumbido, pressão no ouvido, estonteamento, vertigem, náuseas, turvamento visual, taquicardia, irritabilidade, problemas com concentração e memória e episódios de pânico associados com sensações de pulsação interna ou vibração, os quais aumentam ao acordar ou adormecer. Nas alturas em que as pessoas passavam vários dias longe de casa esses sintomas desapareciam, mas quando voltavam a casa esses mesmos sintomas reapareciam (1).

O tema escolhido é um tema que começou a ter algum destaque nos últimos anos, como é o caso da população da freguesia de Malcata (Sabugal), distrito da Guarda, que se tem demonstrado contra a ampliação do Parque Eólico existente e como tal, irá avançar com uma ação popular administrativa para tentar travar o projeto. A queixa é justificada por a população de Malcata considerar que a emissão da Declaração de Impacto Ambiental

“não atende” às suas preocupações “relativamente ao ruído, não prevendo a localização de medidores em locais significados e não preconizando medidas que garantam o cumprimento escrupuloso do Regulamento do Ruído” (2).

Além disso, as populações invocam “que está em causa o seu supremo bem-estar, a sua qualidade de vida e o futuro da aldeia”. Outra das questões levantadas é a desvalorização dos terrenos e das casas após a instalação dos aerogeradores, “sem prévio Estudo de Impacto Ambiental (EIA), uma vez que os mesmos impactam enormemente na sua paisagem e qualidade de vida, e desvalorizam consideravelmente o valor real e potencial dos seus ativos (terras e casas)” (3).

Pretende-se com este trabalho evidenciar as consequências resultantes da instalação de parques eólicos junto a zonas habitacionais, que a nível de legislação nacional e europeia se encontra praticamente intocável, não havendo um controle de distâncias mínimas que viabilizem a manutenção e o cuidado para com a saúde pública, devido aos interesses económicos associados.

Considerando todos os dados mencionados anteriormente pretende-se com este trabalho obter resposta à seguinte pergunta de partida:

- Será que o ruído produzido por um parque eólico é incomodativo para a população vizinha?

No que se refere aos objetivos do estudo estabeleceram-se o objetivo geral e os objetivos específicos:

Objetivo Geral:

- Análise e caracterização do ruído de baixa frequência produzido por um parque eólico. Efeito sobre a população.

Objetivos Específicos:

- Avaliar os níveis de ruído de baixa frequência num parque eólico;
- Descrever medidas preventivas para minimizar o ruído produzido por um parque eólico.

A metodologia de investigação aplicada neste estudo, quanto à natureza, é uma investigação aplicada, pois trata-se de um estudo de caso com fins académicos, que tem como objetivo a aquisição de novos conhecimentos orientados para a solução de problemas concretos. Quanto ao tipo de pesquisa é um estudo longitudinal dado que a recolha de

dados foi obtida em vários momentos, havendo um acompanhamento ao longo do tempo do fenómeno em estudo, sendo um tipo de pesquisa mais lenta, que consome mais recursos e que fornece informação mais abrangente.

Quanto à forma de abordagem é um tipo de pesquisa quantitativa, visto que serão quantificáveis as medições dos níveis de ruído de baixa frequência com recurso a um sonómetro, assim como a velocidade do vento e temperatura do ar com recurso a um anemómetro.

Este trabalho encontra-se dividido por capítulos:

No Capítulo I faz-se uma revisão de literatura relacionada com a temática do ruído de baixa frequência.

No Capítulo II faz-se o enquadramento legal do ruído.

No Capítulo III caracteriza-se o local onde será efetuado o estudo do ruído de baixa frequência.

No Capítulo IV são definidos os objetivos e a metodologia adotada. Quanto aos objetivos faz-se um breve resumo sobre a temática e posteriormente referem-se qual o objetivo geral e os objetivos específicos. Na metodologia serão referidos os métodos adotados, os instrumentos e o procedimento adotado na recolha de dados, assim como o tipo de equipamentos utilizados.

No Capítulo V constam os resultados obtidos nas medições, assim como a análise e discussão dos resultados obtidos.

No Capítulo V faz-se uma sugestão de melhorias para trabalhos futuros.

Na Conclusão, com base nos resultados obtidos nas medições irá responder-se à pergunta de partida. Faz-se uma análise dos dados obtidos nas medições e descrevem-se medidas preventivas para minimizar o ruído produzido por um parque eólico. Apresentam-se ainda sugestões para desenvolvimentos futuros.

Em Anexos / Apêndices encontram-se as listagens de dados recolhidos e outros dados considerados importantes.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. RECURSO EÓLICO

O vento resulta do deslocamento de massas de ar, sendo esse fenómeno consequência do movimento do ar de um ponto no qual a pressão atmosférica é mais alta em direção a um ponto onde ela é mais baixa. A distribuição de radiação solar na superfície terrestre ocorre de forma desigual, criando-se assim diferentes zonas térmicas e regiões de alta e baixa pressão atmosférica. A temperatura e a altitude interferem com a pressão atmosférica, visto que nas zonas de baixa altitude a pressão atmosférica é alta e nas zonas de elevada altitude a pressão atmosférica é baixa.

Castro (4 p. 115) refere que a conversão da energia cinética associada ao deslocamento das massas de ar em energia mecânica vem sendo utilizada pela Humanidade há quase 3000 anos. Segundo este, tudo indica que os moinhos de vento, utilizados para moagem de grãos e bombagem de água em atividades agrícolas, foram as primeiras aplicações da energia eólica, remontando os primeiros registos fidedignos a 200 a.C., na Pérsia. Foi em 1980, na Dinamarca, que se deu o grande desenvolvimento da aplicação da energia eólica para geração de eletricidade, com a fabricação, por pequenas companhias de equipamentos agrícolas, das primeiras turbinas.

Atualmente é inquestionável que a energia eólica é apontada como a fonte de energia renovável mais promissora para a produção de eletricidade, tendo em conta aspetos de segurança do aprovisionamento energético, de sustentabilidade ambiental e da viabilidade económica.

1.2. A ENERGIA EÓLICA

Castro (4) refere que os nossos antepassados usavam fontes energéticas como o vento, a água e a lenha na produção de calor e de força motriz. As novas fontes como o carvão, o petróleo, o gás e o nuclear, substituíram as fontes energéticas anteriormente utilizadas, em particular nos países que se foram industrializando. O ressurgimento das energias renováveis dá-se a partir dos choques petrolíferos da década de 70. A necessidade de assegurar a diversidade e a segurança no fornecimento de energia, assim como a obrigação de proteger o ambiente cuja degradação ia sendo acentuada pelo uso de combustíveis fósseis, motivaram o renovado interesse pelas energias renováveis. A energia eólica tem sido desenvolvida principalmente na Europa e nos EUA e é hoje em dia vista

como uma das mais promissoras fontes de energia renováveis, sendo caracterizada por uma tecnologia madura.

A energia eólica representa o aproveitamento da energia cinética contida no vento, sendo esta captada pelas pás do rotor do aerogerador e convertida em energia mecânica. Posteriormente a energia mecânica é transformada em energia elétrica no gerador. A energia elétrica é depois injetada na rede elétrica de distribuição, ou de transporte (5).

Apesar das aparentes vantagens no uso da energia eólica para a produção de energia elétrica, este tipo de aproveitamento energético eólico apresenta também desvantagens e impactos significativos principalmente no uso de grandes aerogeradores, parques e usinas eólicas (6).

1.2.1. VANTAGENS DA ENERGIA EÓLICA

As principais vantagens da energia eólica são:

Vantagens para a sociedade em geral:

- É inesgotável;
- Não emite gases poluentes nem gera resíduos;
- Diminui a emissão de gases de efeito de estufa (GEE)

Vantagens para as comunidades onde se inserem os Parques Eólicos:

- Os parques eólicos são compatíveis com outros usos e utilizações do terreno como a agricultura e a criação de gado;
- Criação de emprego;
- Geração de investimento em zonas desfavorecidas;
- Benefícios financeiros (proprietários e zonas camarárias).

Vantagens para o estado:

- Reduz a elevada dependência energética do exterior, nomeadamente a dependência em combustíveis fósseis;
- Poupança devido à menor aquisição de direitos de emissão de CO₂ por cumprir o protocolo de Quioto e diretivas comunitárias e menores penalizações por não cumprir;
- Possível contribuição de cota de GEE para outros sectores da atividade económica;

- É uma das fontes mais baratas de energia podendo competir em termos de rentabilidade com as fontes de energia tradicionais.

Vantagens para os promotores:

- Os aerogeradores não necessitam de abastecimento de combustível e requerem escassa manutenção, uma vez que só se procede à sua revisão em cada seis meses;
- Excelente rentabilidade do investimento. Em menos de seis meses, o aerogerador recupera a energia gasta com o seu fabrico, instalação e manutenção.

1.2.2. DESVANTAGENS DA ENERGIA EÓLICA

As principais desvantagens da energia eólica são:

- A intermitência, ou seja, nem sempre o vento sopra quando a eletricidade é necessária, tornando difícil a integração da sua produção no programa de exploração;
- Pode ser ultrapassado com as pilhas de combustível (H₂) ou com a técnica da bombagem hidroelétrica;
- Provoca um impacto visual considerável, principalmente para os moradores em redor, a instalação dos parques eólicos gera uma grande modificação da paisagem;
- Impacto sobre as aves do local: principalmente pelo choque destas nas pás, efeitos desconhecidos sobre a modificação de seus comportamentos habituais de migração;
- Impacto sonoro: o som do vento bate nas pás produzindo um ruído constante (43dB(A)).

1.3. AEROGERADORES

1.3.1. TIPOS DE AEROGERADORES

Os aerogeradores quanto à sua localização podem ser classificados como Onshore e Offshore (Figuras 1 e 2), caso se localizem em terra ou na água, respetivamente. As principais diferenças entre os dois tipos têm a ver com o tipo de fundação usada e a interligação com a rede elétrica.



Figura 1 - Parque Eólico Middelgrunden na Dinamarca (7)



Figura 2 - Parque Eólico Osório no Brasil (8)

Existem dois tipos de aerogeradores: os de eixo vertical e os de eixo horizontal.

1.3.2.1. AERogeradores de Eixo Vertical

Os aerogeradores de eixo vertical tendem a ser mais seguros, são mais fáceis de construir, podem ser montados mais perto do solo e lidam muito melhor com condições de turbulência. As torres são baixas, entre 0,1 e 0,5 vezes a altura do próprio rotor, o que permite a colocação de todo o dispositivo de conversão de energia (gerador, caixa de velocidades, etc.) na base do aproveitamento, facilitando assim as operações de manutenção. Neste tipo de aerogerador não é necessário o dispositivo de orientação da turbina face ao vento, tal como acontece nos aerogeradores de eixo horizontal. Este tipo de aerogerador possui uma velocidade de arranque mais baixa do que a dos aerogeradores de eixo horizontal, o que lhes dá vantagem em condições de vento reduzido. Os aerogeradores de eixo vertical não são tão eficientes como os aerogeradores de eixo horizontal, uma vez que o vento junto ao solo é de mais fraca intensidade, o que implica um menor rendimento deste tipo de aerogeradores e a torre fica sujeita a elevados esforços mecânicos (9).

Na Figura 3 podem-se observar vários modelos de aerogeradores de eixo vertical existentes no mercado.



Figura 3 - Aero geradores de eixo vertical (9)

1.3.2.2. AEROGERADORES DE EIXO HORIZONTAL

Os aerogeradores de eixo horizontal baseiam-se no princípio de funcionamento dos moinhos de vento, sendo constituídos por turbinas de uma a três pás ou multipás (acima de três pás), com um perfil aerodinâmico. Os aerogeradores de 3 pás são os mais comuns, uma vez que constituem um bom compromisso entre coeficiente de potência, custo e velocidade de rotação, bem como uma melhor estética comparada aos aerogeradores de 2 pás. Apesar dos aerogeradores de 2 pás serem mais eficientes, são mais instáveis e propensas a turbulências, trazendo risco a sua estrutura, o que não acontece nos aerogeradores de 3 pás que são muito mais estáveis. Os aerogeradores de eixo horizontal são os mais utilizados porque o seu rendimento aerodinâmico é superior aos de eixo vertical e estão menos expostos aos esforços mecânicos, compensando o seu maior custo (9).

Existem duas categorias de aerogeradores de eixo horizontal (9):

- ❖ Frontais (“upwind”): o vento sopra pela parte frontal. As pás são rígidas e o rotor é orientado segundo a direção do vento através de um dispositivo motor (Figura 4).
- ❖ Retaguarda (“downwind”): o vento sopra pela retaguarda das pás. O rotor é flexível e auto-orientável (Figura 5).

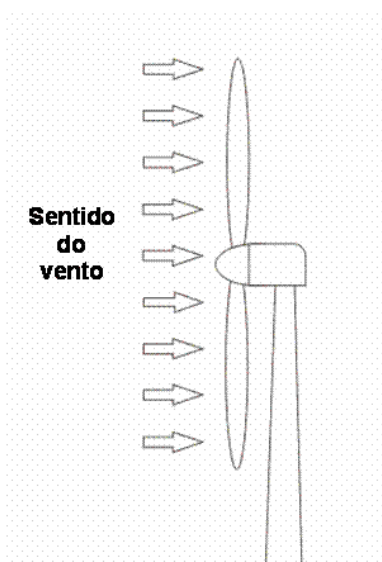


Figura 4 - Esquema de um aerogerador de eixo horizontal frontal (9)

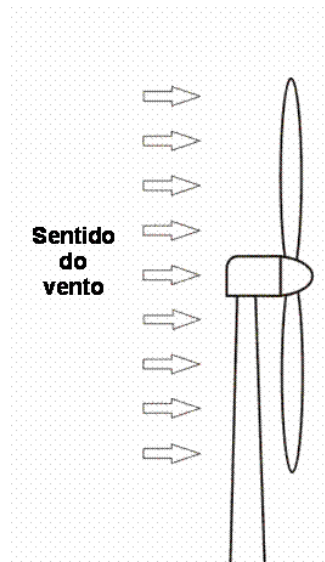


Figura 5 - Esquema de um aerogerador de eixo horizontal à retaguarda (9)

Na Figura 6 podem-se observar vários modelos de aerogeradores de eixo horizontal existentes no mercado.



Figura 6 - Aerogeradores de eixo horizontal (9)

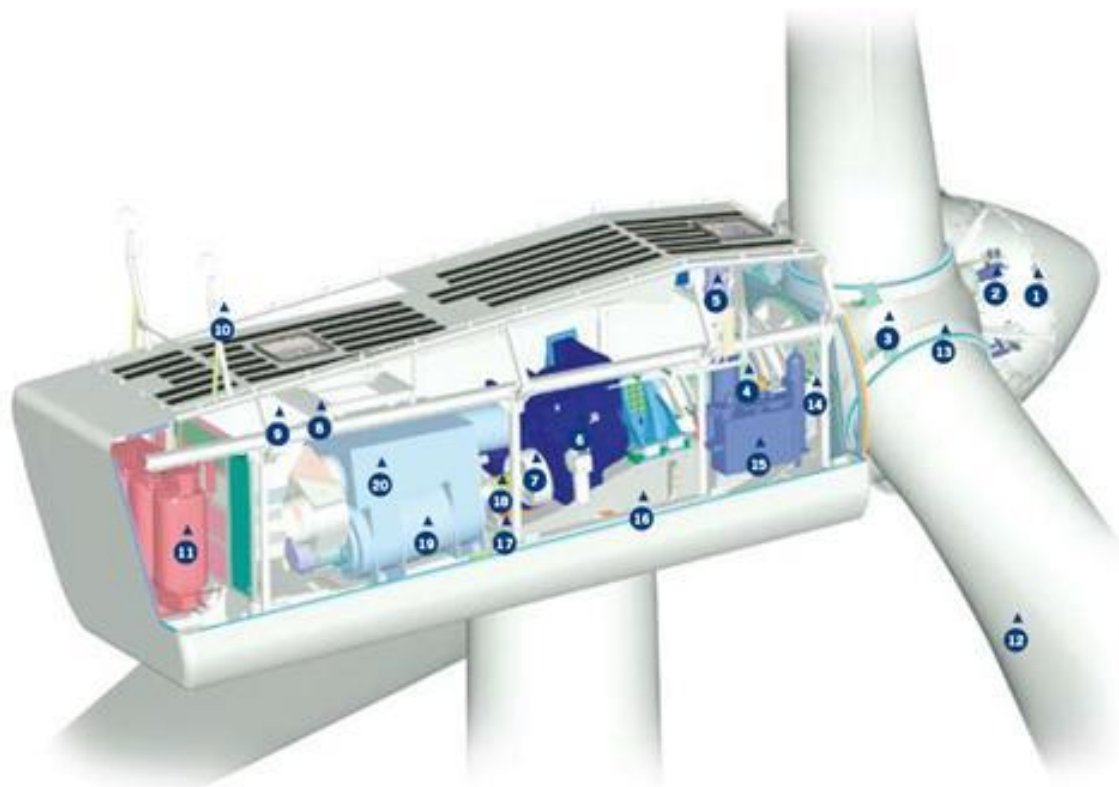
O sistema de conversão de energia eólica num aerogerador de eixo horizontal divide-se em três componentes principais (4):

- ❖ Rotor: O rotor é constituído pelas pás e pelo cubo. O cubo é o componente onde se encaixam as pás. É no rotor que se dá a conversão da energia cinética do vento em energia mecânica de rotação;
- ❖ Cabina (Nacelle): Na cabina estão alojados, entre outros equipamentos, o veio principal, o travão de disco, a caixa multiplicadora (caso exista), o gerador e o mecanismo de orientação direcional.
- ❖ Torre de sustentação: A torre suporta a cabina e eleva o rotor até uma cota em que a velocidade do vento é maior e menos perturbada do que junto ao solo. A torre é normalmente tubular, podendo ser fabricadas em aço ou betão.

A existência de caixa multiplicadora depende do tipo de gerador, cuja função é converter a energia mecânica transmitida pelo rotor em energia elétrica. O gerador pode ser

síncrono ou assíncrono. O gerador síncrono caracteriza-se pela ausência de caixa multiplicadora, que é substituída por um elevado número de pólos, o que permite acompanhar a velocidade de rotação do aerogerador e, conseqüentemente aumentar a fiabilidade do sistema. A adaptação da frequência das grandezas elétricas do gerador à frequência constante da rede de 50Hz é realizada através de um sistema de conversão corrente alternada / corrente contínua / corrente alternada (AC / DC/ AC). O gerador assíncrono possui caixa multiplicadora, que permite adaptar a velocidade do rotor à velocidade de rotação do gerador. Este tipo de gerador tem o estator diretamente ligado à rede de energia elétrica e o rotor está ligado à rede através de um sistema de conversão corrente alternada / corrente contínua / corrente alternada (AC / DC/ AC). A opção mais usada pelos fabricantes é a do gerador assíncrono (4).

As Figuras 7 e 8 mostram, respetivamente, pormenores de um aerogerador com e sem caixa multiplicadora.



Legenda:

- | | |
|---|--|
| 1. Controlador do cubo | 11. Transformador de alta tensão |
| 2. Controle pitch | 12. Pás |
| 3. Fixador das pás no cubo | 13. Rolamento das pás |
| 4. Eixo principal | 14. Sistema de travão do rotor |
| 5. Aquecedor de óleo | 15. Sistema hidráulico |
| 6. Caixa multiplicadora | 16. Plataforma da cabina (<i>Nacelle</i>) |
| 7. Sistema de freios | 17. Motores de posicionamento da cabina (<i>Nacelle</i>) |
| 8. Plataforma de serviços | 18. Luva de acoplamento |
| 9. Controladores e inversores | 19. Gerador |
| 10. Sensores de direção e velocidade do vento | 20. Aquecimento de ar |

Figura 7 – Aerogerador com caixa multiplicadora (10)



Legenda:

1. Apoio principal da cabina (*Nacelle*)
2. Mecanismo de orientação da cabina (*Nacelle*)
3. Gerador em anel (multipolos)
4. Fixador das pás ao eixo
5. Cubo do rotor
6. Pás
7. Sensores de direção e velocidade do vento

Figura 8 - Aerogerador sem caixa multiplicadora (10)

1.4. RUÍDO DE AEROGERADORES

1.4.1. FONTES DE RUÍDO DE AEROGERADORES

O ruído produzido pelos aerogeradores pode ser dividido em duas categorias: ruído mecânico, que resulta da interação dos diferentes componentes mecânicos do aerogerador, e ruído aerodinâmico, que é produzido pelo fluxo de ar sobre as pás do aerogerador (11).

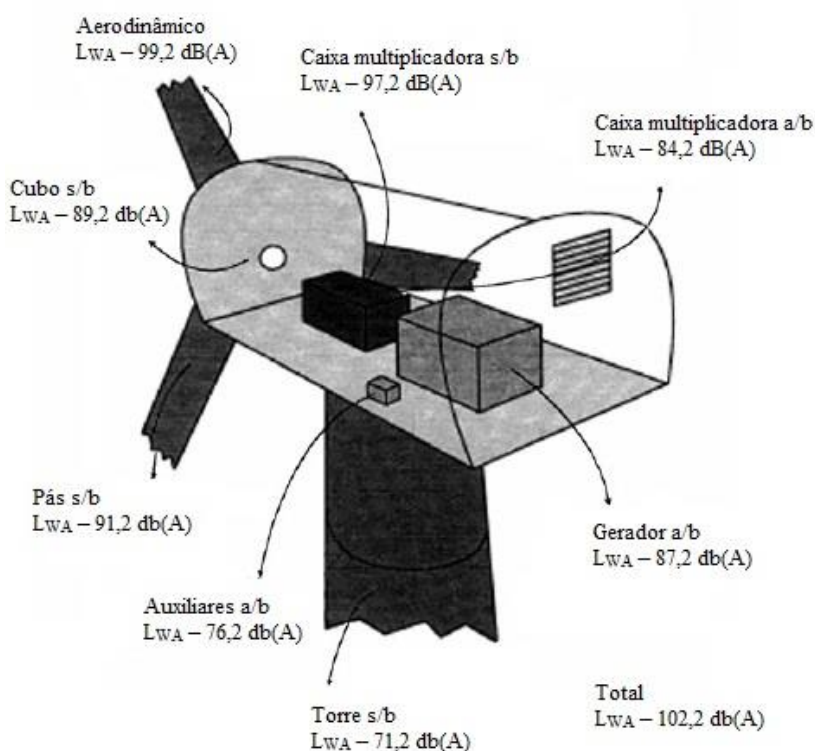
1.4.1.1. RUÍDO MECÂNICO

Os ruídos mecânicos são originados a partir do movimento relativo de componentes mecânicos e a resposta dinâmica entre eles. Como componentes mecânicos tem-se (11):

1. Caixa Multiplicadora
2. Gerador
3. Mecanismo de orientação
4. Ventoinhas de arrefecimento
5. Equipamento auxiliar

Uma vez que o ruído está associado à rotação do equipamento mecânico e elétrico, este tende a ser tonal, apesar de possuir componentes de banda larga. Além disso, o cubo, o rotor e a torre podem atuar como altifalantes, transmitindo o som mecânico e difundindo-o.

O som pode ser transmitido diretamente da superfície dos componentes do aerogerador para o ar ou transmitido ao longo de outros componentes estruturais antes de ser difundido para o ar. A Figura 9 mostra o caminho de transmissão e os níveis de potência sonora para os componentes individuais de um aerogerador de 2MW. Analisando-se os diferentes valores de potência sonora assinalados é possível constatar-se que a principal fonte dos sons mecânicos é a caixa multiplicadora (11).



(Fonte: Adaptado de Wagner et al., 1996 citado por (11))

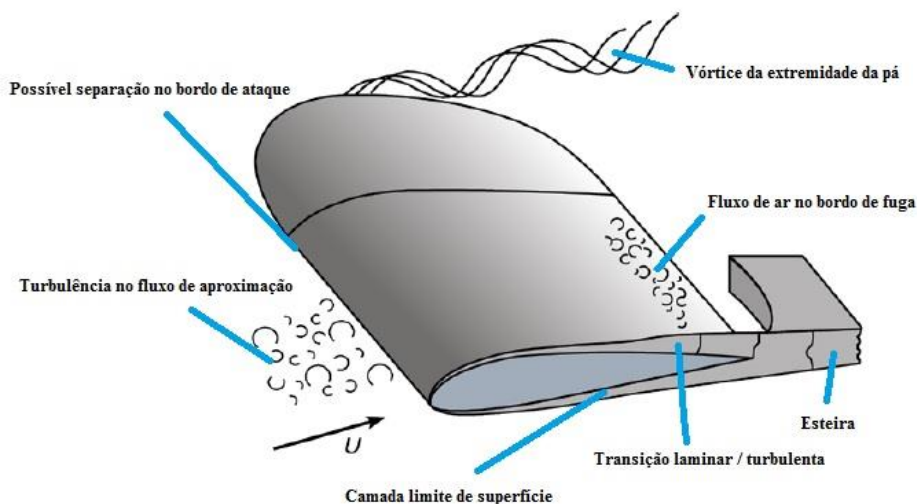
Figura 9 - Componentes e nível de potência sonora num aerogerador e respetivos caminhos de transmissão de ruído: componentes estruturais (s/b) e o ar (a/b) (11)

Onde: LWA - Nível de potência sonora ponderado curva A [dB (A)]

1.4.1.2. RUÍDO AERODINÂMICO

O ruído aerodinâmico está diretamente relacionado com o fluxo de ar em torno das pás, que resultam de forças aplicadas sobre as mesmas. O som aerodinâmico geralmente aumenta com a velocidade do rotor.

Na Figura 10 é possível observar-se que pode ocorrer um grande número de fenómenos de fluxo, cada um dos quais pode gerar um som.



(Fonte: Adaptado de Wagner et al., 1996 citado por (11))

Figura 10 - Esquema do fluxo em torno de uma pá do rotor (11)

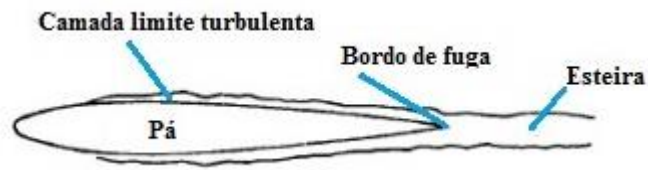
Segundo Wagner et al. (1996) citado por Roger et al. (2006) o som aerodinâmico pode ser dividido em 3 grupos (11):

1. Ruído de baixa frequência (*Low Frequency Sound*): Som gerado quando os encontros das pás rotatórias localizam deficiências de fluxo em volta de uma torre ou quando ocorrem mudanças da velocidade do vento.
2. Ruído da turbulência do fluxo (*Inflow Turbulence Sound*): Som que depende da quantidade de turbulência atmosférica. O ruído da turbulência do fluxo resulta da interação das pás com a turbulência atmosférica. O ruído emitido é de banda larga.
3. Ruído próprio da pá (*Airfoil Self Noise*): Som gerado pelo fluxo de ar diretamente ao longo da superfície da pá.

O ruído próprio da pá pode dividir-se nos seguintes tipos de ruído:

- a) Ruído de bordo de fuga (*Trailing edge noise*)

O ruído de bordo de fuga resulta da interação da turbulência existente na camada limite com o bordo de fuga da pá (Figura 11). O ruído emitido é de banda larga, que é a principal fonte de ruído de larga frequência podendo apresentar valores compreendidos entre os 770Hz e os 2000Hz.

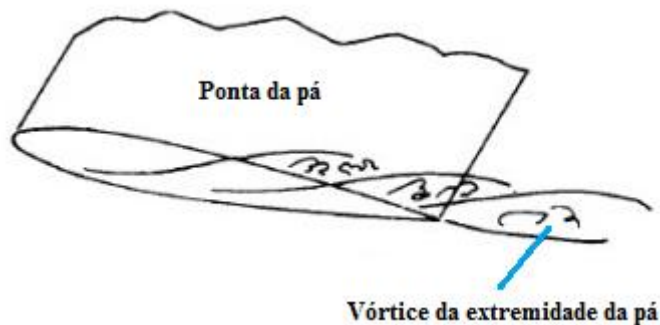


(Fonte: Adaptado de (12))

Figura 11 – Ruído de bordo de fuga (12)

b) Ruído do vórtice da extremidade da pá (*Tip vortex formation noise*)

Este tipo de ruído ocorre quando se formam vórtices na extremidade da pá, que se propagam e interagem com o bordo de fuga da pá (Figura 12), causando ruído de banda larga.

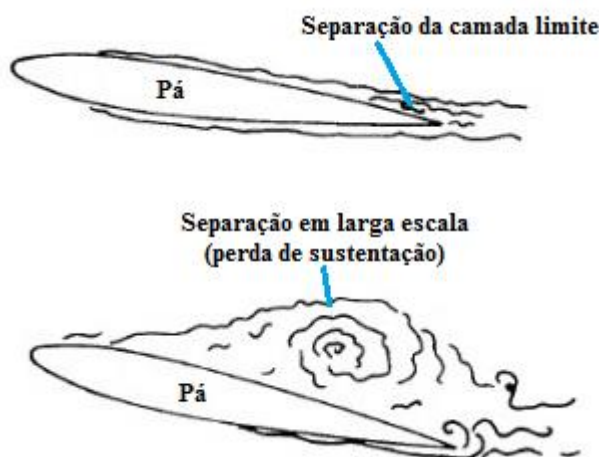


(Fonte: Adaptado de (12))

Figura 12 – Ruído do vórtice da extremidade da pá (12)

c) Ruído de separação (perda de sustentação) (*Stall, separation noise*)

Este tipo de ruído resulta da separação do fluxo aerodinâmico que ocorre quando a pá opera com grandes ângulos de ataque. Ao aumentar o ângulo de ataque da pá, o fluido que escoar pela parte superior é intensamente acelerado, intensificando os gradientes de pressão em torno da pá, o que aumenta a força de sustentação. Ao se aumentar ainda mais o ângulo de ataque, como mostrado na Figura 13, o gradiente de pressão adverso será muito intenso, provocando a separação da camada limite da pá, originando-se assim uma região turbulenta, vista atrás da pá da mesma figura. Consequentemente o arrasto da pressão aumenta muito mais fortemente do que a sustentação, ou seja, a pá perderá a sustentação. O ruído emitido é de banda larga.

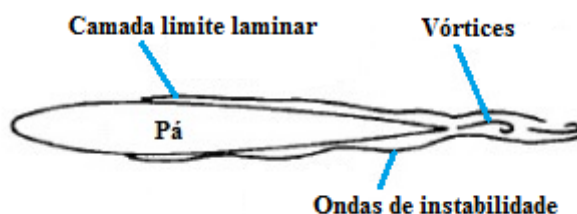


(Fonte: Adaptado de (12))

Figura 13 – Ruído de separação (perda de sustentação) (12)

d) Ruído da camada limite laminar (*Laminar boundary layer noise*)

Ondas de instabilidade na camada limite laminar podem originar bolhas de separação que podem, em seguida, formar vórtices que se propagam ao longo da pá e que interagem com o bordo de fuga (Figura 14), causando ruído com componentes tonais.

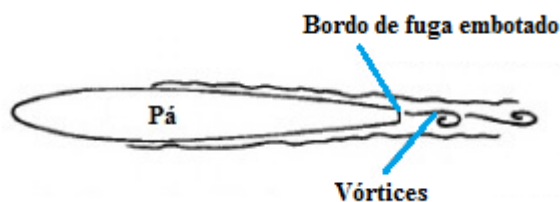


(Fonte: Adaptado de (12))

Figura 14 – Ruído da camada limite laminar (12)

e) Ruído de bordo de fuga embotado (*Blunt trailing edge noise*)

Este tipo de ruído depende da forma e espessura do bordo de fuga da pá. Se a espessura do bordo de fuga for maior que a espessura da camada limite no bordo de fuga, esta fonte será dominante no ruído geral. Na Figura 15 verifica-se que o bordo de fuga apresenta uma forma embotada e, como tal, o desprendimento de vórtices no bordo de fuga da pá originará ruído tonal. Por forma a reduzir os níveis de ruído, as pás devem ter arestas de saída suaves.



(Fonte: Adaptado de (12))

Figura 15 – Ruído de bordo de fuga embotado (12)

O ruído aerodinâmico é atualmente o ruído dominante nos aerogeradores, visto que os fabricantes têm sido capazes de reduzir o ruído mecânico, através do amortecimento de vibrações e aperfeiçoamento dos diferentes componentes mecânicos de um aerogerador, abaixo do ruído aerodinâmico. Com o aumento das dimensões das pás do aerogerador este tipo de ruído tende a ser ainda mais dominante, porque o ruído mecânico não aumenta em função do aumento da dimensão das pás, tão rapidamente quanto o ruído aerodinâmico (13).

Por forma a atenuar o ruído emitido pelas pás do aerogerador, existem várias estratégias, sendo que as principais estão relacionadas com a redução da velocidade da ponta da pá, diminuição da velocidade rotacional ou utilização de pás menores. Outras estratégias estão diretamente ligadas ao projeto aerodinâmico da pá através da alteração da forma da ponta ou do bordo de fuga, utilização de ângulos de ataque menores e velocidade de rotação variável (11).

1.4.2. CARACTERÍSTICAS DO RUÍDO DOS AEROGERADORES

Como se constatou no ponto anterior, existem várias fontes de ruído nos aerogeradores que contribuem de forma distinta para as suas características sonoras finais.

Nesse contexto, o ruído gerado pelos diversos componentes dos aerogeradores pode ser caracterizado como: tonal, banda larga, baixa frequência e impulsivo (11).

1. **Tonal:** O ruído tonal é um som com frequências discretas e pode ser causado por componentes mecânicos, tais como engrenagens, e instabilidades não aerodinâmicas que interagem com a superfície das pás do rotor;
2. **Banda larga:** O ruído de banda larga é caracterizado por uma distribuição contínua de pressão sonora com frequências superiores a 100Hz e muitas vezes é causado pela interação das pás com a turbulência atmosférica;

3. **Baixa frequência:** O ruído de baixa frequência está compreendido entre os 20 a 100Hz e é geralmente associado a rotores à retaguarda (“downwind”). É causado quando as pás encontram deficiência de fluxo à volta da torre.
4. **Impulsivo:** O ruído impulsivo é caracterizado por impulsos acústicos curtos ou sons de batimento que variam em amplitude com o tempo. É causado pela interação das pás com a turbulência provocada pela passagem do vento em redor da torre.

O ruído de baixa frequência (RBF) corresponde a um espectro de frequências que varia de autor para autor. Roger et al. (11) considera que o ruído de baixa frequência está compreendido entre os 10Hz e os 100Hz; Levanthall (14) considera os valores de 10Hz a 100Hz; Berglund e Hassmén (15) consideram os valores de 20Hz a 250Hz; McCunney et al. (16) consideram os valores de 20Hz a 200Hz.

Em Portugal, considera-se que o ruído de baixa frequência (RBF) apresenta frequências iguais ou inferiores a 500Hz (17), incluindo dois conjuntos de frequências diferentes, nomeadamente, infrassom (som inaudível), que ocorre entre os 0 e os 20Hz e som audível, que ocorre entre os 20 e os 500Hz. O ruído emitido pelos aerogeradores é composto por estes dois conjuntos de frequências, sendo estes os causadores da síndrome da turbina eólica (STE).

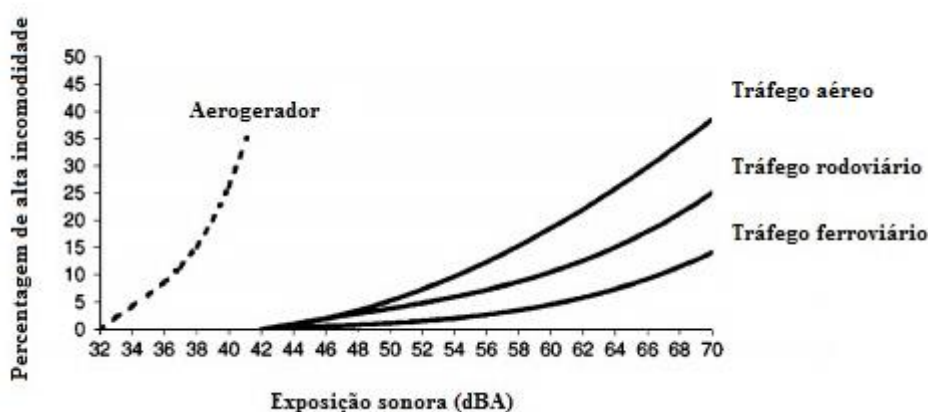
1.4.3. PERCEÇÃO DO RUÍDO DOS AEROGERADORES

Fisicamente não existe qualquer diferença entre o som e o ruído. O som é uma percepção sensorial e o ruído é visto como um som indesejado, desagradável e frequentemente irritante. A percepção sensorial consiste na capacidade do ouvinte em captar os sinais exteriores através dos sentidos e descodificá-los.

O ouvido humano deteta frequências no intervalo entre os 20Hz e os 20000Hz que corresponde à gama audível. As frequências inferiores a 20Hz designam-se por infrassons que corresponde à gama inaudível.

A percepção individual do ruído depende das características do mesmo, isto é, da intensidade, do espectro e da frequência com que ocorre. Fatores como a idade do indivíduo, o estado emocional, os gostos, as crenças ou o modo de vida determinam o grau de incomodidade do ruído (18).

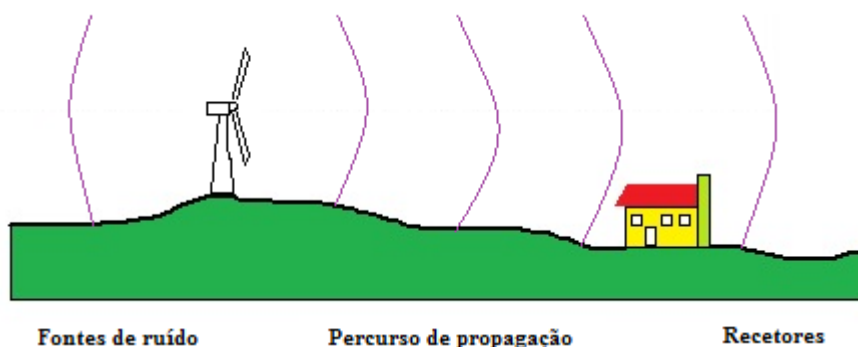
Pederson e Wayne (13) efetuaram um estudo que visa quantificar a incomodidade sonora a que algumas pessoas estão sujeitas em função de diferentes fontes sonoras, tais como: aerogeradores, tráfego aéreo, tráfego rodoviário e tráfego ferroviário (Figura 16). Este constatou que o ruído do tráfego aéreo, rodoviário e ferroviário são percebidos como ruído que provoca incomodidade a níveis de pressão sonora mais elevados, quando comparados com os aerogeradores que apresentam níveis de pressão sonora inferiores. Apesar dos níveis de pressão sonora dos aerogeradores serem baixos, estes podem ser considerados ruidosos.



(Fonte: Adaptado de (13))

Figura 16 – Incomodidade sonora associada a diferentes fontes sonoras (13)

Segundo Hubbard e Shepherd (19), o ruído gerado pelos aerogeradores que é percebido numa dada localização baseia-se nos seguintes elementos principais: fontes de ruído, percurso de propagação e recetores (Figura 17). As fontes de ruído podem ser de origem mecânica ou aerodinâmica. Fatores como a distância, os gradientes de vento, a absorção e tipologia do terreno têm influência no percurso de propagação entre a fonte e o recetor. No recetor deve-se ter em conta a influência do ruído ambiente, a posição do recetor no interior ou exterior do edifício e a vibração do edifício.



(Fonte: Adaptado de (19))

Figura 17 – Propagação do ruído de aerogeradores (19)

1.4.4. EFEITOS DO RUÍDO DOS AEROGERADORES NA SAÚDE HUMANA

A exposição ao ruído tem inúmeras consequências na saúde humana, que podem ter efeitos diretos no aparelho auditivo ou efeitos “não auditivos”, em que estes últimos comprometem o funcionamento de todo o corpo.

Tendo por base a citação “It should be noted that a large proportion of low frequency components in a noise may increase considerably the adverse effects on health”¹(20 p. xiii) da World Health Organization (Organização Mundial de Saúde) conclui-se que a componente de baixas frequências num ruído e a exposição excessiva ao RBF provocam efeitos adversos na saúde humana, o que leva os especialistas, nos dias de hoje, a encarar o RBF como algo de preocupante. Além disso, a evidência dos efeitos do RBF no homem é, hoje em dia, suficientemente grande para justificar preocupações imediatas.

Ao nível dos efeitos diretos no aparelho auditivo, os níveis sonoros medidos na vizinhança de parques eólicos em funcionamento, não possuem intensidade suficiente que comprometam a saúde auditiva da população. No entanto, os efeitos “não auditivos” têm uma significativa importância, mas tendem a ser ignorados pelo facto de não serem necessariamente incómodativos à percepção humana.

Os efeitos “não auditivos” dos aerogeradores na saúde humana ocorrem a frequências iguais ou inferiores a 500Hz (RBF) e dependem das diferenças de suscetibilidade de cada indivíduo. Como efeitos “não auditivos” destacam-se a Síndrome da Turbina Eólica (STE) e a Doença Vibroacústica (DVA).

¹ Deve notar-se que uma grande proporção de componentes de baixa frequência num ruído pode aumentar consideravelmente os efeitos adversos sobre a saúde.

1.4.4.1. SÍNDROME DA TURBINA EÓLICA (STE)

Para quem não tem conhecimento, existe diferença entre síndrome e doença. A palavra síndrome, que na medicina se traduz por um estado mórbido (enfermo, doente, relativo à doença), caracteriza-se por um aglomerado de sintomas e sinais clínicos, podendo resultar de mais de uma causa, enquanto a palavra doença significa que há um distúrbio das funções de um órgão, da psique ou do organismo como um todo que está relacionado a sintomas específicos. Conclui-se portanto que a síndrome não é considerada uma doença mas sim uma condição médica (21).

O ruído emitido pelos aerogeradores é composto por dois conjuntos de frequências, infrassom (ocorre entre os 0 e os 20Hz) e som audível (ocorre entre os 20 e os 500Hz). O RBF é composto por estes dois conjuntos de frequências, sendo o causador da síndrome da turbina eólica (STE).

Segundo Pierpont (22) a explicação para a STE pode estar enfiada no ouvido interno, mais propriamente no sistema vestibular, que é o responsável pelo equilíbrio do corpo humano. O sistema vestibular situa-se dentro do osso temporal, adjacente à cóclea e faz parte da orelha interna, sendo constituído por um labirinto ósseo dentro do qual membranas formam três canais semicirculares (horizontal, superior e posterior) e dois órgãos otolíticos (sáculo e o utrículo) (23).

A STE não se manifesta em todos os indivíduos que vivem perto de parques eólicos, devido às diferenças de suscetibilidade de cada indivíduo. Os sintomas da STE incluem (24):

- ✚ Perturbação do sono: o ruído audível ou sensações físicas de pulsação ou pressão dificultam a capacidade do indivíduo em adormecer e causam o despertar frequente deste;
- ✚ Dores de cabeça que aumentam em frequência ou severidade;
- ✚ Tonturas, instabilidade e náuseas;
- ✚ Exaustão, ansiedade, raiva, irritabilidade e depressão;
- ✚ Problemas de concentração e aprendizagem;
- ✚ Zumbido nos ouvidos.

A perturbação do sono é uma das queixas mais comuns relatadas pelas populações expostas ao ruído e pode ter um grande impacto sobre a saúde e qualidade de vida. Estudos

realizados têm demonstrado que o ruído afeta o sono em termos de efeitos imediatos (por exemplo: mudanças de estágios do sono, despertares, movimentos corporais, respostas autónomas), pós-efeitos (por exemplo: sonolência, desempenho do dia, deterioração da função cognitiva) e efeitos a longo prazo (por exemplo: distúrbios do sono crónicos). É necessário um sono tranquilo para manter um bom desempenho durante o dia, assim como uma boa saúde em geral. Durante o sono o organismo reconhece, avalia e reage a sons ambientais, reações que são parte de um processo de ativação integrante do organismo e que se podem expressar através de mudanças na estrutura do sono ou aumento da frequência cardíaca. Apesar de serem reações ao ruído natural, presume-se que um aumento substancial de tais efeitos constitui um problema de saúde. O ruído ambiente pode reduzir o poder restaurador do sono por meio de perturbações que ocorrem repetidamente (fragmentação do sono). A restrição de sono afeta, entre outras coisas, o desempenho psicomotor, a consolidação da memória, a criatividade, os comportamentos de risco e os riscos de acidentes (25).

Segundo Pierpont (24), as tonturas e a ansiedade são fenómenos neurologicamente ligados. A ansiedade e a depressão observada em associação com outros sintomas próximos de parques eólicos não são necessariamente a resposta emocional a esses sintomas, mas pode ser uma resposta neurologicamente ligada aos distúrbios do equilíbrio de si mesmos. A privação do sono também causa ansiedade e depressão.

1.4.4.2. DOENÇA VIBROACÚSTICA (DVA)

A DVA é uma patologia sistémica causada pela exposição excessiva a RBF (considerados como todos os fenómenos acústicos que ocorrem abaixo dos 500Hz) e é caracterizada pela proliferação anormal de colagénio e elastina na ausência de processos inflamatórios. A DVA já foi diagnosticada em técnicos de aeronáutica, pilotos militares e civis, assistentes de bordo, assim como a população exposta a ruído de baixa frequência ambiental (26).

O Ministério do Trabalho e Solidariedade Social português, através do seu Centro Nacional de Proteção contra os Riscos Profissionais, atribui pela primeira vez, a 8 de Março de 2007, grau de incapacidade por doença profissional de 100% a uma assistente de bordo de 40 anos de idade, a quem tinha sido diagnosticada DVA desde 2001. A proliferação anormal de colagénio provocada pela exposição a RBF origina nos vasos

sanguíneos o espessamento da camada média das paredes. Desta forma, atinge-se o estreitamento do lúmen e a restrição do fluxo sanguíneo. O espessamento das estruturas cardiovasculares pode ser diretamente observado por ecocardiografia (17).

Apesar das consequências nefastas para o organismo, o RBF não está legislado e como tal a medicina tradicional raramente associa a sintomatologia da DVA como algo causado por exposição excessiva a ruído. Somente a dificuldade auditiva é associada à exposição excessiva ao ruído e esta está legislada. Devido à falta de conhecimentos da classe médica sobre a DVA muitos pacientes são considerados como simuladores ou hipocondríacos, porque os testes médicos de rotina (por exemplo: análises químicas ao sangue, ECG e EEG) não corroboram a existência de qualquer patologia. A DVA deve ser diagnosticada através de exames ecocardiográficos e broncoscópicos, em que esta última, devido à sua natureza invasiva apenas é realizada quando estão em causa procedimentos médico-legais. Poderão ser efetuados testes de diagnóstico complementares que incluem potenciais evocados auditivos do tronco cerebral e potenciais evocados cognitivos (P300), ressonâncias magnéticas, exame de ventilação PCO₂, fatores de coagulação sanguínea e um exaustivo exame neurológico (26).

A suspeita de exposição excessiva a RBF deve surgir se o paciente exhibe uma ou mais das seguintes queixas (26):

- “Oíço de mais, sou muito sensível ao ruído, não suporto nenhum tipo de ruído, o ruído deixa-me louco, sempre que há algum ruído alto, só tenho vontade de gritar”;
- “Acordo cansado, não é que não durma horas suficientes, apenas parece que não descanso durante o meu sono”;
- “Por vezes, quando estou num centro comercial ou num restaurante, sinto-me como se não conseguisse respirar, como se tivesse que sair dali, ou então...”;
- “Tenho muitas palpitações no coração, por vezes parece que o meu coração vai saltar do peito”;
- “Tenho esta tosse, e eu não fumo, a minha garganta está constantemente irritada e fico rouco sem razão, a medicação não tem qualquer efeito”.

Ou, se o paciente entrar com um dos diagnósticos seguintes:

- Epilepsia tardia;
- Distúrbios no equilíbrio;

- Enxaquecas;
- Tumores no tracto respiratório, especialmente em não-fumadores;
- Doenças auto-imunes, particularmente lúpus eritematoso e vitiligo.

1.4.4.3. DESFECHO EM TRIBUNAL DOS EFEITOS DO RUÍDO DOS AEROGERADORES NA SAÚDE HUMANA (CASO TORRES VEDRAS)

Em Outubro de 2006 entrou em funcionamento o Parque Eólico do Jogoinho II, com uma potência instalada de 26MW, localizado em Torres Vedras. O Parque Eólico é constituído por 13 aerogeradores REpower MM82 assíncronos com a potência unitária de 2000kW (2150kVA); 13 postos de transformação e seccionamento, equipados com transformadores de potência unitária de 2500kVA, 0,69/20kV; subestação equipada com um transformador de potência de 26000kVA, 20/60kV; rede de cabos subterrâneos de 20kV que interliga os postos de transformação e a subestação; um transformador para os serviços auxiliares de 25kVA, 400/230V; e, respetivo equipamento de comando, corte, proteção e medição (27).

Quatro aerogeradores (Aerogeradores n.º 1 a 4) foram instalados próximos de uma Quinta (Figura 18 e 19), em que um deles (Aerogerador n.º 2) começou a causar danos físicos e morais ao proprietário, desde o início do seu funcionamento. Os aerogeradores em causa encontravam-se em funcionamento diariamente, 24 horas sob 24 horas. O ruído emitido pelos aerogeradores é contínuo, provocando enorme ansiedade, e um desgaste físico e psíquico muito grande no proprietário. Aquando da entrada em funcionamento dos aerogeradores o proprietário começou a sofrer de insónias e a ter enormes dificuldades em adormecer e em dormir, chegando a acordar várias vezes durante a noite. Além disso, começou a ter dores de cabeça frequentes, falta de memória, apresentando queixas de maior irritabilidade e de intolerância progressiva ao ruído. Por forma a conseguir dormir o proprietário começou a tomar medicamentos indutores do sono. O proprietário, sendo um cavaleiro tauromáquico, viu a sua atividade profissional e económica afetada, pois deixou de conseguir treinar os seus equídeos no mesmo regime intensivo de outrora, pois além de se sentir cansado, não consegue permanecer montado sem que se sinta enjoado e tenha fortes tonturas, perdendo o equilíbrio. O ruído emitido pelos aerogeradores deixava as éguas e os cavalos agitados e sobressaltados, e as sombras das pás do Aerogerador n.º 2 ao sobrevoarem a propriedade assustavam os animais e deixavam-nos nervosos (27).



(Fotografia tirada no local a 22/09/2015)

Figura 18 - Quinta



(Fonte: Google Earth consultado a 25/09/2015)

Figura 19 - Quinta e Aerogerados n.º 1, 2, 3 e 4

Devido aos factos acima mencionados e outros descritos no Acórdão do Tribunal da Relação de Lisboa datado de 13/01/2009, a empresa responsável pela exploração do Parque Eólico do Joginho II, além da já ordenada suspensão total do funcionamento do Aerogerador n.º 2 terá de suspender o funcionamento dos aerogeradores n.º 1, 3 e 4, nos períodos “noturnos” e “entardecer” (27).

Posteriormente aos factos acima mencionados, o Acórdão do Supremo Tribunal de Justiça, datado de 30/05/2013, foi mais longe e ordenou a suspensão total do funcionamento dos quatro aerogeradores situados próximos da Quinta, devendo a empresa responsável pela exploração do Parque Eólico proceder à remoção dos quatro aerogeradores instalados e a pagar uma indemnização de trinta mil euro (28).

Após deslocação ao local, no dia 22/09/2015 verificou-se que 3 dos 4 aerogeradores já haviam sido removidos do local. O aerogerador nº 2 (Figura 20) foi removido em 2006 aquando do começo do processo em tribunal. Os aerogeradores nº 1 e 4 (Figura 21 e 22) foram removidos após a última sentença do Acórdão do Supremo Tribunal de Justiça. Na Figura 23 está um conjunto de 3 pás de um dos aerogeradores removidos.



Figura 20 - Aerogerador n.º 2



Figura 21 - Aerogerador n.º 1



Figura 22 - Aerogerador n.º 4



Figura 23 - Pás dos aerogeradores

(Fotografias tiradas no local a 22/09/2015)

2. ENQUADRAMENTO LEGAL

Na avaliação de ruído ambiente a legislação aplicável é o Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro (29), com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 278/2007 de 1 de Agosto (30).

O Regulamento Geral do Ruído estabelece o regime de prevenção e controlo de poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações.

De acordo com o Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, a atividade dos parques eólicos configura-se como uma atividade ruidosa permanente, visto que se produz ruído incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído (alínea a do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 9/2007).

De acordo com o artigo 13.º do Decreto-Lei n.º 9/2007 as atividades ruidosas permanentes estão sujeitas ao cumprimento de dois critérios distintos: o critério de exposição e o critério de incomodidade.

Critério de exposição

O critério de exposição consiste no cumprimento dos valores limite para os indicadores de ruído em função da classificação acústica atribuída à zona em causa. Estes limites encontram-se indicados na Tabela 1. A determinação do indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den}) é dada pela Equação 1:

$$L_{den} = 10 \times \log \left[\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right]$$

Equação 1 – Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (29)

Em que:

L_{den} – “Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno” – é o indicador de ruído, expresso em dB(A), associado ao incómodo global;

L_d – “Indicador de ruído diurno” – é o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP ISO 1996-1:2011, determinado durante uma série de períodos diurnos (7 – 20h) representativos de um ano;

L_e – “Indicador de ruído do entardecer” – é o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP ISO 1996-1:2011, determinado durante uma série de períodos do entardecer (20 – 23h) representativos de um ano;

L_n – “Indicador de ruído noturno” – é o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP ISO 1996-1:2011, determinado durante uma série de períodos noturnos (23 – 7h) representativos de um ano.

Classificação Zona	L_{den} dB(A)	L_n dB(A)
Zonas mistas	≤ 65	≤ 55
Zonas sensíveis	≤ 55	≤ 45
Zonas não classificadas	≤ 63	≤ 53

Tabela 1 - Valores limite de exposição a ruído ambiente exterior (29)

Tendo por base o Regulamento Geral do Ruído o território reparte-se em zonas sensíveis e mistas:

- Zona sensível - corresponde à área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno;
- Zona mista - corresponde à área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível.

Critério de incomodidade

O critério de incomodidade é considerado como a diferença entre o valor do indicador L_{Aeq} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da atividade ou atividades em avaliação e o valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual. A diferença não pode exceder os valores indicados na Tabela 2.

Período	
Diurno	$L_{Aeq} (RA) - L_{Aeq} (RR) \leq 5 \text{ dB (A)}$
Entardecer	$L_{Aeq} (RA) - L_{Aeq} (RR) \leq 4 \text{ dB (A)}$
Noturno	$L_{Aeq} (RA) - L_{Aeq} (RR) \leq 3 \text{ dB (A)}$

Tabela 2 - Valores limite de incomodidade a ruído ambiente exterior (29)

O valor do L_{Aeq} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular deve ser corrigido de acordo com as características tonais ou impulsivas do ruído particular, passando a designar-se por nível de avaliação, L_{Ar} . A equação a aplicar é a seguinte:

$$L_{Ar} = L_{Aeq} + K1 + K2$$

Equação 2 – Nível de avaliação (29)

Em que:

K1 é a correção tonal

K2 é a correção impulsiva

A constante K1 toma o valor de 3dB(A) quando o ruído for tonal. O método para detetar as características tonais do ruído dentro do intervalo de tempo da avaliação, consiste em verificar, no espectro de um terço de oitava, se o nível sonora de uma banda excede o das adjacentes em 5dB(A) ou mais, caso em que o ruído deve ser considerado tonal.

A constante K2 toma o valor de 3dB(A) quando o ruído for impulsivo. O método para detetar as características impulsivas do ruído dentro do intervalo de tempo da avaliação consiste em determinar a diferença entre o nível sonoro equivalente, L_{Aeq} , medido em simultâneo com característica impulsiva e fast. Se a diferença for superior a 6dB(A), o ruído deve ser considerado impulsivo.

Caso se verifique a existência de componentes tonais e impulsivas a correção a adicionar é de $K1+K2=6\text{dB (A)}$. Se as componentes tonais e impulsivas não forem identificadas $K1=0\text{dB (A)}$ e $K2=0\text{dB (A)}$.

Aos valores limite (5, 4, 3dB(A)) indicados na Tabela 2, deve ser adicionado um valor D. O valor D é determinado em função da relação percentual entre a duração acumulada de ocorrência do ruído particular e a duração total do período de referência.

Valor da relação percentual (q) entre a duração acumulada de ocorrência do ruído particular e a duração total do período de referência	D em dB (A)
$q \leq 12,5\%$	4
$12,5\% < q \leq 25\%$	3
$25\% < q \leq 50\%$	2
$50\% < q \leq 75\%$	1
$q > 75\%$	0

Tabela 3 - Valores limite para cada período de referência (29)

Existem exceções à Tabela 3, nomeadamente: para o período noturno não são aplicáveis os valores de D=4 e D=3, mantendo-se D=2 para valores percentuais inferiores ou iguais a 50%. Excetua-se desta restrição a aplicação de D=3dB (A) para períodos com horário de funcionamento até às 24 horas.

3. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DAS MEDIÇÕES DE RUÍDO

A energia eólica representa o aproveitamento da energia cinética contida no vento. Os aerogeradores captam a energia cinética através das pás do rotor e convertem-na em energia mecânica.

As dimensões dos aerogeradores são elevadas e só quem se aproxima de um aerogerador é que se apercebe do seu real tamanho. Ao longe parecem pequenos mas ao perto são enormes. No caso de uma pessoa com 1.65m de altura, se o aerogerador tiver uma torre de sustentação de 85m, essa torre é 51 vezes maior que a pessoa.

Como exemplo da altura real do aerogerador, sobrepôs-se um aerogerador com torre de sustentação de 85m numa imagem da Ponte 25 de Abril (Figura 24).



Figura 24 - Ponte 25 de Abril e Aerogerador

Pela análise da Figura 24 verifica-se que a altura da torre de sustentação é superior à altura livre da ponte acima do nível da água em 15m ($85\text{m} - 70\text{m}$). Considerando-se que as pás têm uma dimensão de 39m o aerogerador terá uma altura total de 124m. A altura da torre principal da Ponte 25 de Abril acima do solo é de 190.5m, pelo que o aerogerador em

causa com 124m de altura apenas difere de 66.5m de altura em relação à altura da torre principal.

Por forma a avaliar os níveis de ruído de baixa frequência num parque eólico, proceder-se-á à comparação dos níveis de ruído dos diferentes parques eólicos, assim como a comparações de zonas com e sem presença de aerogeradores.

3.1. CASO DE ESTUDO 1 – PARQUE EÓLICO DE FANHÕES

O Parque Eólico de Fanhões, com uma potência instalada de 18MW, localiza-se no Concelho de Loures, Distrito de Lisboa. É constituído por 9 aerogeradores de eixo horizontal cujo equipamento é o Gamesa G-80 de 2MW de potência nominal (Figura 25), tendo entrado em funcionamento em Abril de 2005 (31).



Figura 25 – Aerogerador Gamesa G80 – 2MW (32)

A empresa exploradora do Parque Eólico de Fanhões é a EDP Renováveis S.A., tendo esta fornecido a Planta de Localização de Segurança (Anexo A), em que constam os 9 aerogeradores.

O aerogerador Gamesa G80 – 2MW é constituído por diversos elementos representados no Anexo B. As principais características técnicas deste modelo são (32) (33):

ROTOR	
Diâmetro	80m
Velocidade de rotação	9 – 19rpm
PÁS	
Número de pás	3
Comprimento	39m
Material	Fibra de vidro pré-impregnado de resina epóxi
TORRE	
Altura	67m
MULTIPLICADORA	
Relação de transformação	1:100 (50Hz)
Sistema de refrigeração	Bomba de óleo com radiador de óleo
GERADOR	
Tipo	Gerador duplamente alimentado
Potência nominal	2MW
Tensão	690V AC
Frequência	50Hz
Tipo de proteção	IP54

Tabela 4 - Características técnicas aerogerador Gamesa G80 – 2MW (32) (33)

Além das características técnicas mencionadas na Tabela 4 existem outros elementos considerados importantes, nomeadamente (33):

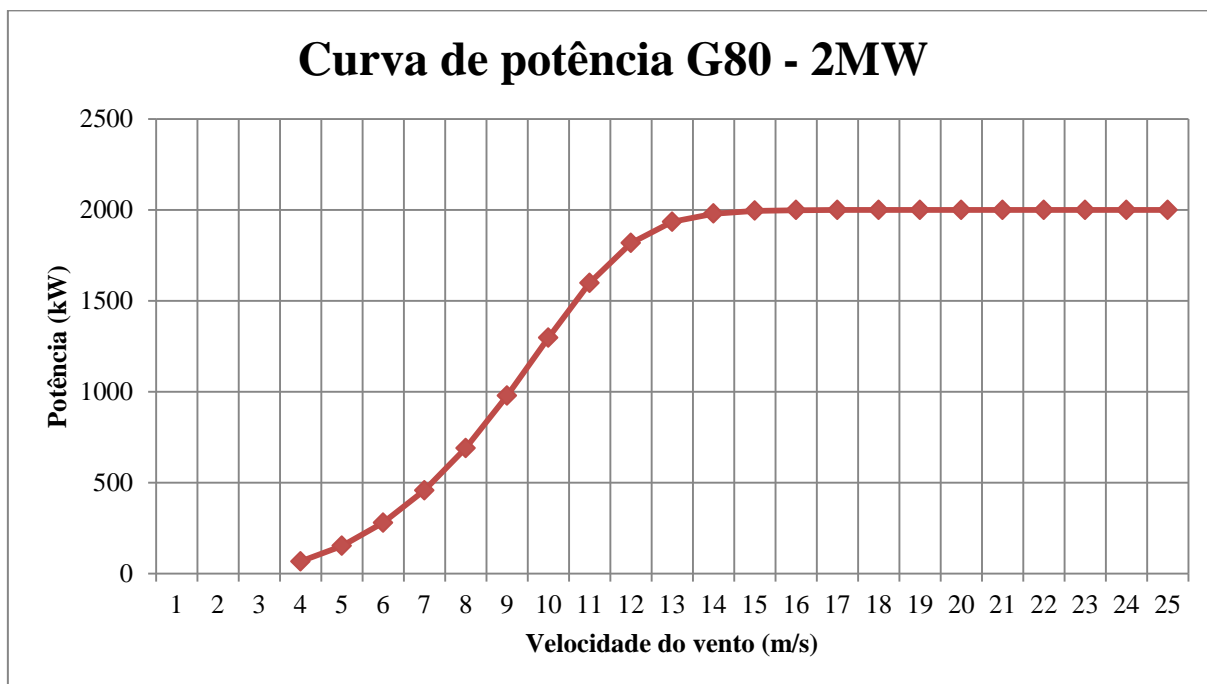
- Sistema de proteção total contra raios;
- Sistema de travagem controlada;
- Sistema de monitorização remota SCADA;
- Sistema de controle: Ótimo funcionamento em quaisquer condições de vento;
- Sistema de manutenção preventiva para a deteção prematura de possíveis desgaste ou falhas nos principais componentes do aerogerador.

O sistema de controle e o sistema de manutenção de previsão, acima mencionados, têm inúmeras vantagens (33):

- Sistema de controle:
 - Controle de potência ativa e reativa;
 - Baixo conteúdo de harmónicos e mínimas perdas;
 - Aumento da eficiência e da produção;
 - Melhoria da vida útil da máquina.
- Sistema de manutenção de previsão:
 - Diminuição de grandes corretivos;

- Aumento da disponibilidade e da vida útil da máquina;
- Integração com o sistema de controle;
- Condições preferenciais nas negociações com as seguradoras.

A curva de potência de um aerogerador indica a potência elétrica gerada conforme a velocidade do vento. A curva de potência do aerogerador Gamesa G80 – 2MW é dada em baixo pelo Gráfico 1 (32):



(Fonte: Adaptado de (32))

Gráfico 1 – Curva de potência do aerogerador Gamesa, modelo G80 de 2MW para $\rho=1.225\text{kg/m}^3$ (32)

Pela análise do Gráfico 1 é possível verificar-se que à velocidade de 15m/s corresponde uma potência de 2000kW que é a potência máxima do aerogerador sendo normalmente designada por potência nominal, e a correspondente velocidade, de velocidade nominal. Verifica-se que a turbina só começa a funcionar a partir de uma certa velocidade do vento, neste caso de 4m/s, sendo esta velocidade denominada de *cut-in* (velocidade mínima de funcionamento) e para de funcionar à velocidade de 25m/s por razões de segurança, de modo a prevenir a danificação da turbina, velocidade esta denominada de *cut-out* (velocidade máxima de funcionamento).

3.2. CASO DE ESTUDO 2 – PARQUE EÓLICO DE CATEFICA

O Parque Eólico de Catefica, com uma potência instalada de 18MW, localiza-se no Concelho de Loures, Distrito de Lisboa. É constituído por 9 aerogeradores de eixo horizontal cujo equipamento é o Gamesa G-80 de 2MW de potência nominal (Figura 25), tendo entrado em funcionamento em Julho de 2005 (31).

A empresa exploradora do Parque Eólico de Catefica é a Iberdrola Renewables Portugal S.A., tendo esta fornecido a Planta de Localização (Anexo C), em que constam os 9 aerogeradores, assim como as suas coordenadas.

As características técnicas dos aerogeradores do Parque Eólico de Catefica estão descritas no Caso de Estudo 1 – Parque Eólico de Fanhões.

3.3. CASO DE ESTUDO 3 – PARQUE EÓLICO DA SERRA DA CAPUCHA

O Parque Eólico da Serra da Capucha, com uma potência instalada de 10MW, localiza-se no Concelho de Loures, Distrito de Lisboa. É constituído por 5 aerogeradores de eixo horizontal cujo equipamento é o Enercon E-70 E4 de 2MW de potência nominal (Figura 26), tendo entrado em funcionamento em Junho de 2005 (31).



Figura 26 - Aerogerador Enercon E-70 E4 – 2MW (34)

A empresa exploradora do Parque Eólico da Serra da Capucha é a Enel Green Power Ibéria, tendo esta fornecido a Planta de Localização de Segurança (Anexo D), em que constam os 5 aerogeradores.

O aerogerador Enercon E-70 E4 – 2MW é constituído por diversos elementos representados no Anexo E. As principais características técnicas deste modelo são (34) (35):

ROTOR	
Diâmetro	71m
Velocidade de rotação	6 – 21rpm
Controlo de pitch	Sistema ENERCON de regulação individual das pás, em
PÁS	
Número de pás	3
Comprimento	33,3 m
Material	Fibra de vidro pré-impregnado de resina epóxi.
TORRE	
Altura	85m
GERADOR	
Tipo	Gerador em anel ENERCON com acionamento direto
Potência nominal	2MW
Frequência	50Hz
Alimentação da rede elétrica	Inversor ENERCON
Sistema travagem	- 3 mecanismos independentes de controlo de pitch com
Sistema de Orientação	Ativo por engrenagens
Velocidade máxima	28 – 34 m/s (com controlo de tempestades ENERCON)
Sistema de monitorização remota	ENERCON SCADA
Tipo de proteção	IP23

Tabela 5 - Características técnicas aerogerador Enercon E-70 E4 – 2MW (34) (35)

A particularidade dos aerogeradores ENERCON é que os seus componentes estão sujeitos a um desenvolvimento contínuo, por forma a oferecer ao cliente um produto com características de última geração. A ENERCON é líder do mercado alemão (35).

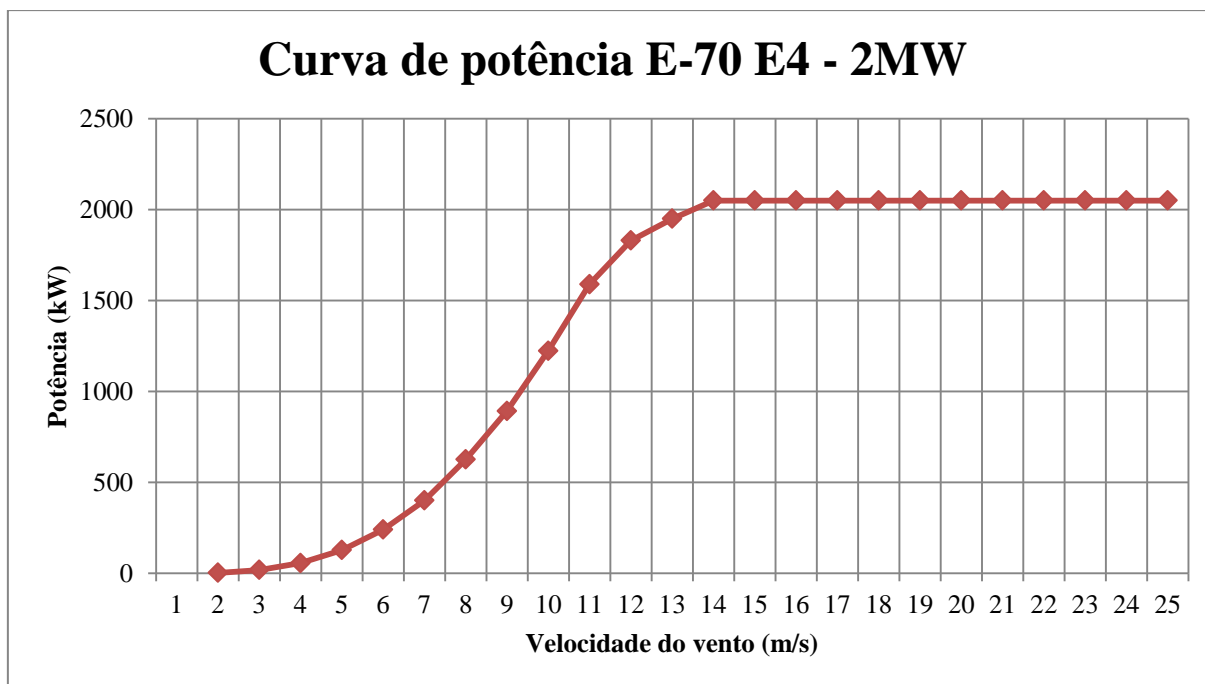
O gerador em anel ENERCON com acionamento direto, pelo facto de ser um gerador síncrono que não possui caixa multiplicadora, tem custos de manutenção e assistência técnica reduzidos (por exemplo: existem menos peças de desgaste, não é necessário mudar o óleo de engrenagem, etc.) e os custos de operação diminuem. Ao contrário dos sistemas convencionais com engrenagem, que dispõem de um enorme número de rolamentos num mesmo sistema de transmissão móvel, o sistema de acionamento ENERCON apenas requer dois rolamentos anti-fricção que se movem com suavidade graças à velocidade moderada de rotação do acionamento direto (35).

Alguns dos componentes mencionados na Tabela 5 têm inúmeras vantagens que serão descritas seguidamente:

- Pás do rotor ENERCON – Alta eficiência e emissões acústicas reduzidas graças a uma geometria eficiente incluindo as pontas das pás (também designadas de tips); vida útil prolongada graças à redução das cargas e facilidade de transporte graças à forma delgada das pás e modelos de pás que se dividem em partes.

- Gerador em anel ENERCON – Sem sistema de engrenagem; desgaste mecânico reduzido graças à rotação suave da máquina; redução de cargas graças à possibilidade de velocidade variável; controlo otimizado do rendimento; alto nível de compatibilidade com a rede; não se utilizam ímanes permanentes de metais de terras raras e enrolamentos contínuos.
- Sistema de controlo ENERCON – Controlo azimutal ajustável graças à análise constante dos dados medidos pelo sensor de vento; a velocidade de rotação variável permite uma maior eficácia do aerogerador com qualquer velocidade do vento e regulação de picos de potência ou cargas indesejáveis; o sistema de controlo do pitch ativo permite rendimento máximo e redução de cargas; o sistema de travagem ENERCON garante a segurança máxima do aerogerador através de três mecanismos de controlo do pitch independentes com alimentação de emergência (condensadores) em caso de falhas de rede.

A curva de potência do aerogerador Enercon E-70 E4 – 2MW é dada em baixo pelo Gráfico 2 (36):



(Fonte: Adaptado de (36))

Gráfico 2 - Curva de potência do aerogerador E-70 E4 / 2MW (36)

Pela análise do Gráfico 2 é possível verificar-se que à velocidade de 14m/s corresponde uma potência de 2000kW que é a potência máxima do aerogerador sendo normalmente designada por potência nominal, e a correspondente velocidade, de velocidade nominal. Verifica-se que a turbina só começa a funcionar a partir de uma certa velocidade do vento, neste caso de 2m/s, sendo esta velocidade denominada de *cut-in* (velocidade mínima de funcionamento) e para de funcionar à velocidade de 25m/s por razões de segurança, de modo a prevenir a danificação da turbina, velocidade esta denominada de *cut-out* (velocidade máxima de funcionamento).

3.4. CASO DE ESTUDO 4 – PARQUE EÓLICO DA MARAVILHA I

O Parque Eólico da Maravilha I, com uma potência instalada de 6MW, localiza-se no Concelho de Loures, Distrito de Lisboa. É constituído por 3 aerogeradores de eixo horizontal cujo equipamento é o Enercon E-82 E2 de 2MW de potência nominal (Figura 27), tendo entrado em funcionamento em Julho de 2009 (31).



Figura 27 - Aerogerador Enercon E-82 E2 – 2,0MW (34)

A empresa exploradora do Parque Eólico da Maravilha I é a ENEOP2 – Exploração Parques Eólicos S.A., tendo esta fornecido a Planta de Localização (Anexo F), em que constam os 3 aerogeradores.

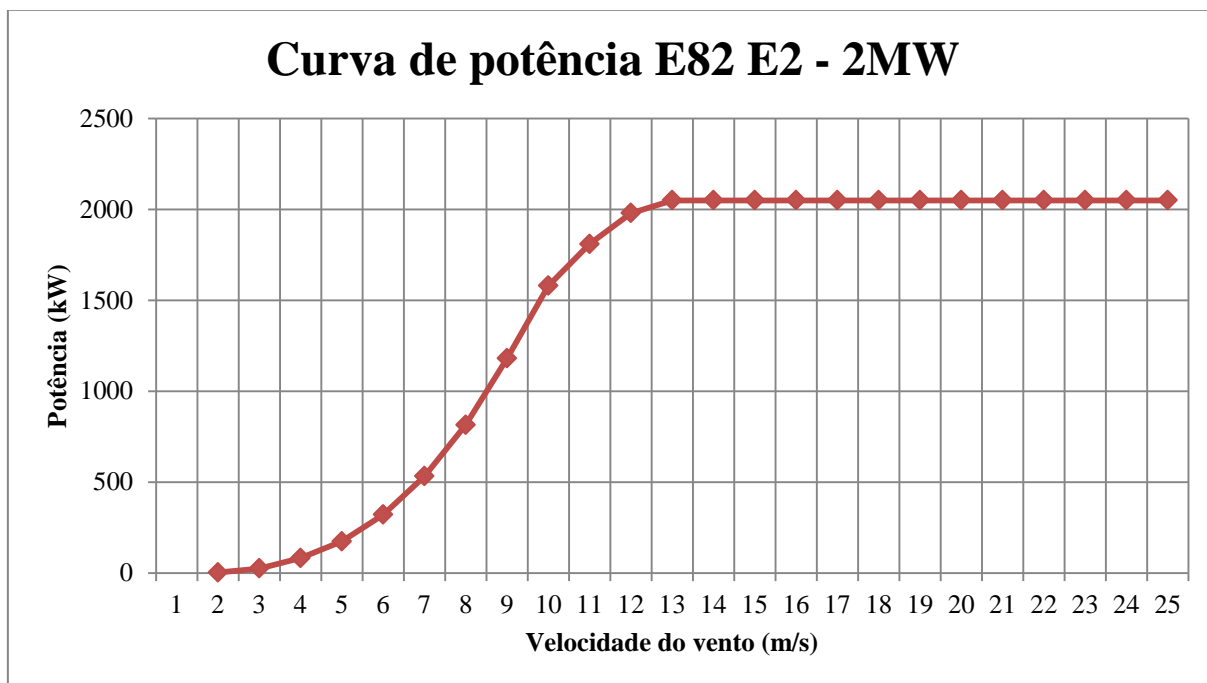
O aerogerador Enercon E-82 E2 – 2MW é constituído por diversos elementos representados no Anexo E. As principais características técnicas deste modelo são (34) (35):

ROTOR	
Diâmetro	82m
Velocidade de rotação	6 – 18rpm
Controlo de pitch	Sistema ENERCON de regulação individual das pás, em
PÁS	
Número de pás	3
Comprimento	32m
Material	Fibra de vidro pré-impregnado de resina epóxi.
TORRE	
Altura	84m
GERADOR	
Tipo	Gerador em anel ENERCON com acionamento direto
Potência nominal	2MW
Frequência	50Hz
Alimentação da rede elétrica	Inversor ENERCON
Sistema travagem	- 3 mecanismos independentes de controlo de pitch com
Sistema de Orientação	Ativo por engrenagens
Velocidade máxima	28 – 34 m/s (com controlo de tempestades ENERCON)
Sistema de monitorização remota	ENERCON SCADA
Tipo de proteção	IP23

Tabela 6 - Características técnicas aerogerador Enercon E-82 E2– 2MW (34) (35)

As restantes características técnicas e vantagens são iguais às do aerogerador Enercon E-70 E4 – 2MW mencionadas no Caso de Estudo 3 – Parque Eólico da Serra da Capucha.

A curva de potência do aerogerador Enercon E-82 E2 – 2,0MW é dada em baixo pelo Gráfico 3 (34):



(Fonte: Adaptado de (34))

Gráfico 3 - Curva de potência do aerogerador E82 E2 / 2.0MW (34)

Pela análise do Gráfico 3 é possível verificar-se que à velocidade de 13m/s corresponde uma potência de 2000kW que é a potência máxima do aerogerador sendo normalmente designada por potência nominal, e a correspondente velocidade, de velocidade nominal. Verifica-se que a turbina só começa a funcionar a partir de uma certa velocidade do vento, neste caso de 2m/s, sendo esta velocidade denominada de *cut-in* (velocidade mínima de funcionamento) e para de funcionar à velocidade de 25m/s por razões de segurança, de modo a prevenir a danificação da turbina, velocidade denominada de *cut-out* (velocidade máxima de funcionamento).

3.5. CASO DE ESTUDO 5 – OUTROS LOCAIS PARA COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES

Por forma a se poder comparar os valores das medições obtidos nos diferentes Parques Eólicos acima mencionados, efetuaram-se medições em locais sem a presença de aerogeradores. Essas medições foram efetuadas quer em locais em que se verificavam ruído de baixa frequência quer em locais sem qualquer tipo de associação a ruído de baixa frequência.

4. METODOLOGIA

4.1. OBJETIVOS

Nos últimos anos tem-se verificado um rápido crescimento da potência instalada de energia eólica em Portugal. Com a evolução verificada no aproveitamento da energia eólica, quer em quantidade de parques eólicos, quer na dimensão dos aerogeradores e tendo em conta as características específicas das componentes do seu funcionamento, verificou-se que a atual legislação não acompanha adequadamente o impacto do ruído e como tal tornou-se indispensável uniformizar os critérios de avaliação do ruído provocado pela instalação e funcionamento dos aerogeradores.

As preocupações inerentes à instalação dos aerogeradores dizem respeito ao ruído que estes emitem e o conseqüente incómodo para as pessoas, bem como os efeitos adversos que estes provocam na saúde das pessoas.

Pretende-se com este trabalho evidenciar as conseqüências resultantes da instalação de parques eólicos junto a zonas habitacionais, que a nível de legislação nacional e europeia se encontra praticamente intocável, não havendo um controle de distâncias mínimas que viabilizem a manutenção e o cuidado para com a saúde pública, devido aos interesses económicos associados.

Considerando os dados mencionados anteriormente estabeleceram-se o objetivo geral e os objetivos específicos:

Objetivo Geral:

- Análise e caracterização do ruído de baixa frequência produzido por um parque eólico. Efeito sobre a população.

Objetivos Específicos:

- Avaliar os níveis de ruído de baixa frequência num parque eólico;
- Descrever medidas preventivas para minimizar o ruído produzido por um parque eólico.

A metodologia de investigação aplicada neste estudo, quanto à natureza, é uma investigação aplicada, pois trata-se de um estudo de caso com fins académicos, que tem como objetivo a aquisição de novos conhecimentos orientados para a solução de problemas concretos. Quanto ao tipo de pesquisa é um estudo longitudinal dado que a recolha de dados foi obtida em vários momentos, havendo um acompanhamento ao longo do tempo

do fenómeno em estudo, sendo um tipo de pesquisa mais lenta, que consome mais recursos e que fornece informação mais abrangente.

Quanto à forma de abordagem é um tipo de pesquisa quantitativa, visto que serão quantificáveis as medições dos níveis de ruído de baixa frequência com recurso a um sonómetro, e a velocidade do vento e temperatura do ar com um anemómetro / termómetro.

O método utilizado na elaboração deste estudo é a avaliação objetiva:

- Avaliação objetiva

Os métodos objetivos de avaliação baseiam-se em metodologias previstas em normas nacionais e internacionais (ISO e IEC) de medição de ruído. Muitas dessas metodologias não têm em conta a velocidade do vento, a altura dos geradores e as características específicas do ruído emitido por estes, pelo que se fazem adaptações às metodologias de medição para que se possa avaliar o que se passa na realidade.

4.2. INSTRUMENTOS

Como instrumentos à realização deste estudo foram utilizados dois equipamentos: sonómetro e anemómetro.

Na medição do ruído de baixa frequência foi utilizado o sonómetro analisador da marca **Larson Davis**, modelo SoundTrack™ LxT (Figura 28), com número de série 1829, classe de exatidão 1, que é um instrumento versátil, com visualização gráfica, que executa as funções de diversos equipamentos, pois combina as características de um Medidor de Nível de Pressão Sonora, de um dosímetro de ruído para avaliação de ambientes e um analisador de frequência em tempo real na palma da mão. A função de ponderação usada foi a A e o detetor de resposta usado foi o Fast (125 m/s).

Antes de se iniciar as medições com o sonómetro, procedeu-se à calibração deste no dia 01/09/2015 pelas 15h45.

O sonómetro utilizado foi disponibilizado pela Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal.

As principais características deste aparelho são:

- Sonómetro integrador de precisão de classe 1 com filtros por bandas de 1/3 oitava, classificado com grupo X para a emissão de suscetibilidade a campos de frequência rádio;

- 128 MB de memória standard (256 MB opcional);
- Visor 1/8 VGA LCD de elevado contraste, com iluminação de fundo LED branco e operação na presença de luz solar;
- Interface com o utilizador gráfico e orientado por icons;
- Teclas em borracha macia;
- Elevada gama dinâmica única;
- Resposta temporal Lenta (Slow), Rápida (Fast) e Impulsiva (Impulse), integração e pico;
- Ponderação em frequência A, C e Z;
- Análise de frequência por bandas de 1/1 oitava e 1/3 oitava (opcional);
- Anotação de voz, incluindo auscultadores com microfone integrado (opcional);
- Parâmetros estatísticos L_N ($L_{0,01}$ a $L_{99,99}$);
- Software Blaze™ para configuração, controlo, descarregamento de dados de elevada velocidade, análise e geração de relatórios (opcional);
- Processador multi-tarefa, permitindo a aquisição de dados em simultâneo com a visualização ou transferência dos dados medidos;
- Função Data Secure Feature – gravação automática de dados na memória a cada minuto;
- Saídas AC/DC para equipamentos periféricos;
- Elevada autonomia: 30 horas de operação em contínuo;
- Firmware atualizável, garantindo a longevidade do equipamento.

Tem como principais aplicações as medições de:

- SPL (L_p), L_{eq} , L_{max} , L_{min} , SEL, L_{peak} (L_{pico}), $L_{peak(max)}$ ($L_{pico(max)}$);
- 2 Conjuntos de parâmetros de avaliação ocupacional: L_{avg} , TWA(x), Dose, ProjDose, $L_{ep, d}$;
- E, E8, E40;
- Exposição pico SEA;
- 2 Contadores de eventos RMS e 3 contadores de eventos Pico;
- Tabela de L_n : 6 parâmetros L_n definidos pelo utilizador.



Figura 28 – Sonómetro Larson Davis, modelo SoundTrack™ LxT

A utilização deste aparelho permitiu:

- Medição do nível sonoro contínuo equivalente L_{Aeq} em [dB(A)];
- Medição da análise de frequência do L_{Aeq} por bandas de oitavas (63 a 20000Hz) em [dB(Z)].

Aquando da medição do ruído de baixa frequência foi medida a velocidade média do vento, assim como a temperatura do ar, com recurso a um anemómetro da marca RS modelo 180-7111 (Figura 29). O anemómetro opera num intervalo de velocidade de 0,4 - 25,0m/s, com uma resolução de 0,1m/s e precisão de \pm (4% escala completa + 1 dígito). Opera ainda num intervalo de temperatura de 0 – 60°C, com uma resolução de 0,1°C e precisão de 0,8°C.

O anemómetro utilizado foi disponibilizado por um familiar.



Figura 29 - Anemómetro RS, modelo 180-7111

Além dos instrumentos acima mencionados foram elaborados folhetos informativos, criados de raiz, com o propósito de elucidar as populações sobre a temática do ruído de

baixa frequência, assim com a importância de fazer este tipo de estudos, visto que está em causa o supremo bem-estar e a qualidade de vida das populações (Apêndice I). Juntamente com os folhetos informativos foram elaborados questionários, também criados de raiz, tendo por base determinados critérios, nomeadamente: há quanto tempo as pessoas moram no local em que se verifica níveis de ruído de baixa frequência; há quanto começaram a queixar-se de perturbações do sono, dores de cabeça, zumbido, pressão no ouvido, estonteamento, vertigem, náuseas, turvamento visual, taquicardia, irritabilidade, problemas com concentração e memória e episódios de pânico associados com sensações de pulsação interna ou vibração, os quais aumentam ao acordar ou adormecer, etc. (Apêndice II).

4.3. PROCEDIMENTO

O procedimento seguido na realização das medições baseia-se no Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro (29) , com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 278/2007 de 1 de Agosto (30).

Foram efetuadas medições com e sem presença de eólicas, o que inclui ambientes rurais e citadinos, por forma a permitir fazer comparações entre as diversas medições.

De seguida, apresentam-se as condições em que se efetuaram as medições de ruído:

- Condições meteorológicas satisfatórias, com o céu parcialmente limpo e ausência de precipitação;
- A superfície das ruas encontrava-se seca;
- O anemómetro foi utilizado para medir a velocidade média do vento, assim como a temperatura do ar;
- O sonómetro foi posicionado por forma a não impedir a circulação de veículos e pessoas;
- Foi utilizado um tripé que posiciona o microfone do sonómetro a 2m do solo;
- Efetuou-se o registo fotográfico dos locais analisados, assim como as coordenadas GPS.

Por forma a analisar se seriam ou não entregues os questionários e folhetos informativos elaborados foram contactadas as Juntas de Freguesia das localidades onde os parques eólicos se encontram instalados. No Parque Eólico de Fanhões foi contactada a Junta de Freguesia de Fanhões; no Parque Eólico de Catefica foram contactadas a União

das Freguesias de Torres Vedras e a Junta de Freguesia do Turcifal; no Parque Eólico da Serra da Capucha foram contactadas a União das Freguesias de Torres Vedras e a Junta de Freguesia do Turcifal; no Parque Eólico da Maravilha I foi contactada a União de Freguesias de Dois Portos e Runa.

Todas as Juntas de Freguesia acima mencionadas referiram não haver queixas das populações relativas ao ruído emitido pelos aerogeradores.

Nas pequenas localidades onde foram feitas as medições do ruído emitido pelos aerogeradores, ainda se falou com algumas pessoas mas estas não mencionaram quaisquer queixas relativamente ao ruído emitido por estes.

Devido aos factos acima mencionados não se procedeu à entrega de questionários e folhetos informativos.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. RESULTADOS OBTIDOS NAS MEDIÇÕES

5.1.1. CASO DE ESTUDO 1 – PARQUE EÓLICO DE FANHÕES

As medições de ruído no Parque Eólico de Fanhões foram realizadas nos dias 9 de Setembro de 2015 e 8 de Outubro de 2015, nos períodos de referência diurno e entardecer, respetivamente. Foram efetuadas 6 medições assinaladas na Figura 30.



(Fonte: Google Earth consultado a 12/10/2015)

Figura 30 - Localização das medições efetuadas (Fanhões)

As características do solo onde foram efetuadas as medições são as seguintes: gravilha e vegetação. As medições foram efetuadas com o microfone do sonómetro colocado num tripé a 2m do solo, tendo-se utilizado um anemómetro para medir a velocidade do vento, assim como a temperatura do ar.

Na Tabela 7 constam os dados relativos às medições efetuadas no Parque Eólico de Fanhões, tais como a localização, velocidade do vento, temperatura, data, hora, duração da medição e o nível sonoro equivalente L_{Aeq} ponderado pela curva A.

As medições efetuadas tiveram uma duração de 15min, com exceção das **medições n.º 1 e 6** e foram efetuadas nos períodos de referência diurno e entardecer. Na **medição n.º 1** visto o aerogerador estar parado optou-se por fazer uma medição de 5min, enquanto na **medição n.º 6** optou-se por fazer uma medição de 10min visto ser de noite e não haver qualquer tipo de ruído além do ruído emitido pelos aerogeradores.

O **local de medição n.º 1** situa-se junto ao aerogerador n.º 5, tendo-se verificado que o resíduo residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. A medição foi efetuada com o aerogerador parado por forma a se averiguar se era perceptível algum tipo de ruído. O único ruído perceptível era um zumbido e por vezes ouvia-se as engrenagens do aerogerador. Aquando da medição estavam a trabalhar somente 2 dos 9 aerogeradores existentes.

O **local de medição n.º 2** situa-se a 60m do aerogerador n.º 5, tendo-se verificado que o ruído residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. A medição foi efetuada com o aerogerador n.º 5 em funcionamento. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico que está relacionado com o fluxo de ar em torno das pás. O ruído aerodinâmico sobrepõe-se ao ruído mecânico proveniente das engrenagens do aerogerador. Aquando da medição passou um carro da empresa responsável pela exploração do parque eólico e estavam a trabalhar 4 dos 9 aerogeradores existentes.

O **local de medição n.º 3** situa-se a 215m do aerogerador n.º 5, 300m do aerogerador n.º 6, 340m do aerogerador n.º 3, 520m do aerogerador n.º 2 e 730m do aerogerador n.º 1. Verificou-se que o ruído residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição estavam a trabalhar 8 dos 9 aerogeradores existentes.

O local de medição n.º 4 situa-se próximo do aerogerador n.º 1, tendo-se verificado que o resíduo residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. A medição foi efetuada com o aerogerador n.º 1 em funcionamento. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição estavam a trabalhar 5 dos 9 aerogeradores existentes.

O local de medição n.º 5 situa-se próximo de uma estrada com pouco tráfego rodoviário. A medição foi efetuada a 440m do aerogerador n.º 1, 540m do aerogerador n.º 2, 600m do aerogerador n.º 3, 410m do aerogerador n.º 5 e 790m do aerogerador n.º 6. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição passaram alguns carros na estrada e estavam a trabalhar 8 dos 9 aerogeradores existentes.

O local de medição n.º 6 situa-se próximo de uma estrada com pouco tráfego rodoviário. A medição foi efetuada a 575m do aerogerador n.º 4, 470m do aerogerador n.º 8, 460m do aerogerador n.º 7 e 775m do aerogerador n.º 9. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Não foi possível verificar se estavam todos os aerogeradores a funcionar por ser de noite e como tal não estavam visíveis.

Medição	Coordenadas GPS	Velocidade do vento (m/s)	Temperatura (°C)	Data	Hora	Duração (min.)	L _{Aeq} dB (A)
1	38°53`26.6``N 9°08`58.0``W	1	25	09/09/2015	12h08	5	39,4
2	38°53`27.9``N 9°08`57.4``W	5	25	09/09/2015	12h32	15	49,5
3	38°53`30.9``N 9°08`49.4``W	2,5 - 3	27	09/09/2015	12h59	15	39,2
4	38°53`47.1``N 9°09`09.7``W	1,5 - 3	26	09/09/2015	14h09	15	45,4
5	38°53`32.6``N 9°09`13.2``W	2,5 – 3,5	28	09/09/2015	15h43	15	41,5
6	38°53`03.5``N 9°08`45.2``W	1,5 – 2,5	14	08/10/2015	22h16	10	50

Tabela 7 - Valores obtidos nas medições (Fanhões)

No Apêndice III encontram-se representados os espectros de 1/3 oitavas, na gama dos 63 a 20000Hz em [dB(Z)], para as medições realizadas.

5.1.2. CASO DE ESTUDO 2 – PARQUE EÓLICO DE CATEFICA

As medições de ruído no Parque Eólico de Catefica foram realizadas no dia 22 de Setembro de 2015, no período de referência diurno e entardecer. Foram efetuadas 2 medições assinaladas na Figura 31.



(Fonte: Google Earth consultado a 12/10/2015)

Figura 31 - Localização das medições efetuadas (Catefica)

As características do solo onde foram efetuadas as medições são as seguintes: gravilha e vegetação. As medições foram efetuadas com o microfone do sonómetro colocado num tripé a 2m do solo, tendo-se utilizado um anemómetro para medir a velocidade do vento, assim como a temperatura do ar.

Na Tabela 8 constam os dados relativos às medições efetuadas no Parque Eólico de Catefica, tais como a localização, velocidade do vento, temperatura, data, hora, duração da medição e o nível sonoro equivalente L_{Aeq} ponderado pela curva A.

As medições efetuadas tiveram uma duração de 15min e foram efetuadas nos períodos de referência diurno e entardecer.

O **local de medição n.º 7** situa-se por debaixo do aerogerador n.º 4, tendo-se verificado que o resíduo residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. A medição foi efetuada com o aerogerador n.º 4 em funcionamento. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição estavam a trabalhar os 9 aerogeradores existentes.

O **local de medição n.º 8** situa-se a 490m do aerogerador n.º 1, 235m do aerogerador n.º 2, 200m do aerogerador n.º 3, 410m do aerogerador n.º 4, 650m do aerogerador n.º 5, 970m do aerogerador n.º 6, 1200m do aerogerador n.º 7, 1450m do aerogerador n.º 8 e 1400m do aerogerador n.º 9. Verificou-se que o ruído residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição estavam a trabalhar 8 dos 9 aerogeradores existentes.

Medição	Coordenadas GPS	Velocidade do vento (m/s)	Temperatura (°C)	Data	Hora	Duração (min.)	L_{Aeq} dB (A)
7	39°02'50.9"N 9°14'00.2"W	1,5 – 2,5	16	22/09/2015	19h44	15	53,6
8	39°03'03.8"N 9°13'55.0"W	1,5 – 2,5	15	22/09/2015	20h10	15	46,5

Tabela 8 - Valores obtidos nas medições (Catefica)

No Apêndice III encontram-se representados os espectros de 1/3 oitavas, na gama dos 63 a 20000Hz em [dB(Z)], para as medições realizadas.

5.1.3. CASO DE ESTUDO 3 – PARQUE EÓLICO DA SERRA DA CAPUCHA

As medições de ruído no Parque Eólico da Serra da Capucha foram realizadas no dia 22 de Setembro de 2015, no período de referência diurno. Foram efetuadas 3 medições assinaladas na Figura 32.



(Fonte: Google Earth consultado a 12/10/2015)

Figura 32 - Localização das medições efetuadas (Serra da Capucha)

As características do solo onde foram efetuadas as medições são as seguintes: gravilha e vegetação e vinhas. As medições foram efetuadas com o microfone do sonómetro colocado num tripé a 2m do solo, tendo-se utilizado um anemómetro para medir a velocidade do vento, assim como a temperatura do ar.

Na Tabela 9 constam os dados relativos às medições efetuadas no Parque Eólico da Serra da Capucha, tais como a localização, velocidade do vento, temperatura, data, hora, duração da medição e o nível sonoro equivalente L_{Aeq} ponderado pela curva A.

As medições efetuadas tiveram uma duração de 15min e foram efetuadas no período de referência diurno.

O **local de medição n.º 9** situa-se a 40m do aerogerador n.º 1, tendo-se verificado que o resíduo residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. A medição foi efetuada com o aerogerador n.º 1 em funcionamento. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição estavam a trabalhar os 5 aerogeradores existentes.

O **local de medição n.º 10** situa-se junto ao Hospital Dr. José Maria Antunes – Torres Vedras, atualmente desativado. A medição foi efetuada a 430m do aerogerador n.º 1, 370m do aerogerador n.º 2, 490m do aerogerador n.º 3, 620m do aerogerador n.º 4 e 810m do aerogerador n.º 5. Verificou-se que o ruído residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição estavam a trabalhar os 5 aerogeradores existentes.

O **local de medição n.º 11** situa-se junto a uma zona habitacional próxima do parque eólico. A medição foi efetuada a 770m do aerogerador n.º 1, 650m do aerogerador n.º 2, 615m do aerogerador n.º 3, 710m do aerogerador n.º 4 e 900m do aerogerador n.º 5. Verificou-se que o ruído residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição estavam a trabalhar os 5 aerogeradores existentes.

Medição	Coordenadas GPS	Velocidade do vento (m/s)	Temperatura (°C)	Data	Hora	Duração (min.)	L _{Aeq} dB (A)
9	39°03`41.1``N 9°15`51.5``W	4	18	22/09/2015	12h23	15	53,7
10	39°03`50.9``N 9°15`38.6``W	0,5	24	22/09/2015	12h55	15	51,6
11	39°03`19.0``N 9°15`33.9``W	2	21,5	22/09/2015	13h31	15	43,6

Tabela 9 - Valores obtidos nas medições (Serra da Capucha)

No Apêndice III encontram-se representados os espectros de 1/3 oitavas, na gama dos 63 a 20000Hz em [dB(Z)], para as medições realizadas.

5.1.4. CASO DE ESTUDO 4 – PARQUE EÓLICO DA MARAVILHA I

As medições de ruído no Parque Eólico da Maravilha I foram realizadas nos dias 22 de Setembro de 2015 e 8 de Outubro de 2015, nos períodos de referência diurno e entardecer, respetivamente. Foram efetuadas 5 medições assinaladas na Figura 33.



(Fonte: Google Earth consultado a 12/10/2015)

Figura 33 - Localização das medições efetuadas (Maravilha I)

As características do solo onde foram efetuadas as medições são as seguintes: gravilha e vegetação. As medições foram efetuadas com o microfone do sonómetro colocado num tripé a 2m do solo, tendo-se utilizado um anemómetro para medir a velocidade do vento, assim como a temperatura do ar.

Na Tabela 10 constam os dados relativos às medições efetuadas no Parque Eólico da Maravilha I, tais como a localização, velocidade do vento, temperatura, data, hora, duração da medição e o nível sonoro equivalente L_{Aeq} ponderado pela curva A.

As medições efetuadas tiveram uma duração de 15min, com exceção das **medições n.º 14 e 15** e foram efetuadas nos períodos de referência diurno e entardecer. Nas **medições n.º 14 e 15** optou-se por fazer uma medição de 10min visto ser de noite e não haver qualquer tipo de ruído além do ruído emitido pelos aerogeradores.

O **local de medição n.º 12** situa-se junto a uma zona habitacional próxima do parque eólico. A medição foi efetuada a 240m do aerogerador n.º 1, 390m do aerogerador n.º 2 e 600m do aerogerador n.º 3. Verificou-se que o ruído residual não era baixo, visto haver ruído de tráfego rodoviário. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição estavam a trabalhar os 3 aerogeradores existentes.

O **local de medição n.º 13** situa-se junto a uma zona habitacional próxima do parque eólico. A medição foi efetuada a 820m do aerogerador n.º 1, 930m do aerogerador n.º 2 e 1080m do aerogerador n.º 3. Verificou-se que o ruído residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. Nesta zona, o ruído aerodinâmico dos aerogeradores não era perceptível. Aquando da medição estavam a trabalhar os 3 aerogeradores existentes.

O **local de medição n.º 14** situa-se junto a uma zona habitacional próxima do parque eólico. A medição foi efetuada a 295m do aerogerador n.º 1, 505m do aerogerador n.º 2 e 745m do aerogerador n.º 3. Verificou-se algum ruído residual, visto haver ruído de tráfego rodoviário em algumas ocasiões. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição estavam a trabalhar os 3 aerogeradores existentes.

O **local de medição n.º 15** situa-se junto a uma zona habitacional próxima do parque eólico. A medição foi efetuada a 160m do aerogerador n.º 1, 200m do aerogerador n.º 2 e 430m do aerogerador n.º 3. Verificou-se que o ruído residual era baixo, visto não haver ruído de tráfego rodoviário. O ruído perceptível era o ruído aerodinâmico. Aquando da medição estavam a trabalhar os 3 aerogeradores existentes.

Medição	Coordenadas GPS	Velocidade do vento (m/s)	Temperatura (°C)	Data	Hora	Duração (min.)	L _{Aeq} dB (A)
12	39°04'26.6"N 9°13'22.4"W	1 – 2	21	22/09/2015	16h07	15	64,7
13	39°04'07.2"N 9°12'50.9"W	4 – 5	20	22/09/2015	16h44	15	48,7
14	39°04'29.4"N 9°13'16.3"W	0,2	15	08/10/2015	20h10	10	56,4
15	39°04'20.9"N 9°13'23.7"W	0,5	15	08/10/2015	20h37	10	45,7

Tabela 10 - Valores obtidos nas medições (Maravilha I)

No Apêndice III encontram-se representados os espectros de 1/3 oitavas, na gama dos 63 a 20000Hz em [dB(Z)], para as medições realizadas.

5.1.5. CASO DE ESTUDO 5 – OUTROS LOCAIS PARA COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES

Na Tabela 11 constam os dados relativos às medições efetuadas sem a presença de aerogeradores, tais como a localização, velocidade do vento, temperatura, data, hora, duração da medição e o nível sonoro equivalente L_{Aeq} ponderado pelo filtro A. As medições foram efetuadas quer em locais em que se verificavam ruídos de baixa frequência quer em locais sem qualquer tipo de associação a ruídos de baixa frequência.

Os **locais das medições n.º 16 e 17** são zonas em que se verificam ruído de baixa frequência, enquanto nos **locais das medições n.º 18, 19 e 20** não há qualquer tipo de associação a ruído de baixa frequência.

As medições efetuadas tiveram uma duração de 15 minutos e foram efetuadas nos períodos de referência diurno e entardecer.

O **local de medição n.º 16** situa-se junto à auto-estrada A2, na zona de Corroios; o **local de medição n.º 17** situa-se junto à Ponte 25 de Abril, na zona das docas em Lisboa. Estes locais foram escolhidos por haver muito ruído, quer rodoviário quer ferroviário. Em ambas as situações o ruído residual é elevado.

O **local de medição n.º 18** situa-se numa habitação, em Setúbal; o **local de medição n.º 19** situa-se numa zona rural, em Palmela e o **local de medição n.º 20** situa-se no alto da Serra de São Luís, em Palmela. Estes locais foram escolhidos por não haver muito ruído e não terem qualquer associação a ruídos de baixa frequência.

Medição	Coordenadas GPS	Velocidade do vento (m/s)	Temperatura (°C)	Data	Hora	Duração (min.)	L _{Aeq} dB (A)
16	38°38`18.2``N 9°09`17.9``W	1 - 2	24,5	30/09/2015	17h30	15	77,6
17	38°41`54.0``N 9°10`46.1``W	1	19	30/09/2015	22h14	15	74,0
18	38°32`01.0``N 8°53`37.8``W	--	20	01/10/2015	00h14	15	35,1
19	38°33`43.5``N 8°51`13.0``W	1 - 2,5	25	04/09/2015	16h10	15	41,4
20	38°32`36.9``N 8°56`11.2``W	6,3 - 8,2	18,9	04/09/2015	17h00	15	50,2

Tabela 11 - Valores obtidos nas medições (Zonas sem presença de aerogeradores)

No Apêndice III encontram-se representados os espectros de 1/3 oitavas, na gama dos 63 a 20000Hz em [dB(Z)], para as medições realizadas.

5.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS MEDIÇÕES

Tendo como objetivo específico deste estudo avaliar os níveis de ruído de baixa frequência num parque eólico, proceder-se-á à comparação dos níveis de ruído dos diferentes parques eólicos, assim como a comparações de zonas com e sem presença de aerogeradores.

O ruído de baixa frequência não está legislado. No entanto proceder-se-á à avaliação do critério de exposição e do critério de incomodidade com base no Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro. No critério de exposição tem-se em conta o estipulado no artigo 13º e no critério de incomodidade tem-se em conta o Anexo I. Tendo por base o Anexo I, o ruído é considerado tonal quando no espectro de 1/3 oitava, o nível sonoro de uma banda excede o das adjacentes em 5dB (A) ou mais.

a) COMPARAÇÕES ENTRE CASOS DE ESTUDO 1 E 2 (FANHÕES / CATEFICA)

Por forma a avaliar os níveis de ruído de baixa frequência nos Parques Eólicos de Fanhões e Catefica proceder-se-á à comparação das medições n.º 4 e 7 (Gráfico 4). Ambos os Parques Eólicos possuem aerogeradores Gamesa G80 – 2MW.

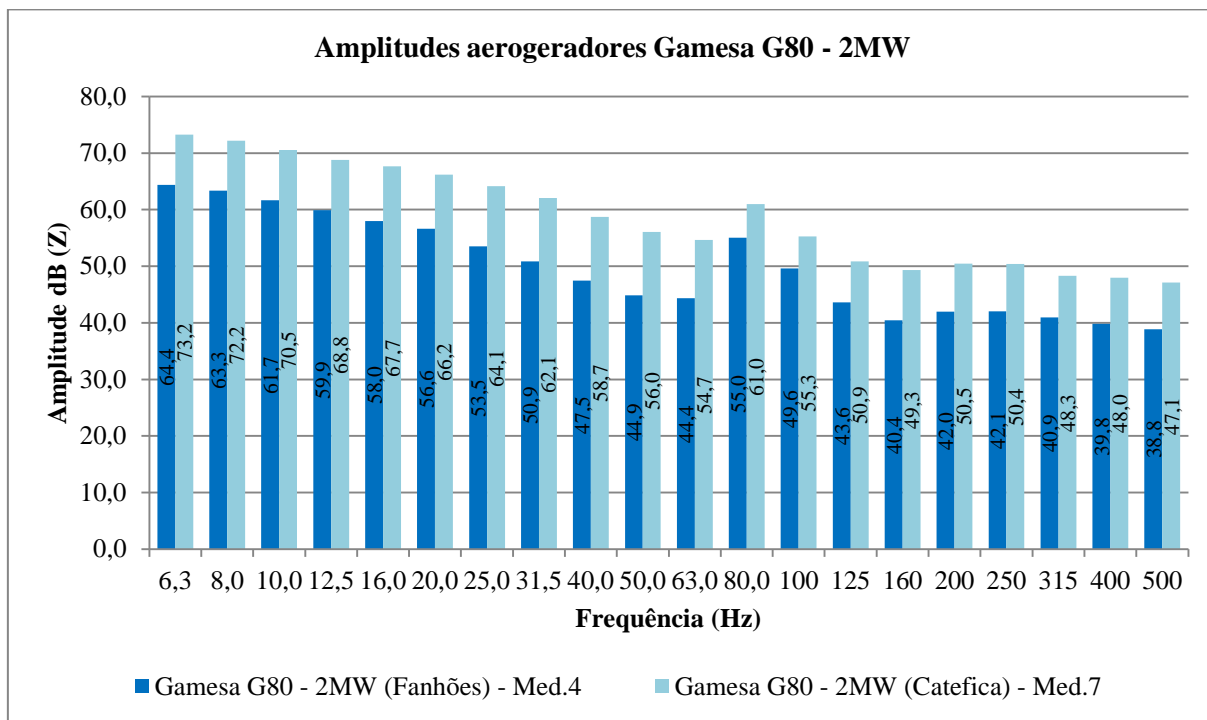


Gráfico 4 – Comparação entre as amplitudes de aerogeradores Gamesa G80 – 2MW dos Parques Eólicos de Fanhões e Catefica

O Gráfico 4 corresponde às amplitudes obtidas nos Parques Eólicos de Fanhões e Catefica, em que neste se representa o espectro de 1/3 de oitavas em dB (Z) na gama dos 50 aos 500Hz, embora as medições efetuadas tenham sido registadas na gama dos 63 a 20000Hz (Apêndice III). Através da análise deste, verifica-se que:

- As amplitudes no Parque Eólico da Catefica são superiores às do Parque Eólico de Fanhões. Esta diferença poderá estar relacionada com o facto de no dia da medição a velocidade de vento ser superior no Parque Eólico da Catefica, provocando deste modo níveis de ruído superiores.
- No espectro de 1/3 de oitavas, a banda de 80Hz excede a das adjacentes em mais de 5dB (A), nos Parques Eólicos de Fanhões e de Catefica. Esta avaliação de averiguar se o ruído era ou não considerado tonal foi efetuada de forma semelhante ao estipulado no Anexo I do Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, tendo-se concluído que o ruído poderia ser tonal. As componentes tonais poderão

estar relacionadas com a cadeia cinemática do aerogerador que compreende a caixa de engrenagem multiplicadora e o alternador, pelo que não será de excluir a possibilidade de se registarem as frequências de engrenamento dos carretos originando componentes tonais (neste caso a 80Hz).

Por forma a avaliar se os valores limite do Regulamento Geral do Ruído (RGR) seriam cumpridos é avaliado de seguida o cumprimento do critério de exposição e do critério de incomodidade para o presente caso:

Critério de exposição:

O critério de exposição é avaliado com base no indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den}) e com base no indicador de ruído noturno (L_n), estando os valores limite indicados na Tabela 1. Tendo por base a Tabela 1, fez-se a análise do critério de exposição para zonas sensíveis (ZS), zonas mistas (ZM) e zonas não classificadas (ZNC), uma vez que não foi possível obter a carta de classificação de zonas de Fanhões e Catefica.

O valor do indicador L_{den} é calculado através da Equação 1.

Na Tabela 12, constam os valores dos indicadores de ruído registados nas medições n.º 4 e 7, assim como o cálculo do indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den}).

	Medição n.º 4	Observação	Medição n.º 7	Observação
L_d	45,4dB (A)	Medição real efetuada no local	53,6dB (A)	Medição real efetuada no local
L_e	50dB (A)	Medição real efetuada no local (valor retirado da medição n.º 6)	53,6dB (A)	No período de referência entardecer considerou-se o mesmo valor do período de referência diurno.
L_n	50dB (A)	No período de referência noturno considerou-se o mesmo valor do período de referência entardecer.	53,6dB (A)	No período de referência noturno considerou-se o mesmo valor do período de referência diurno.
L_{den}	55,9dB (A)	--	59,9dB (A)	--

Tabela 12 – Valores dos indicadores de ruído (L_d , L_e e L_n) e cálculo do indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den})

Crítério de incomodidade:

O critério de incomodidade é avaliado com base na diferença entre o valor do indicador L_{Aeq} do ruído ambiente e o valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual, estando os valores limite indicados na Tabela 2.

O valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual deveria ser tirado quando os aerogeradores dos diferentes parques eólicos se encontrassem todos parados. Na altura das medições, o único local em que se encontraram os aerogeradores quase todos parados foi no Parque Eólico de Fanhões (estavam em funcionamento 2 dos 9 aerogeradores existentes). Por forma a se poder fazer a avaliação deste critério irá considerar-se que o valor de L_{Aeq} do ruído residual será igual em todos os parques eólicos. O valor adotado será $L_{Aeq} (RR) = 32,7\text{dB (A)}$. Considerou-se este valor por o ruído dos 2 aerogeradores em funcionamento não ser perceptível.

Procedeu-se ao cálculo do nível de avaliação, L_{Ar} , com base na Equação 2.

Na Tabela 13, constam os valores do nível sonoro equivalente ponderado curva A (L_{Aeq}) registados nas medições n.º 4 e 7, assim como o cálculo do indicador do nível de avaliação (L_{Ar}).

	Medição n.º 4	Observação	Medição n.º 7	Observação
L_{Aeq}	45,4dB (A)	Medição real efetuada no local, no período de referência diurno.	53,6dB (A)	Medição real efetuada no local, no período de referência diurno.
K1	3dB (A)	Através da análise do espectro de 1/3 de oitavas, a banda de 80Hz excede a das adjacentes em mais de 5dB (A). A avaliação de averiguar se o ruído era ou não considerado tonal foi efetuada de forma semelhante ao estipulado no Anexo I do Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, tendo-se concluído que o ruído poderia ser tonal.	3dB (A)	Através da análise do espectro de 1/3 de oitavas, a banda de 80Hz excede a das adjacentes em mais de 5dB (A). A avaliação de averiguar se o ruído era ou não considerado tonal foi efetuada de forma semelhante ao estipulado no Anexo I do Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, tendo-se concluído que o ruído poderia ser tonal.
K2	0dB (A)	$L_{Aeq} - L_{Aeq} = 1,8 < 6\text{dB (A)}$, logo não se verifica componentes impulsivas.	0dB (A)	$L_{Aeq} - L_{Aeq} = 1,1 < 6\text{dB (A)}$, logo não se verifica componentes impulsivas.
L_{Ar}	48,4dB (A)	--	56,6dB (A)	--

Tabela 13 – Valores do nível sonoro equivalente ponderado curva A (L_{Aeq}) e cálculo do indicador do nível de avaliação (L_{Ar})

Aos valores limite (5, 4, 3dB(A)) indicados na Tabela 2, deve ser adicionado um valor D. Considerando-se que os aerogeradores se encontram em funcionamento mais de 75% do período de referência, a variável D toma o valor de 0dB (A) (Tabela 3).

Com base nos elementos acima mencionados procedeu-se à verificação do critério de incomodidade (Tabela 14), tendo por base a Tabela 2.

	Medição n.º 4	Medição n.º 7	Observação
L_{Ar}	48,4dB (A)	56,6dB (A)	--
$L_{Aeq} (RR)$	32,7dB (A)	32,7dB (A)	--
$\Delta = L_{Ar} - L_{Aeq} (RR)$	15,7dB (A)	23,9dB (A)	Na Tabela 2 o indicador $L_{Aeq} (RA)$ dá lugar ao nível de avaliação L_{Ar} após as correções tonais e impulsivas do ruído particular.

Tabela 14 – Valores da diferença Δ entre o nível de avaliação (L_{Ar}) e o ruído residual ($L_{Aeq} (RR)$)

Tendo em conta os valores limite indicados na Tabela 1 e 2, assim como os valores da Tabela 12, 13 e 14 elaborou-se o Gráfico 5, por forma a avaliar se o critério de exposição e o critério de incomodidade são cumpridos nas medições n.º 4 e 7.

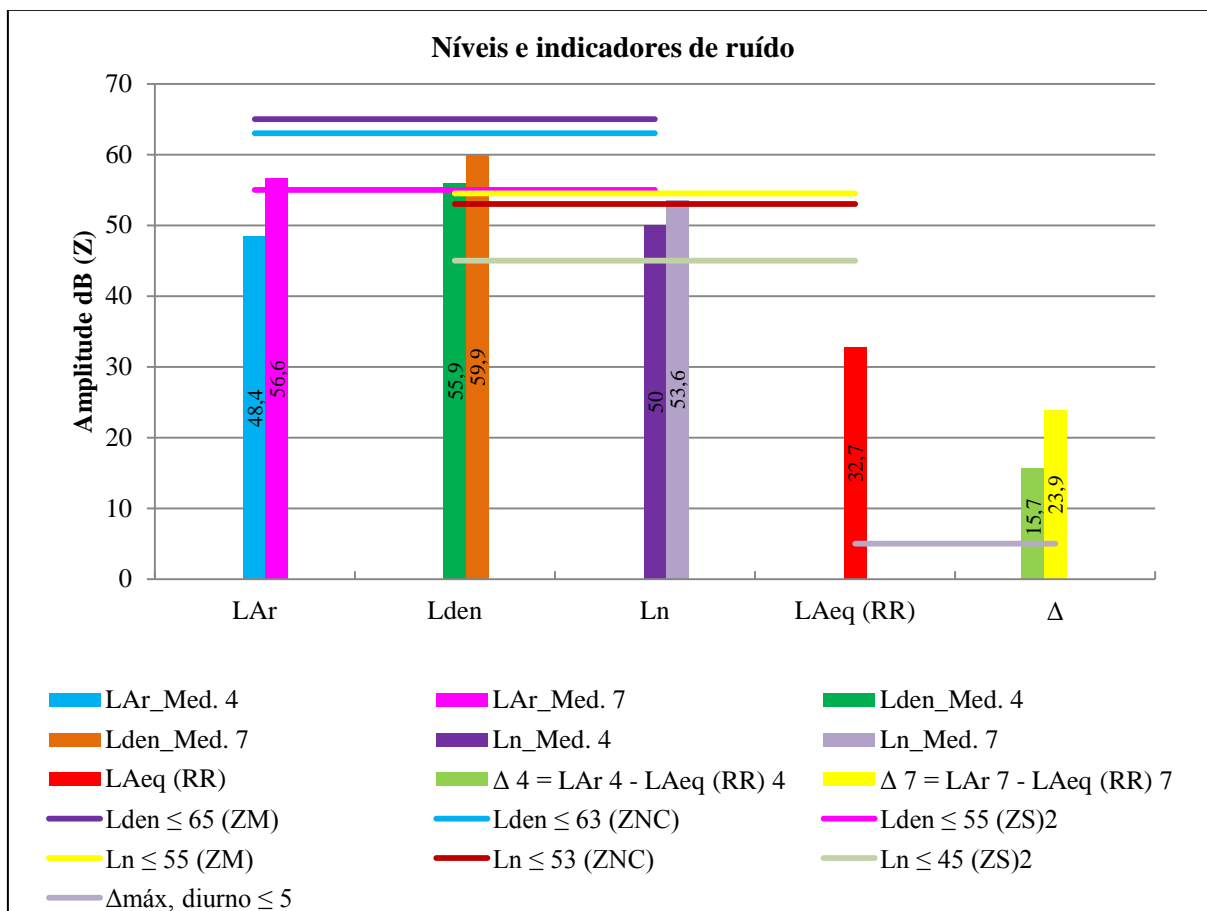


Gráfico 5 – Representação gráfica dos níveis sonoros envolvidos na avaliação dos critérios de exposição e incomodidade

No Gráfico 5 é possível observar-se a representação dos valores do nível de avaliação (L_{Ar}), do ruído residual (L_{Aeq} (RR)), do valor do indicador L_{den} , dos limites legais do indicador L_{den} e L_n para zonas sensíveis (ZS), zonas mistas (ZM) e zonas não classificadas (ZNC) e a diferença Δ entre o nível de avaliação (L_{Ar}) e o ruído residual (L_{Aeq} (RR)). Analisando-se o gráfico, verifica-se que os valores dos indicadores L_{den} cumprem o critério de exposição para zonas mistas e zonas não classificadas, mas não para zonas sensíveis. Na medição n.º 4, o valor do indicador L_n cumpre o critério de exposição para zonas mistas (ZM) e zonas não classificadas (ZNC), mas não para zonas sensíveis (ZS). Na medição n.º 7, o valor do indicador L_n cumpre o critério de exposição para zonas mistas (ZM), mas não para zonas não classificadas (ZNC) e zonas sensíveis (ZS). Com base nos valores de Δ verifica-se que o critério de incomodidade não seria cumprido em nenhum dos períodos de referência, visto ser superior a 3, 4 e 5dB (A).

b) COMPARAÇÕES ENTRE CASOS DE ESTUDO 3 E 4 (SERRA DA CAPUCHA/ MARAVILHA I)

Por forma a avaliar os níveis de ruído de baixa frequência nos Parques Eólicos da Serra da Capucha e Maravilha I proceder-se-á à comparação das medições n.º 9 e 15 (Gráfico 6). Ambos os Parques Eólicos possuem aerogeradores Enercon, mas de modelos diferentes, nomeadamente E-70 E4 – 2MW e E-82 E2 – 2MW.

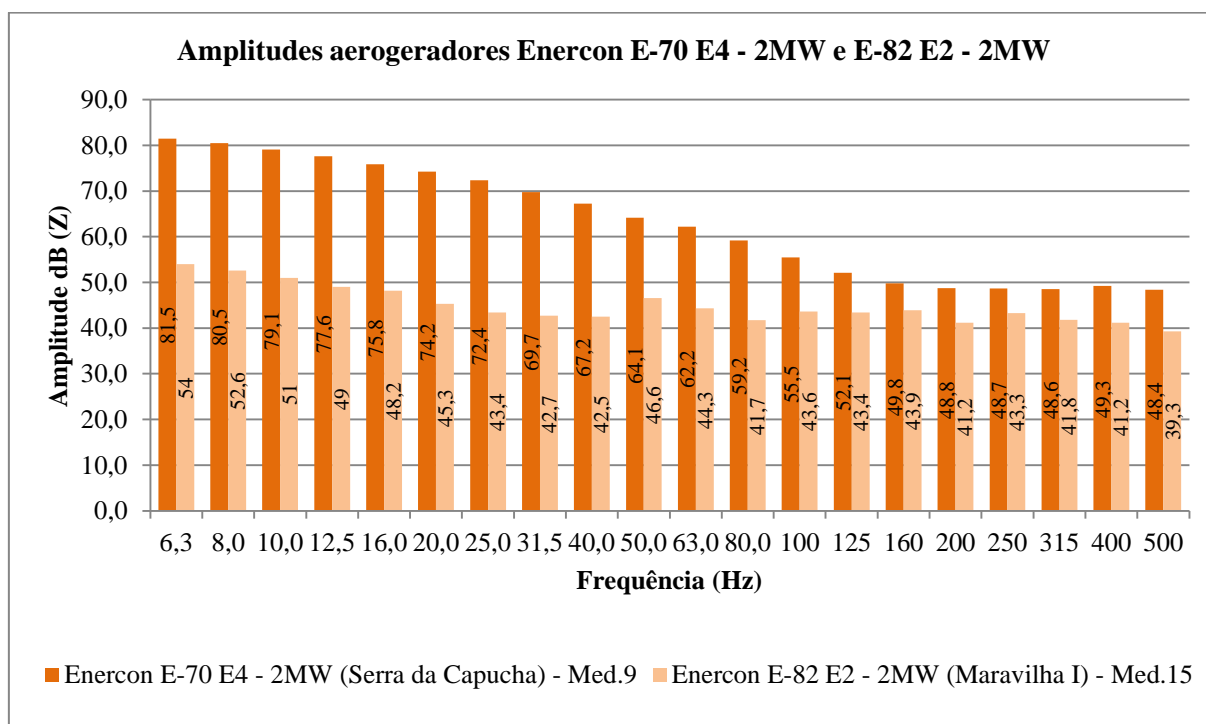


Gráfico 6 – Comparação entre as amplitudes de aerogeradores Enercon E-70 E4 – 2MW e E-82 E2 – 2MW dos Parques Eólicos da Serra da Capucha e Maravilha I

O Gráfico 6 corresponde às amplitudes obtidas nos Parques Eólicos da Serra da Capucha e Maravilha I, em que neste se representa o espectro de 1/3 de oitavas em dB (Z) na gama dos 50 aos 500Hz, embora as medições efetuadas tenham sido registadas na gama dos 63 a 20000Hz (Apêndice III). Através da análise deste, verifica-se que:

- As amplitudes no Parque Eólico da Serra da Capucha são superiores às do Parque Eólico da Maravilha I. Esta diferença poderá estar relacionada com o facto de no dia da medição a velocidade de vento ser superior no Parque Eólico da Serra da Capucha, provocando deste modo níveis de ruído superiores.
- No espectro de 1/3 de oitavas, nenhuma banda excede a das adjacentes em mais de 5dB (A), nos Parques Eólicos da Serra da Capucha e Maravilha I. Esta avaliação de averiguar se o ruído era ou não considerado tonal foi efetuada de

forma semelhante ao estipulado no Anexo I do Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, tendo-se concluído que o ruído não era tonal. Sendo assim, o ruído emitido pelos aerogeradores Enercon não apresenta componentes tonais. O motivo por que estes não apresentam componentes tonais poderá estar relacionado com o facto dos aerogeradores Enercon não possuírem caixas de engrenagens.

Por forma a avaliar se os valores limite do Regulamento Geral do Ruído (RGR) seriam cumpridos é avaliado de seguida o cumprimento do critério de exposição e do critério de incomodidade para o presente caso:

Critério de exposição:

O critério de exposição é avaliado com base no indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den}) e com base no indicador de ruído noturno (L_n), estando os valores limite indicados na Tabela 1. Tendo por base a Tabela 1, fez-se a análise do critério de exposição tendo em consideração que na Serra da Capucha a zona é mista (ZM) e na Maravilha I a zona é não classificada (ZNC).

O valor do indicador L_{den} é calculado através da Equação 1.

Na Tabela 15, constam os valores dos indicadores de ruído registados nas medições n.º 9 e 15, assim como o cálculo do indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den}).

	Medição n.º 9	Observação	Medição n.º 15	Observação
L_d	53,7dB (A)	Medição real efetuada no local	45,7dB (A)	No período de referência diurno considerou-se o mesmo valor do período de referência entardecer.
L_e	53,7dB (A)	No período de referência entardecer considerou-se o mesmo valor do período de referência diurno.	45,7dB (A)	Medição real efetuada no local
L_n	53,7dB (A)	No período de referência noturno considerou-se o mesmo valor do período de referência diurno.	45,7dB (A)	No período de referência noturno considerou-se o mesmo valor do período de referência entardecer.
L_{den}	60dB (A)	--	52dB (A)	--

Tabela 15 – Valores dos indicadores de ruído (L_d , L_e e L_n) e cálculo do indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den})

Crítério de incomodidade:

O critério de incomodidade é avaliado com base na diferença entre o valor do indicador L_{Aeq} do ruído ambiente e o valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual, estando os valores limite indicados na Tabela 2.

O valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual deveria ser tirado quando os aerogeradores dos diferentes parques eólicos se encontrassem todos parados. Na altura das medições, o único local em que se encontraram os aerogeradores quase todos parados foi no Parque Eólico de Fanhões (estavam em funcionamento 2 dos 9 aerogeradores existentes). Por forma a se poder fazer a avaliação deste critério irá considerar-se que o valor de L_{Aeq} do ruído residual será igual em todos os parques eólicos. O valor adotado será $L_{Aeq} (RR) = 32,7\text{dB (A)}$. Considerou-se este valor por o ruído dos 2 aerogeradores em funcionamento não ser perceptível.

Procedeu-se ao cálculo do nível de avaliação, L_{Ar} , com base na Equação 2.

Na Tabela 16, constam os valores do nível sonoro equivalente ponderado curva A (L_{Aeq}) registados nas medições n.º 9 e 15, assim como o cálculo do indicador do nível de avaliação (L_{Ar}).

	Medição n.º 9	Observação	Medição n.º 15	Observação
L_{Aeq}	53,7dB (A)	Medição real efetuada no local, no período de referência diurno.	45,7dB (A)	Medição real efetuada no local, no período de referência entardecer.
K1	0dB (A)	Através da análise do espectro de 1/3 de oitavas verificou-se que o nível sonoro de uma banda não excede o das adjacentes em 5dB (A), não existindo por isso componentes tonais.	0dB (A)	Através da análise do espectro de 1/3 de oitavas verificou-se que o nível sonoro de uma banda não excede o das adjacentes em 5dB (A), não existindo por isso componentes tonais.
K2	0dB (A)	$L_{Aeq} - L_{Aeq} = 2,5 < 6\text{dB (A)}$, logo não se verifica componentes impulsivas.	0dB (A)	$L_{Aeq} - L_{Aeq} = 2,2 < 6\text{dB (A)}$, logo não se verifica componentes impulsivas.
L_{Ar}	53,7B (A)	--	45,7dB (A)	--

Tabela 16 – Valores do nível sonoro equivalente ponderado curva A (L_{Aeq}) e cálculo do indicador do nível de avaliação (L_{Ar})

Aos valores limite (5, 4, 3dB(A)) indicados na Tabela 2, deve ser adicionado um valor D. Considerando-se que os aerogeradores se encontram em funcionamento mais de 75% do período de referência, a variável D toma o valor de 0dB (A) (Tabela 3).

Com base nos elementos acima mencionados procedeu-se à verificação do critério de incomodidade (Tabela 17), tendo por base a Tabela 2.

	Medição n.º 4	Medição n.º 7	Observação
L_{Ar}	53,7dB (A)	45,7dB (A)	--
$L_{Aeq} (RR)$	32,7dB (A)	32,7dB (A)	--
$\Delta = L_{Ar} - L_{Aeq} (RR)$	21dB (A)	13dB (A)	Na Tabela 2 o indicador $L_{Aeq} (RA)$ dá lugar ao nível de avaliação L_{Ar} após as correções tonais e impulsivas do ruído particular.

Tabela 17 – Valores da diferença Δ entre o nível de avaliação (L_{Ar}) e o ruído residual ($L_{Aeq} (RR)$)

Tendo em conta os valores limite indicados na Tabela 1 e 2, assim como os valores da Tabela 15, 16 e 17 elaborou-se o Gráfico 7, por forma a avaliar se o critério de exposição e o critério de incomodidade são cumpridos nas medições n.º 9 e 15.

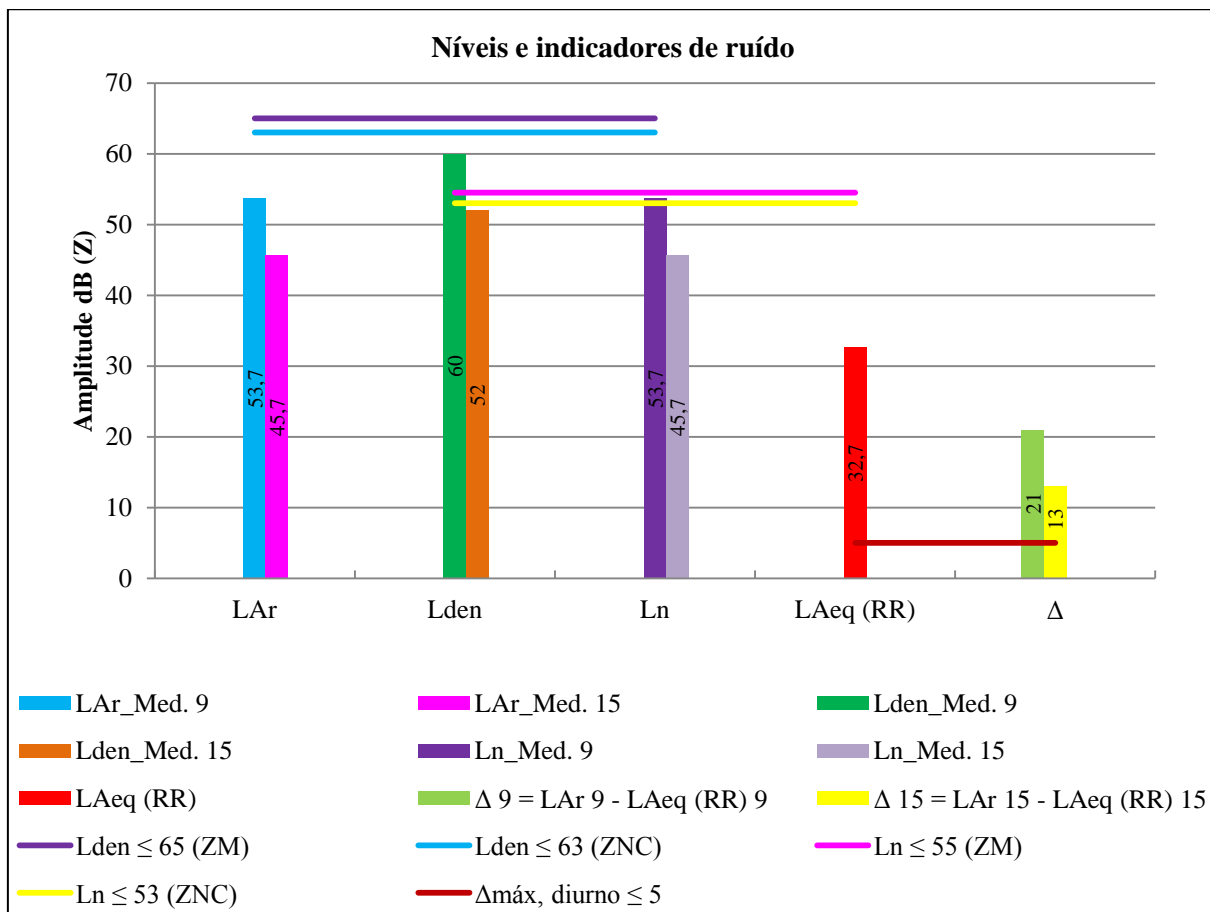


Gráfico 7 – Representação gráfica dos níveis sonoros envolvidos na avaliação dos critérios de exposição e incomodidade

No Gráfico 7 é possível observar-se a representação dos valores do nível de avaliação (L_{Ar}), do ruído residual (L_{Aeq} (RR)), do valor do indicador L_{den} , dos limites legais do indicador L_{den} e L_n para zonas mistas (ZM) e zonas não classificadas (ZNC) e a diferença Δ entre o nível de avaliação (L_{Ar}) e o ruído residual (L_{Aeq} (RR)). Analisando-se o gráfico, verifica-se que na medição n.º 9, o valor do indicador L_{den} cumpre o critério de exposição para zonas não classificadas (ZNC), mas o valor do indicador L_n não cumpre o critério de exposição para zonas não classificadas (ZNC). Na medição n.º 15, os valores dos indicadores L_{den} e L_n cumprem o cumprem o critério de exposição para zonas mistas (ZM). Com base nos valores de Δ verifica-se que o critério de incomodidade não seria cumprido em nenhum dos períodos de referência, visto ser superior a 3, 4 e 5dB (A).

c) COMPARAÇÕES ENTRE CASO DE ESTUDO 2 E 3 (CATEFICA / SERRA DA CAPUCHA)

Por forma a avaliar os níveis de ruído de baixa frequência nos Parques Eólicos de Catefica e Serra da Capucha proceder-se-á à comparação das medições n.º 7 e 9 (Gráfico 8). Os Parques Eólicos possuem aerogeradores Gamesa G80 – 2MW e Enercon E-70 E4 – 2MW, respetivamente.

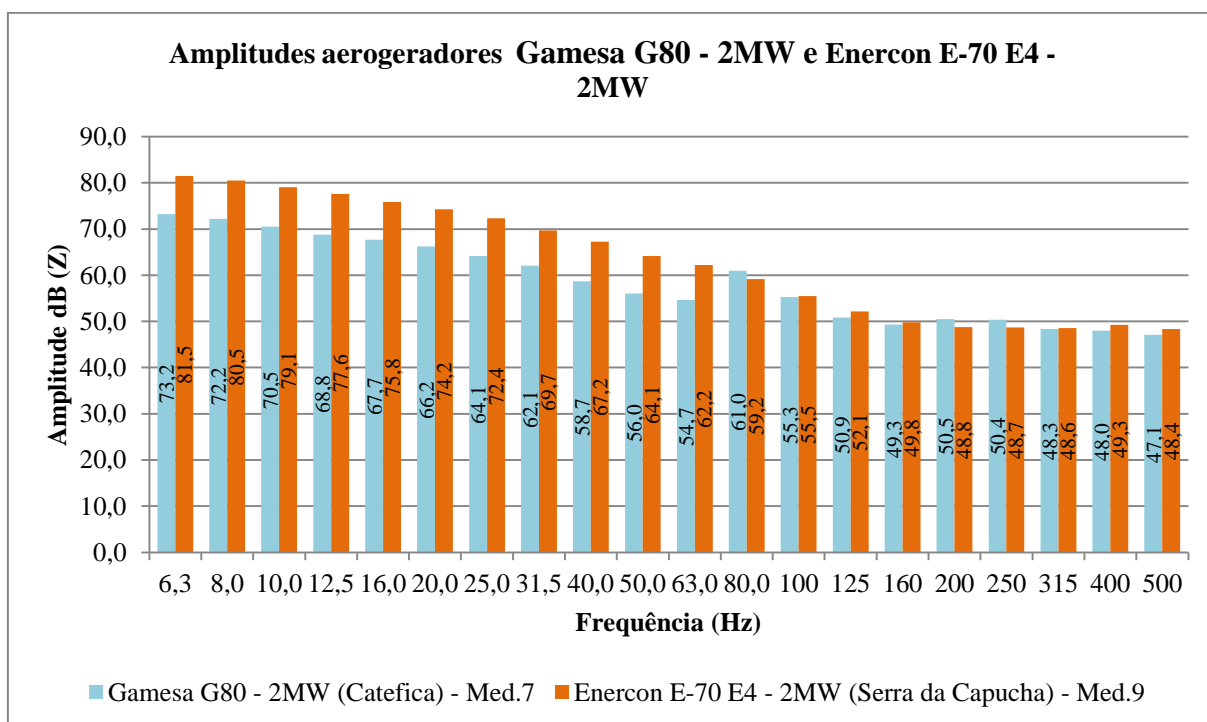


Gráfico 8 – Comparação entre as amplitudes de aerogeradores Gamesa G80 – 2MW e Enercon E-70 E4 – 2MW dos Parques Eólicos da Catefica e Serra da Capucha

O Gráfico 8 corresponde às amplitudes obtidas nos Parques Eólicos de Catefica e Serra da Capucha, em que neste se representa o espectro de 1/3 de oitavas em dB (Z) na gama dos 50 aos 500Hz, embora as medições efetuadas tenham sido registadas na gama dos 63 a 20000Hz (Apêndice III). Através da análise deste, verifica-se que:

- As amplitudes no Parque Eólico da Serra da Capucha são superiores às do Parque Eólico de Catefica. Esta diferença poderá estar relacionada com o facto de no dia da medição a velocidade de vento ser superior no Parque Eólico da Serra da Capucha, provocando deste modo níveis de ruído superiores.
- No espectro de 1/3 de oitavas, a banda de 80Hz excede a das adjacentes em mais de 5dB (A), no Parque Eólico de Catefica. Esta avaliação de averiguar se o ruído era ou não considerado tonal foi efetuada de forma semelhante ao estipulado no Anexo I do Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, tendo-se concluído que o ruído poderia ser tonal. Como foi referido anteriormente, as componentes tonais poderão estar relacionadas com a cadeia cinemática do aerogerador que compreende a caixa de engrenagem multiplicadora e o alternador, pelo que não será de excluir a possibilidade de se registarem as frequências de engrenamento dos carretos originando componentes tonais (neste caso a 80Hz). No caso dos aerogeradores Enercon o ruído emitido não apresenta componentes tonais. O motivo por que estes não apresentam componentes tonais poderá estar relacionado com o facto dos aerogeradores Enercon não possuírem caixas de engrenagens.

Por forma a avaliar se os valores limite do Regulamento Geral do Ruído (RGR) seriam cumpridos foram avaliados através dos Gráficos 5 e 7 o cumprimento do critério de exposição e do critério de incomodidade, tendo-se concluído que:

Nas medições n.º 7 e 9, os valores dos indicadores L_{den} e L_n cumprem o critério de exposição para zonas mistas, mas não para zonas sensíveis. Com base nos valores de Δ verifica-se que o critério de incomodidade não seria cumprido em nenhum dos períodos de referência, visto ser superior a 3, 4 e 5dB (A).

d) COMPARAÇÕES ENTRE CASO DE ESTUDO 1 A 5 (FANHÕES / CATEFICA / SERRA DA CAPUCHA / MARAVILHA I / OUTROS LOCAIS)

Por forma a avaliar os níveis de ruído de baixa frequência procedeu-se à comparação das medições efetuadas nos diferentes parques eólicos, com as medições efetuadas em zonas sem a presença de aerogeradores (Gráficos 9 a 13). Nos gráficos representa-se o espectro de 1/3 de oitavas em dB (Z) na gama dos 50 aos 500Hz, embora as medições registadas tenham sido efetuadas na gama dos 63 a 20000Hz (Apêndice III).

Analisando-se os diferentes gráficos acima mencionados, referentes às amplitudes obtidas nos Parques Eólicos e zonas sem a presença de aerogeradores, verifica-se que:

- No caso dos Gráficos 9 e 10, as amplitudes do ruído dos aerogeradores apresentam valores superiores nas frequências mais baixas que diminuem à medida que se aumenta a frequência (medições n.º 4, 7, 9, 15), enquanto no caso do ruído proveniente da auto-estrada A2 e Ponte 25 de Abril (medições n.º 16 e 17) as amplitudes são mais uniformes ao longo de todo o espectro sonoro. Nas amplitudes do ruído registadas no Parque Eólico da Serra da Capucha (medição n.º 9) verifica-se que, até aos 40Hz, as mesmas são superiores às amplitudes da auto-estrada A2 e Ponte 25 de Abril (medições n.º 16 e 17). A partir dos 50Hz há uma inversão, ou seja, a amplitude do ruído da auto-estrada e Ponte 25 de Abril (medições n.º 16 e 17) excede a amplitude do ruído emitido no Parque Eólico da Serra da Capucha (medição n.º 9). Em ambos os gráficos, o ruído emitido é de baixa frequência, em virtude das amplitudes serem mais elevadas quando comparadas com zonas sem qualquer associação a ruído de baixa frequência.
- No caso do Gráfico 11, as amplitudes do ruído dos aerogeradores apresentam valores superiores nas frequências mais baixas e diminuem à medida que se aumenta a frequência (medições n.º 4, 7, 9, 15), enquanto no caso do ruído proveniente da habitação (medição n.º 18) os espectros não apresentam um padrão como se observa nos aerogeradores. As amplitudes verificadas na habitação são mais baixas quando comparadas com as medições efetuadas nos parques eólicos. Não tendo existido um estudo detalhado do tipo de ruído observado na habitação, tudo leva a crer que não esteja associado a ruído de baixa frequência.

- No caso do Gráfico 12, as amplitudes do ruído dos aerogeradores apresentam valores superiores nas frequências mais baixas e diminuem à medida que se aumenta a frequência (medições n.º 4, 7, 9, 15 e 19). Apesar do ruído em zona rural (medição n.º 19) não estar associado a ruído de baixa frequência, verificam-se amplitudes elevadas quando comparadas com as outras medições (medições n.º 4, 7, 9 e 15). Uma possível explicação para as amplitudes elevadas pode estar relacionada com o facto de no dia da medição, o vento soprar de noroeste com velocidade de 1 a 2,5m/s e de a auto-estrada A12 ficar nesta direção a cerca de 1,2km.
- No caso do Gráfico 13, as amplitudes do ruído dos aerogeradores apresentam valores superiores nas frequências mais baixas e diminuem à medida que se aumenta a frequência (medições n.º 4, 7, 9, 15 e 20). Apesar do ruído na Serra de São Luís (medição n.º 20) não estar associado a ruído de baixa frequência, verificam-se amplitudes elevadas provocadas pelo vento que se fazia sentir aquando da medição (6,3 – 8,2 m/s) provocando ruído na vegetação local.

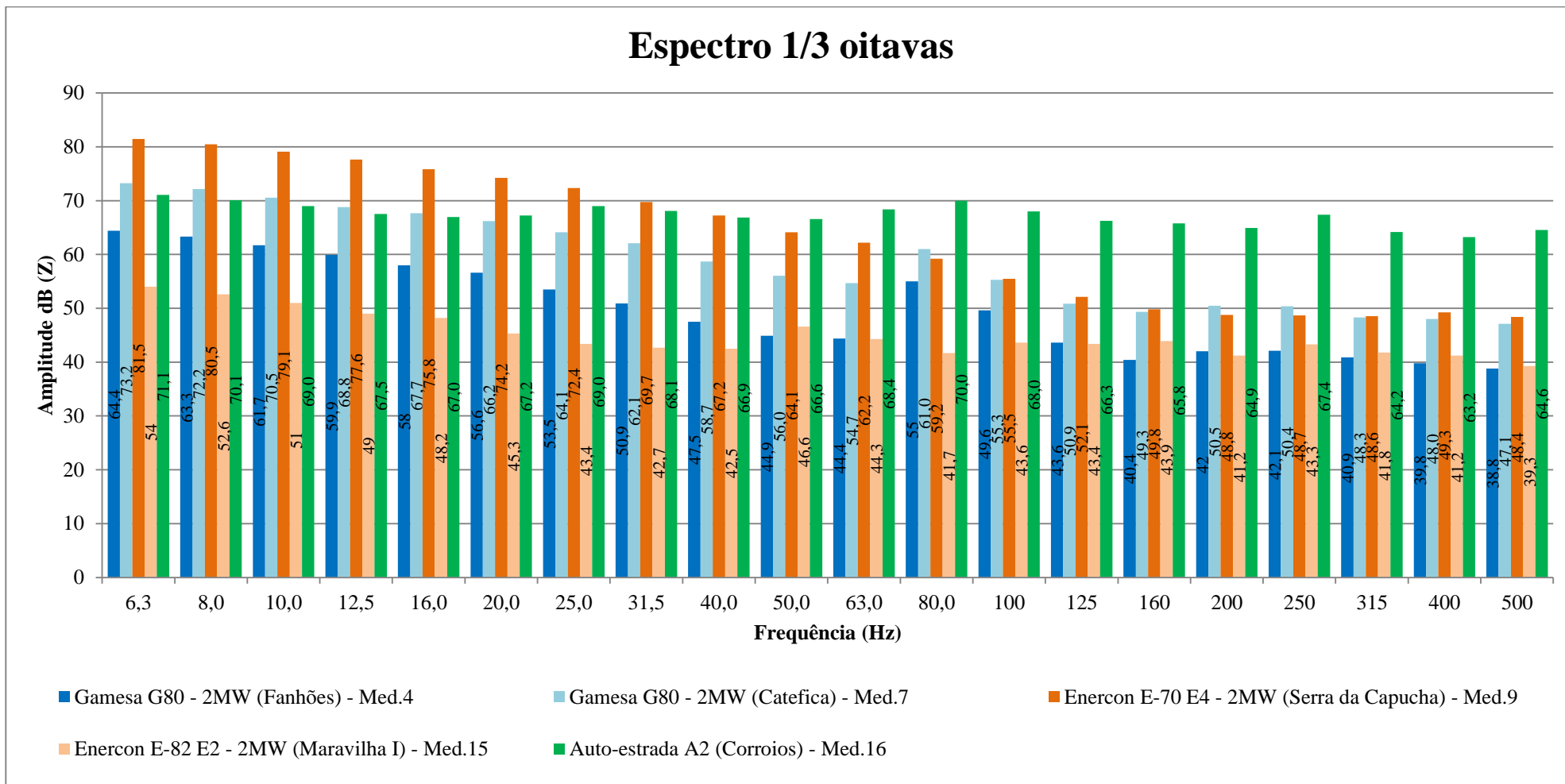


Gráfico 9 – Comparação das medições n.º 4, 7, 9, 15 e 16 (Zonas com e sem aerogeradores)

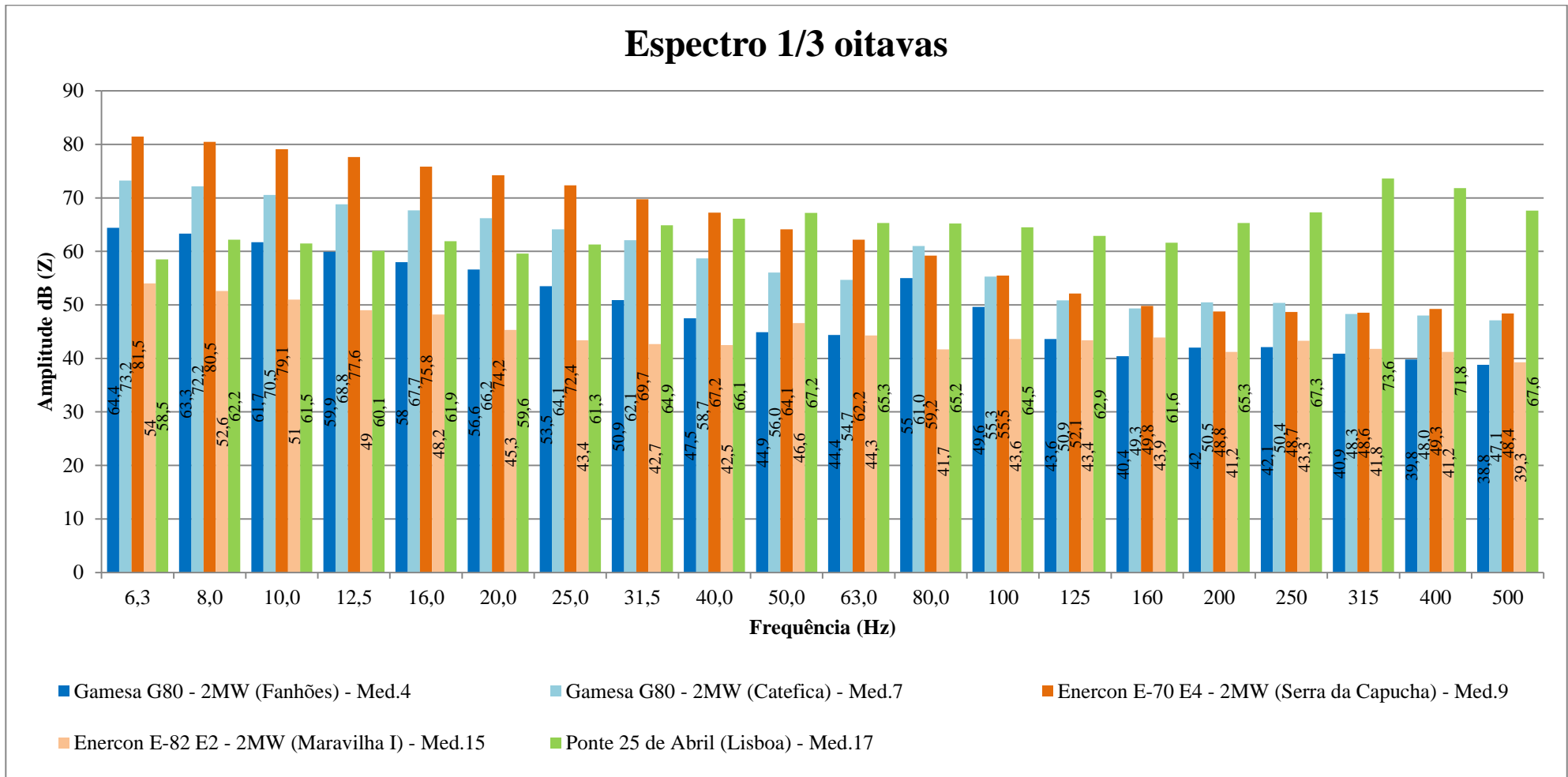


Gráfico 10 – Comparação das medições n.º 4, 7, 9, 15 e 17 (Zonas com e sem aerogeradores)

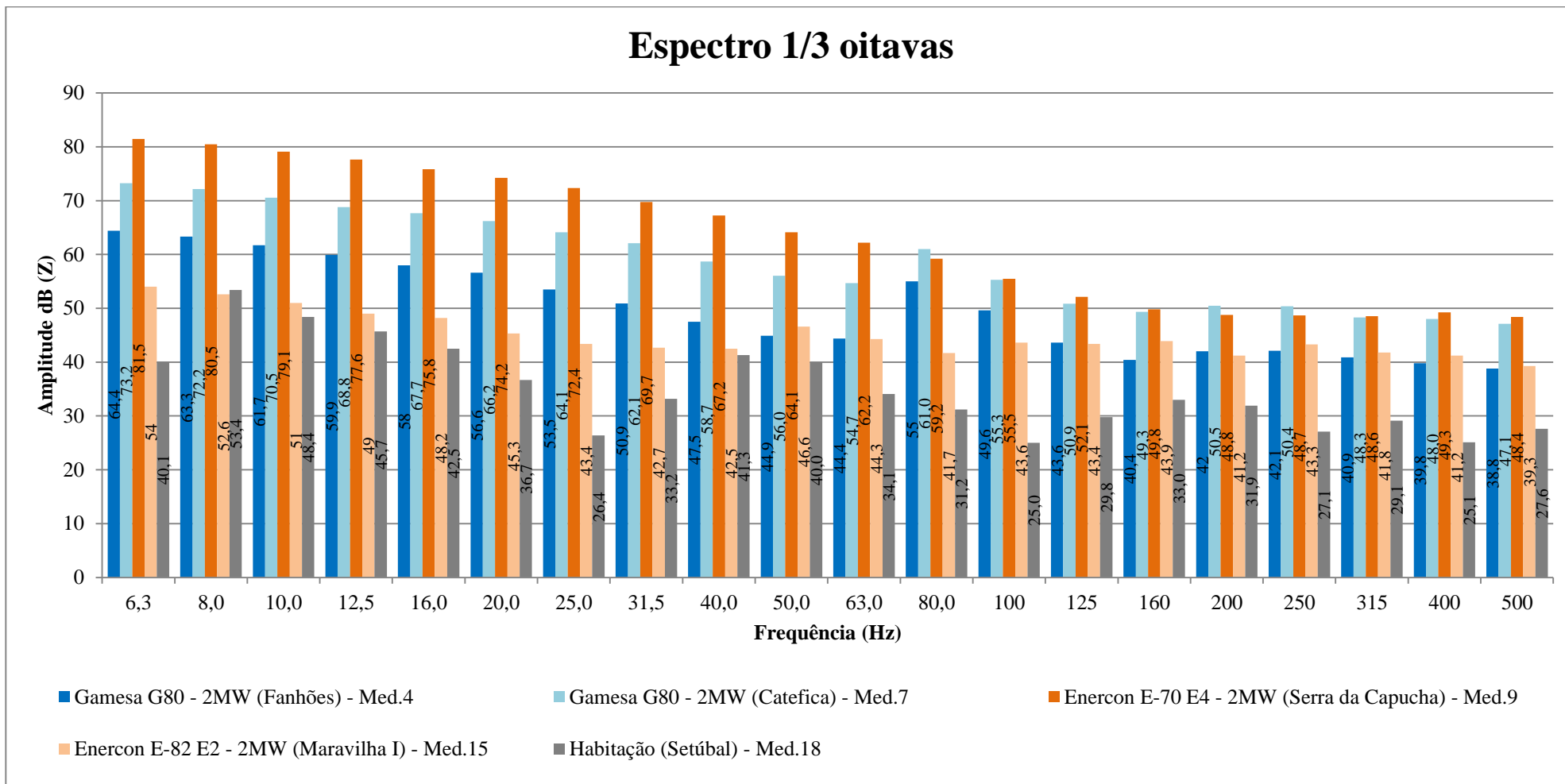


Gráfico 11 – Comparação das medições n.º 4, 7, 9, 15 e 18 (Zonas com e sem aerogeradores)

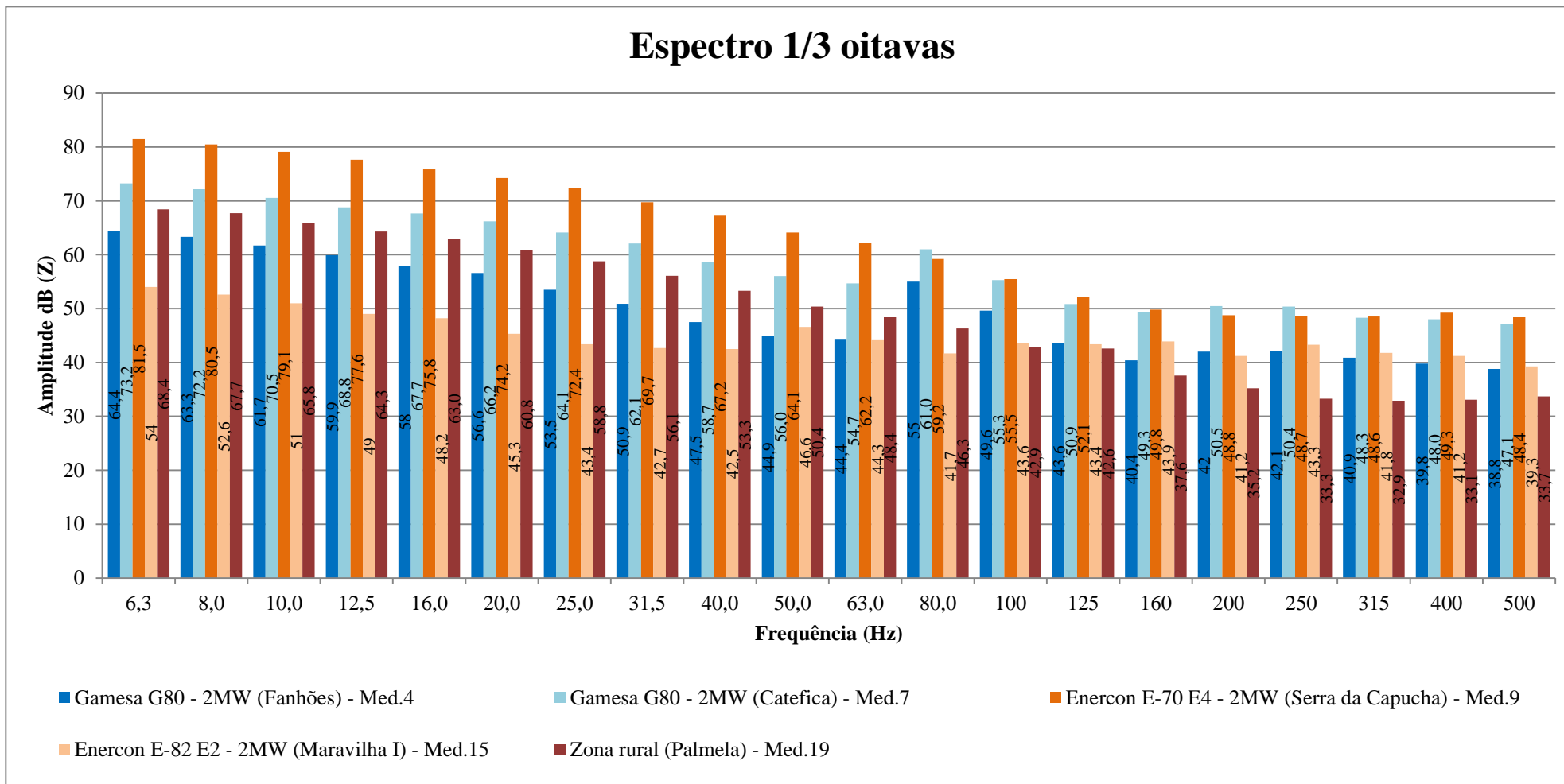


Gráfico 12 – Comparação das medições n.º 4, 7, 9, 15 e 19 (Zonas com e sem aerogeradores)

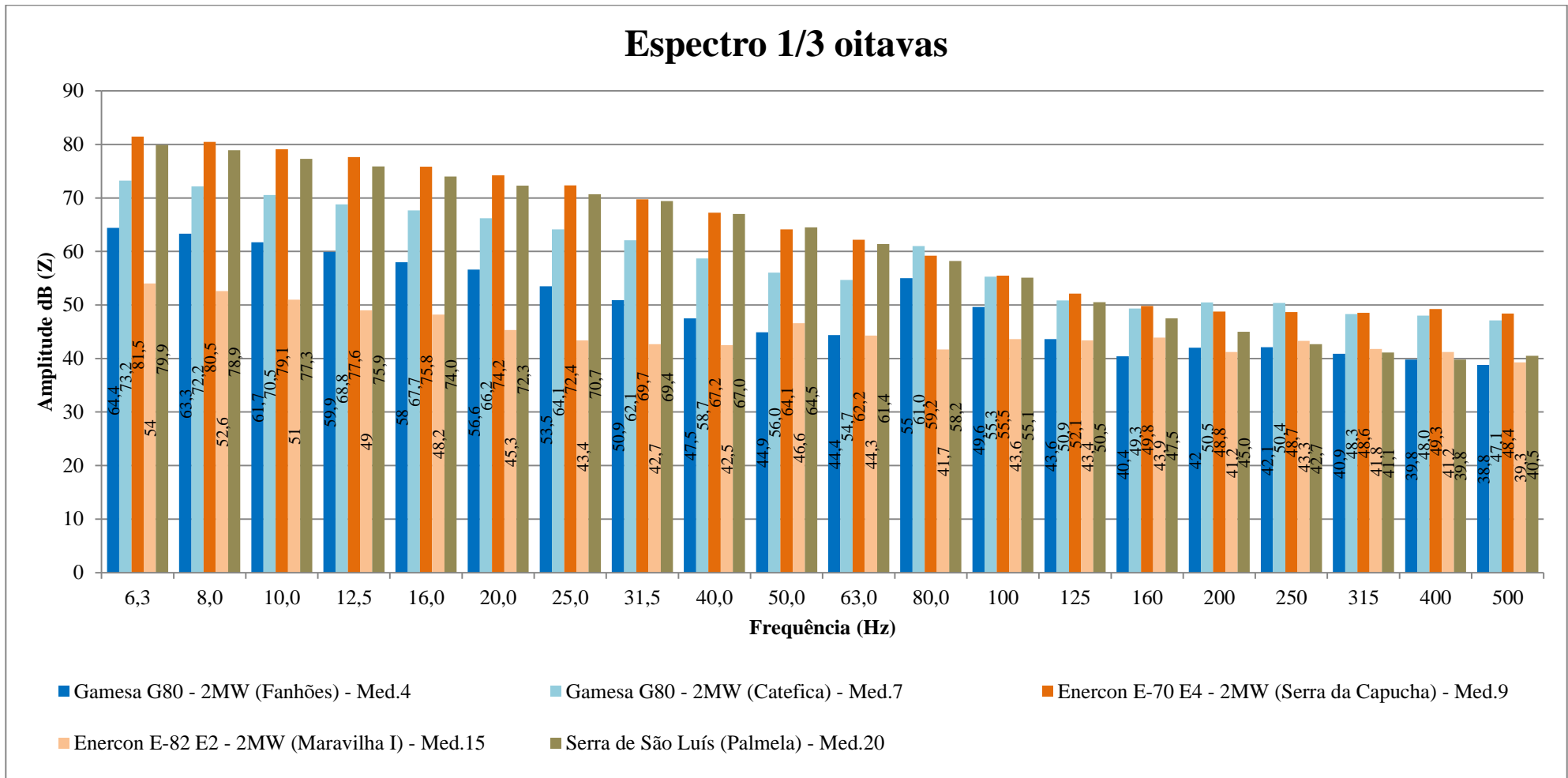


Gráfico 13 – Comparação das medições n.º 4, 7, 9, 15 e 20 (Zonas com e sem aerogeradores)

CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

a) CONCLUSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi a análise e caracterização do ruído de baixa frequência produzido por um parque eólico e os efeitos deste sobre a população.

Definiram-se como objetivos específicos:

- Avaliar os níveis de ruído de baixa frequência num parque eólico;
- Descrever medidas preventivas para minimizar o ruído produzido por um parque eólico.

A metodologia de investigação aplicada neste estudo, quanto à natureza, foi uma investigação aplicada, pois tratou-se de um estudo de caso com fins académicos, que tinha como objetivo a aquisição de novos conhecimentos orientados para a solução de problemas concretos. Quanto ao tipo de pesquisa foi um estudo longitudinal dado que a recolha de dados foi obtida em vários momentos, havendo um acompanhamento ao longo do tempo do fenómeno em estudo, sendo um tipo de pesquisa mais lenta, que consome mais recursos e que fornece informação mais abrangente.

Quanto à forma de abordagem foi um tipo de pesquisa quantitativa, visto que foram quantificáveis as medições dos níveis de ruído de baixa frequência com recurso a um sonómetro, e a velocidade do vento e temperatura do ar com um anemómetro / termómetro.

O método utilizado na elaboração deste estudo foi a avaliação objetiva. Os métodos objetivos de avaliação basearam-se em metodologias previstas em normas nacionais e internacionais (ISO e IEC) de medição de ruído. Muitas dessas metodologias não têm em conta a velocidade do vento, a altura dos geradores e as características específicas do ruído emitido por estes, pelo que se fazem adaptações às metodologias de medição para que se possa avaliar o que se passa na realidade.

Tendo em conta a pergunta de partida: *“Será que o ruído produzido por um parque eólico é incomodativo para a população vizinha?”*, conclui-se que os dados obtidos não foram suficientes para comprovar este facto, mas poderão servir de base para novos estudos.

Os parques eólicos estudados por estarem localizados em zonas rurais, em que o nível de ruído de fundo poderá não ser tão elevado como em zonas urbanas, associado ao facto de não existirem elementos que dissimulem o seu acréscimo, poderá provocar uma

perceção do ruído mais intensa, fazendo com que haja uma maior manifestação do grau de incomodidade.

Tendo por base as medições efetuadas conclui-se que:

- 1) No Caso de Estudo 1 (Fanhões), tendo por base a medição n.º 4, o valor do indicador L_{den} cumpre o critério de exposição para zonas mistas e zonas não classificadas, mas não para zonas sensíveis; o valor do indicador L_n cumpre o critério de exposição para zonas mistas e zonas não classificadas, mas não para zonas sensíveis.
- 2) No Caso de Estudo 2 (Catefica), tendo por base a medição n.º 7, o valor do indicador L_{den} cumpre o critério de exposição para zonas mistas e zonas não classificadas, mas não para zonas sensíveis; o valor do indicador L_n cumpre o critério de exposição para zonas mistas, mas não para zonas não classificadas e zonas sensíveis.
- 3) No Caso de Estudo 3 (Serra da Capucha), tendo por base a medição n.º 9, o valor do indicador L_{den} cumpre o critério de exposição para zonas não classificadas, mas o valor do indicador L_n não cumpre o critério de exposição para zonas não classificadas.
- 4) No Caso de Estudo 4 (Maravilha I), tendo por base a medição n.º 15, os valores dos L_{den} e L_n cumprem o critério de exposição para zonas mistas (ZM).
- 5) Em todos os Casos de Estudo acima mencionados o critério de incomodidade não seria cumprido em nenhum dos períodos de referência, considerando-se que o valor de $L_{Aeq}(RR)$ seria igual em todos os parques eólicos. Para que este critério fosse corretamente avaliado, o ruído residual deveria ser medido com os aerogeradores parados e em funcionamento no mesmo dia. Para tal, dever-se-ia ter combinado com a empresa exploradora do parque eólico que se pretendia fazer as medições de ruído num determinado dia, para que esta desligasse os aerogeradores durante um determinado período de tempo e depois os voltasse a ligar, pois só assim se poderia avaliar corretamente o critério de incomodidade.
- 6) As amplitudes no Parque Eólico de Catefica (Caso de Estudo 2) são superiores às do Parque Eólico de Fanhões (Caso de Estudo 1). Esta diferença poderá estar relacionada com o facto de no dia da medição a velocidade de vento ser superior no Parque Eólico da Catefica, provocando deste modo níveis de ruído superiores.

Em ambos os parques eólicos verificou-se que a banda de 80Hz excede a das adjacentes em mais de 5dB (A). Ao se averiguar se o ruído era ou não considerado tonal foi efetuada de forma semelhante ao estipulado no Anexo I do Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, concluiu-se que o ruído poderia ser tonal. As componentes tonais poderão estar relacionadas com a cadeia cinemática do aerogerador que compreende a caixa de engrenagem multiplicadora e o alternador, pelo que não será de excluir a possibilidade de se registarem as frequências de engrenamento dos carretos originando componentes tonais (neste caso a 80Hz).

- 7) As amplitudes no Parque Eólico da Serra da Capucha (Caso de Estudo 3) são superiores às do Parque Eólico da Maravilha I (Caso de Estudo 4). Esta diferença poderá estar relacionada com o facto de no dia da medição a velocidade de vento ser superior no Parque Eólico da Serra da Capucha, provocando deste modo níveis de ruído superiores. Em ambos os parques eólicos verificou-se que nenhuma banda excede a das adjacentes em mais de 5dB (A). Ao se averiguar se o ruído era ou não considerado tonal foi efetuada de forma semelhante ao estipulado no Anexo I do Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, concluiu-se que o ruído não era tonal.
- 8) As amplitudes no Parque Eólico da Serra da Capucha (Caso de Estudo 3) são superiores às do Parque Eólico de Catefica (Caso de Estudo 2). Esta diferença poderá estar relacionada com o facto de no dia da medição a velocidade de vento ser superior no Parque Eólico da Serra da Capucha, provocando deste modo níveis de ruído superiores. No Parque Eólico de Catefica verificou-se que a banda de 80Hz excede a das adjacentes em mais de 5dB (A). Ao se averiguar se o ruído era ou não considerado tonal foi efetuada de forma semelhante ao estipulado no Anexo I do Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, concluiu-se que o ruído poderia ser tonal. Como foi referido anteriormente, as componentes tonais poderão estar relacionadas com a cadeia cinemática do aerogerador que compreende a caixa de engrenagem multiplicadora e o alternador, pelo que não será de excluir a possibilidade de se registarem as frequências de engrenamento dos carretos originando componentes tonais (neste caso a 80Hz). No caso dos aerogeradores Enercon o ruído emitido não apresenta componentes tonais. O

motivo por que estes não apresentam componentes tonais poderá estar relacionado com o facto dos aerogeradores Enercon não possuírem caixas de engrenagens.

Como medidas preventivas para minimizar o ruído produzido por um parque eólico deve-se ter em conta:

- 1) **Distância da fonte emissora ao recetor** - O ruído de baixa frequência propaga-se a maiores distâncias que o ruído de altas frequências, existindo muitos fatores que contribuem para a forma como o som se propaga e é atenuado, tais como o ar, a temperatura, a humidade, barreiras, reflexões e materiais de superfície do solo. Tendo em conta que o ruído é medido em decibel, que é uma escala logarítmica, caso haja duplicação de energia sonora na fonte há um aumento de 3dB (A) no nível de pressão sonora. Por sua vez, ao se duplicar a distância da fonte emissora ao recetor há uma redução do som de 6dB (A) junto ao recetor.
- 2) **Direção do vento** - A direção do vento também tem influência na propagação do som. Quando o vento sopra na direção da fonte de ruído para o recetor, verifica-se um acréscimo de ruído junto ao recetor, enquanto no caso de o vento soprar na direção do recetor para a fonte de ruído, verifica-se que há uma atenuação de ruído junto do recetor.
- 3) **Redução do ruído na fonte** - Por forma a haver uma redução de ruído na fonte é necessário intervir sobre as fontes de ruído dos aerogeradores que se encontra dividido em duas categorias: ruído mecânico, que resulta da interação dos diferentes componentes mecânicos do aerogerador, e ruído aerodinâmico, que é produzido pelo fluxo de ar sobre as pás dos aerogeradores. A redução do ruído mecânico passa por eliminar a caixa multiplicadora, que contém rodas dentadas que fazem as transições entre mecanismos, e o sistema de refrigeração a óleo. Como exemplo disso, temos os aerogeradores Enercon que não possuem caixa multiplicadora nem sistema de refrigeração a óleo. A redução do ruído aerodinâmico passa pela redução da velocidade de ponta, diferentes ângulos de ataque das pás e a otimização dos perfis das lâminas.

b) DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Tendo em consideração as limitações de tempo para se efetuar as medições do ruído dos aerogeradores, em trabalhos futuros propomos as seguintes ações:

- 1) Arranjar um procedimento de medição, por forma a se poder comparar as medições efetuadas, tendo em conta parâmetros semelhantes, tais como a velocidade do vento, a temperatura, período de referência da medição, duração da medição, etc.
- 2) Realização de mais medições de ruído quer no interior de propriedades quer nas imediações dos parques eólicos, em que essas medições pudessem ser efetuadas de modo contínuo sem qualquer interrupção durante um período de tempo mais dilatado (por exemplo, uma semana).
- 3) Ao longo das medições dever-se-ia ir aumentando a distância de medição em relação ao parque eólico, por forma a se averiguar até que distância o ruído emitido dos aerogeradores é perceptível.
- 4) Avaliação do critério de incomodidade, com os aerogeradores parados e em funcionamento no mesmo dia, para que haja parâmetros semelhantes, tais como a velocidade do vento, temperatura, etc. Para tal, deve combinar-se previamente com a empresa exploradora do parque eólico que se pretende fazer as medições de ruído num determinado dia, quer com os aerogeradores parados quer em funcionamento. Assim, no dia da medição a empresa desliga os aerogeradores durante um determinado de tempo e depois volta a ligá-los, fazendo-se a medição do ruído residual nas duas situações. Com os valores obtidos verifica-se se o critério de incomodidade é efetivamente cumprido ou não.

BIBLIOGRAFIA

1. **Garcia, B. (2010)**. Síndrome da turbina eólica. [Online] Obtido em 28 de Fevereiro de 2015, de: <https://mail.uevora.pt/pipermail/ambio/2010-November/018248.html>.
2. **Agência Lusa (2015)**. Movimento avança com ação popular para travar parque eólico no Sabugal. [Online] Obtido em 14 de Fevereiro de 2015, de: <http://portocanal.sapo.pt/noticia/51036/>.
3. **Balasteiro, S. (2015)**. Malcata contesta mais torres eólicas. [Online] Obtido em 14 de Fevereiro de 2015, de: <http://www.sol.pt/noticia/122578>.
4. **Castro, R. (2011)**. *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-hídrica*. Lisboa : IST Press.
5. **Fernandes, E.; Marques, V. ... Schmidt, L. (2009)**. *ENERGIAS RENOVÁVEIS*. Porto : Atelier Nunes e Pã.
6. **ENEOP Eólicas de Portugal (s.d)**. Vantagens e desvantagens da Energia Eólica . [Online] Obtido em 7 de Março de 2015, de: <http://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-da-energia-eolica/>.
7. **Yale Environment360 (s.d)**. [Online] Obtido em 21 de Julho de 2015, de: <http://e360yale.universia.net/galeria-copenhague-ambiciona-ser-neutra-em-carbono-ate-2025/?lang=pt-br>.
8. **Eco4u (2011)**. A força da energia eólica começa a aparecer no Brasil. [Online] Obtido em 21 de Julho de 2015, de: <https://eco4u.wordpress.com/tag/parque-eolico/>.
9. **Marques, F.; Santos, F.; Valente, I.; Jesus, R. e Andrade, V. (s.d)**. Energia Eólica. [Online] Obtido em 21 de Julho de 2015, de: <https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogerador-de-eixo-horizontal/gerador-eolico-de-eixo-vertical/>;
[https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogerador-de-eixo-horizontal/custo-comparativo/..](https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogerador-de-eixo-horizontal/custo-comparativo/)
10. **CRESESB (2008)**. Tipos de Aerogeradores para Geração de Energia Elétrica. [Online] Obtido em 17 de Agosto de 2015, de: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid.

11. **Rogers, A.; Manwell, J.; Wright, S. (2006).** Wind Turbine Acoustic Noise. [Online] Obtido em 11 de Agosto de 2015, de: <http://www.proj6.turbo.pl/upload/file/424.pdf>.
12. **Brooks, T.; Pope, D.; Marcolini, M. (1989).** Airfoil Self-Noise and Prediction. [Online] Obtido em 19 de Agosto de 2015, de: http://www.researchgate.net/profile/Dennis_Pope/publication/24335121_Airfoil_self-noise_and_prediction/links/0c96053a0278889d7a000000.pdf.
13. **Pedersen, E. e Waye, K. (2004).** Perception and annoyance due to wind turbine noise - a dose - response relationship. [Online] Obtido em 10 de Agosto de 2015, de: <http://windfarmrealities.org/wfr-docs/pedersen-dose-response-2004.pdf>.
14. **Leventhall, G.(2009).** Low Frequency Noise. What we know, what we do not know, and what we would like to know. [Online] Obtido em 7 de Setembro de 2015, de: http://www.researchgate.net/publication/243572518_Review_Low_Frequency_Noise._Wh_at_we_know_what_we_do_not_know_and_what_we_would_like_to_know.
15. **Berglund, B. e Hassmén, P. (1996).** Sources and effects of low-frequency noise. [Online] Obtido em 7 de Setembro de 2015, de: <http://doc.wind-watch.org/sources-effects-lfn-1996.pdf>.
16. **McCunney, R.; Mundt, K. ... PsyD, M. (2014).** Wind Turbines and Health: A Critical Review of the Scientific Literature. [Online] Obtido em 7 de Setembro de 2015, de: http://www.researchgate.net/publication/281033134_McCunney_Wind_Turbines_2014.
17. **Pereira, M e Branco, N. (2007).** Sobre o Impacto de Infrassons e Ruído de Baixas Frequências na Saúde Pública - Dois Casos de Exposição Residencial. [Online] Obtido em 7 de Setembro de 2015, de: <http://recil.ulusofona.pt/bitstream/handle/10437/2058/670-2408-1-PB.pdf?sequence=1>.
18. **Grupo 4Work (2012).** Surdez Profissional: Causas, Efeitos e Prevenção. [Online] Obtido em 21 de Fevereiro de 2015, de: http://www.4work.pt/cms/index.php?id=98&no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=158&tx_ttnews%5BbackPid%5D=1&cHash=2ef95f7334.
19. **Hubbard, H e Shepherd, K. (1990).** Wind Turbine Acoustics. [Online] Obtido em 23 de Julho de 2015, de: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19910007366.pdf>.

20. **Berglund, B; Lindvall, T. e Schwela, D. (1999).** Guidelines for Community Noise. [Online] Obtido em 7 de Setembro de 2015, de:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsci/i/fulltext/noise/noise.pdf>.
21. **Meldau, D. (s.d.).** Diferença entre Doença e Síndrome. [Online] Obtido em 31 de Julho de 2015, de:
<http://www.infoescola.com/medicina/diferenca-entre-doenca-e-sindrome/>.
22. **Pierpont, N. (s.d.).** Síndrome da Turbina Eólica. [Online] Obtido em 31 de Julho de 2015, de: http://resistir.info/energia/sindrome_c_eolicas.html.
23. **Nishida, M. (2012).** Sentido da Audição e do Equilíbrio. [Online] Obtido em 4 de Agosto de 2015, de:
http://www.biologia.bio.br/curso/1%C2%BA%20per%C3%ADodo%20Faciplac/07.sentido_audicao_equilibrio.pdf.
24. **Pierpont, N. (2006).** Wind Turbine Syndrome. [Online] Obtido em 31 de Julho de 2015, de:
<http://highlandmts.org/wp-content/uploads/2010/01/wind-turbine-syndrome-noise-shadow-flicker-and-health-pdf1.pdf>.
25. **World Health Organization (2011).** Burden of disease from environmental noise. [Online] Obtido em 31 de Julho de 2015, de:
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf.
26. **Pereira, M e Branco, N. (2010).** A Doença Vibroacústica - Revisão de Conceitos. [Online] Obtido em 7 de Setembro de 2015, de:
<http://recil.grupolusofona.pt/bitstream/handle/10437/2254/2771-9554-1-PB.pdf?sequence=1>.
27. Processo n.º 9051/2008-1, Lisboa : Acórdão do Tribunal da Relação de Lisboa, 13 de Janeiro de 2009.
28. Processo n.º 2209/08.0TBTVD.L1S1, Lisboa : Acórdão do Supremo Tribunal de Justiça, 30 de Maio de 2013.
29. *Decreto-Lei n.º 9/2007.* Lisboa : Diário da República, 1.ª série - N.º 12 - 17 de Janeiro de 2007, pp. 389-398.
30. *Decreto-Lei n.º 278/2007.* Lisboa : Diário da República, 1.ª série - N.º 147 - 1 de Agosto de 2007, pp. 4912-4913.

31. Associação Portuguesa de Energias Renováveis (2011). [Online] Obtido em 10 de Outubro de 2015, de: <http://www.apren.pt/fotos/editor2/anuario2011.pdf>.
32. Gamesa G80 - 2MW (2007). [Online] Obtido em 9 de Julho de 2015, de: http://iberdrolarenewables.us.files.s3.amazonaws.com/pdf/DFLD-JZ-27-Gamesa_G80_Wind_Turbine_Brochure.pdf.
33. Gamesa 2MW Evolução tecnológica (2012). [Online] Obtido em 28 de Julho de 2015, de: http://g9x.gamesacorp.com/down/cat_port.pdf.
34. ENERCON product overview (2015). [Online] Obtido em 25 de Setembro de 2015, de: http://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/en/ENERCON_Produkt_en_06_2015.pdf.
35. *Aerogeradores ENERCON (2013)*. Aurich, Alemanha : ENERCON (Catálogo Aerogeradores ENERCON fornecido pela Empresa Enel Green Power Ibéria).
36. *Energy Yield Calculation E-70 E4 2.0MW (2004)*. Aurich, Germany : ENERCON (Cálculo rendimento energético fornecido pela Empresa Enel Green Power Ibéria).

APÊNDICES

Apêndice I – Folheto informativo sobre o tema de dissertação para entrega aos participantes do estudo.

Apêndice II – Questionário de avaliação à exposição a fontes de ruído

Apêndice III – Espectros 1/3 oitavas

Apêndice I

Folheto informativo sobre o tema de dissertação para entrega aos participantes do estudo



FOLHETO INFORMATIVO

EXPOSIÇÃO AO RUÍDO DE BAIXAS FREQUÊNCIAS

A exposição excessiva ao ruído tem estado ao longo dos anos apenas interligada com a surdez, levando a que os métodos tradicionais de medição de ruído (decibel) tendam somente a avaliar a energia acústica das frequências que causam a surdez (> 500 Hz). Como tal, os ruídos de baixas frequências (RBF) que ocorrem a frequências iguais ou inferiores a 500 Hz (incluindo os infrassons) nunca sejam avaliados, pelo facto de estes não serem os responsáveis pela surdez.

Apesar de o RBF não ser reconhecido como um agente de doença, verifica-se que alguns indivíduos expostos, por vezes, durante anos a RBF apresentam queixas, que não deveriam ser desvalorizadas.

Com a instalação dos parques eólicos torna-se importante saber em que medida as populações vizinhas possam estar ou não a ser afetadas pelo RBF, visto que o ruído emitido pelas turbinas eólicas pode ser causador da síndrome da turbina eólica (STE). O STE manifesta-se através de perturbações do sono, dores de cabeça, zumbido, pressão no ouvido, estonteamento, vertigem, náuseas, turvamento visual, taquicardia, irritabilidade, problemas com concentração e memória e episódios de pânico associados com sensações de pulsação interna ou vibração, os quais aumentam ao acordar ou adormecer.

Deste modo, pretende-se com este estudo verificar se a exposição do RBF está ou não a afetar as populações vizinhas, visto que está em causa o seu supremo bem-estar e a sua qualidade de vida.

Muito obrigado

A estudante

Apêndice II

Questionário de avaliação à exposição a fontes de ruído

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO

Dados Pessoais

Nome: _____

Idade: ____ anos Profissão: _____

Questionário sobre exposição ao ruído

Residencial

- Vive atualmente perto de alguma fonte de ruído? Sim Não

- Em caso afirmativo:

* Há quanto tempo vive nesse local? _____

* Qual é a fonte de ruído? _____

- Alguma vez viveu perto de:

* Aeroportos? Sim Não

* Pontes? Sim Não

* Aerogeradores (Parque Eólico)? Sim Não

* Estradas com tráfego intenso? Sim Não

* Outros? _____ Sim Não

Ocupacional

- Trabalha atualmente em ambiente ruidoso? Sim Não
- Em caso afirmativo:
- * Há quanto tempo trabalha nesse ambiente ruidoso? _____
 - * Qual é a fonte de ruído? _____

Saúde

- Tem problemas de audição? Sim Não
- * Qual? _____
- Tem alguma doença do foro cardíaco? Sim Não
- * Qual? _____
- Tem alguma doença do foro respiratório? Sim Não
- * Qual? _____
- Toma algum tipo de medicação? Sim Não
- * Qual? _____
- Tem perturbações do sono? Sim Não
- Tem dores de cabeça com frequência? Sim Não
- Tem zumbido (som percebido nos ouvidos ou na cabeça na ausência de um estímulo sonoro do ambiente)? Sim Não
- Tem pressão no ouvido? Sim Não
- Tem estonteamento (perturbações)? Sim Não
- Tem vertigem? Sim Não
- Tem náuseas? Sim Não
- Tem turvamento visual? Sim Não
- Tem irritabilidade? Sim Não
- Tem problemas de concentração e memória? Sim Não
- Tem episódios de pânico associados com sensações de pulsação interna ou vibração? Sim Não

Apêndice III

Espectros 1/3 oitavas

1) Caso de Estudo 1 – Parque Eólico de Fanhões

Medição n.º 1

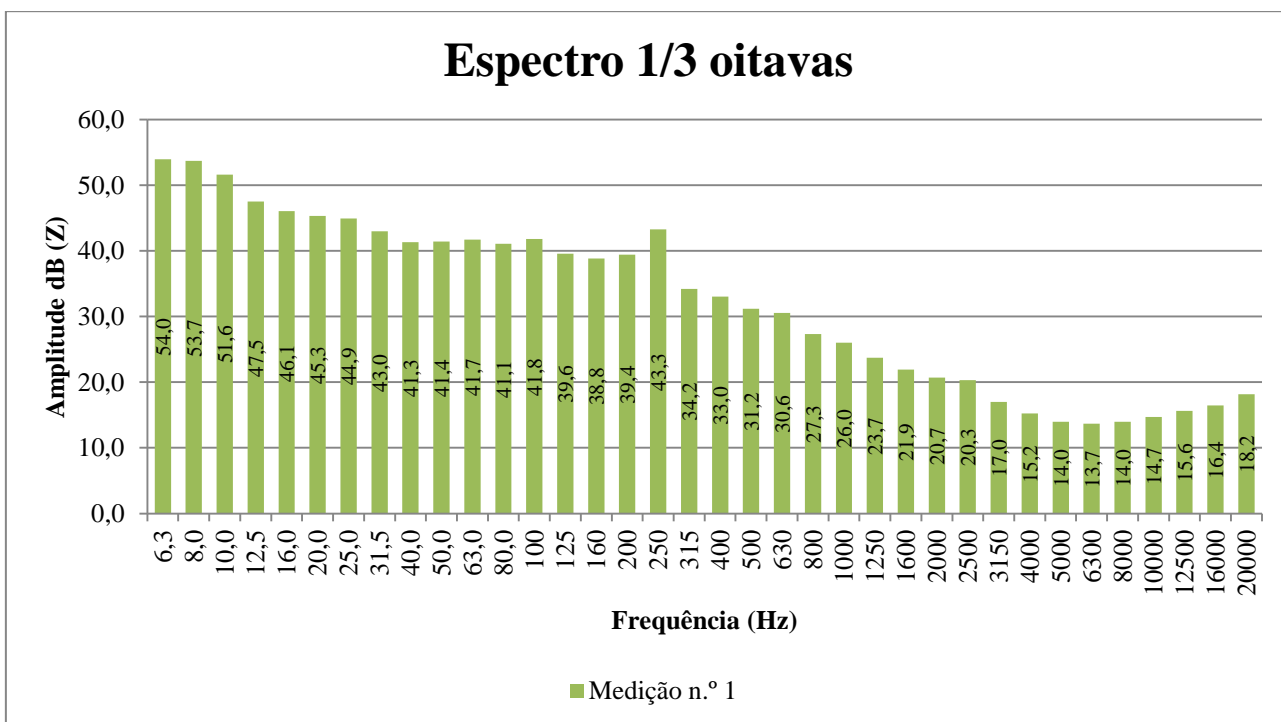


Gráfico Ap.III_1 - Medição n.º 1

Medição n.º 2

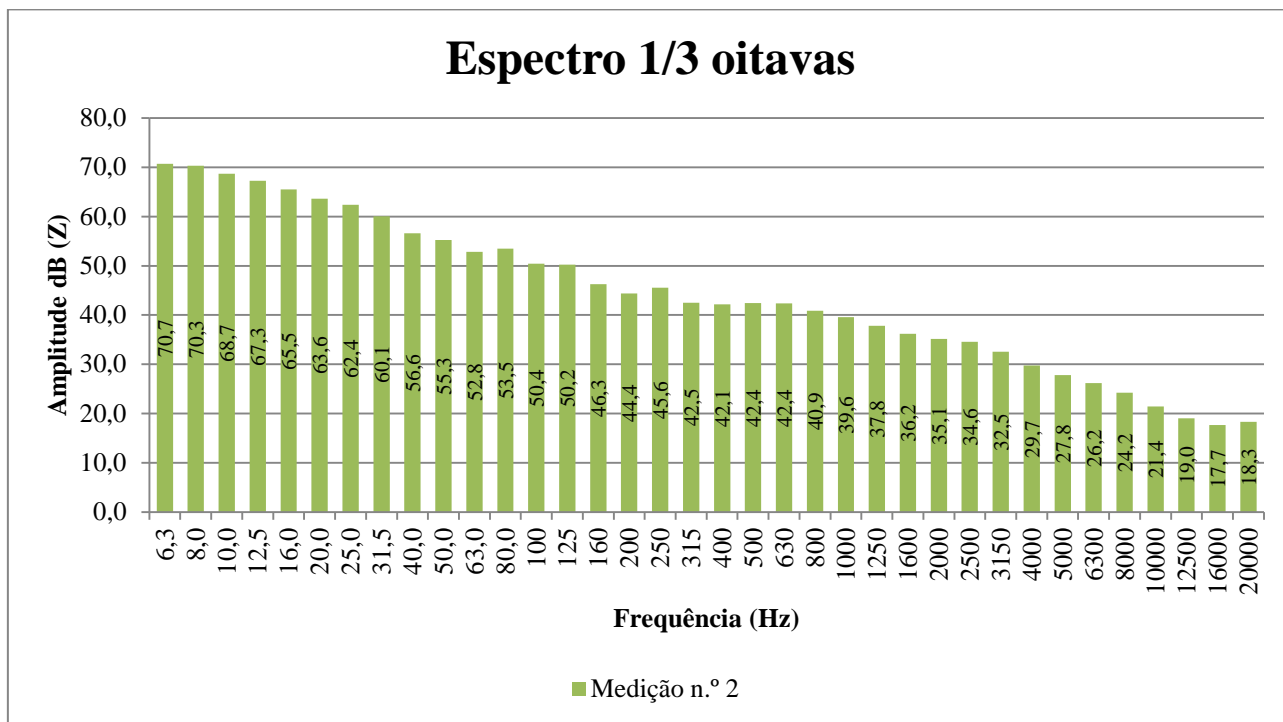


Gráfico Ap.III_2 - Medição n.º 2

Medição n.º 3

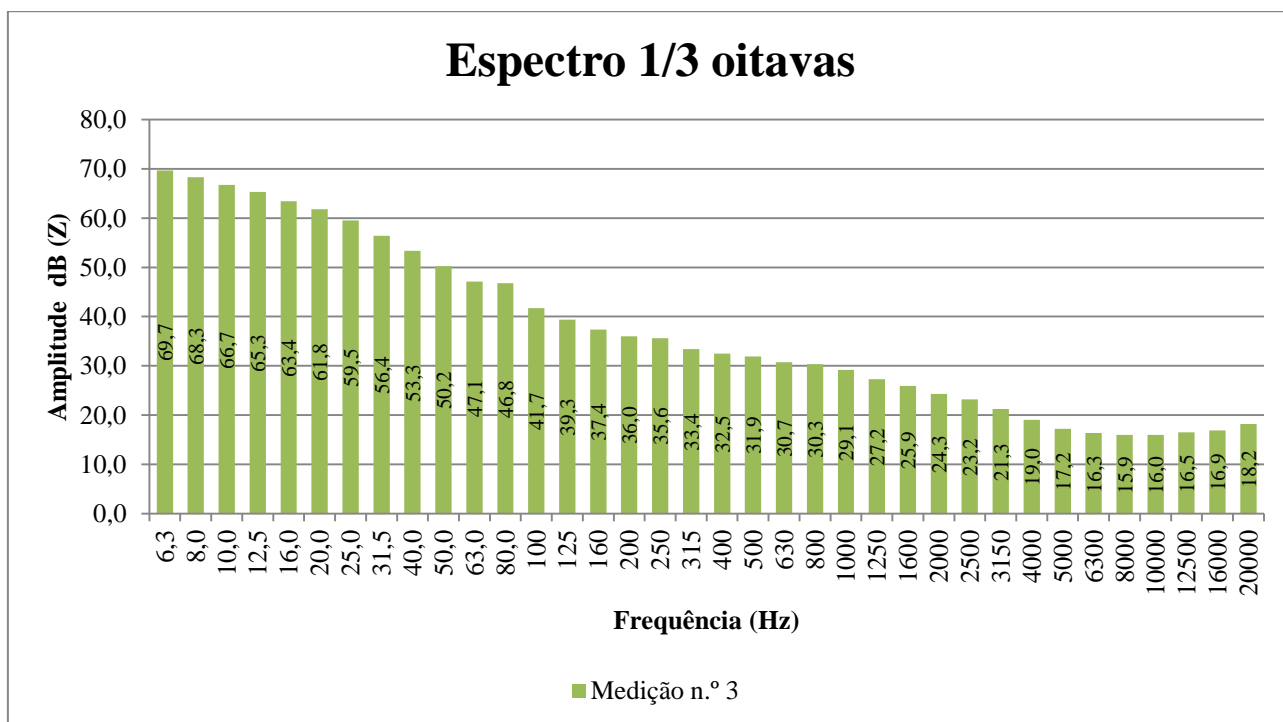


Gráfico Ap.III_3 - Medição n.º 3

Medição n.º 4

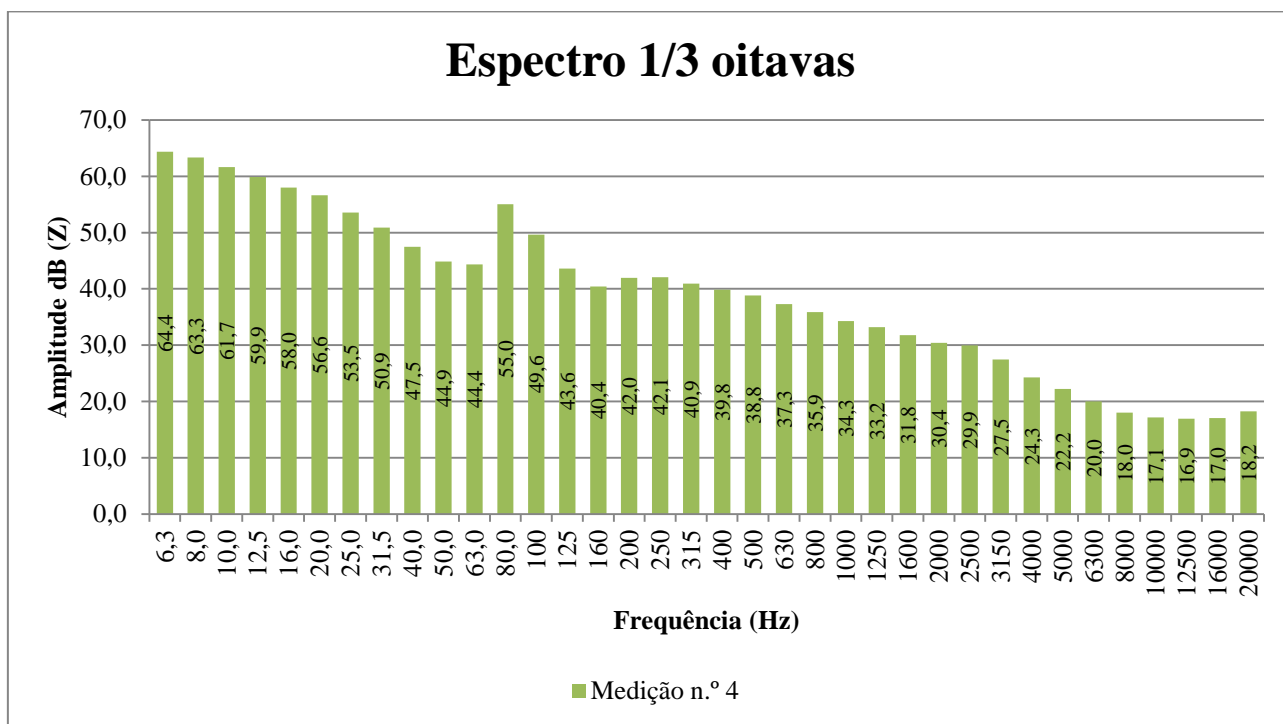


Gráfico Ap.III_4 - Medição n.º 4

Medição n.º 5

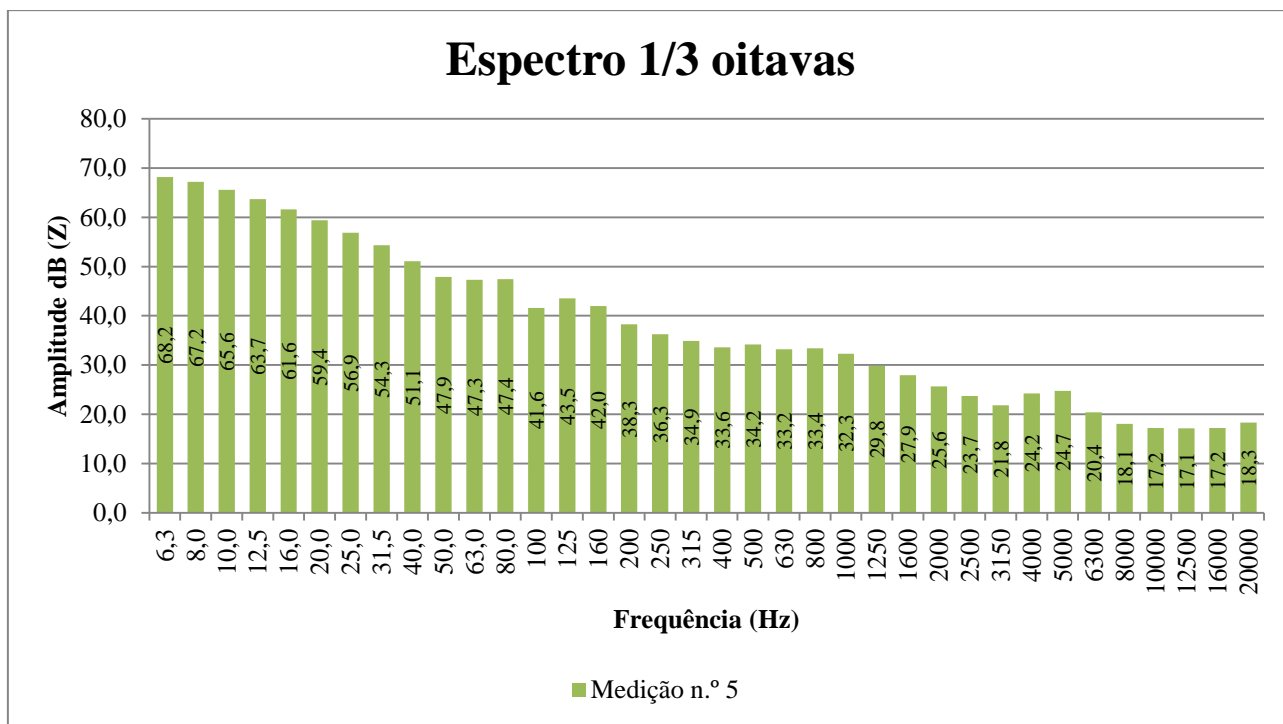


Gráfico Ap.III_5 - Medição n.º 5

Medição n.º 6

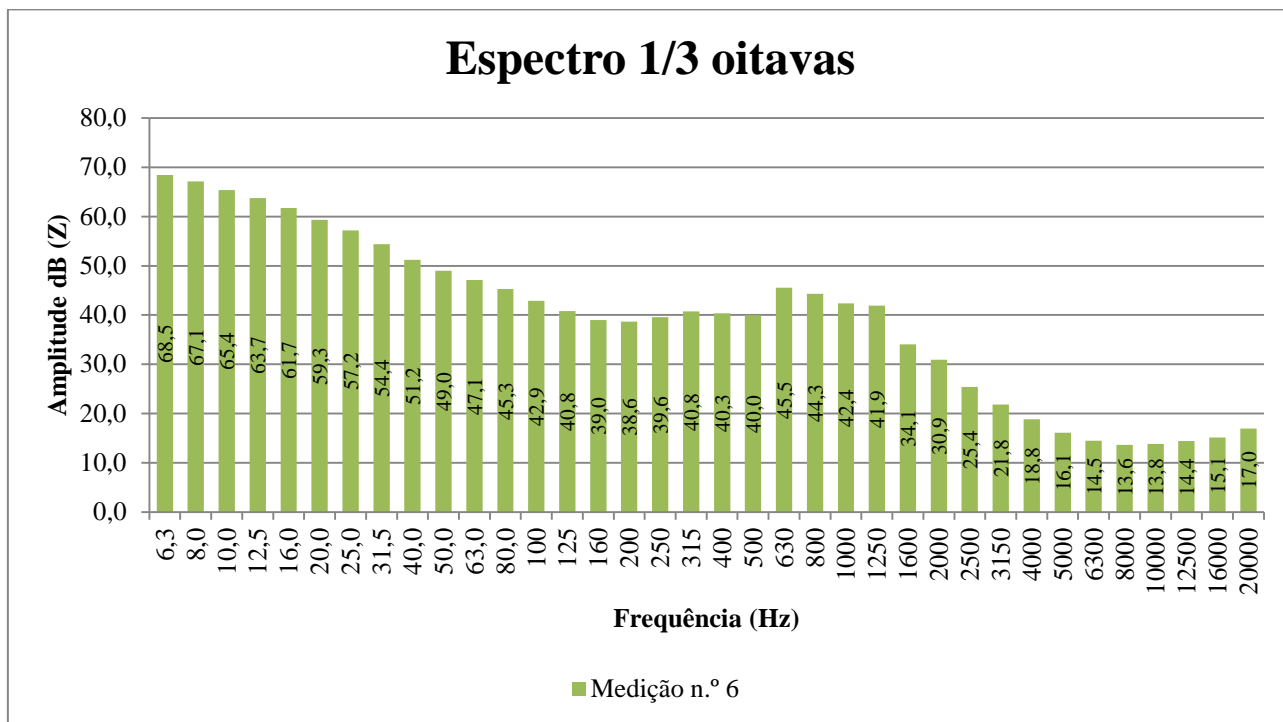


Gráfico Ap.III_6 - Medição n.º 6

2) Caso de Estudo 2 – Parque Eólico de Catefica

Medição n.º 7

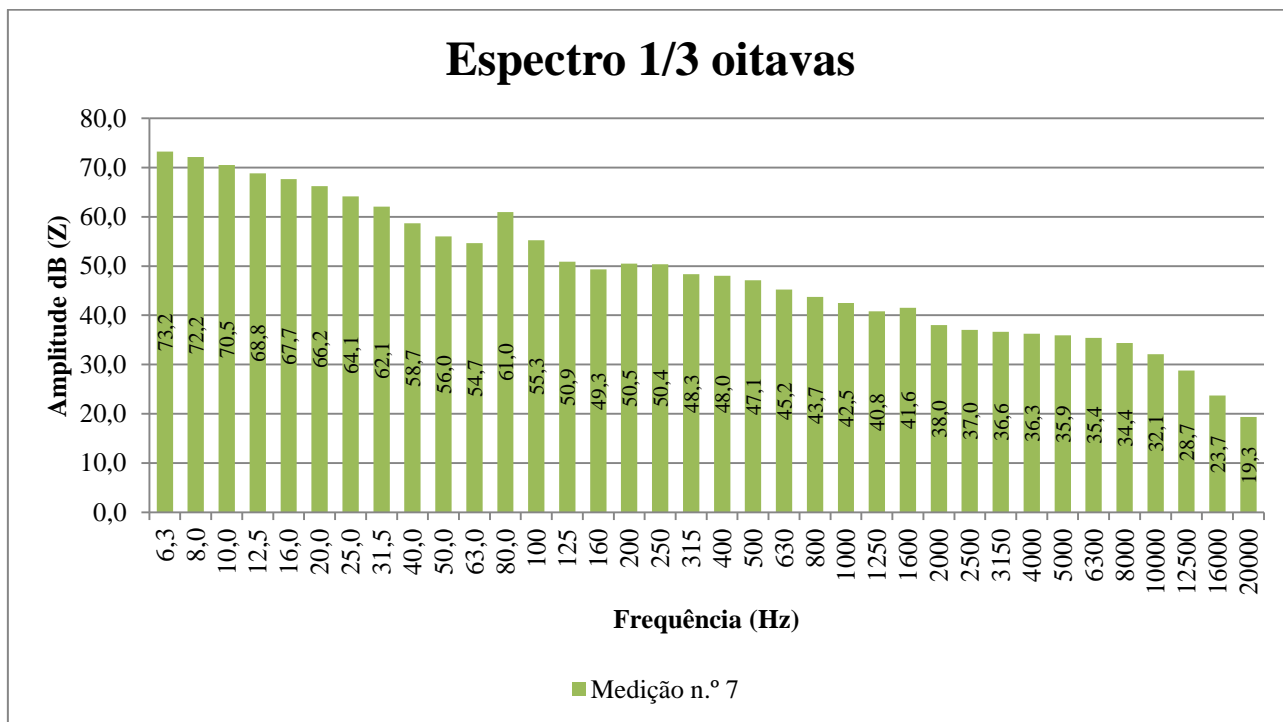


Gráfico Ap.III_7 - Medição n.º 7

Medição n.º 8

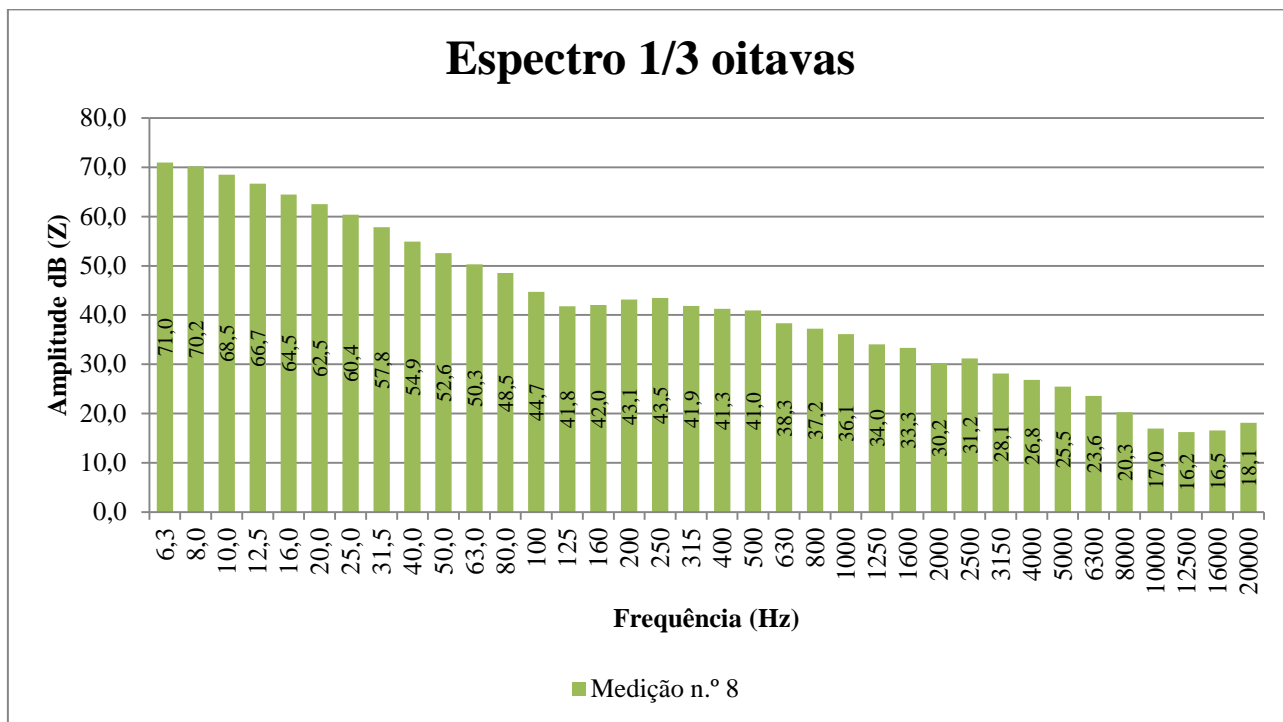


Gráfico Ap.III_8 - Medição n.º 8

3) Caso de Estudo 3 – Parque Eólico da Serra da Capucha

Medição n.º 9

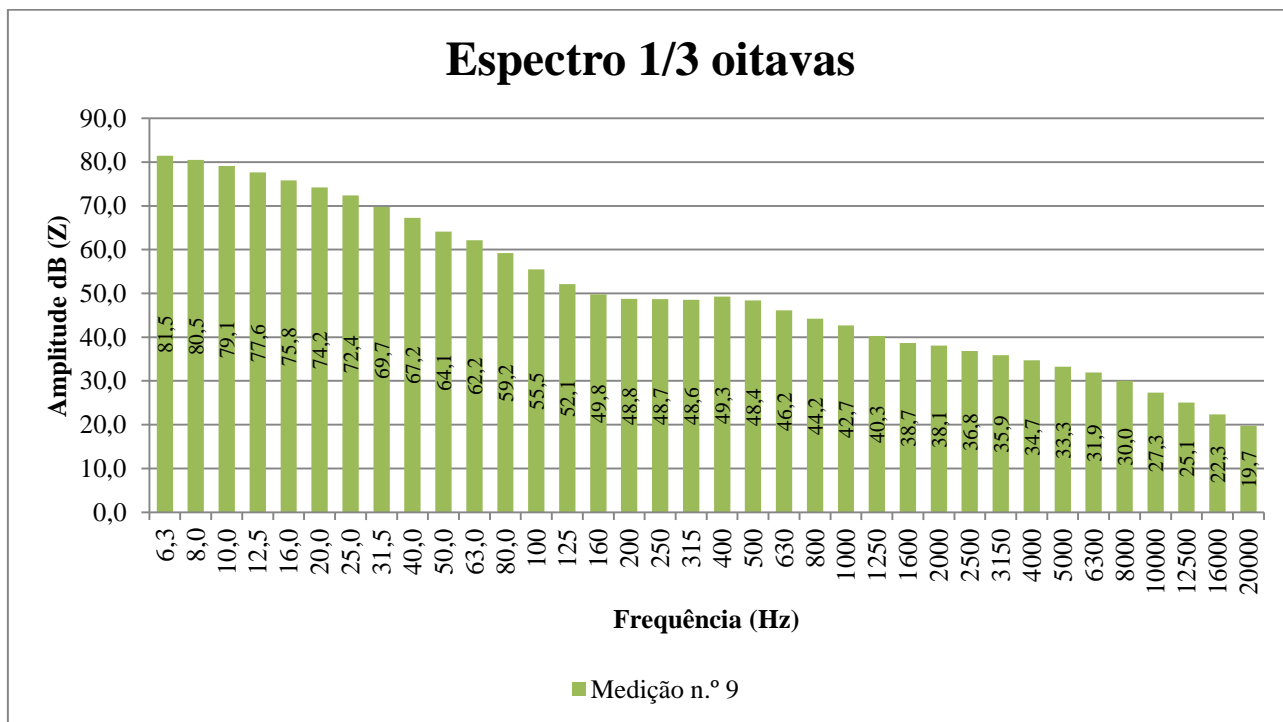


Gráfico Ap.III_9 - Medição n.º 9

Medição n.º 10

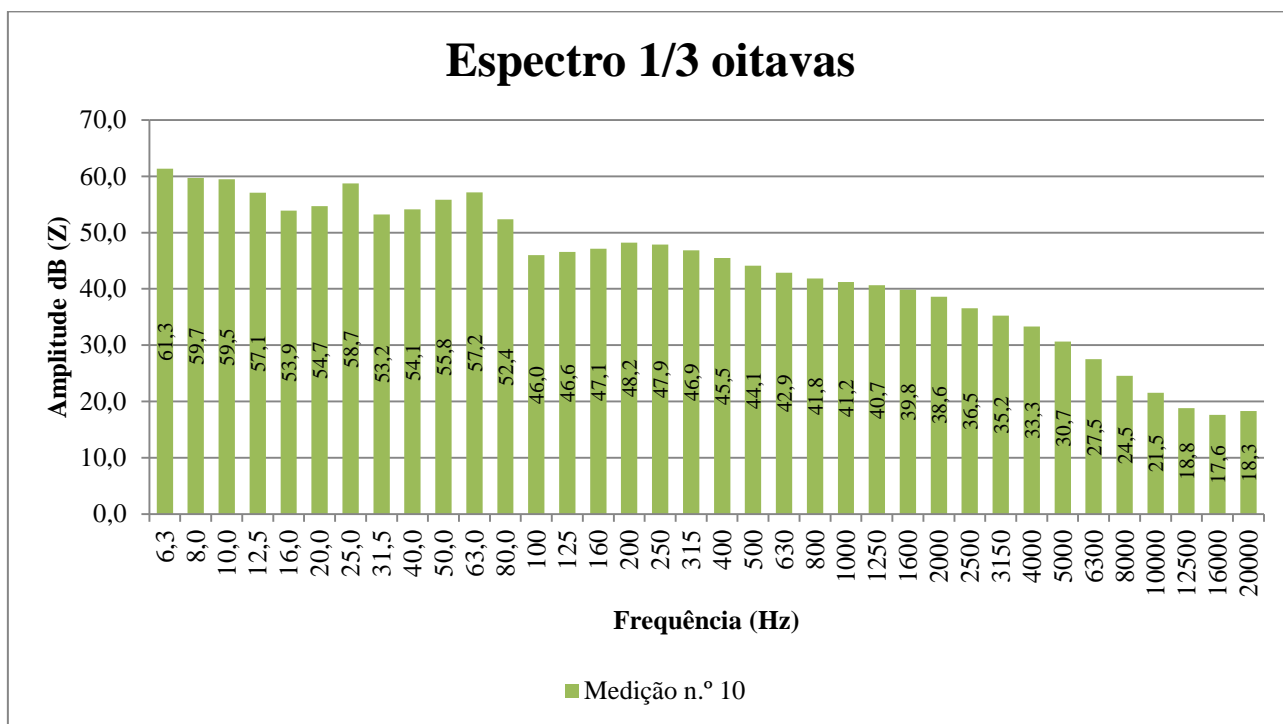


Gráfico Ap.III_10 - Medição n.º 10

Medição n.º 11

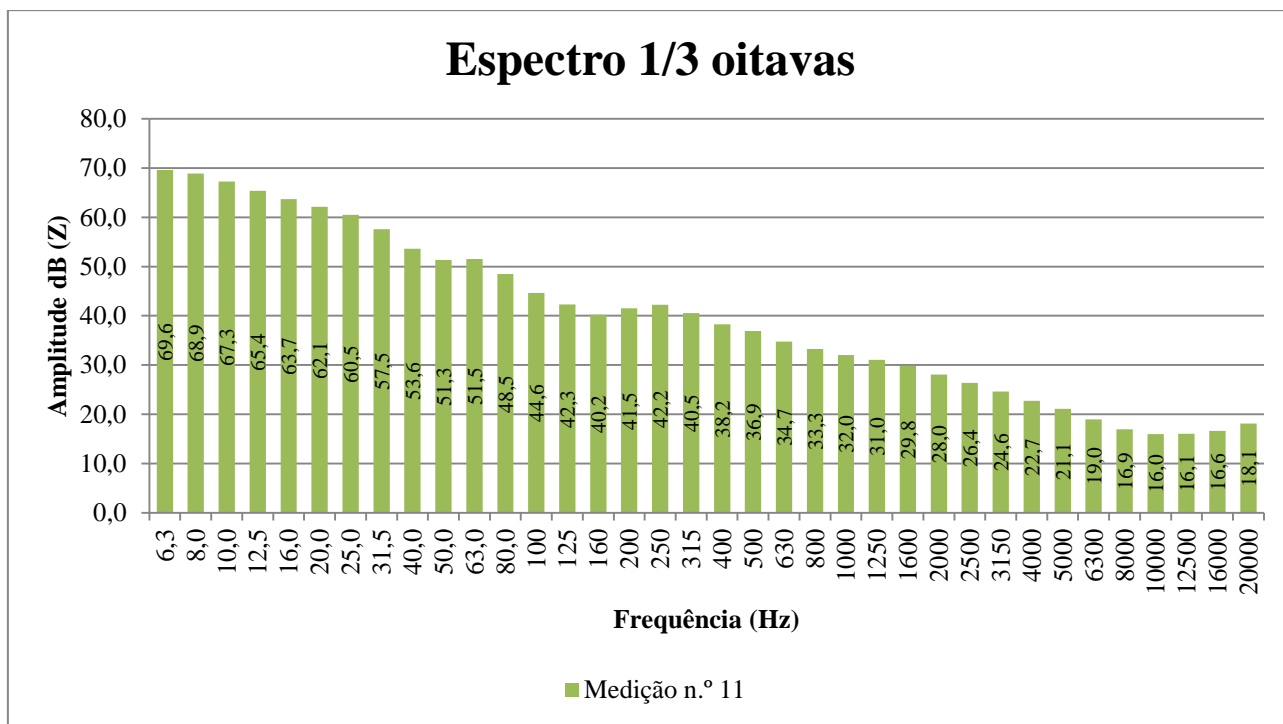


Gráfico Ap.III_11 - Medição n.º 11

4) Caso de Estudo 4 – Parque Eólico da Maravilha I

Medição n.º 12

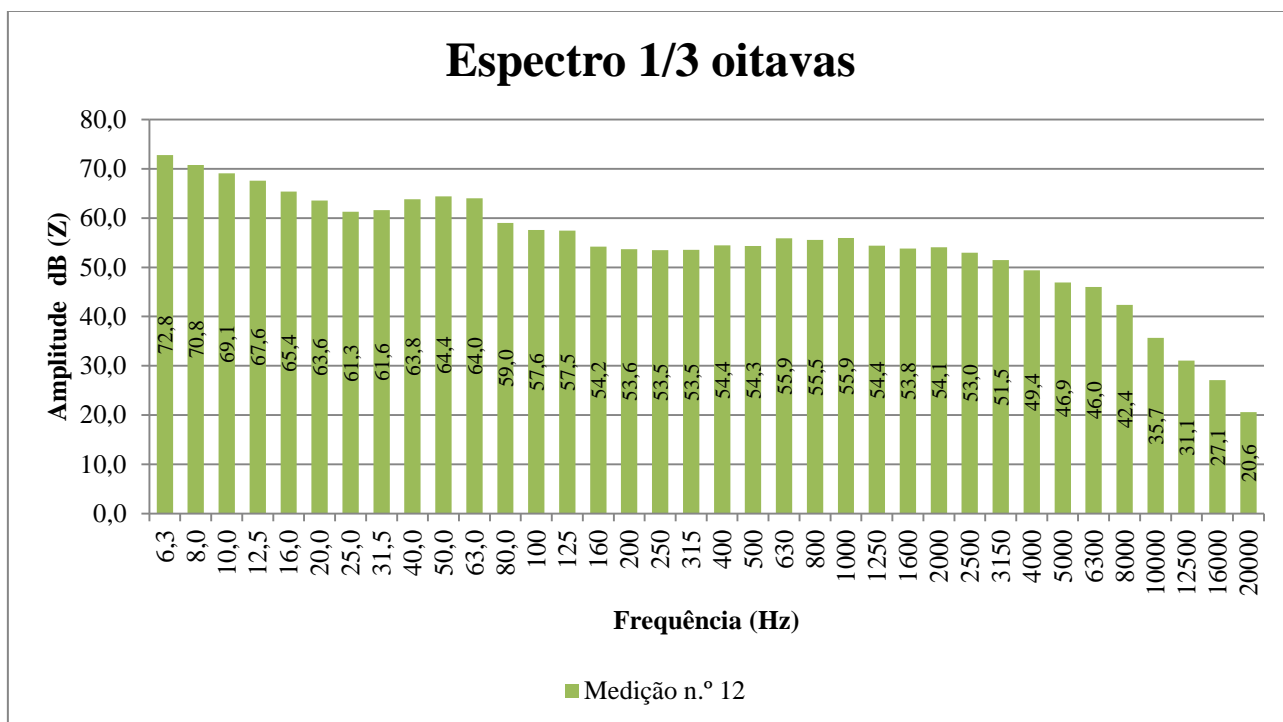


Gráfico Ap.III_12 - Medição n.º 12

Medição n.º 13

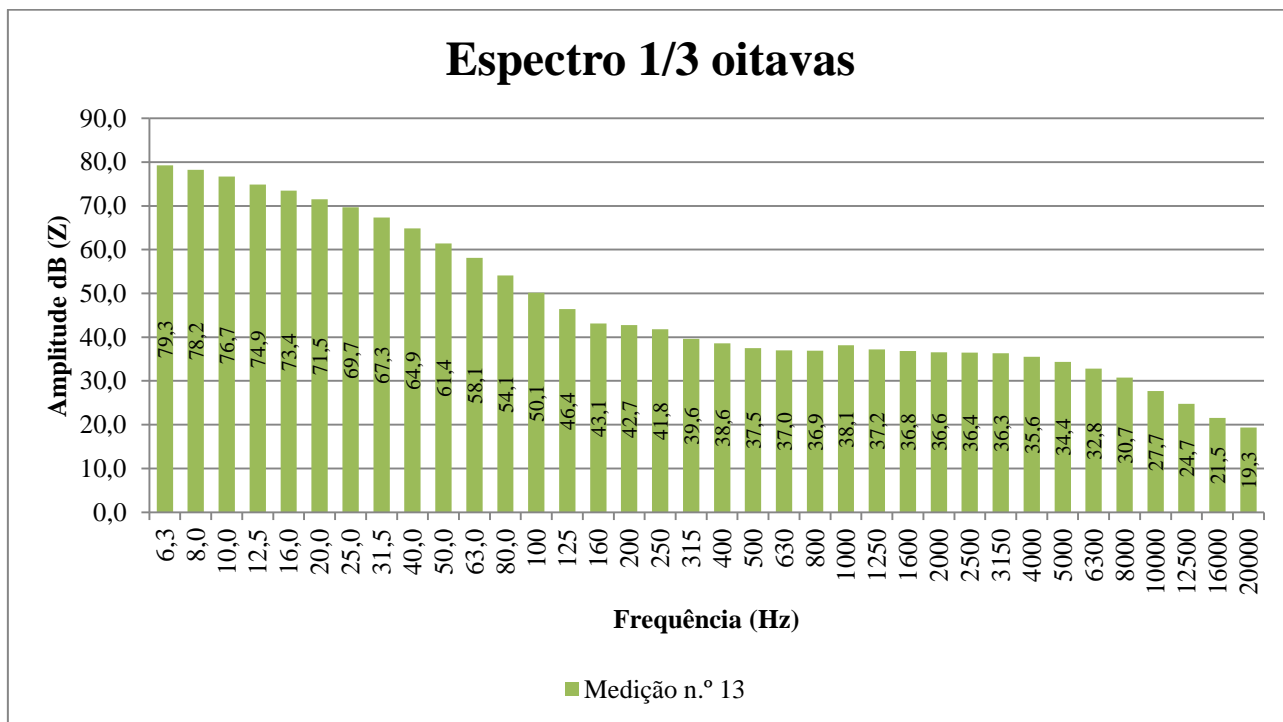


Gráfico Ap.III_13 - Medição n.º 13

Medição n.º 14

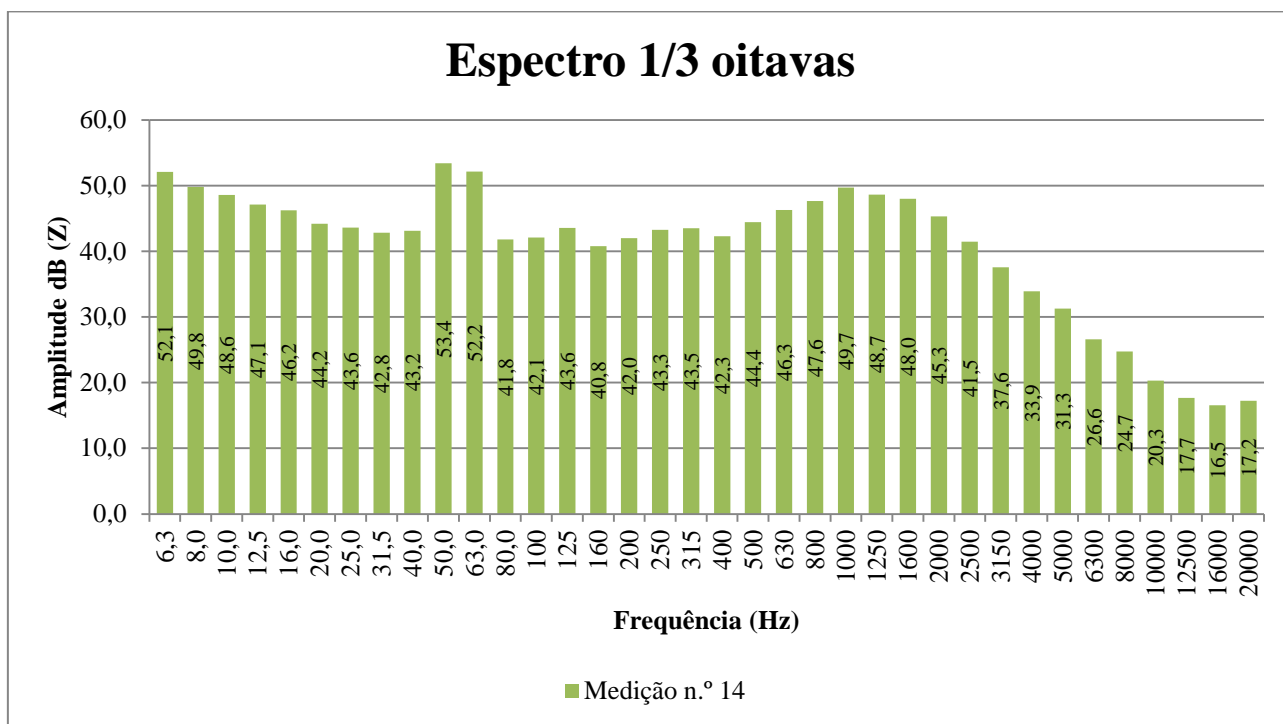


Gráfico Ap.III_14 - Medição n.º 14

Medição n.º 15

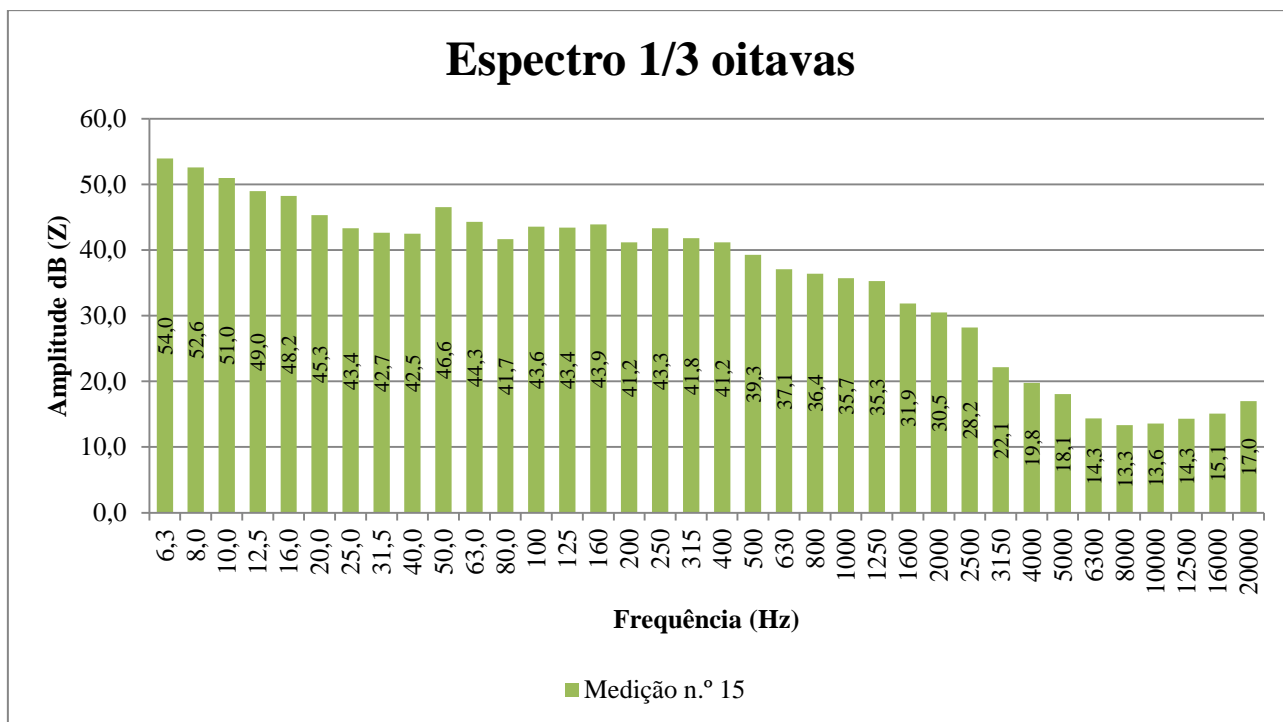


Gráfico Ap.III_15 - Medição n.º 15

5) Caso de Estudo 5 – Outros locais para comparação de medições

Medição n.º 16

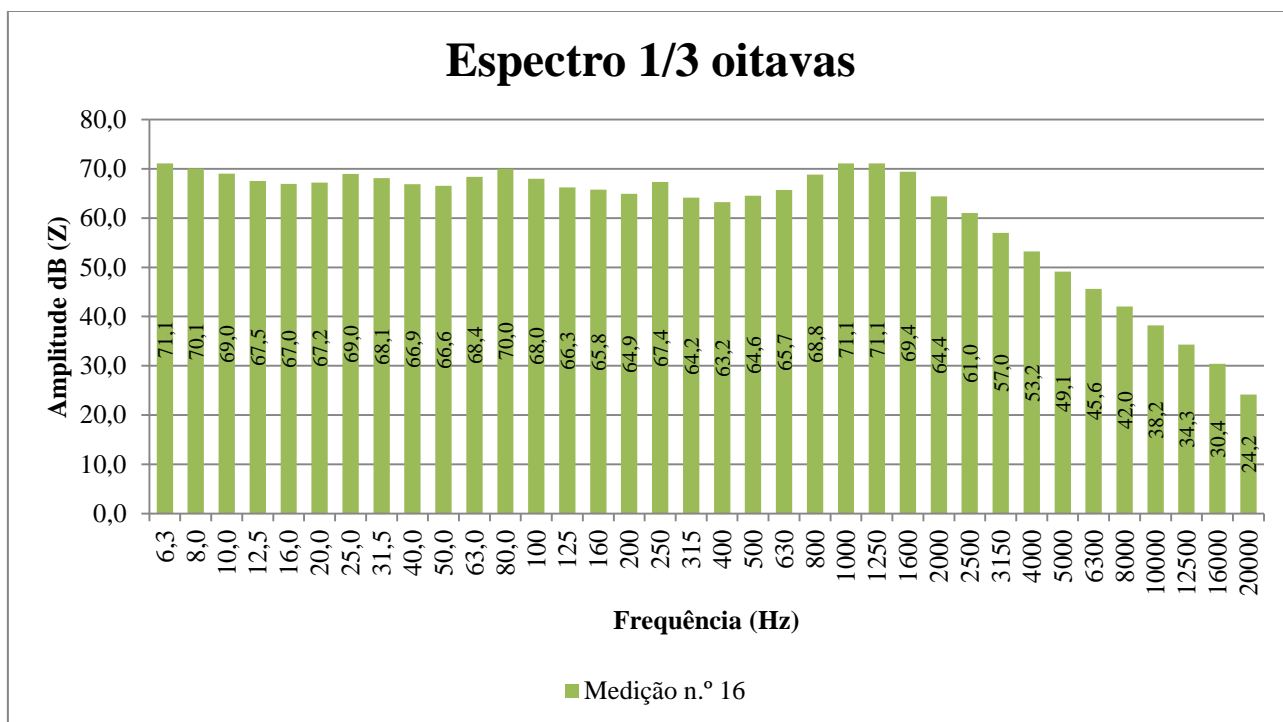


Gráfico Ap.III_16 - Medição n.º 16

Medição n.º 17

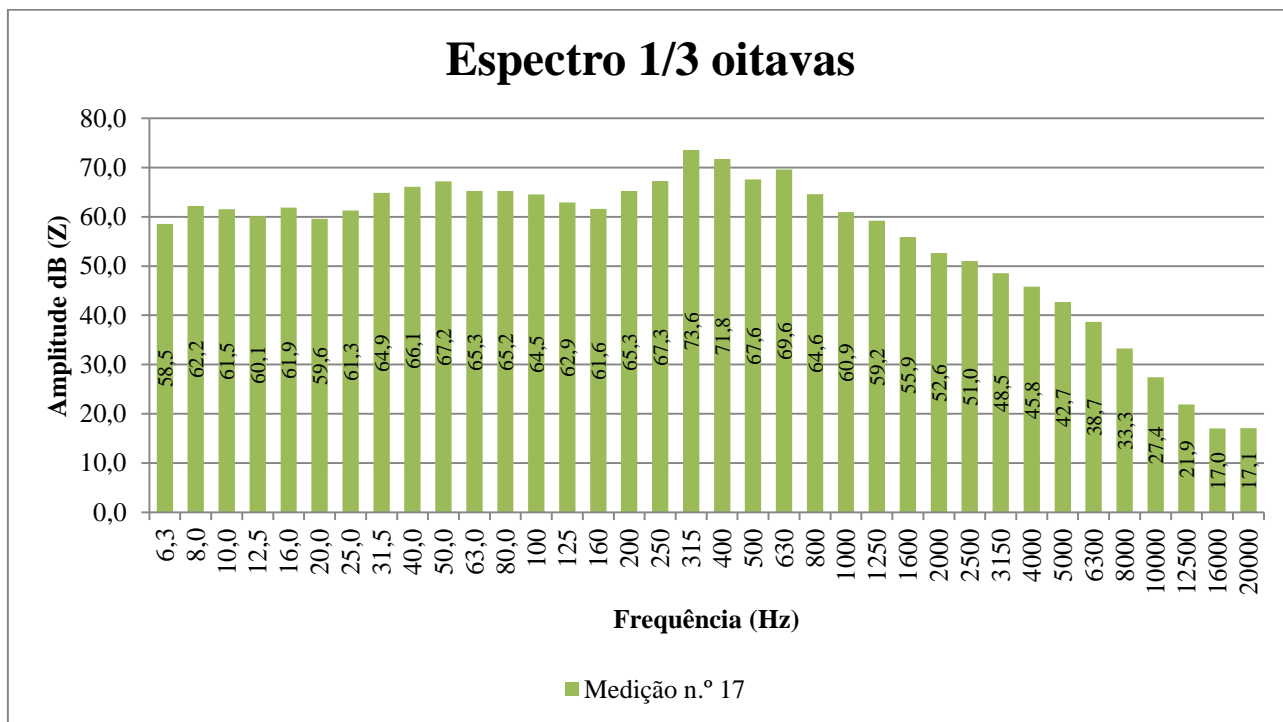


Gráfico Ap.III_17 - Medição n.º 17

Medição n.º 18

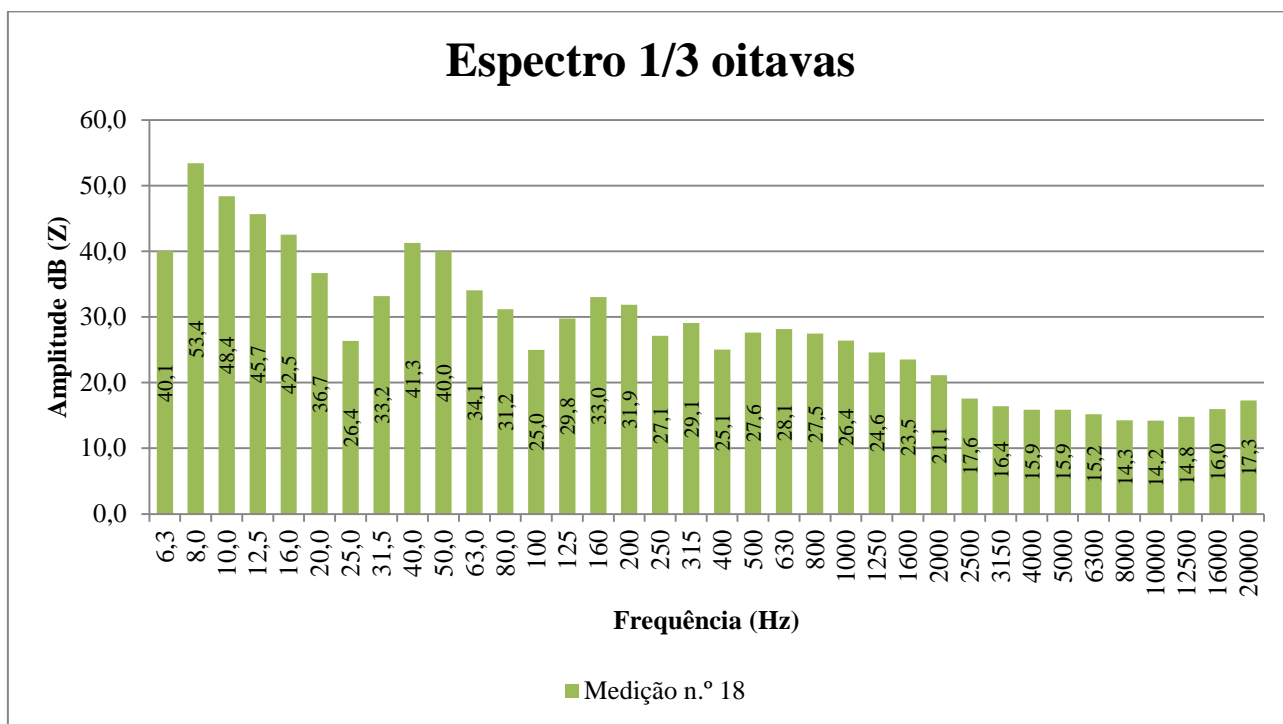


Gráfico Ap.III_18 - Medição n.º 18

Medição n.º 19

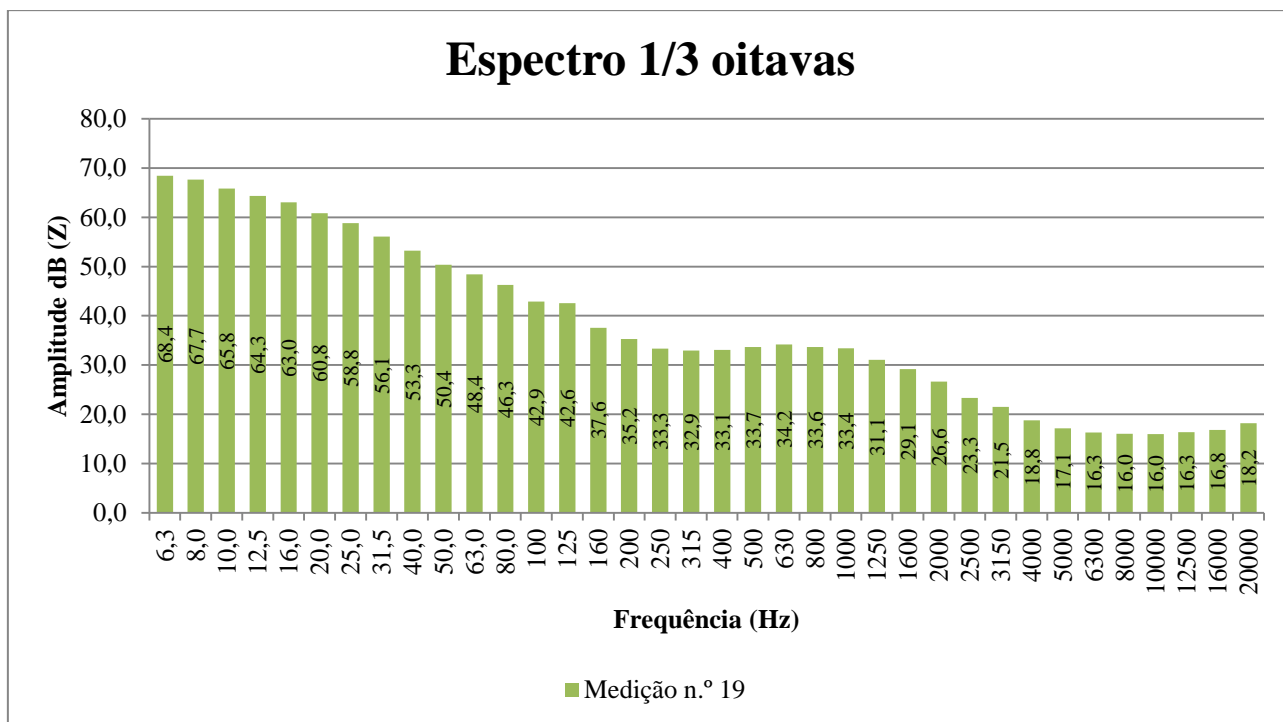


Gráfico Ap.III_19 - Medição n.º 19

Medição n.º 20

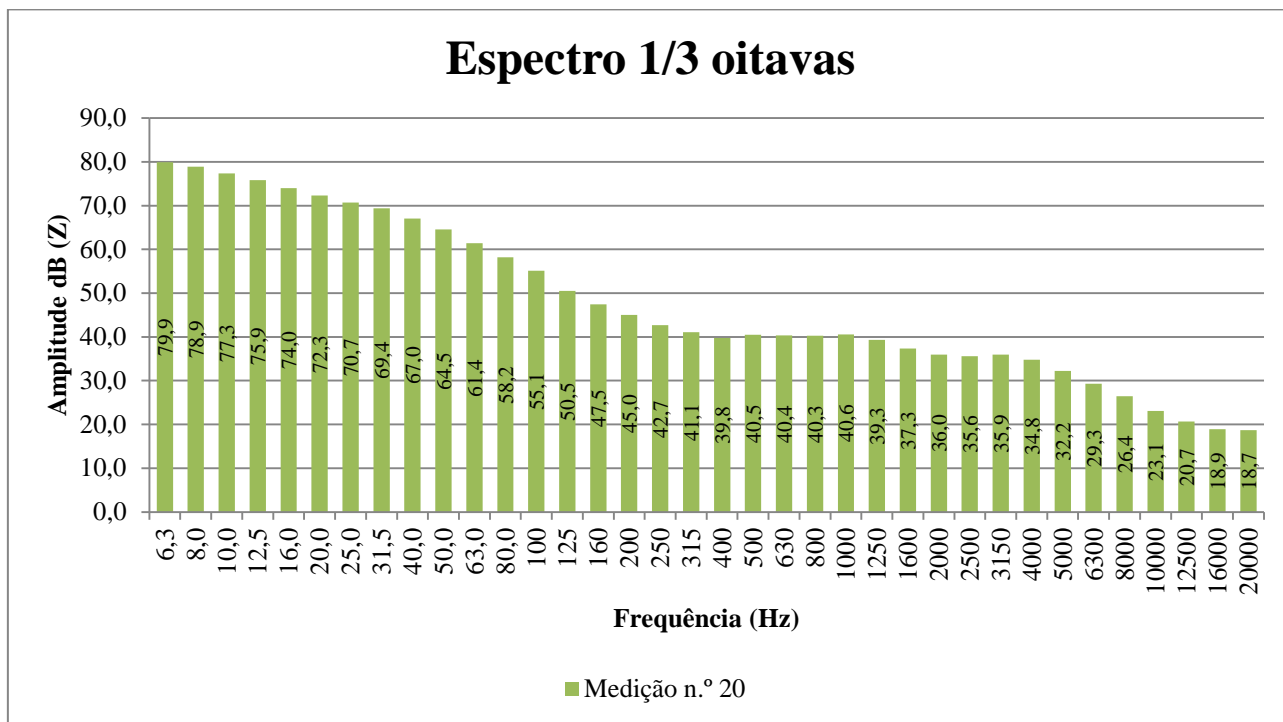


Gráfico Ap.III_20 - Medição n.º 20

ANEXOS

Anexo A – Planta de Localização de Segurança do Parque Eólico de Fanhões

Anexo B - Constituição aerogerador Gamesa G80 – 2MW

Anexo C - Planta de Localização Parque Eólico de Catefica e coordenadas

Anexo D - Planta de Localização de Segurança do Parque Eólico da Serra da Capucha

Anexo E - Constituição aerogerador Enercon E-70 E4 – 2MW e Enercon E-82 E2 – 2MW

ANEXO A

Planta de Localização de Segurança do Parque Eólico de Fanhões

ANEXO B

Constituição aerogerador Gamesa G80 – 2MW

O aerogerador Gamesa G80 – 2MW é constituído por diversos elementos representados na Figura An.B_1 (32) (33):

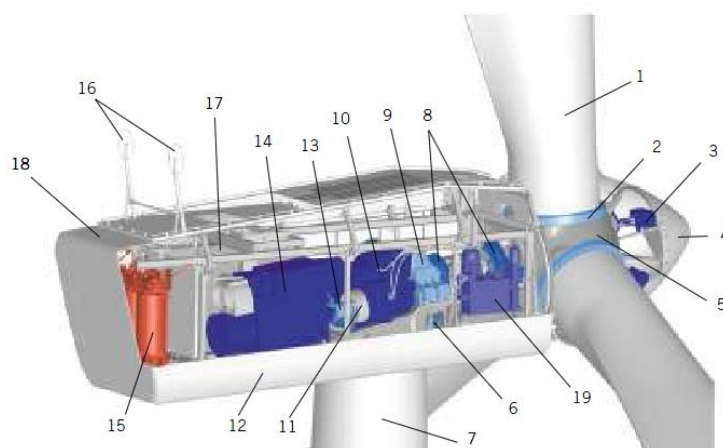


Figura An.B_1 - Constituição do Aerogerador Gamesa G80 - 2MW (32)(33)

Legenda:

1. Pás	11. Travão de disco principal
2. Rolamento das pás	12. Estrutura de suporte da cabina (Nacelle)
3. Controlador hidráulico do pitch	13. Transmissão: veio de alta velocidade
4. Cobertura do cubo	14. Gerador
5. Cubo	15. Transformador
6. Controlo de orientação ativo	16. Anemómetro e indicador da direção do vento
7. Torre	17. Controlador
8. Veio principal apoiado em rolamento	18. Cobertura da cabina (Nacelle)
9. Absorvedor dinâmico	19. Unidade hidráulica
10. Caixa Multiplicadora	

ANEXO C

Planta de Localização Parque Eólico de Catefica e coordenadas

ANEXO D

Planta de Localização de Segurança do Parque Eólico da Serra da Capucha

ANEXO E

Constituição aerogerador Enercon E-70 E4 – 2MW e Enercon E-82 E2 – 2MW

O aerogerador Enercon E-70 E4 – 2MW e o Enercon E-82 E2 – 2MW são constituídos por diversos elementos representados na Figura An.E_1 (34):



Legenda:

1. Apoio principal da cabina
2. Mecanismo de orientação da cabina
3. Gerador circular
4. Fixador da pá ao eixo
5. Cubo do rotor
6. Pás do rotor

Figura An.E_1 - Constituição do Aerogerador Enercon E-70 E4 - 2MW e Enercon E-82 E2 – 2MW (34)

ANEXO F

Planta de Localização Parque Eólico de Maravilha I