



UNIVERSIDADE D
COIMBRA



João Nuno Freitas de Almeida

ANÁLISE GEOGRÁFICA DO RISCO DE EXPOSIÇÃO
A INFRASSONS E RUÍDO DE BAIXA FREQUÊNCIA,
COM ORIGEM EM TURBINAS EÓLICAS

Tese de Doutoramento no âmbito do Doutoramento em Geografia, Geografia Humana, orientada pelo Professor Doutor Paulo Nuno Maia de Sousa Nossa e pela Professora Doutora Mariana Alves-Pereira e apresentada ao Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

Julho de 2018

Faculdade de Letras
da Universidade de Coimbra

ANÁLISE GEOGRÁFICA DO RISCO DE
EXPOSIÇÃO A INFRASSONS E RUÍDO DE
BAIXA FREQUÊNCIA, COM ORIGEM EM
TURBINAS EÓLICAS

João Nuno Freitas de Almeida

Tese de Doutoramento no âmbito do Doutoramento em Geografia, Geografia Humana, orientada pelo Professor Doutor Paulo Nuno Maia de Sousa Nossa e pela Professora Doutora Mariana Alves-Pereira e apresentada ao Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

Julho de 2018



UNIVERSIDADE D
COIMBRA



Ao meu filho Martim

“O que sabemos é uma gota de água, o que ignoramos é um oceano”

Isaac Newton

Agradecimentos

A realização de um doutoramento constituiu o maior desafio da minha vida académica. Apesar de ser um trabalho individual, nunca o é efetivamente. Houve um conjunto de pessoas que me ajudaram a percorrer este longo e sinuoso caminho. Pessoas essas que me foram incentivando e moralizando para que o objetivo fosse cumprido, às quais não posso deixar de agradecer:

Ao meu orientador, Professor Doutor Paulo Nossa, fundamental na realização deste estudo, pela compreensão, disponibilidade, contributos, sugestões e apoio. Os seus valores e integridade intelectual tornaram o trabalho mais fácil.

À minha co-orientadora, Professora Doutora Mariana Alves-Pereira, pela sua inestimável orientação, sapiência e motivação. Ao longo do percurso mostrou-me a importância da perseverança e confiança que, aliado à sua boa disposição e amizade, permitiram ultrapassar os obstáculos encontrados.

Ao meu colega João Paulo Figueiredo pelo apoio, amizade e disponibilidade demonstrada no apoio ao nível do tratamento e análise estatística dos dados do presente estudo.

Um enorme obrigado ao Professor Doutor Jorge Conde, Professora Doutora Ana Ferreira e Professor Doutor Graciano Paulo, anterior Presidência da Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra, pelo incentivo e apoio, a todos os níveis, para a prossecução deste percurso académico. Um agradecimento também à atual Presidência.

Aos colegas do Departamento de Saúde Ambiental, Ana Ferreira, Cristina Santos, Fernando Moreira, Helder Simões, Marta Vasconcelos Pinto e Susana Paixão, com os quais fui partilhando alguns momentos difíceis desta etapa e que me foram apoiando e incentivando. Um agradecimento extensível às colegas Ana Paula Malo e Ana Catarina Lança.

Às colegas e amigas, Joana Santos e Rute Santos pelas sugestões, motivação e amizade, sobretudo quando o desespero e as dificuldades apertavam.

Aos meus alunos e ex-alunos pela motivação e inspiração transmitida ao longo destes anos. Um especial agradecimento à Brigida Simões, Diogo Pereirinha e Jéssica Saramago, pela preciosa ajuda na recolha dos dados.

Ao Sr. Ricardo Teixeira Duarte e Sr. José Orfão e família, por abrirem as portas de suas casas e partilharem um pouco da sua vida pessoal. Um grande obrigado na esperança de que a vida leve um novo rumo.

À minha família e amigos, pelo apoio que foram dando e por compreenderem a minha ausência nos momentos de que fui abdicando em prol da conclusão deste projeto.

Um agradecimento especial à Andreia, pelo apoio incondicional, dedicação e por todo o amor e paciência (sobretudo nesta última etapa). Apesar dos momentos de privação, o contínuo encorajamento teve um papel fundamental para conseguir atingir a meta. Um apreço especial para o meu filho Martim, o meu maior feito. A alegria do seu sorriso e a força dos seus abraços foram a minha fonte de inspiração e o motor de motivação. Sem vocês nada teria sido possível.

Muito obrigado a todos!

Índice geral

Índice geral	IX
Índice de figuras	XIII
Índice de tabelas	XVII
Siglas e abreviaturas.....	XXI
Resumo	XXIII
Abstract	XXV
Introdução	XXVII
Objetivos	XXIX
Estrutura da tese	XXX

CAPÍTULO 1

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

1.1. Vertentes e linhas de pensamento da geografia	33
1.2. A Geografia da Saúde	35
1.2.1. Geografia da Saúde	35
1.2.2. A importância da Geografia da Saúde num contexto interpretativo contemporâneo	40
1.3. O ambiente e a sua influência na saúde humana	43
1.3.1. Determinantes em saúde	43
1.3.2. Ambiente e qualidade de vida	48
1.3.3. Viver em áreas urbanas	50
1.4. O som e a problemática do ruído	53

1.5. Repercussão do ruído nas populações	55
1.6. A relação entre o ruído, a saúde e o ambiente	56
1.6.1. Fontes de ruído ambiental	58
1.6.2. Efeitos do ruído ambiental	60
1.7. A particularidade dos infrassons e ruído de baixa frequência	63
1.7.1. Fontes de infrassons e do ruído de baixa frequência	64
1.7.2. Efeitos dos infrassons e do ruído de baixa frequência	67
1.8. Ordenamento do território e a sua importância.....	71
1.8.1. O ordenamento do território como medida de minimização do impacte do ruído	74

CAPÍTULO 2

MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Identificação dos parques eólicos em estudo	79
2.2. Definição dos pontos de medição	82
2.3. Metodologia de recolha de dados.....	84
2.3.1. Medição dos níveis de ruído	84
2.3.2. Recolha de dados climatológicos	86
2.4. Análise estatística	87

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3.1. Caracterização dos lugares de instalação dos parques eólicos	91
3.2. Caracterização dos parques eólicos	94
3.3. Caracterização do fluxo de velocidade do ar medido nas estações metereológicas de referência	96
3.4. Identificação dos pontos de medição.....	98
3.5. Definição das classes de velocidade do ar	101
3.6. Variação do nível de ruído em função das classes de velocidade do ar	102

3.6.1. Análise geral da variação do nível ruído em função da velocidade do ar	102
3.6.2. Análise da variação do ruído em função da velocidade do ar por parque eólico	105
3.6.2.1. Parque eólico de Cela	105
3.6.2.2. Parque eólico de Marvila	106
3.6.2.3. Parque eólico de Chão Falcão	107
3.6.3. Análise comparativa da variação do nível de ruído em função da velocidade do ar	108
3.7. Variação do nível de ruído em função da distância aos parques eólicos	110
3.7.1. Análise geral da variação do nível de ruído em função da distância aos parques eólicos ..	110
3.7.2. Análise da variação do nível de ruído em função da distância por parque eólico	113
3.7.2.1. Parque eólico de Cela	113
3.7.2.2. Parque eólico de Marvila	114
3.7.2.3. Parque eólico de Chão Falcão	116
3.7.3. Análise comparativa da variação do nível de ruído em função da distância aos parques eólicos	118
3.8. Variação do nível de ruído em função da velocidade do ar e da distância aos parques eólicos ...	119
3.8.1. Análise geral da variação do nível de ruído em função da velocidade do ar e da distância aos parques eólicos.....	119
3.8.2. Análise da variação do nível de ruído em função da velocidade do ar e da distância, por parque eólico	127
3.8.2.1. Parque eólico de Cela	127
3.8.2.2. Parque eólico de Marvila	133
3.8.2.3. Parque eólico de Chão Falcão	139
3.9. Variação do nível de ruído em função da direção do vento.....	145
3.9.1. Análise geral da variação do nível do ruído em função da direção do vento	145
3.9.2. Análise da variação do nível de ruído em função da velocidade do ar e da direção do vento, por parque eólico.....	149
3.9.2.1. Parque eólico de Cela	149
3.9.2.2. Parque eólico de Marvila	154

3.9.2.3. Parque eólico de Chão Falcão	158
3.10. Variação do nível de ruído em função do ponto cardinal onde foi efetuada a medição e da direção do vento	162
3.10.1. Análise geral da variação do nível de ruído em função do ponto cardinal e da direção do vento	162
3.10.2. Análise da variação do nível de ruído em função do ponto cardinal, por parque eólico..	174
3.10.2.1. Parque eólico de Cela	174
3.10.2.2. Parque eólico de Marvila	176
3.10.2.3. Parque eólico de Chão Falcão.....	179
3.11. Variação do nível de ruído em função do estado de funcionamento e da distância ao parque eólico de Cela	181

CAPÍTULO 4

DISCUSSÃO

4.1. Capacidade dos parques eólicos em Portugal.....	187
4.2. Relação entre os tipos de ruído, a velocidade do ar e a distância ao parque eólico.....	189
4.2.1. Parque eólico de Cela.....	189
4.2.2. Parque eólico de Marvila.....	194
4.2.3. Parque eólico de Chão Falcão	198
4.2.4. Discussão global	203
4.3. Outros fatores geomorfológicos com potencial significativo na propagação do ruído	212
4.4. Potenciais efeitos na saúde	215
4.5. Limitações ao estudo	219
Conclusões	221
Bibliografia	225
Anexos	239

Índice de figuras

Figura 1: Estrutura da tese.....	XXXI
Figura 2: Determinantes em saúde, segundo Lalonde (1974)	43
Figura 3: As principais condicionantes de saúde	45
Figura 4: Modelo conceptual para saúde urbana.....	46
Figura 5: Evolução da população urbana e rural do mundo, 1950-2050.....	51
Figura 6: Comprimento de onda e frequência de ondas sonoras em condições normais	54
Figura 7: Gama de frequências de ondas sonoras.....	54
Figura 8: Mecanismos de interação entre o ruído ambiente e os efeitos na saúde humana	61
Figura 9: Pirâmide dos efeitos do ruído.....	62
Figura 10: Limiar de percepção típica do ouvido humano para som de baixa frequência em função do nível de pressão sonora	64
Figura 11: Fatores relevantes para o potencial impacte ambiental do ruído de turbinas eólicas	66
Figura 12: Princípios de ordenamento do território	73
Figura 13: Localização dos PE no final de 2017, face à potência total instalada	80
Figura 14: Localização dos PE em estudo	82
Figura 15: Exemplo da distribuição de frequências face à direção do vento e velocidade do ar.....	83
Figura 16: Sonómetro e <i>software</i> utilizado para medição dos níveis de ruído.....	85
Figura 17: Sonómetro CESVA modelo SC420, instalado em tripé.....	86
Figura 18: Exemplo de dados climatológicos retirados da página da internet do IPMA, referentes à temperatura (°C), à intensidade do vento (km/h) e direção do vento (classes de rumo).....	87
Figura 19: Localização dos concelhos de Alcobaça, Porto de Mós e Batalha, onde se localizam os PE em estudo.....	91
Figura 20: Localização dos PE em estudo, por concelho	92
Figura 21: Localização das turbinas eólicas do PE de Cela	94

Figura 22: Localização das turbinas eólicas do PE de Marvila	95
Figura 23: Localização das turbinas eólicas do PE de Chão Falcão	96
Figura 24: Rosa dos ventos dos dados medidos na EM de Alcobaça	97
Figura 25: Rosa dos ventos dos dados medidos na EM de Leiria	97
Figura 26: Localização dos pontos de medição do PE de Cela.....	98
Figura 27: Localização dos pontos de medição do PE de Marvila	99
Figura 28: Localização dos pontos de medição do PE de Chão Falcão	100
Figura 29: Diagrama de extremos e quartis das variáveis de ruído face à velocidade do ar	104
Figura 30: Relação entre a velocidade do ar e as variáveis de ruído, por PE	109
Figura 31: Diagrama de extremos e quartis das variáveis de ruído face à distância ao PE.....	112
Figura 32: Relação entre a distância e as variáveis de ruído, por PE.....	118
Figura 33: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à velocidade do ar	126
Figura 34: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à velocidade do ar, para o PE de Cela	132
Figura 35: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à velocidade do ar, para o PE de Marvila.....	138
Figura 36: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à velocidade do ar, para o PE de Chão Falcão	144
Figura 37: Relação entre velocidade do ar e média marginal estimada das variáveis de ruídos, face à direção do vento.....	149
Figura 38: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à direção do vento, para o PE de Cela.....	153
Figura 39: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à direção do vento, para o PE de Marvila	157
Figura 40: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à direção do vento, para o PE de Chão Falcão	161
Figura 41: Relação entre as variáveis de ruído, a distância e o ponto cardinal de medição.....	171

Figura 42: Relação entre as variáveis de ruído, a distância e o ponto cardinal de medição, face à direção do vento	172
Figura 43: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face ao ponto cardinal, para o PE de Cela.....	176
Figura 44: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face ao ponto cardinal, para o PE de Marvila	178
Figura 45: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face ao ponto cardinal, para o PE de Chão Falcão	180
Figura 46: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face ao estado (parada ou rotação), para o PE de Cela	185
Figura 47: Capacidade geradora instalada acumulada em Portugal.....	188
Figura 48: Capacidade eólica instalada no distrito de Leiria, no final de dezembro de 2017	188
Figura 49: Localização da turbina eólica do PE de Cela e outros PE, num raio de 30 km.....	190
Figura 50: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos cardiais “N”, “S”, “E” e “W”, do PE de Cela	191
Figura 51: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos colaterais “NE”, “NW”, “SE” e “SW”, do PE de Cela	192
Figura 52: Localização da turbina eólica do PE de Marvila e outros PE, num raio de 30km	194
Figura 53: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos cardiais “N”, “S”, “E” e “W”, do PE de Marvila	196
Figura 54: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos colaterais “NE”, “NW”, “SE” e “SW”, do PE de Marvila.....	197
Figura 55: Localização da turbina eólica do PE de Chão Falcão e outros PE, num raio de 30km	199
Figura 56: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos cardiais “N”, “S”, “E” e “W”, do PE de Chão Falcão.....	200
Figura 57: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos colaterais “NE”, “NW”, “SE” e “SW”, do PE de Chão Falcão	201
Figura 58: Localização das turbinas eólicas dos PE em estudo e outros PE instalados, num raio de 30km.....	204

Figura 59: Localização das turbinas eólicas dos PE de Chão Falcão, Marvila e outros PE próximos, já instalados e em construção.....	207
Figura 60: Diferença entre medições realizadas em dB e em dB(A), para os tipos de ruído “Infrassons” e “IRBF”, tendo em consideração os PE em estudo.....	210
Figura 61: Curva de ponderação relativo ao dB(A).	211
Figura 62: Massas de água subterrânea da bacia hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis, da bacia hidrográfica das Ribeiras do Oeste e da região hidrográfica do Tejo	212
Figura 63: Localização de grutas na área geográfica dos PE de Marvila e de Chão Falcão	213
Figura 64: Efeito sombra	218

Índice de tabelas

Tabela 1: Análise diacrónica dos momentos de evolução primordiais da geografia médica	38
Tabela 2: Sintomas percepcionados de acordo com a gama de de frequência	70
Tabela 3: Estádios da doença vibroacústica	71
Tabela 4: Parques eólicos do distrito de Leiria e respetiva potência total e número de máquinas	81
Tabela 5: Número de meses correspondentes aos dados avaliados para conceção de rosas dos ventos	83
Tabela 6: Caracterização das freguesias onde se encontram instalados os parques eólicos e respetivo edificado	93
Tabela 7: Caracterização da amostra face à distância dos pontos de medição	101
Tabela 8: Caracterização da amostra face aos pontos cardeais onde foram realizadas as medições .	101
Tabela 9: Dados de velocidade do ar durante a amostragem, obtidos através do IPMA	102
Tabela 10: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à velocidade do ar	103
Tabela 11: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à velocidade do ar, no PE de Cela	106
Tabela 12: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à velocidade do ar, no PE de Marvila	107
Tabela 13: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à velocidade do ar, no PE de Chão Falcão	108
Tabela 14: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à distância aos PE	111
Tabela 15: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à distância ao PE de Cela..	114
Tabela 16: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à distância ao PE de Marvila	115
Tabela 17: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à distância ao PE de Chão Falcão	117
Tabela 18: Correlação entre a distância e os tipos de ruído, ajustados à velocidade do ar	119

Tabela 19: Relação entre velocidade do ar e distância ao PE, para a variável “Infrassons”	120
Tabela 20: Relação entre velocidade do ar e distância ao PE, para a variável “RBF”	122
Tabela 21: Relação entre velocidade do ar e distância ao PE, para a variável “IRBF”	123
Tabela 22: Relação entre velocidade do ar e distância ao PE, para a variável “RA”	125
Tabela 23: Correlação entre a distância e os tipos de ruído, ajustados à velocidade do ar, para o PE de Cella	127
Tabela 24: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “Infrassons”, para o PE de Cella	128
Tabela 25: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RBF”, para o PE de Cella	129
Tabela 26: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “IRBF”, para o PE de Cella	130
Tabela 27: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RA”, para o PE de Cella	131
Tabela 28: Correlação entre a distância e os tipos de ruído, ajustados à velocidade do ar, para o PE de Marvila	133
Tabela 29: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “Infrassons”, para o PE de Marvila	134
Tabela 30: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RBF”, para o PE de Marvila ...	135
Tabela 31: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “IRBF”, para o PE de Marvila ..	136
Tabela 32: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RA”, para o PE de Marvila	137
Tabela 33: Correlação entre a distância e os tipos de ruído, ajustados à velocidade do ar, para o PE de Chão Falcão.....	139
Tabela 34: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “Infrassons”, para o PE de Chão Falcão.....	140
Tabela 35: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RBF”, para o PE de Chão Falcão.....	141
Tabela 36: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “IRBF”, para o PE de Chão Falcão.....	142
Tabela 37: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RA”, para o PE de Chão Falcão.....	143
Tabela 38: Relação entre velocidade do ar e direção do vento para a variável “Infrassons”	145

Tabela 39: Relação entre velocidade do ar e direção do vento para a variável de ruído “RBF”	146
Tabela 40: Relação entre velocidade do ar e direção do vento para a variável “IRBF”	147
Tabela 41: Relação entre velocidade do ar e direção do vento para a variável “RA”	148
Tabela 42: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “Infrassons”, para o PE de Cela.....	150
Tabela 43: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RBF”, para o PE de Cela.....	151
Tabela 44: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “IRBF”, para o PE de Cela.....	151
Tabela 45: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RA”, para o PE de Cela.....	152
Tabela 46: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “Infrassons”, para o PE de Marvila.....	154
Tabela 47: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RBF”, para o PE de Marvila.....	155
Tabela 48: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “IRBF”, para o PE de Marvila.....	156
Tabela 49: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RA”, para o PE de Marvila.....	156
Tabela 50: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “Infrassons”, para o PE de Chão Falcão	158
Tabela 51: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RBF”, para o PE de Chão Falcão	159
Tabela 52: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “IRBF”, para o PE de Chão Falcão	160
Tabela 53: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RA”, para o PE de Chão Falcão	161
Tabela 54: Relação entre a distância e o ponto cardinal onde foi efetuada a medição, para o tipo de ruído “Infrassons”	163

Tabela 55: Relação entre a distância, o ponto cardeal onde foi efetuada a medição e direção do vento, para o tipo de ruído “Infrassons”	164
Tabela 56: Relação entre a distância e o ponto cardeal onde foi efetuada a medição, para o tipo de ruído “RBF”	165
Tabela 57: Relação entre a distância, o ponto cardeal onde foi efetuada a medição e direção do vento, para o tipo de ruído “RBF”	166
Tabela 58: Relação entre a distância e o ponto cardeal onde foi efetuada a medição, para o tipo de ruído “IRBF”	167
Tabela 59: Relação entre a distância, o ponto cardeal onde foi efetuada a medição e direção do vento, para o tipo de ruído “IRBF”	168
Tabela 60: Relação entre a distância e o ponto cardeal onde foi efetuada a medição, para o tipo de ruído “RA”	169
Tabela 61: Relação entre a distância, o ponto cardeal onde foi efetuada a medição e direção do vento, para o tipo de ruído “RA”	170
Tabela 62: Relação entre a distância e o ponto de medição, para os diferentes tipos de ruído, para o PE de Cela	175
Tabela 63: Relação entre a distância e o ponto de medição, para os diferentes tipos de ruído, para o PE de Marvila	177
Tabela 64: Relação entre a distância e o ponto de medição, para os diferentes tipos de ruído, para o PE de Chão Falcão	179
Tabela 65: Comparação entre o nível de pressão sonora na variável de ruído de “Infrassons”, face ao estado de funcionamento e à distância ao PE de Cela	181
Tabela 66: Comparação entre o nível de pressão sonora na variável de ruído “RBF”, face ao estado de funcionamento e à distância ao PE de Cela	182
Tabela 67: Comparação entre o nível de pressão sonora na variável de ruído “IRBF”, face ao estado de funcionamento e à distância ao PE de Cela	183
Tabela 68: Comparação entre o nível de pressão sonora na variável de ruído “RA”, face ao estado de funcionamento e à distância ao PE de Cela	184
Tabela 69: Distâncias de referência em vários países	208

Siglas e abreviaturas

B – Teste de *Bonferroni*

BH – Bacia Hidrográfica

CEOT – Carta Europeia do Ordenamento do Território

dB – Decibel

dB(A) – Decibel com malha de ponderação A

dB(G) – Decibel com malha de ponderação G

DSS – Determinantes Sociais da Saúde

DVA – Doença Vibroacústica

E – Este

EM – Estação Meteorológica

F – ANOVA Fatorial

FFT - *Fast Fourier Transform*

gl – Graus de Liberdade

Hz – Hertz

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IRBF – Infrassons e Ruído de Baixa Frequência

km – Quilómetros

LBPPSOT – Lei de Bases da Política Pública de Solos, de Ordenamento do Território e de Urbanismo

m – Metros

m/s – Metros por Segundo

MCE – Maciço Calcário Estremenho

MW – Megawatts

N – Norte

NE – Nordeste

NW – Noroeste

OMS – Organização Mundial da Saúde

OOIBRO – Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste

OT – Ordenamento do Território

p – *p-value*

PE – Parque Eólico

PMOT – Plano Municipal de Ordenamento do Território

r – Correlação de *Pearson*

R^2 – Coeficiente de determinação

R^2_{aj} – Coeficiente de determinação ajustado

R^2_p – Coeficiente de determinação parcial

RA – Ruído Ambiental

RBF – Ruído de Baixa Frequência

RGR – Regulamento Geral do Ruído

ρ – Correlação de *Spearman*

S – Sul

SE – Sudeste

STE – Síndrome da Turbina Eólica

SW – Sudoeste

W – Oeste

RESUMO

Apesar dos avanços tecnológicos para tornar as turbinas eólicas mais silenciosas, elas ainda produzem sons resultantes da sua mecânica e aerodinâmica, assim como infrassons e ruído de baixa frequência, que podem afetar a qualidade de vida das populações humanas e animais. Este tipo de ruído pode desenvolver processos acústicos que não são processados pelo ouvido e podem causar danos irreversíveis no corpo humano. Este estudo teve como objetivo analisar o comportamento do ruído de turbinas eólicas, baseado na distância até a fonte, velocidade do ar e direção do vento. Pretendeu também medir o nível de pressão sonora produzida por turbinas eólicas e analisar a diferença entre os infrassons e o ruído de baixa frequência e o ruído ambiental, assim como, a diferença entre medir estes ruídos em decibel com e sem ponderação A. Para cumprir com estes objetivos, foram seleccionados três parques eólicos do distrito de Leiria, onde foram realizadas um total de 416 medições. Desta forma, o tipo de estudo foi observacional de *coorte* transversal e a amostragem foi probabilística quanto ao tipo e por conveniência quanto à técnica. Estas medições foram realizadas com um sonómetro de marca CESVA, modelo SC420. As medições foram realizadas tendo em consideração os pontos cardeais e colaterais em redor dos parques eólicos de Cela (concelho de Alcobaça), Marvila (concelho da Batalha) e Chão Falcão (concelhos de Batalha e Porto de Mós). Desta forma, os pontos de medição foram definidos às distâncias de: 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15 km. Para dar cumprimento aos objetivos definidos foram avaliados quatro tipos de ruído que foram classificados e medidos da seguinte forma: infrassons (0-20 Hz/dB), ruído de baixa frequência (20-500 Hz/dB), infrassons e ruído de baixa frequência (0-500 Hz/dB) e ruído ambiental (dB(A)). Os resultados obtidos mostraram que a distância não é um fator relevante na redução dos níveis de ruído, em especial dos infrassons e do ruído de baixa frequência. Quanto à velocidade do ar, concluiu-se que é uma variável que influencia a produção do ruído que contempla os infrassons. De facto, foi possível verificar que quanto maior a velocidade do ar, maior os níveis de pressão sonora. Também foi possível constatar que os pontos de medição a Sul e a Sudoeste foram onde se registaram níveis de pressão sonora mais elevados. Outros fatores mostraram-se relevantes na propagação do ruído, nomeadamente o perfil do terreno, a existência de grutas, a proximidade à costa e a existência de florestas. Concluiu-se haver diferenças entre a medição em dB e dB(A), sobretudo no que diz respeito aos níveis de pressão sonora, face a determinadas frequências, nomeadamente os infrassons. A malha de ponderação mostra-se

relevante na proteção auditiva. No entanto, os infrassons têm mais efeitos negativos do ponto de vista não audível e, por conseguinte, esta malha de ponderação revela-se inútil. Conclui-se que é importante adotar medidas de gestão territorial tomando em conta a proteção da saúde pública, particularmente na instalação de parques eólicos a distâncias consideradas seguras e incluir estes tipos de ruído (infrassom e ruído de baixa frequência) em estudos de impacto ambiental.

Palavras-chave: Turbinas eólicas; Ruído; Infrassons; Ruído de baixa frequência; Saúde; Qualidade de vida; Geografia

ABSTRACT

Despite technological advances to make wind turbines quieter, they still produce sounds resulting from their mechanics and aerodynamics, as well as infrasounds and low frequency noise, which can affect the quality of life of human and animal populations. This type of noise can develop acoustic processes that are not processed by the ear and can cause irreversible damage to the human body. This study aimed to analyze the wind turbines noise behavior based on distance to source, air velocity and wind direction. It also meant to measure the sound pressure level produced by wind turbines and to analyze the difference between infrasounds, low frequency noise and environmental noise, as well as the difference between these noise measured in decibel, with and without A weighting. In order to achieve these objectives, three wind farms in the district of Leiria were selected, where a total of 416 measurements were carried out. Thus, the study was cross-sectional observational and the sampling was probabilistic as to type and convenience as to technique. The measurements were performed with a CESVA sound level meter, model SC420. The measurements were taken considering the cardinal and collateral points around the wind turbines of Cela (Alcobaça county), Marvila (Batalha county) and Chão Falcão (Batalha and Porto de Mós counties). Thus, the measurement points were defined at distances of: 0; 0.5; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15 km. In order to fulfill the defined objectives, four types of noise were evaluated and classified as: infrasounds (0-20 Hz/dB), low frequency noise (20-500 Hz/dB), infrasounds and low frequency noise (0-500 Hz/dB) and ambient noise (dB(A)). The results showed that distance is not a relevant factor in the reduction of noise levels, especially infrasounds and low frequency noise. As for the air velocity, it was concluded that it is a variable that influences the production of noise that contemplates the infrasounds. In fact, it was possible to verify that the greater the air velocity, greater the levels of noise pressure level. It was also possible to verify that the points of measurement in the South and Southwest were where there were higher levels of noise pressure level. Other factors were identified as relevant in noise propagation, namely the cross-sectional profile, the existence of caves, the proximity to coast and the existence of forests. It is concluded that there are differences between measure in dB or dB(A), especially with regard to the noise pressure level, given certain frequencies, namely infrasounds. The A weighting is relevant in hearing protection. However, infrasounds have more negative effects than the audible, and consequently this weighting proves useless. It is concluded that it is important to adopt territorial

management measures, taking into account the protection of public health, such as the installation of wind turbines at safe distances and consider this type of noise (infrasound and low frequency noise) in environmental impact studies.

Keywords: Wind turbine; Noise; Infrasound; Low frequency noise; Health; Quality of life; Geography.

INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, o conceito de qualidade de vida tem sido empregue em diferentes contextos, como por exemplo, na saúde, na política, no urbanismo e no ambiente. Na realidade, o que se vê são esforços de muitas ciências no sentido de anular ou minimizar os efeitos da degradação do ambiente sobre as pessoas. Tem-se deparado com manifestações em diversos setores da comunidade, envolvendo o governo e organizações, tendo em vista a promoção da saúde e a preservação do ambiente (Alves & Guimarães, 2003; Ribas *et al.*, 2010). A qualidade de vida é assim entendida como um conceito geral que engloba os fatores ambientais, os níveis de rendimento, a saúde, o modo de vida, a satisfação e a autoestima (Cassou, 2001).

O urbanismo, segundo Pina *et al.* (2000), tem sido um fator predominante no estabelecimento humano em escala mundial. As cidades têm sido estudadas no que concerne à ecologia urbana de doenças, sobretudo em países em desenvolvimento, onde existe uma panóplia de condições ambientais adversas às quais a população se encontra exposta. A saúde humana é assim afetada pelo crescimento da população, pelo *stress*, pela condição social, mas também pela poluição (Santos *et al.*, 2000). Entre as diversas formas de poluição que afetam os seres humanos está a poluição sonora. Hänninen & Knol (2011) e a WHO (2012) consideram que a poluição sonora, especificamente a que resulta do tráfego rodoviário, é o terceiro fator com maior impacte na saúde pública. Facto que Tang & Wang (2007) consideram ser da responsabilidade do crescimento das cidades e da alteração de comportamentos de mobilidade.

Sabe-se, empiricamente, que a exposição ao ruído pode ser causadora de um vasto conjunto de perturbações, tais como a hipertensão, incomodidade, alterações do sono e a mais exponencial a surdez (Alves-Pereira & Branco, 2007a, 2009). É usual considerar-se que todas estas perturbações têm origem em fenómenos acústicos processados pelo ouvido, no entanto existem processos acústicos não processados pelo ouvido que apresentam igual ou superior nocividade para a saúde, que podem não provocar as perdas auditivas clássicas, mas que podem causar danos irreversíveis e irreparáveis no organismo humano (Alves-Pereira & Branco, 2007a).

Historicamente, a ciência dividiu o espetro acústico de forma muito simplista em infrassons, audível e ultrassons, considerando como fenómenos acústicos potencialmente perigosos os infrassons e os

audíveis (Alves-Pereira & Branco, 2009). Os infrassons e ruído de baixa frequência (IRBF) estão presentes em todas as áreas urbanas, em muitas áreas suburbanas, em algumas áreas rurais, em numerosos locais de trabalho e numa grande variedade de locais e atividades de lazer. No entanto, as estruturas biológicas do nosso corpo não distinguem as exposições ocupacionais, residenciais ou recreativas do organismo a IRBF, porque elas respondem às frequências e às amplitudes dos fenómenos acústicos e não às diferentes situações sociais (Alves-Pereira & Branco, 2007a).

Uma das estruturas responsáveis pela produção de IRBF são as turbinas eólicas (van den Berg, 2004b; Liu, 2017). O ruído destes equipamentos envolve vários mecanismos de produção de ruído relacionados com diferentes interações entre as pás da turbina e o ar. O ruído produzido (IRBF) é predominantemente o resultado do deslocamento do ar nas pás da turbina e da turbulência na superfície das pás (van den Berg, 2004b). O ruído proveniente das turbinas eólicas é frequentemente considerado mais irritante do que o ruído rodoviário, devido à sua alta variabilidade em nível e qualidade (Seltenrich, 2014).

Vários estudos elaborados no âmbito da doença vibroacústica (DVA) mostram que, para a saúde humana, a informação rigorosa do conteúdo das frequências de um determinado ambiente acústico é fundamental para o estabelecimento de dose-resposta para os IRBF, sugerindo que os efeitos de pressão acústica sobre o tecido biológico estão intimamente relacionados com as frequências (em Hz) e não apenas com as amplitudes (em dB) (Alves-Pereira & Branco, 2007b, 2009).

A exposição ao ruído produz mudanças no organismo a curto e longo prazo (Bento & Oliveira, 2011). A perda auditiva é o efeito mais estudado sendo o único considerado na legislação portuguesa. A perda auditiva manifesta-se em particular nas frequências sonoras onde o ouvido tem maior sensibilidade. Contudo, quando expostos a IRBF, existem outros efeitos de exposição como a perda da qualidade do sono, *stress*, distúrbios cardiovasculares, complicações gastrointestinais, distúrbios endócrinos, alterações da frequência respiratória, do sistema nervoso central, cansaço, efeitos nocivos devido à frequência de ressonância dos órgãos internos, entre outros (Alves-Pereira & Branco, 2007a; Antunes, 2009; Bento, 2011).

Objetivos

Após a caracterização do estado da arte no que diz respeito à exposição a IRBF com origem em turbinas eólicas, fica evidente que é ainda necessário aprofundar a investigação no que concerne aos níveis de ruído encontrados nos lugares próximos e mais distantes dos parques eólicos (PE).

De acordo com a investigação efetuada, a crescente importância destes estudos é bastante premente. Assim, com o presente estudo, objetivou-se aumentar o conhecimento científico na temática dos infrassons e do ruído de baixa frequência (RBF) e os seus impactes sobre a saúde humana. Tendo consciência da quantidade de PE instalados e a instalar em Portugal, a sua proximidade relativa às populações e os sintomas já identificados na literatura que os associam à produção de IRBF, estabeleceu-se, como objetivo deste estudo, identificar e traçar perfis do comportamento dos IRBF com origem em turbinas eólicas.

Desta forma foram identificadas as seguintes questões de investigação, para as quais ainda não existe uma resposta qualificada ou é tida como insuficiente:

- Qual o nível de pressão sonora de Infrassons e Ruído de Baixa Frequência gerada pelas turbinas eólicas?
- A perda do nível de pressão sonora diminui à medida que se aumenta a distância à fonte emissora? Essa diminuição é significativa e independente do relevo?
- A velocidade do ar e a direcção do vento influenciam os níveis de pressão sonora?
- O ponto de medição, face à sua localização geográfica relativa ao PE, é relevante no que concerne aos níveis de pressão sonora?
- Há diferenças significativas entre os Infrassons (≤ 20 Hz), RBF (20-500 Hz), IRBF (≤ 500 Hz) e o Ruído Ambiental (20-20000 Hz)?
- Que diferenças existem entre a medição ser realizada com (em dB(A)) ou sem (em dB) malha de ponderação A?
- O relevo, as estruturas geomorfológicas, o oceano e a floresta influenciam a variação dos níveis de pressão sonora?
- Existem relações de associação entre a exposição a Infrassons e Ruído de Baixa Frequência e a saúde humana?
- Deve a construção de parques eólicos ser sujeita a medidas de restrição/condicionamento na sua implantação territorial?

Estrutura da tese

Esta tese encontra-se dividida em quatro capítulos, esquematizados na Figura 1. O primeiro capítulo reflete o estado da arte, procurando dar suporte ao desenvolvimento do estudo. Este capítulo relaciona os contributos da Geografia e a sua importância para a gestão do binómio ambiente-saúde, onde se focam as vertentes e linhas de pensamento da Geografia e, mais especificamente, da Geografia da Saúde como uma das vertentes importantes para a temática em estudo. Versa também sobre a problemática do som e difusão do ruído, incluindo a repercussão do ruído nas populações e a relação entre o ruído, a saúde e o ambiente. Este capítulo foca especialmente o caso particular dos IRBF referindo algumas fontes e efeitos deste tipo de ruído em concreto.

No segundo capítulo, são abordadas questões relacionadas com o material e métodos. Aqui são explanados os PE em estudo, como foram definidos os pontos de medição, a metodologia adotada para a recolha de dados e, por fim, a abordagem estatística que serviu de suporte à análise dos resultados.

No terceiro capítulo, são descritos e analisados os resultados do estudo. Começa por efetuar uma caracterização dos PE em estudo e dos fluxos de velocidade do ar obtidos nas estações meteorológicas próximas dos PE em estudo. Neste terceiro capítulo são identificados os pontos de medição e definidas as classes de velocidade do ar consideradas para a análise dos resultados. Por fim, os resultados propriamente ditos, em que são expostos e analisados (de forma geral e por PE) em função da velocidade do ar, da distância ao PE, da direção do vento, do ponto cardinal onde foi efetuada a medição e do estado de funcionamento do PE (para o PE de Cela).

O último capítulo (capítulo quatro), efetua uma discussão dos resultados com um enquadramento justificativo para os resultados encontrados e para as preocupações relacionadas com a temática, nomeadamente ao nível da quantidade de PE em Portugal e da relação dos tipos de ruído analisados com as diversas variáveis em estudo. São discutidas ainda os resultados em função dos potenciais efeitos na saúde.

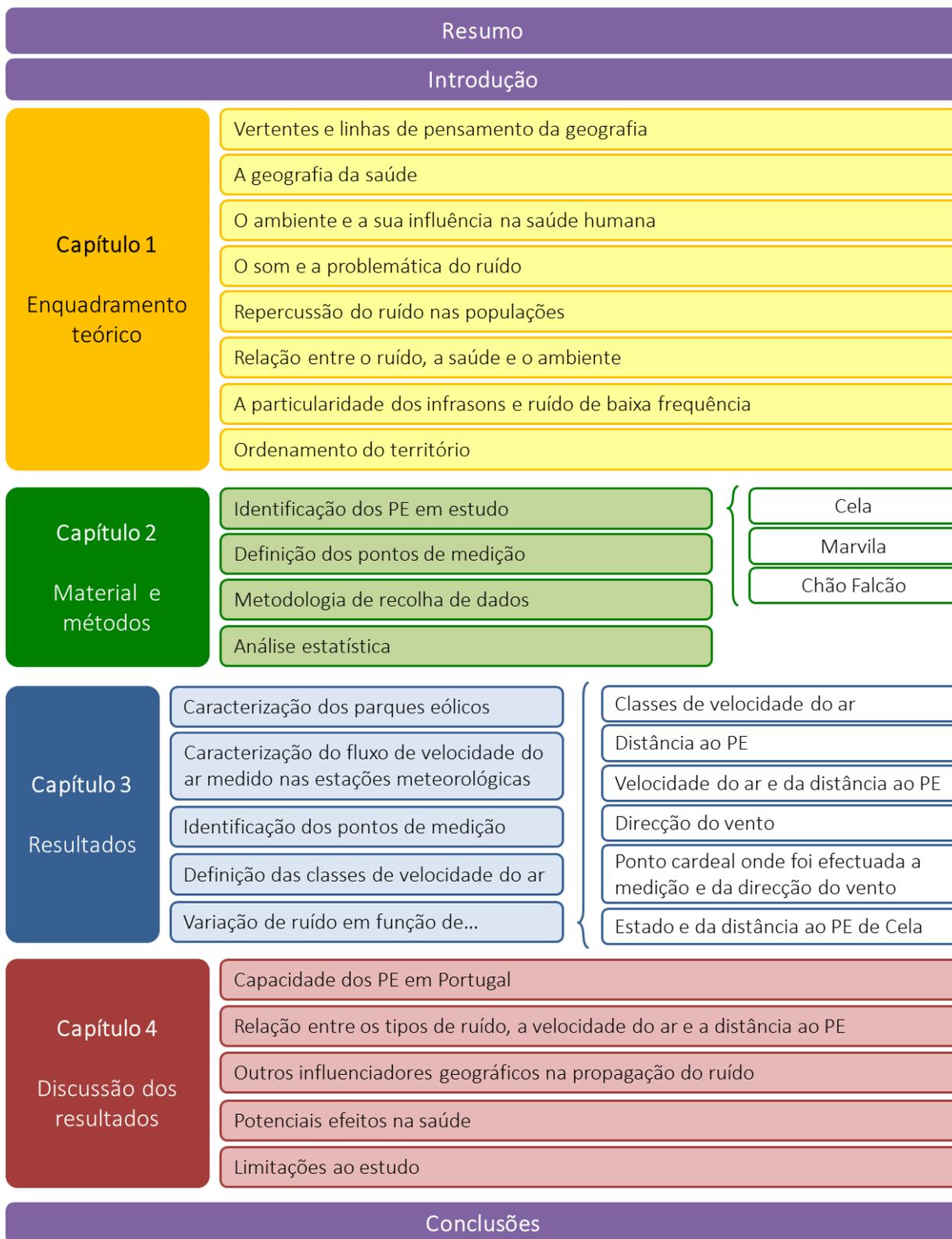


Figura 1: Estrutura da tese

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O presente capítulo apresenta um enquadramento teórico sobre a temática em estudo. Começa por fazer uma reflexão sobre saúde, as suas condicionantes e qual o contributo da ciência Geografia para a manutenção da condição de saúde das populações. Para tal, é efetuada uma revisão bibliográfica onde se dá conta da evolução do posicionamento da Geografia da Saúde, quer ao nível do ambiente quer das determinantes de saúde. De seguida reflete-se sobre as determinantes em saúde e quais os fatores que as influenciam. Sendo um dos objetivos da Geografia da Saúde a identificação de locais onde há uma maior incidência de determinada doença ou sintoma, pretende-se abordar a questão que será o mote do estudo – o ruído como possível fator etiológico de doença. Sobre ruído, importa fazer uma identificação e clarificação da física do som e posteriormente uma abordagem ao ruído, nomeadamente fontes, propagação, impactes na saúde e formas de redução.

1.1. Vertentes e linhas de pensamento da geografia

A Geografia, como área de conhecimento sempre expressou (desde sua autonomia como área científica) preocupação com a busca da compreensão da relação do ser humano com o meio em que se encontra inserido. Interpretando a produção do espaço geográfico nas diferentes categorias que lhe estão associadas: natureza, sociedade, tempo e espaço (Suertegaray, 2003).

Por este motivo, a Geografia tem tido um papel ativo em muitos projetos interdisciplinares, uma vez que, o seu amadurecimento enquanto corpo científico ocorreu num contexto interdisciplinar. Assim, a Geografia, na produção da análise espacial enfatiza a interação entre o Ser Humano e o Ambiente, em diferentes escolas, sejam estas locais e regionais, encorajando e interação com outras disciplinas.

Segundo Suertegaray (2003), as diferentes formas de tratar a relação da natureza com a sociedade configuraram, ao longo do século XX, diferentes formas de pensar a Geografia, levando, em algumas etapas temporais a uma fragmentação da Geografia em duas áreas de saber: a geografia física e geografia humana. Uma geografia física, que compreenderia, fundamentalmente, a análise espacial de

elementos e processos que compõe o ambiente em que vivemos (onde se incluem a energia, ar, água, clima, relevo, solos, animais, plantas, microrganismos, e a própria Terra).

Por outro lado, o foco da geografia humana está centrado nos grupos humanos e no modo como tiram partido do espaço, modificando-o (Tuan, 1976). À medida que se acumulavam progressos no corpo teórico da geografia humana, edificava-se um quadro conceptual importante que marcou os diferentes estádios daquilo que, genericamente, Boudin (1843) denominou pela primeira vez - Geografia Médica e que, posteriormente se designou por Geografia da Saúde (Nossa, 2001; Santana, 2014)

Tida na sua corrente mais tradicionalista ou vista de um modo contemporâneo, desde cedo este ramo da geografia produziu relações de complementaridade, sobretudo após a II Guerra Mundial, na descrição e investigação espacial dos quadros de saúde/doença, na utilização e acessibilidade de serviços relacionados com a saúde e seus cuidados - *Geografia dos cuidados de saúde*, onde o planeamento e a investigação de “iniquidades/desigualdades” assume particular relevo em determinados períodos de convulsão social e científica (Nossa, 2001).

Neste contexto, particularmente marcado por uma intensa interdisciplinaridade, os progressos dentro desta área da geografia só são possíveis à medida que se procede a um reforço dialético entre a geografia e outras ciências contributivas. Consequentemente permite-se o aumento do *potencial operativo*, face ao acumular de progressos teóricos num e noutro campo (ou campos).

Historicamente, os pontos de vista da Geografia, da Antropologia, entre outras, relativamente às relações Humano-Ambiente exibiram bastantes semelhanças, mas também muitas diferenças. Em resposta ao determinismo ambiental, os praticantes das duas disciplinas desenvolveram programas indutivos e relativistas nos quais a cultura era vista como o elemento dominante na relação Ambiente-Cultura. Desenvolvimentos na ecologia cultural têm sido na sua maioria divergentes; os geógrafos têm salientado o tema da adaptação da natureza pelas populações humanas (“*man’s adaptation of nature*”), enquanto os antropologistas têm investigado a adaptação do Ser Humano à natureza (“*man’s adaptation to nature*”). Concomitantemente, com a ascensão da Teoria Geral dos Sistemas e a abordagem ecológica, os pensamentos ecológicos nas duas disciplinas têm vindo novamente a cruzar-se, com ênfase nos enquadramentos ecológicos e sistemáticos. Em suma, uma relação próxima e de simbiose entre as duas disciplinas só poderá ser um passo em frente na abordagem das problemáticas do futuro (Grossman, 1977).

A maneira como a investigação tem sido conduzida relativamente às interações entre o Ser Humano e o ambiente tem evoluído ao longo do tempo. Os novos modelos de investigação colocam na equação do estudo o determinismo ecológico, a ecologia humana, os acidentes naturais, os impactes das

populações humanas no ambiente e a sustentabilidade. Os estudos das interações entre pessoas e o ambiente são centrais para a Geografia, mas estes estudos foram, durante algum tempo, unilaterais devido ao tipo de relação que era estudada ou perspectiva (física ou social). A clarividência da natureza e da dinâmica, do comportamento interativo entre sistemas biofísicos e seres humanos, têm o potencial de trazer novas perspectivas à tradicional dicotomia humano-ambiente (Harden, 2012).

De acordo com Santana (2014), no presente, a Geografia da Saúde constitui uma área científica integradora e de compreensão global abarcando, simultaneamente, temas de Geografia Física (como por exemplo a climatologia regional e local) e temas de Geografia Humana (urbanização, demografia, ordenamento do território). O objetivo geral da Geografia da Saúde está focado na produção de conhecimento orientado para a compreensão das relações que se estabelecem entre as condicionantes da saúde, os resultados das políticas e da organização dos serviços e o seu impacto na saúde das populações:

“A Geografia da Saúde ocupa uma posição nodal; é um espaço onde convergem ou se cruzam fenómenos naturais, socioeconómicos, culturais e comportamentais, de importância capital na explicação dos padrões de saúde e doença.” (Santana, 2014).

Embora muitos geógrafos trabalhem em tópicos de grande importância, a geografia está largamente em falta no que concerne a debates de mais ampla distribuição na esfera pública e assuntos sociais. Segundo Murphy (2006), a geografia necessita de se comprometer com abordagens mais integradoras, em diferentes escalas, objetivando um entendimento mais profundo das situações regionais, e elevar as interações entre as mais discretas partes da disciplina, e tornar explícitas as implicações da geografia nas discussões que estão a moldar as agendas políticas e sociais. Se a ausência virtual de perspectivas geográficas no debate público continuar incontestada, veremos que a geografia académica não será a única vítima. Os esforços para compreender a natureza mutável do mundo em que vivemos estarão fundamentalmente empobrecidos (Murphy, 2006).

1.2. A Geografia da Saúde

1.2.1. Geografia da Saúde

Abstraindo os distintos significados históricos das palavras, pode-se afirmar que o espaço é um elemento que permeia há mais de dois mil anos a história da medicina ocidental e da saúde pública (Bousquat & Cohn, 2004).

Tal como já mencionado, a consolidação da denominação “Geografia da Saúde” advém historicamente da “Geografia Médica”, termo privilegiado sobretudo pela geografia anglosaxônica. A percepção de que certas doenças ocorrem preferencialmente em determinados locais e a análise do local como um ponto diferencial na ocorrência de diferentes estados de saúde, vêm sendo mencionadas e investigadas desde Hippocrates (480 a.C.), que aborda a doença como resultado de acontecimentos geofísicos (Santana, 2014). Na sua obra “Ares, águas e lugares”, Hippocrates, para além de realçar a importância do modo de vida dos indivíduos, analisou a influência dos ventos, água, solo e localização das cidades em relação ao sol, na ocorrência da doença, antecipando aquilo que mais tarde se viria a formar como o paradigma ambiental.

Nesse tratado Hippocrates descreve sobre a relação dos ventos, do sol, das águas, e das estações do ano com as causas das doenças, conforme é possível verificar no seguinte excerto:

“Quem quer que deseje investigar corretamente a medicina, deve prosseguir assim: em primeiro lugar considerar as estações do ano, e que efeitos cada uma delas produz, que de modo nenhum é semelhante, mas diferem muito em suas mudanças. Em seguida os ventos, os quentes e os frios, especialmente os que são a todos os países, e em seguida os peculiares a cada localidade. Devemos também considerar as qualidades das águas, pois, como elas diferem uma da outra no gosto e na dureza, também variam muito em suas qualidades. Da mesma maneira, ao chegar a uma cidade da qual se é estrangeiro, deve-se considerar sua situação em relação aos ventos e ao nascer do sol, pois sua influência não é a mesma quando orientada para o norte ou para sul, para o nascente ou para o poente. Tais coisas necessitam ser examinadas com a maior atenção, no que se refere às águas e seu uso pelos habitantes, se são pantanosas, potáveis ou duras, excetuando as que se nascem em lugares elevados e rochosos, ou então se são salobras e inadequadas para cozinhar. Em relação ao solo, se é desnudo e pobre em água, ou arborizado e bem irrigado, ou se é baixo e confinado, ou elevado e frio. Quanto a maneira de viver de seus habitantes e as suas ocupações, se são dados a beber e comer em excesso, ou se entregam a indolência, ou se praticam exercícios e são trabalhadores, e não se entregam exageradamente à comida e à bebida.” (Hippocrates, 480 a.C.).

Como se pode observar, Hippocrates dá grande importância às condições do clima e à posição das cidades em relação a manutenção da saúde ou à produção de doenças, fazendo ainda comparações entre cidades com as quais os gregos mantinham contacto. Essa proposta, baseada no pensamento lógico racional grego, desvinculando as enfermidades das causas divinas e propondo a figura do

médico, em detrimento do curandeiro, abandona a origem mítica, porém, ainda se fundamenta nos quatro elementos, agora naturais, o fogo, a terra, a água e o ar. Durante muitos séculos as ideias deste autor prevaleceram, não sendo observada a produção de nenhum título que acrescentasse muito ao já realizado por Hippocrates (Pedrosa, 2011).

Mais tarde, já no século XVIII, Finke (1792) médico de profissão e geógrafo pela prática, cuja formulação metodológica já lhe permitia a utilização de indicadores quantitativos com alguma complexidade, demonstrou ter uma percepção holística de saúde, indo um pouco além da influência hipocrática do lugar na investigação da multicausalidade da doença. À influência que a “natureza dos lugares” detinha nos estados mórbidos, Finke adicionava fatores políticos, culturais e comportamentais, capazes de ampliarem e melhor justificarem a morbidade:

“O meu livro... deve alistar um conjunto de fatores responsáveis pela saúde, ou pela sua ausência, em cada lugar, na totalidade dos países: o clima, o modo de governo, os costumes religiosos, a moral, os hábitos de vida, a dieta, a educação entre outros, são os principais fatores para se descobrir a origem da doença.”
(Finke, 1792; citado por Nossa, 2012b:19).

Assim, desde cedo se percebe que a relação do Ser Humano com o meio, na perspectiva geográfica, deve ser objeto de uma abordagem holística, observada numa dinâmica adaptativa, buscando uma interação tão equilibrada quanto possível. Desta forma, a tarefa primordial da geografia humana consiste no estudo do Ser Humano considerado como um organismo vivo, submetido a condições de existência determinadas e reagindo às possibilidades suscitadas pelo meio natural (Sorre, 1943). Max Sorre desenvolve parte dos seus trabalhos no âmbito da perspectiva ecológica, ou seja, explorando possíveis associações entre o ambiente físico e as diferentes patologias, cuja validade derivava da capacidade que este tipo de estudos tem ao nível da formulação de hipóteses.

Até à primeira metade do século XX a abordagem tradicional da então denominada Geografia Médica conforma uma produção científica nas áreas da imunologia, da biologia e da epidemiologia, com o principal objetivo na delimitação territorial de uma determinada doença, etiologicamente identificada, averiguando eventuais associações com as condições físicas dos lugares, mas também com um conjunto de fatores humanos, como a tipologia de habitação e modo de vida (Paul, 1985; Sorre, 1943; Stone *et al.*, 1999). Esta produção científica, maioritariamente apresentada sob a forma de atlas, referenciava especialmente a incidência e a prevalência de patologias com particular relevância epidemiológica e social (Paul, 1985; Stone *et al.*, 1999).

A atuação desta abordagem encontra-se, no entanto, compreendida naquilo que vulgarmente se designa por “abordagem tradicional”, ou seja, cartografia e padronização das principais patologias às

quais se associam, em determinadas circunstâncias, um conjunto de elementos físicos destinados a testar hipóteses identificadoras de fatores suficientes, tidos como relevantes no desencadear de estados mórbidos. A referida produção científica foi sendo complementada com reflexões oriundas das investigações ecológicas, centradas na compreensão teórica da dinâmica da doença que se manifestavam como corolário de uma desadaptação ou desequilíbrio entre o organismo, o ambiente, e os hábitos culturais, sempre que temporal e espacialmente coincidem com a atuação dos agentes patogénicos (Paul, 1985; Stone *et al.*, 1999).

Na Tabela 1, pode-se observar a evolução da geografia médica ao longo das décadas e as mudanças ocorridas nas linhas de investigação e nos fundamentos ideológicos. A Geografia da Saúde constitui, também em Portugal, uma área de investigação que tem tido algumas dificuldades em se afirmar e em cativar elementos para a sua investigação, embora se registre uma crescente relevância do seu contributo patente nos trabalhos publicados por Santana (1993, 2007, 2014), Nogueira (2008), Nossa (2012), entre outros.

Tabela 1: Análise diacrónica dos momentos de evolução primordiais da geografia médica
Fonte: Remoaldo (2005)

	Paradigma científico	Fundamento ideológico	Linhas de investigação
1930 a 1950	Ecologia da doença	Relação entre o ambiente e doenças endémicas e infecciosas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compreensão do complexo quadro relacional entre os fatores patogénicos e geogénicos
1950 a 1960	Geografia quantitativa	Procura de regularidades espaciais e preocupações locativas dos equipamentos de saúde	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estudos sobre a difusão das doenças ▪ Otimização e localização dos equipamentos coletivos de saúde ▪ Acessibilidade aos equipamentos de saúde ▪ Equidade na utilização dos serviços de saúde
1960 a 1980	Geografia humanista	Valorização das dinâmicas comportamentais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Valorização do comportamento e da experiência individual como fatores capazes de influenciar a escolha e a utilização dos cuidados de saúde
	Geografia crítica	As desigualdades sociais e espaciais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análise das estruturas e redes de equipamentos sanitários ▪ Identificação de padrões de equidade na utilização dos serviços de saúde

Neste ponto, Remoaldo (2005) coloca algumas questões que, neste contexto se podem considerar interessantes: Será que os geógrafos têm alguma incapacidade em lidar com os termos técnicos médicos usados na Geografia da Saúde? Ou será porque se trata de uma área de difícil abordagem, para a qual muitos têm opinado e poucos conseguem encontrar soluções, como é o caso da eficiência

do Sistema Nacional de Saúde Português? Ou ainda, será que o problema reside no simples facto da comunidade geográfica universitária portuguesa ser reduzida?

Devido ao facto da Geografia da Saúde persistir na investigação da componente territorial, dando, progressivamente, relevância ao lugar e à vizinhança (Nogueira, 2008; Santana, 2014), por começar a utilizar ferramentas que permitem “ler” de forma mais sustentada o espaço e por ter passado a considerar, cada vez mais, as questões socioculturais, a Geografia da Saúde ganhou nas últimas décadas uma importância que não detinha antes. Assim, a dúvida que antes persistia acerca da contribuição que os Geógrafos podiam dar no âmbito da saúde revela-se atualmente ultrapassado (Vaz & Remoaldo, 2011).

A denominação de Geografia da Saúde consolida-se assim como um subtema da Geografia Humana, que lida com a interação entre as pessoas e o ambiente. Esta nomeação surgiu no XXIII Congresso Internacional de Geografia, que decorreu em Moscovo, em 1976, assumindo-se como um termo mais abrangente que engloba os conteúdos da geografia médica e da geografia da assistência sanitária ou do equipamento sanitário (Nogueira & Remoaldo, 2010).

Passou, numa fase posterior, a ser denominada Geografia da Saúde pois o termo Geografia Médica relacionava-se com a forma tradicional de abordar o processo de saúde e doença dando assim importância à localização desta. Posteriormente, o termo mais recente reporta-nos a um sentido amplo e moderno do conceito de saúde que, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) é “estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não simplesmente a ausência de doença.” Esta definição só foi conseguida após o desenvolvimento das relações entre o espaço e o processo de saúde/doença (WHO, 1946).

Por outro lado, o reconhecimento e aprofundamento das relações de multicausalidade na investigação dos quadros de saúde e de doença impõem à geografia a manutenção de uma dialética produtiva e inovadora com as demais ciências, incorporando novas e diversas tendências interpretativas cujas implicações começam a ser observáveis ao nível das práticas médicas, das políticas de saúde e da compreensão e valorização social do fenómeno da doença, reclamando uma abordagem humanista e integradora (Nossa, 2012a).

Nas sociedades ocidentais, a consolidação da transição epidemiológica, marcada pelo predomínio das patologias crónico-degenerativas e pelo crescimento exponencial das patologias psico-comportamentais, sublinhou novas prioridades na produção e reprodução do conhecimento, transferindo a ênfase da doença para a promoção da saúde, da hospitalização e institucionalização do doente para a inserção na comunidade, da cura para a prevenção, do paciente para a pessoa (Nettleton, 2006).

Neste novo milénio podemos afirmar que estamos perante uma nova Geografia da Saúde, que constitui uma área científica interdisciplinar, articulando e integrando vários domínios científicos, nomeadamente, ciências sociais, ciências da terra e ciências da saúde (Nogueira & Remoaldo, 2010).

O espaço geográfico é um conceito dinâmico e multidisciplinar que tem influenciado outras ciências, que anteriormente não lhe davam relevância. Prova disso é que tem sido usado em várias ciências, tais como, a arquitetura, a economia e a sociologia, demonstrando assim a sua característica interdisciplinar (Vaz & Remoaldo, 2011).

A medicina é um bom exemplo disso pois só muito recentemente sentiu necessidade de estudar doenças à escala local e descobriu que os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser um importante suporte para o diagnóstico e planeamento em saúde, bem como, para entender e prever a difusão de doenças. Digno de nota é o estudo produzido por Gould (1993) onde associa fatores sociais, políticos e de planeamento territorial à difusão do HIV/SIDA. É pois importante estudar o potencial da ciência geográfica no que diz respeito à saúde pois as relações entre a saúde e o espaço são inseparáveis, avaliando-a assim como mais uma área de estudo na qual os geógrafos podem intervir (Vaz & Remoaldo, 2011).

1.2.2. A importância da Geografia da Saúde num contexto interpretativo contemporâneo

As relações entre saúde e espaço são indissociáveis, pois, o ambiente em que o indivíduo se encontra inserido tem interferência direta na saúde deste, sendo o contexto ambiental diverso de local para local, de região para região e de país para país, pelo que se torna importante discutir o potencial da ciência geográfica na abordagem da saúde. Por seu turno, o espaço geográfico tem-se revelado como um importante atrativo para ciências que não o consideravam antes como crucial para a sua análise (Vaz & Remoaldo, 2011). O espaço que a geografia contemporânea considera neste registo é aquele que resulta da apropriação histórica dos grupos, um espaço transformado e apropriado pelos “modos de vida”, orientado por projetos políticos, económicos e culturais, independentemente da sua fecundidade, numa sucessão (re)construtiva e (des)qualificadora, criando uma “segunda natureza” onde também há lugar para a satisfação das necessidades estéticas e afetivas, sintetizadas na noção proposta por Santos (2006):

“O espaço é hoje um sistema de objetos cada vez mais artificiais, povoado de sistemas de ações igualmente imbuídos de artificialidade (...) de um lado os sistemas de objetos condicionam a forma como se dão as ações e, de outro, o sistema de ações leva à criação de objetos novos ou se realiza sobre objetos pré-

existentes. É assim que o espaço encontra a sua dinâmica e se transforma.”
(Santos, 2006).

À semelhança da maioria dos restantes países europeus, Portugal apresenta um padrão de fortes variações em saúde, observáveis em função do sexo, idade, do nível de escolaridade, da ocupação e da área de residência. Grupos populacionais mais envelhecidos, mais desfavorecidos, de menores rendimentos, com profissões de maior risco para a saúde apresentam, regra geral, piores resultados em saúde. Estes grupos, mais necessitados de cuidados de saúde, são também aqueles que residem em lugares mais privados de oportunidades, geralmente em áreas rurais caracterizadas pela falta de acesso a serviços de saúde de qualidade, particularmente a cuidados hospitalares de referência (Nogueira, 2006). Porém, a saúde urbana e as variações em saúde no interior de espaços amplamente urbanizados, representam um problema social crescente, o que enfatiza a necessidade de considerar o espaço geográfico e social na compreensão das variações em saúde (Santana, 2007).

Quando pensamos em planeamento em saúde, à escala local surge, cada vez mais, como um determinante quando se avalia uma qualquer incidência ou prevalência, os SIG, como ferramenta de manipulação de dados particularmente úteis no que diz respeito à análise espacial:

“O SIG supera em muito a simples manipulação de mapas digitais realizada pelo [Computer-Aided Design], através da exploração das relações existentes entre os seus dados gráficos e descritivos, permitindo a execução de funções de análise espacial, envolvendo proximidade, adjacência, conectividade e contingência, além de análises abrangendo sobreposição de diversos mapas oriundos de diversas fontes, escalas, sistemas de projeção etc.” (Santos et al., 2000).

Como se evidencia, este suporte permite uma avaliação mais integrada da realidade, sendo importante para o diagnóstico e planeamento em saúde, bem como, para entender e prever a difusão da doença, sendo que a Medicina só muito recentemente se abriu à necessidade de estudar doenças à escala local.

Apesar da crescente relevância dos contributos geográficos já efetuados na investigação em saúde, onde releva o projeto europeu EURO-HEALTHY (2017), liderado por geógrafos (Santana et al.) e coordenado a partir da Universidade de Coimbra, o contributo da geografia para a discussão das questões de saúde ainda tem elevada margem de progresso para adquirir adequada visibilidade social. Tal como comentam Nogueira & Remoaldo (2010), os geógrafos da saúde estão convictos de poderem desempenhar um papel específico nas ciências da saúde, como resultado de aspetos metodológicos inerentes à ciência geográfica. A abordagem da dinâmica espaço-temporal ou a sua capacidade para

cartografar e integrar simultaneamente a dimensão biológica, social e espacial de fenómenos como as doenças, são alguns dos aspetos relevantes.

A Geografia da Saúde estuda então a relação existente entre a saúde humana e seu carácter espacial. Distanciando-se propriamente das relações biológicas e físico-químicas das doenças, para considerar de que forma o espaço contribui para o seu aparecimento ou de que forma o seu aparecimento determina ou altera a organização espacial da sociedade. Os estudos realizados nesta área podem contribuir de modo particularmente válido para identificar um quadro de etiologia multicausal presente em diversas patologias, instruir quadros de promoção da saúde e da prestação de serviços de saúde, ao mesmo tempo que pode colaborar na redução de quadros de morbilidade/mortalidade excessiva, não raro ancorados em quadros de privação, acrescentando notoriedade e visibilidade a componentes do espaço físico e/ou social por vezes ocultas (Santana, 2007).

Assim, a consolidação deste conhecimento pode agir como elemento fundamental de apoio à decisão, tanto no âmbito interno como no externo, contribuindo para resoluções cientificamente informadas. No primeiro caso, pode melhorar a gestão da saúde pública nacional, auxiliando no planeamento de sistemas de saúde ou na vertente mais clássica de padronização espacial da mortalidade e morbilidade; num segundo nível, servindo como um contributo teórico para a formulação de políticas, acordos, ou quaisquer instrumentos legítimos de interação internacional com reflexos na saúde das populações humanas (Reginatto & Pitton, 2009).

Segundo Nogueira & Remoaldo (2010), os temas mais atuais em estudo na Geografia da Saúde até à primeira década do século XXI são:

- A geografia dos tumores;
- O planeamento e investigação da saúde e serviços relacionados com o bem-estar;
- O impacte das políticas de saúde;
- A promoção da equidade e/ou eficiência através das reformas de saúde;
- As consequências da crise económica na saúde e na oferta de cuidados de saúde;
- A educação para a saúde;
- A saúde das mulheres;
- As políticas de privatização e de reordenamento espacial da oferta de cuidados de saúde;
- A geografia da SIDA, com o uso de técnicas de simulação para prever a difusão futura;
- A geografia da saúde mental;
- A globalização e os seus impactes na saúde e nas políticas de saúde;

-
- A promoção de cidades saudáveis;
 - A bioclimatologia;
 - O lugar, a área de residência e a sua influência na saúde.

1.3. O ambiente e a sua influência na saúde humana

1.3.1. Determinantes em saúde

O processo de causalidade em saúde é bastante complexo, quer pela multiplicidade dos fatores envolvidos, quer pelas inter-relações que entre eles se estruturam, quer ainda porque essa “teia de causalidade” se manifesta de diferentes formas, em diferentes lugares (Nogueira & Remoaldo, 2010).

Desde meados do século XIX, através do célebre relatório (sobre condições de higiene da população trabalhadora da Grã-Bretanha) produzido por Chadwick (1842), demonstrou-se que a pobreza e a doença formavam um círculo vicioso que era imperativo interromper. No período posterior à Conferência de Ottawa (1986), dedicada à promoção da saúde, foram progressivamente desenvolvidos esforços para observar a condição de saúde como um direito fundamental e um recurso para a vida diária, cuja sustentação não depende exclusivamente de aptidões físicas, mas da conjugação de recursos sociais e económicos.

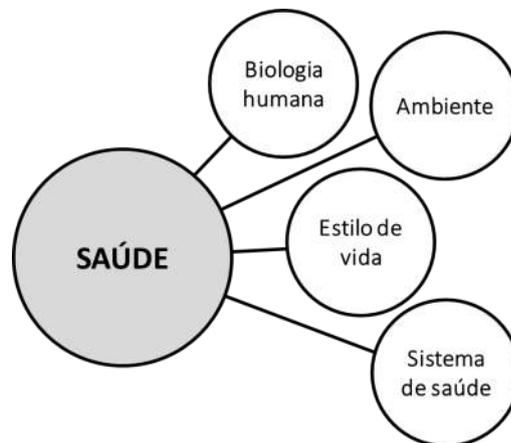


Figura 2: Determinantes em saúde, segundo Lalonde (1974)

Lalonde (1974), ex-Ministro da Saúde canadiano, elaborou um modelo que pretendia refletir as determinantes da saúde (Figura 2). O modelo inicial, construído em 1974, aponta quatro componentes que se relacionam e determinam o nível de saúde, são eles a biologia humana, ambiente, sistema de saúde e estilo(s) de vida. Estas quatro componentes são possíveis diferenciar,

dependendo do nível de desenvolvimento do país ou de uma região. Contudo a componente biológica é dificilmente alterada. Esta construção das determinantes em saúde transparece na situação vivida nos países mais desenvolvidos, em que o estilo de vida adotado e o ambiente influenciam a saúde dos indivíduos.

Os círculos do modelo apresentado por Lalonde (1974) não são das mesmas dimensões, pois o “sistema de saúde”, devido à sua estruturação e ao acesso quase universal existente na maior parte dos países mais desenvolvidos, onde vigorou um modelo de “Estado providência”, mais ou menos completo, apresenta um círculo de menores dimensões pelo simples facto de ter uma menor ponderação. É também provável que as determinantes biológicas consigam ser mais controladas, vindo a ter uma menor ponderação do que as componentes “ambiente” e “estilo de vida”.

A condição biológica continua a desempenhar um papel importante nos países menos desenvolvidos e isto continuará a acontecer enquanto o sistema de saúde não estiver desenvolvido o suficiente em termos tecnológicos e não for universal. As tecnologias inerentes, por exemplo, às técnicas de procriação assistida, à genética, à neonatologia podem fazer uma grande diferença quando se encontram bem desenvolvidas num qualquer país, pois podem prever determinadas doenças e contribuem para o controlo de várias determinantes biológicas.

O espaço, como conceito interdisciplinar e multidisciplinar, tem o merecido destaque, pois é nele que se observa uma série de fatores, quer positivos quer negativos, que influenciam a vida do indivíduo. Na medida em que o ambiente do Ser Humano sofre perturbações, sejam elas físicas, económicas ou sociais, pode ocorrer uma sensível alteração na saúde do indivíduo (Hancock, 1986; Lalonde, 1974).

Mais tarde, em 1991, Whitehead e Dahlgren desenvolveram um modelo que expõe os determinantes da saúde em níveis de influência distintos (Figura 3): No nível um apresenta-se os fatores genéticos e biológicos; no nível dois os comportamentos individuais e estilos de vida; no nível três as influências comunitárias e sociais; no nível quatro as condições de vida e de trabalho; e, por fim, no nível cinco as condições ambientais, culturais, sociais e económicas gerais. Cada um dos determinantes apresentados influencia a saúde tanto pelo seu impacte, como pelo resultado das interações que ocorrem quer entre as determinantes de cada nível, quer entre as de níveis distintos (Dahlgren & Whitehead, 2007; Graham, 2009; Nogueira & Remoaldo, 2010).

Por exemplo, a prática de exercício físico é um determinante individual (comportamental) da saúde (nível 2), que sofre influência, quer pela existência de espaços adequados à prática de exercício físico, quer por parte dos fatores biológicos como a idade (Nogueira & Remoaldo, 2010).

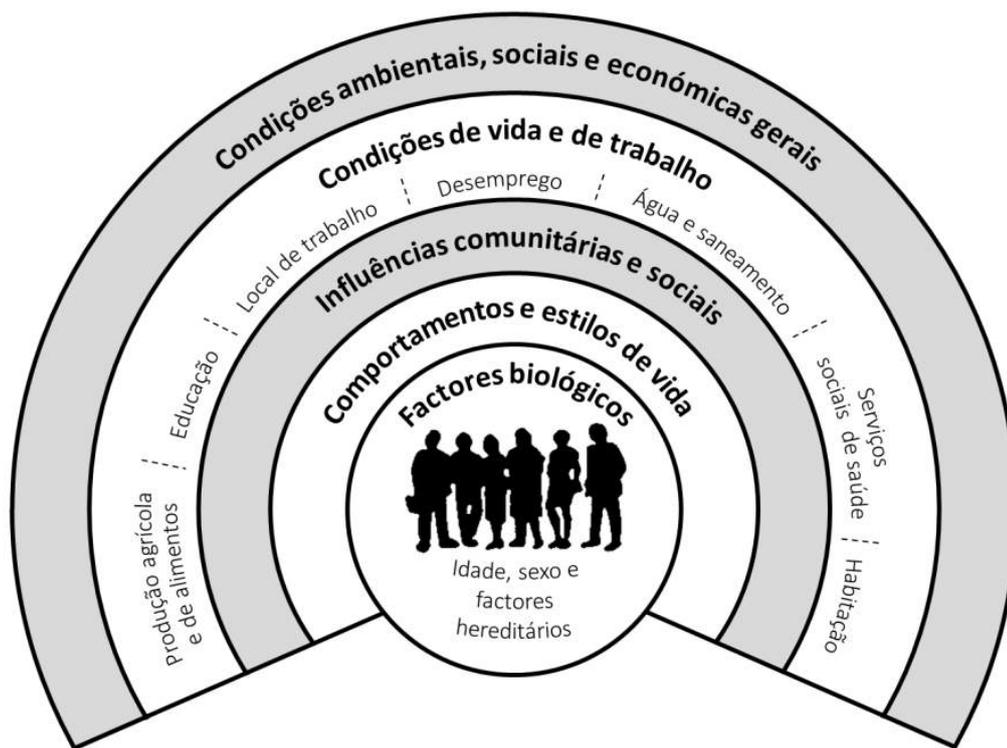


Figura 3: As principais condicionantes de saúde
Fonte: Adaptado de Dahlgren & Whitehead (2007)

Mais recentemente surge o modelo apresentado na Figura 4, que ilustra como a saúde da população urbana representa uma função das influências mundiais, nacionais e das características do município. Este modelo destaca como fatores proximais as condições urbanas de habitação e trabalho, considerados fatores primariamente modificáveis. Sugere que as intervenções mais promissoras para modificar a saúde urbana são aquelas que procuram fazer mudanças específicas nessas condições de vida, e ainda assume o ambiente urbano num contexto amplo incluindo os ambientes físicos, sociais, económicos e políticos. O entendimento é de que a forma como cada componente do modelo influencia o resultado do processo saúde-doença não é linear. Ou seja, cada um dos fatores interage entre si, mas também pode ter um efeito independente no resultado do processo. Variáveis mais proximais como as que compõem o nível “condições urbanas de habitação e trabalho” caracterizam o quotidiano das pessoas que moram em áreas urbanas e podem ser vistas como condições preexistentes que a saúde pública procura modificar, intermediar, ou ainda, advogar, como o caminho pelo qual as intervenções podem levar à melhoria das condições de saúde (Caiiffa *et al.*, 2008; WHO, 2008).

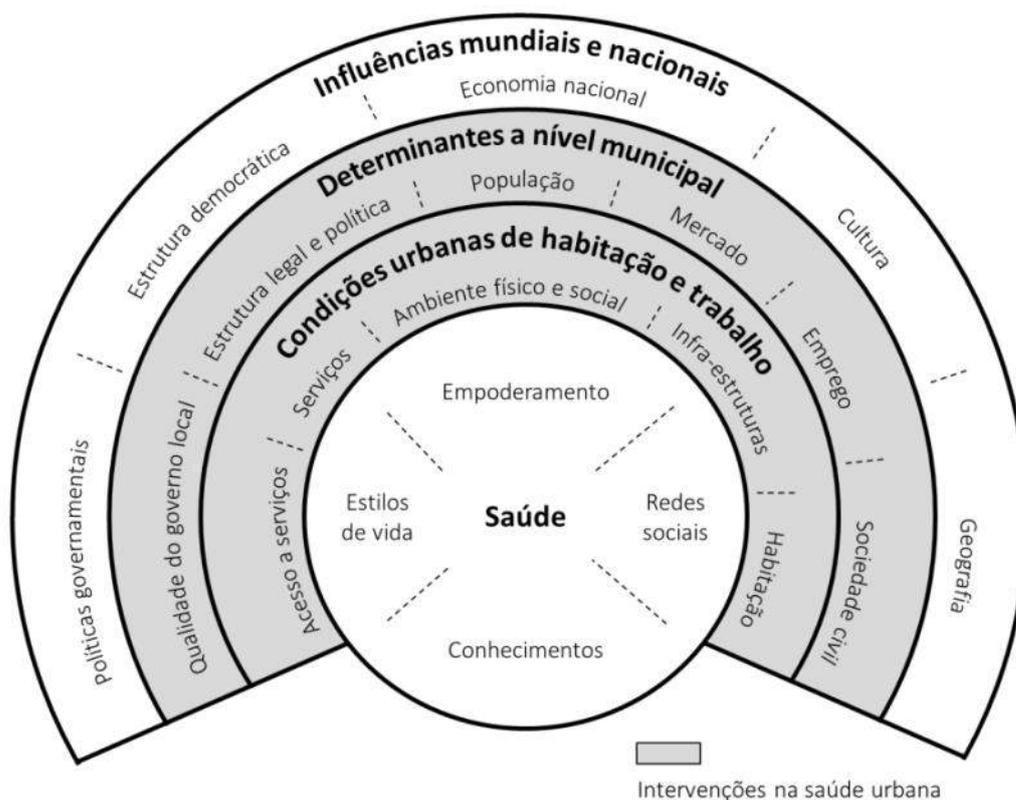


Figura 4: Modelo conceitual para saúde urbana
Fonte: Adaptado de Caiaffa *et al.* (2008)

O resultado de ter ou não um estado saudável no ambiente urbano, representa a finalidade da atuação da saúde pública que, neste modelo, pode ser abordado numa perspectiva mais focalizada ou mais abrangente. Ou seja, permite análise num único nível, independente se distal ou proximal, e em níveis múltiplos, remetendo, naturalmente, a questões metodológicas que pressupõem uma discussão orientadora para a aferição, comparação e mensuração da efetividade das estratégias (Caiaffa *et al.*, 2008).

Mais recentemente enfatiza-se a importância dos contextos socio-espaciais potenciadores de desigualdades e iniquidades em saúde, identificados como as condições em que as pessoas nascem, vivem, trabalham e envelhecem, ou seja, estão presentes e são alavancadas por fatores sociais, económicos, educacionais, culturais, étnicos/raciais, psicológicos e comportamentais, capazes de influenciarem a ocorrência de problemas na saúde das populações – o que a OMS designou, em 2005, por “Determinantes Sociais da Saúde” (DSS) (CDSS-OMS, 2010).

Neste contexto, é consensual que a magnitude e a importância dos determinantes sejam variáveis. No documento de trabalho da Conferência Mundial sobre Determinantes Sociais da Saúde (CDSS-OMS, 2010), reconheceu-se a pertinência de se desenvolverem estratégias de remediação que prioritariamente atuem sobre os designados determinantes estruturais da saúde, geradores de

iniquidades em saúde, tais como: género, etnia, ocupação, rendimento e educação, ao mesmo tempo que atuam sobre estruturas políticas e de governança que alimentam diferenças relativas ao poder económico dos grupos e dos indivíduos. Vieira-da-Silva & Filho (2009) adotam o conceito de iniquidade conceptualizado por Whitehead na década de 90, reportando-se a um conjunto de diferenças evitáveis e injustas que, segundo Breilh (1999), estão associadas ao problema da distribuição de bens numa sociedade, podendo ser mitigadas com recurso a propostas de reorganização do espaço social, da sua estrutura e das suas relações.

Qualquer atuação no contexto de saúde das populações exige uma coordenação multinível sendo, naturalmente, mais importantes pela escala de proximidade e de controlo, aquelas que impactam diretamente o dia-a-dia dos sujeitos, ou seja, as que constituem os níveis mais internos dos modelos, constituindo o que Marmot (2005) denominou por “círculo virtuoso” onde a saúde e os seus determinantes se retroalimentam e beneficiam mutuamente.

Apesar da inegável relevância que as DSS têm quer na clarificação das relações existentes entre o modo como se organiza uma sociedade e a situação da saúde da sua população, quer na denúncia das iniquidades existentes no domínio da saúde, devemos sublinhar a cautela que Buss & Filho (2007) colocam face a leituras abusivas neste registo, próximas da falácia ecológica, quando de um modo pouco avisado procuramos explorar os mecanismos de produção destas iniquidades e a sua relação com as macroestruturas sociais que lhes estão associadas. Ao se detetarem hierarquias de determinações entre fatores sociais, económicos e políticos, e as mediações que proporcionam sobre a saúde dos grupos, devemos lembrar que estamos na presença de cenários complexos de influência, mas afastados de determinações simples de causa-efeito (Nossa, 2012a). Assim, embora deva ficar claro que não se pretende anular a pertinência que as DSS detêm na produção e leitura de quadros de saúde, devemos estar atentos para processos interpretativos contaminados por algum viés, possível de ocorrer quando encontramos uma associação entre variáveis a nível agregado-grupos populacionais, que podem não se traduzir em associações presentes ao nível individual:

“(...) não basta somar os determinantes de saúde identificados em estudos com indivíduos para conhecer os determinantes de saúde ao nível da sociedade. As importantes diferenças de mortalidade constatadas entre classes sociais, ou grupos ocupacionais, não podem ser explicadas pelos mesmos fatores aos quais se atribuem as diferenças entre indivíduos, pois se controlarmos esses fatores (hábito tabágico, dieta, sedentarismo...), as diferenças entre estratos sociais permanecem quase inalteradas (...). Enquanto os fatores individuais são importantes para identificar que indivíduos no interior de um grupo estão submetidos a maior risco, as diferenças nos níveis de saúde entre grupos e países estão mais relacionadas com outros fatores, principalmente o grau de equidade na distribuição

de rendimentos. Por exemplo, o Japão é o país com maior esperança de vida ao nascer, não porque os japoneses fumam menos ou fazem mais exercícios, mas porque o Japão é um dos países mais igualitários do mundo. Ao confundir os níveis de análise e tratar de explicar a saúde das populações a partir de resultados de estudos realizados com indivíduos, estaríamos aceitando o contrário da chamada 'falácia ecológica'." (Buss & Filho, 2007).

1.3.2. Ambiente e qualidade de vida

Para as Nações Unidas, ambiente é o conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos e sociais capazes de causar efeitos diretos ou indiretos, em um prazo curto ou longo, sobre os seres vivos e as atividades humanas. A preservação do ambiente depende muito da sensibilização dos indivíduos de uma sociedade. Consequentemente, a cidadania deve contemplar atividades e noções que contribuem para a prosperidade do ambiente. Desta forma, é importante saber instruir os cidadãos de várias idades, através de formação nas escolas e em outros locais. Assim, a Constituição da República Portuguesa (revista na Lei Constitucional n.º 1/2005, de 12 de Agosto), especificamente no artigo 66º, declara que *"todos têm direito a um ambiente de vida humano, sadio e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender."*

Para assegurar o direito ao ambiente, no quadro de um desenvolvimento sustentável, são objetivos do Estado português, os seguintes pontos:

- Prevenir e controlar a poluição e os seus efeitos e as formas prejudiciais de erosão;
- Ordenar e promover o ordenamento do território (OT), tendo em vista uma correta localização das atividades, um equilibrado desenvolvimento socioeconómico e a valorização da paisagem;
- Criar e desenvolver reservas e parques naturais e de recreio, bem como classificar e proteger paisagens e sítios, de modo a garantir a conservação da natureza e a preservação de valores culturais de interesse histórico ou artístico;
- Promover o aproveitamento racional dos recursos naturais, salvaguardando a sua capacidade de renovação e a estabilidade ecológica, com respeito pelo princípio da solidariedade entre gerações;
- Promover, em colaboração com as autarquias locais, a qualidade ambiental das povoações e da vida urbana, designadamente no plano arquitetónico e da proteção das zonas históricas;
- Promover a integração de objetivos ambientais nas várias políticas de âmbito setorial;

-
- Promover a educação ambiental e o respeito pelos valores do ambiente;
 - Assegurar que a política fiscal compatibilize desenvolvimento com proteção do ambiente e qualidade de vida (Lei Constitucional n.º 1/2005).

Quando se pensa sobre as questões do impacto ambiental, de natureza antrópica (como desflorestação, deposição de resíduos, poluição do ar, águas ou dos solos, as alterações climáticas e as respetivas consequências que podem influenciar a vida e saúde humana), ficam, muitas vezes, por refletir os aspetos positivos do ambiente. Também se deve refletir sobre o relacionamento do ambiente, no sentido de melhorar a qualidade de vida no dia a dia, tornando a relação ambiente e saúde cada vez mais positiva. É preciso preservar o ambiente para garantir a qualidade de vida das gerações atuais, assim como a das gerações futuras. Fatores como clima, trabalho, alimentação, educação, habitação, cultura e valores éticos, bem como as potencialidades de cada indivíduo, todos se refletem no estado global da saúde (Kuhnen *et al.*, 2010; Weihs & Mertens, 2013).

Posto isto, torna-se necessária uma maior consciencialização e procura de formas de melhorar a qualidade de vida das populações, de acordo com o ambiente envolvente. Muitas cidades e até países têm má qualidade de vida devido à destruição do ambiente ou da degradação do mesmo. Com uma melhoria nos ecossistemas que estão localizados à nossa volta, a saúde e a perspetiva de vida prosperam, melhorando assim a nossa qualidade de vida e a das futuras gerações (Weihs & Mertens, 2013).

A OMS define qualidade de vida como perceções individuais sobre a sua posição de vida no contexto cultural e dos valores em que vivem e em relação aos seus objetivos, expectativas, padrões e preocupações (The WHOQOL Group, 1995). Sen (1993) definiu qualidade de vida a partir de dois conceitos: “capacitação”, que representa as possíveis combinações de coisas que uma pessoa está apta a fazer ou ser; e “funcionalidades”, que representa partes do estado de uma pessoa (as várias coisas que faz ou é). Desta forma, a qualidade de vida pode ser avaliada em termos da capacitação para alcançar funcionalidades, tais como as funcionalidades elementares (alimentar-se adequadamente, ter saúde, etc.) e as que envolvem auto-respeito e integração social (tomar parte da vida da comunidade).

O conceito de qualidade de vida tem sido empregue em diferentes contextos, como por exemplo, a saúde física, mental, relações sociais, crenças pessoais (Herculano, 2000; Pelicioni, 1998), satisfação e autoestima (Cassou, 2001), mas também no domínio da política, do urbanismo e do ambiente (Alves, 2003; Ribas *et al.*, 2010). Buss (2000) refere que as condições ambientais têm um papel muito importante nas condições de vida e saúde.

Na realidade, o que se vê são esforços de muitas ciências no sentido de anular ou minimizar os efeitos da degradação do ambiente sobre as pessoas. Tem-se deparado com manifestações em diversos setores da comunidade, envolvendo o governo e organizações, tendo em vista a promoção da saúde e a preservação do ambiente (Alves, 2003; Ribas *et al.*, 2010).

Quando se fala em qualidade de vida, de uma forma universal falamos na satisfação das necessidades mais elementares da vida humana, ou seja, alimentação, água potável, habitação, trabalho, educação, lazer, realização individual e coletiva, mas também saúde, lazer, conforto e bem-estar (Minayo *et al.*, 2000). Os impactes na saúde que estes fatores podem provocar já não envolvem predominantemente riscos evidentes de mortalidade ou perda de expectativa de vida, mas afetam aspetos da qualidade de vida num sentido mais amplo (de Hollander & Staatsen, 2003). Jacobi (2003) aponta para uma degradação das condições de vida decorrentes da degradação socioambiental, nomeadamente nos grandes centros urbanos.

Herculano (2000) refere que a qualidade de vida é um conceito que agrega um conjunto de itens como o ambiente, condições económicas, científico-culturais e políticas coletivamente concebidas para que os indivíduos possam realizar suas potencialidades (trabalho, poder de compra, ciência e arte, etc, assim como a possibilidade de participar nos destinos coletivos através da gestão territorial).

O grande desafio é como combinar a gestão territorial com ambiente, sociedade, respostas psicossociais (tais como satisfação, incomodidade e perceção de risco), com o objetivo de melhorar o desenvolvimento de ambientes saudáveis com elevada qualidade de vida para as populações. O sucesso dessa abordagem dependerá da colaboração entre os especialistas em planeamento, em saúde e em ambiente, os responsáveis pela formulação de políticas, e a comunidade (de Hollander & Staatsen, 2003).

1.3.3. Viver em áreas urbanas

Em 2007, pela primeira vez na história, a população urbana global excedeu a população rural global, e a população mundial permaneceu predominantemente urbana depois disso (Figura 5). É evidente, portanto, que o mundo se está a tornar cada dia mais urbano, estimando-se que, em 2030, cerca de cinco mil milhões de pessoas estarão a residir em áreas urbanas (Caiaffa *et al.*, 2008; Neto & Bógus, 2003). A UN (2014) estima que, em 2050, 66% da população mundial residirá em meio urbano.

Tendo em conta as mudanças ocorridas nas últimas décadas, o crescimento urbano, particularmente em áreas onde o processo ocorre de forma desordenada, acarreta impactes para a saúde humana, tais como a agudização dos problemas sociais, violência, acidentes de trânsito, doenças emergentes e re-emergentes, transmissíveis ou não (Caiaffa *et al.*, 2008; Neto & Bógus, 2003).

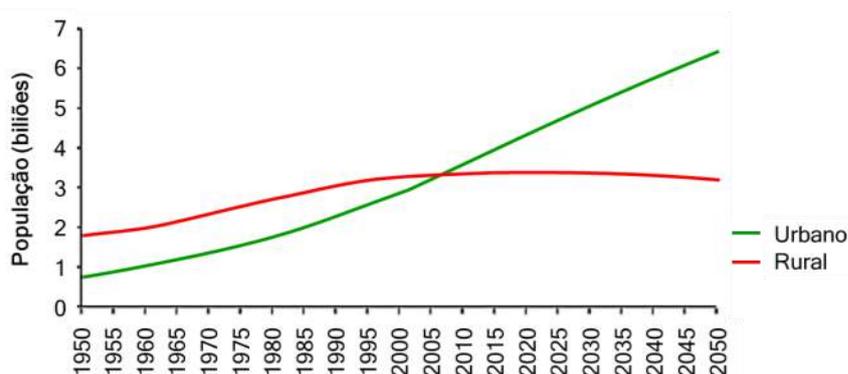


Figura 5: Evolução da população urbana e rural do mundo, 1950-2050
Fonte: Adaptado de UN (2014)

Segundo Omran (1971), a transição epidemiológica caracteriza-se pela evolução progressiva de um perfil de alta mortalidade por doenças infecciosas para um outro, onde predominam os óbitos por doenças cardiovasculares, neoplasias, causas externas e doenças consideradas crônico-degenerativas. A forma como cada componente do modelo influencia o resultado do processo saúde-doença não é linear. Ou seja, cada um dos fatores interage entre si, mas também pode ter um efeito independente no resultado do processo. De facto, os fatores que se encontram mais proximais, como as condições urbanas de habitação e trabalho, em que há uma maior exposição diária a estes fatores, devem ser estudadas e avaliadas levando a uma melhoria das condições de saúde (Caiaffa *et al.*, 2008; Neto & Bógus, 2003).

As cidades surgem no início da civilização, com a necessidade de as populações humanas se organizarem em sociedade, reunindo em pouco espaço todos os serviços que mais precisava, estando assim mais próximos uns dos outros, ajudando as relações sociais e intrapessoais (Neto & Bógus, 2003; Caiaffa *et al.*, 2008). Segundo Santos *et al.* (2000), o urbanismo tem sido um fator predominante no estabelecimento humano à escala mundial.

As cidades têm sido estudadas no que concerne à ecologia urbana de doenças onde existe uma panóplia de condições ambientais a que a população se encontra exposta. A saúde humana pode assim ser afetada pelo crescimento populacional, pelo *stress*, pela condição social, mas também pela poluição (Santos *et al.*, 2000). Posto isto, entende-se o porquê destes locais serem considerados especiais em termos da preservação da qualidade ambiental, pois um ambiente insalubre pode tornar-se, conseqüentemente, num problema para a saúde pública, na medida em que influencia a saúde humana e deteriorar a sua qualidade de vida (Neto & Bógus, 2003; Caiaffa *et al.*, 2008; WHO, 2008).

Sendo o ambiente suscetível de influenciar a saúde humana, o ideal seria torná-lo numa força positiva para a saúde das populações. No entanto, esta relação entre o Ser Humano e o ambiente também funciona no sentido inverso, formando assim um círculo em que as ações humanas alteram o ambiente que, por sua vez, continuarão a influenciar a saúde das populações. O ideal seria conseguir alcançar um ponto em que esta relação fosse proveitosa para todas as partes, no entanto a consciencialização ambiental teve início há pouco tempo, pelo que o Ser Humano e os seus hábitos, costumes, ainda não foram alterados, continuando assim a ser prejudiciais para o ambiente, o que consequentemente afeta a saúde humana e a sua qualidade de vida (Neto & Bógus, 2003; Caiaffa *et al.*, 2008; WHO, 2008).

Com o crescimento das cidades e o seu congestionamento associado a modelos económicos especulativos, as populações mudaram-se das periferias para as cidades à procura de uma melhor qualidade de vida (Filho & Rigotti, 2002; Gonçalves, 2001). No entanto, após a mudança, a qualidade de vida das populações pode, afinal, não ter sofrido melhorias. Isto é, a influência destes ambientes saturados da pressão causada pelas próprias populações humanas, tinha afinal um efeito adverso e negativo na vida destas (Caiaffa *et al.*, 2008; WHO, 2008).

São muitas as fontes capazes de causar problemas na saúde do Ser Humano influenciando a sua qualidade de vida. No entanto, a poluição sonora é atualmente a problemática ambiental que afeta o maior número de pessoas no mundo em contexto urbano, sendo apenas superada pela poluição atmosférica (WHO, 2011). Aliando esta informação à falta de perceção das complicações que o ruído causa no organismo humano, esta problemática tornou-se uma situação que necessitou especial atenção das autoridades e entidades públicas que, assim, tiveram a necessidade de criar ferramentas para tentar, de alguma forma, corrigir esta circunstância, dado o elevado número de pessoas sujeitas a estes fatores (WHO, 2008, 2011).

A preocupação com os níveis de ruído em meio urbano já era considerada uma problemática desde o estabelecimento das grandes urbes. Em Roma, há cerca de 2500 anos, começaram as primeiras preocupações quando a população, dentro das suas habitações, se sentia incomodada enquanto tentava manter uma conversa ou dormir, devido aos sons provenientes da rua, causado pelos meios de transporte da altura (Costa *et al.*, 1994). Esta situação levou a que o senado romano emitisse um decreto a proibir a circulação de cavalos e carruagens no período noturno dentro das cidades (Schafer, 1993).

Acontecimentos como estes foram os propulsores do estudo do som, mais especificamente do som incomodativo, a que se denominou de ruído e que é a problemática em estudo.

1.4. O som e a problemática do ruído

O som está normalmente associado aquilo que ouvimos. É um fenómeno tão comum e está tão presente no dia-a-dia da sociedade que, raramente, se pensa em todas as suas funções. Através do som podemos experimentar múltiplas sensações, agradáveis ou indesejáveis, e comunicar com os outros de várias formas e com várias interpretações (Belo *et al.*, 2013).

A propagação do som dá-se através de uma sucessão de compressões e rarefações no meio de propagação, ou seja, resulta de variações ou oscilações de pressão que ocorrem em meios elásticos, como por exemplo ar, água, sólidos. Quando uma onda sonora se propaga no ar, as oscilações de pressão estão acima e abaixo da pressão atmosférica (Goelzer *et al.*, 2001). O som pode então ser definido como qualquer variação da pressão que o ouvido humano pode detetar, seja no ar, na água ou em qualquer outro meio de propagação (IA, 2004). Ainslie *et al.* (2009) referem que as vibrações são variações na pressão do ar devido ao movimento das partículas do ar. Soeiro *et al.* (2011) acrescentam ainda que vibrações são movimentos que se repetem, regular ou irregularmente, dentro de um intervalo de tempo.

Segundo Goelzer *et al.* (2001) e Murphy & King (2014), as ondas sonoras são caracterizadas por:

- Amplitude de pressão – O máximo aumento ou diminuição da pressão da onda, expresso em Pascal (Pa);
- Nível de pressão sonora - Razão entre o valor da pressão sonora e uma pressão de referência, expresso em decibel (dB ref: 20 microPa) expresso numa escala logarítmica;
- Comprimento de onda (λ) - Distância percorrida pela onda durante um ciclo, expresso em metros (m);
- Frequência (f) - Número de ciclos por segundo, expressa em Hertz (Hz);
- Período (T) - Tempo necessário para perfazer um ciclo, expresso em segundos (s).

Como se pode observar na Figura 6, há uma relação inversa entre o comprimento de onda e a frequência, ou seja, quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda (Goelzer *et al.*, 2001). Aos sons que o ser humano tem a capacidade de ouvir chamam-se sons audíveis, situados na gama dos 20 Hz aos 20 kHz.

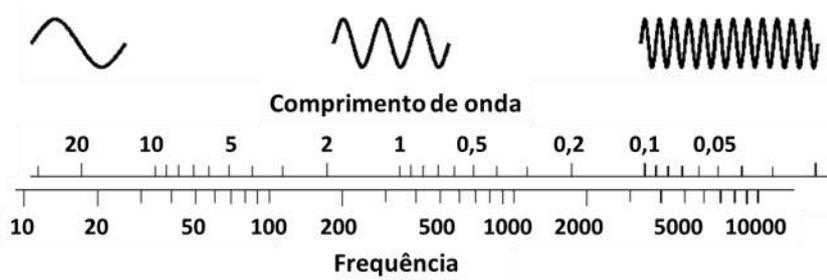


Figura 6: Comprimento de onda e frequência de ondas sonoras em condições normais
Fonte: Adaptado de Goelzer *et al.* (2001)

Assim sendo, e conforme se pode verificar na Figura 7, pode-se dividir os sons em sons de baixa frequência ou sons graves (abaixo dos 20 Hz), de média frequência e de alta frequência ou sons agudos (acima dos 20 KHz) (IA, 2004; Silva, 2012).

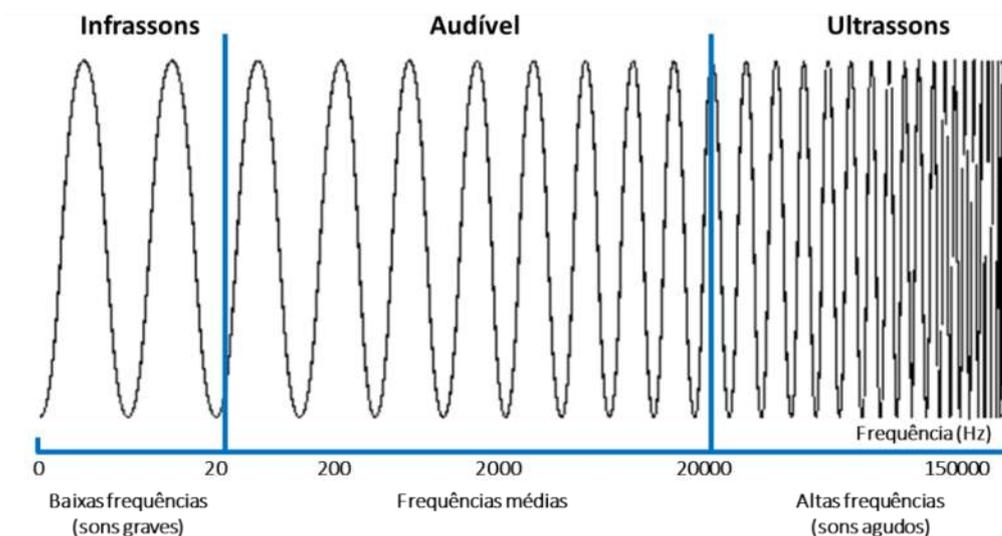


Figura 7: Gama de frequências de ondas sonoras
Fonte: Adaptado de IA (2004)

No entanto, existem sons que incomodam, que são denominados de ruído. O ruído não é mais que um som, com a particularidade de ser desagradável ou indesejado e, frequentemente, nocivo ao ouvido humano (Coelho & Ferreira, 2009; Freitas & Cordeiro, 2013). É ainda percebido como um stressor ambiental e incómodo (Stansfeld & Matheson, 2003). Em algumas situações, o ruído pode afetar negativamente a saúde e o bem-estar dos indivíduos ou populações. Os especialistas concordam que não é possível definir o conceito subjetivo de “ruído” exclusivamente com base em parâmetros físicos do som, sendo assim definido como energia acústica audível e não audível, que afeta ou pode afetar o bem-estar fisiológico e psicológico das pessoas (Berglund & Lindvall, 1995; Stansfeld & Matheson, 2003).

Apesar das características do som serem um forte indicativo de ruído ou não, é necessário ter em conta que a noção de incomodidade varia com as pessoas, com os costumes e, naturalmente, também com as circunstâncias em que ocorre (IA, 2004). O estilo de vida, o meio social em que se movimenta, a sua predisposição ou a idade são outros fatores, constituindo características subjetivas que influenciam a sensação de incomodidade (Carvalho & Rocha, 2008). Pode-se então dizer que a definição de ruído é bastante subjetiva, visto que um som pode, ao mesmo tempo, ser agradável a um indivíduo e perturbador para outro (IA, 2004).

Frequentes vezes, as pessoas associam ruído a sons intensos suscetíveis de deteriorar a função auditiva e, assim, se tivermos em conta os seus possíveis efeitos na saúde, podemos definir ruído como um som intenso capaz de deteriorar a função auditiva. Embora possam prejudicar a saúde, nem sempre os sons intensos são percebidos como ruído, como por exemplo no caso da música durante um concerto (CE, 2007).

1.5. Repercussão do ruído nas populações

Entre as diversas formas de poluição está a poluição sonora. Hänninen & Knol (2011) e a WHO (2012) consideram que a poluição sonora, resultante do tráfego rodoviário, é o terceiro fator com maior impacto na saúde pública. Facto que Tang & Wang (2007) consideram ser da responsabilidade do crescimento das cidades e da alteração de comportamentos de mobilidade.

O advento da industrialização, o crescimento das cidades e a ampliação da frota de veículos contribuíram para o aumento da exposição a sons desagradáveis e de intensidades elevadas, que podem provocar desde um pequeno desconforto até a perda auditiva. Este facto deu origem à necessidade de criar normas com a finalidade de minimizar ou eliminar os problemas e conflitos causados pela emissão de ruídos (Scariot *et al.*, 2012).

Tal como já foi mencionado, desde os tempos mais remotos surgem evidências de que o ruído constitui um problema para a sociedade. As preocupações com o impacto do ruído na saúde preocupam as populações humanas desde o império romano, data em que se regista a primeira legislação sobre esta matéria. Em 44 a.C. o senado romano emitiu um decreto que proibia a circulação de cavalos e carruagens no período noturno dentro das cidades (Schafer, 1994). Já na Europa Medieval, o transporte a cavalo com e sem carruagem não era permitido durante a noite em certas cidades, para assegurar o sono tranquilo dos seus habitantes (Berglund *et al.*, 1999).

O crescimento, assim como a própria viabilidade dos centros urbanos, é assegurado por uma rede de transportes que permitem a mobilidade de pessoas e de mercadorias, não obstante, coexistem no

mesmo espaço um grande número de atividades humanas que aproximam habitações de locais de lazer ou indústrias. No entanto, a situação vai-se agravando devido ao crescimento extensivo das cidades, muitas vezes associado a um mau planeamento, onde pontuam edifícios com fraca ou insuficiente insonorização no que se denominou por *poor construction* (Berglund *et al.*, 1999).

No fim dos anos 60 e início dos 70, Murray Schafer, conhecido como o “pai da ecologia acústica”, fundou o World Soundscape Project na Universidade Simon Fraser no Canadá. Deste modo, pretendia chamar a atenção para o ambiente sonoro, a poluição sonora e os seus efeitos nefastos na saúde humana. Defendeu ainda a existência de leis antirruído e a melhoria do ambiente sonoro urbano através da eliminação e redução do ruído (Bento, 2011).

Esta preocupação com este agente de risco foi evoluindo ao longo dos tempos e é, nos dias de hoje, um tema de contínuo debate, com a Comissão Europeia a ter um papel preponderante no combate à exposição excessiva a níveis de ruído nocivos à saúde humana (Freitas & Rodrigues, 2013).

1.6. A relação entre o ruído, a saúde e o ambiente

O som é responsável por estabelecer o contacto entre o Ser Humano e o ambiente, assegurando a sua sobrevivência e proteção contra sinais de perigo (Rylander, 2004) e consiste em variações de pressão atmosférica que o ouvido humano deteta no ar, água ou noutro meio de propagação (IA, 2004). A questão do conforto ambiental urbano compreende um conjunto de problemas cujas causas estão atreladas ao processo de desenvolvimento das cidades modernas e os reflexos sobre seus habitantes, sendo a poluição sonora um desses problemas (Ferreira *et al.*, 2011).

A poluição sonora é uma forma de agressão ambiental que é frequentemente negligenciada até níveis muito prejudiciais, reduzindo a nossa qualidade de vida e afetando os ecossistemas, sendo os decibéis em excesso considerados um inimigo invisível. Neste sentido é necessário promover a monitorização deste tipo de poluição (Vaz, 2009).

Sendo o ruído um som indesejado, que intervém de forma negativa nos seres humanos, pode-se afirmar que a saúde humana pode ser afetada pela interação entre fatores sociais e económicos, pré-disposições genéticas, ambiente físico envolvente e pelo próprio comportamento da pessoa. No que toca a ambiente físico, o ruído é o maior causador de *stress* no dia-a-dia, afetando a saúde da população (Brink, 2011).

O ruído ambiental (RA) tornou-se um dos principais fatores de degradação da qualidade de vida das comunidades, muito devido ao crescimento rápido e desordenado das cidades e ao aumento significativo da mobilidade das populações, o que levou à existência de um tipo de poluição que se

designa por poluição sonora. Este tipo de poluição não é observável visualmente, e as pessoas são obrigadas a “acostumaram-se” a ela por ser comum atualmente. No entanto, mais tarde podem sentir os seus efeitos na saúde, muitas vezes sem se aperceberem porquê, pelo que não deixa de ser tão problemática quanto os outros tipos de poluição (Victório, 2008).

Dados da primeira década do século XXI demonstram que 50 mil pessoas morrem, por ano, na União Europeia, devido a ataques cardíacos causados pelo excesso de ruído rodoviário e ferroviário e 200 mil passaram a sofrer anualmente de doenças do coração (EFTE, 2008). Este tipo de alerta já havia sido feito pela União Europeia admitindo que 20% da população da EU estão expostos a níveis de ruído inaceitáveis e que terão impactes na sua saúde a longo termo (EC, 1996).

Posteriormente, a Agência Europeia para o Ambiente sinaliza que, na Europa mais de 90000 casos de hipertensão são causados pelo RA anualmente (EEA, 2014). Adicionalmente, estima-se que o número de anos perdidos devido ao RA, ajustados por incapacidade, sejam cerca de 60000 para doenças cardíacas isquémicas, 45000 para deficiências cognitivas em crianças, 903000 para distúrbios de sono, 21000 para zumbidos e 587000 para incomodidade nos países da Europa Ocidental (WHO, 2011).

Assim sendo, a exposição à poluição sonora pode originar diversas consequências de intensidade variável sobre a saúde, que podem ir desde cansaço, nervosismo, distúrbios de sono e dores de cabeça a perda da capacidade auditiva temporária ou permanente (Silva *et al.*, 2010). No entanto, o ruído não afeta somente a saúde das populações humanas, mas também tem repercussões a nível da fauna e da flora, na medida em que pode causar um grave impacte na sobrevivência das plantas, afetando os métodos naturais de reprodução de vegetais (Ganhão, 2012). O autor refere que as aves e outros animais mudam o seu comportamento em resposta ao ruído, como o proveniente do trânsito e outras máquinas: afastam-se de seus habitats quando estes ficam próximos de áreas urbanas. Uma vez que muitos animais também polinizam plantas ou comem seus frutos e dispersam as suas sementes, este afastamento prejudicaria a distribuição do pólen entre flores, realizada pelas aves, e a germinação de sementes de espécies como os pinheiros, podendo conduzir à diminuição na população destas plantas.

Há ainda casos mais extremos em que a interação e a exposição prolongada a fontes de ruído podem alterar e provocar comportamentos anómalos em certas espécies, nomeadamente nos cetáceos. É conhecido que o efeito das atividades marítimas tem uma repercussão negativa nestas espécies, pois estas comunicam utilizando o eco do som, possuindo, para isso, ouvidos extremamente sensíveis e as suas limitações aos níveis do ruído são bastante baixas (Vieira, 2012). Os níveis elevados de ruído marítimo provocado por grandes embarcações ou explorações petrolíferas inviabilizam a comunicação, confundindo as espécies mencionadas. Desde a exploração de recursos marítimos a taxa de cetáceos

que deu à costa aumentou drasticamente, tendo já sido observados casos de sangramento nos ouvidos em alguns destes animais. A redução do ruído marítimo é, então, um fator de preocupação crescente e a sua redução é essencial à manutenção sadia destas espécies (Leitão, 2010).

1.6.1. Fontes de ruído ambiental

De acordo com o Regulamento Geral do Ruído (RGR), publicado no Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, define-se fonte de ruído como a ação, atividade permanente ou temporária, equipamento, estrutura ou infraestrutura que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se faça sentir o seu efeito. Desta forma, são diversas as situações que podem estar na origem da sensação de incomodidade devido ao ruído: circulação rodoviária e ferroviária, aeroportos, indústria, espaços de lazer. A exposição prolongada a estas situações contribuem para um aumento das doenças relacionadas com o ruído ambiente (IA, 2004).

O tráfego de veículos motorizados é apontado como uma das fontes sonoras mais poluentes, porém existem outras com impacte significativo. As principais atividades e equipamento produtores de ruído são a construção civil (martelo pneumático, máquina de cortar/dobrar ferro, cilindro compactador, fresadora, serra circular, retroescavadora, compressor, gerador), a indústria (laboração de linhas de produção, máquinas em funcionamento), as oficinas (torno mecânico, berbequim, gerador, compressor, rebarbadora) e as atividades de carga e descarga (carga, movimentação, transporte e descarga de cargas, contentores) (Freitas & Cordeiro, 2013). Por vezes, a intensidade do ruído atinge níveis preocupantes, afetando a saúde física e mental, com consequência mais ou menos graves, que podem ir desde o incómodo à afetação da audição (Silva *et al.*, 2005).

O ruído rodoviário faz com que uma em cada três pessoas esteja irritada durante o dia e uma em cada cinco tenha perturbações do sono durante a noite (Silva, 2012). Segundo a OMS, o ruído proveniente do tráfego rodoviário é a fonte sonora mais problemática. De acordo com a avaliação realizada em 2007 apurou-se a existência de cerca de 210 milhões de cidadãos da União Europeia que estão regularmente expostos a 55 dB(A) ou mais, proveniente do ruído rodoviário (IA, 2004). Os mecanismos de produção de ruído associados à interação pneu-pavimento referem-se às vibrações, resultantes do impacte dos pneus na superfície e da aderência, e ao deslocamento de ar que envolve o pneu. Estes são influenciados pelo comportamento dos condutores (através do controlo da velocidade e da pressão dos pneus), pelas características dos pneus (estrutura, dimensão, relevo, desgaste e idade), pelas características da superfície do pavimento e pelo clima (temperatura e vento) (Santos *et al.*, 2006). Mendes & Silva (2017) referem que, quanto maiores forem os esforços por parte das populações e dos municípios em reduzir os níveis de ruído proveniente do tráfego rodoviário,

esses esforços traduzem-se em melhorias mais significativas de qualidade de vida e de saúde das populações.

O ruído proveniente do tráfego ferroviário depende da velocidade do comboio, de questões como o tipo de motor, as carruagens e os carris. Poderá ainda ter diversas origens, tal como: vibração da carroçaria do comboio, ruído de tração (motor a diesel ou elétrico), ruído de rolamento originado pela interação roda-carril e o ruído aerodinâmico (Alarcão & Coelho, 2008). De modo a reduzir o ruído ferroviário podem ser adotadas várias medidas, como por exemplo a manutenção regular dos veículos ferroviários e dos carris, a obtenção de superfícies regulares nas rodas e nos carris e o controlo das irregularidades dos carris mediante um bom projeto e sua manutenção (CE, 2003; EC, 1996).

Uma outra fonte sonora problemática é o ruído proveniente do tráfego aéreo. Operações de aeronaves podem gerar ruído substancial nas imediações dos aeroportos comerciais e militares, sendo a descolagem o momento mais crítico, provocando ruído intenso e vibrações. Assim, ruído provocado pelo tráfego aéreo tem sido uma preocupação primordial das autoridades aeronáuticas, fabricantes de aeronaves, operadores aeroportuários, companhias aéreas e das comunidades residentes em redor (Ramos *et al.*, 2010). O ruído produzido por uma aeronave está diretamente relacionado com o modo como ele opera, isto é, varia consideravelmente consoante o procedimento de aterragem e descolagem. As operações em terra são outro aspeto determinante no ruído produzido pelos aeroportos (IA, 2002). Segundo Ramos *et al.* (2010), uma das medidas pode estar relacionada com a diminuição do número de descolagens ou com os tipos de materiais utilizados na fabricação deste meio de transporte.

As indústrias contribuem fortemente para a existência de elevados níveis de ruído nas cidades, sendo uma das principais atividades geradoras de poluição sonora. O ruído industrial é composto por variadas fontes de ruído. As ventoinhas, bombas, compressores, turbinas, motores, máquinas e equipamentos elétricos são um conjunto de objetos que existem na indústria e que geram ruído (APA, 2009).

As principais fontes de ruído a considerar no processo produtivo encontram-se diretamente ligadas às operações desenvolvidas (Matos *et al.*, 2011), ou seja, às fontes de ruído. Desta forma, podemos identificar três classes de fontes: ventoinhas, bombas, compressores, turbinas e motores; condutas, canalizações e respetivas válvulas de gases, líquidos e partículas sólidas; e variadas maquinarias que geralmente produzem ruído impulsivo (IA, 2002).

Por outro lado, também as atividades de lazer têm sido, cada vez mais, alvo de preocupação por parte dos profissionais de saúde, no que diz respeito à exposição ao ruído. A prática de desportos em ginásios, a frequência de bares e discotecas, concertos, caça, automobilismo, entre outros, podem

produzir níveis de pressão sonora muito elevada, particularmente para a vizinhança (Clark, 1991; Lacerda *et al.*, 2011; Serra *et al.*, 2007).

1.6.2. Efeitos do ruído ambiental

O ruído age sobre o organismo humano de várias maneiras, prejudicando não só o funcionamento do aparelho auditivo como comprometendo a atividade física, fisiológica e mental do indivíduo a ele exposto. Sabe-se que o ruído acima de determinados valores podem ser prejudiciais às populações humanas, ocasionando desconforto, problemas de concentração e resultando em alterações fisiológicas (FIEF, 2011).

O ruído pode ter efeitos de natureza diversa e intensidade variável sobre a saúde da população exposta. Estes efeitos podem ser classificados de acordo com o tipo de repercussão que originam nos organismos, como efeitos sobre o aparelho auditivo e efeitos não auditivos. Os efeitos sobre o aparelho auditivo manifestam-se pelo desgaste da capacidade auditiva, que pode ir de uma surdez temporária à definitiva (parcial ou total) (Carvalho & Rocha, 2008). Este efeito, a surdez, é provavelmente o mais conhecido e, quando a agressão não é demasiado intensa, a surdez corresponde apenas a uma perturbação funcional que é frequentemente reversível.

Para além dos efeitos auditivos e que são os mais evidentes, tratando-se de ruído, podemos encontrar outros efeitos, não auditivos, que se podem manifestar a diversas dimensões, nomeadamente, física e psicológica (Berglund & Lindvall, 1995). Nestas dimensões são muitos os efeitos que se podem manifestar no indivíduo exposto. Alguns estudos como Stansfeld & Matheson (2003), EEA (2010), Carvalho & Rocha (2008), Freitas & Cordeiro (2013) e Mendes & Silva (2017) enunciam alguns desses efeitos:

- Dores de cabeça;
- Distúrbios do sono;
- Alterações do sistema respiratório;
- Alterações do sistema cardiovascular;
- Alterações do sistema gastrointestinal;
- Aumento da tensão muscular;
- Irritabilidade e agressividade
- Aumento do estado de fadiga;
- Diminuição da capacidade de atenção, concentração, aprendizagem e memória;

- Vertigens;
- Incomodidade;
- Ansiedade;
- Depressão;
- *Stress*.

A relação entre o ruído ambiente e os efeitos na saúde humana pode ser descrita através de mecanismos fisiológicos. Em primeiro lugar, a exposição ao ruído ambiente pode levar a perturbações do sono e atividades diárias, ao aborrecimento e ao *stress* (Mendes & Silva, 2017). Este por sua vez pode desencadear a produção de hormonas (cortisol, adrenalina e noradrenalina), o que pode levar a uma variedade de efeitos intermediários, incluindo o aumento da tensão arterial. Ao longo de um período prolongado de exposição estes efeitos podem, por sua vez aumentar o risco de doenças cardiovasculares e distúrbios psiquiátricos. O grau de ruído leva à perturbação dos indivíduos, irritabilidade e *stress* dependendo em parte das características individuais (Ramos *et al.*, 2010). Os mecanismos de interação entre o ruído ambiente e os efeitos na saúde humana apresentam-se esquematizados na Figura 8.

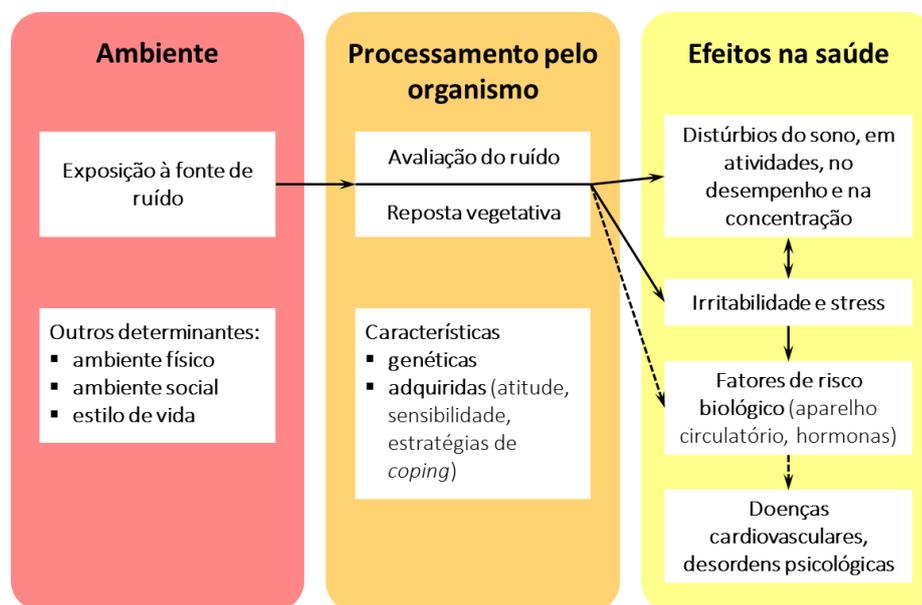


Figura 8: Mecanismos de interação entre o ruído ambiente e os efeitos na saúde humana
Fonte: Adaptado de Boer & Schrotten (2007)

Alguns estudos, que têm como alvo populações humanas, enfatizam a importância nos níveis de ruído durante o sono. O ser humano, mesmo estando a dormir, reage biologicamente aos ruídos ambientais. Os efeitos do ruído no sono ocorrem até com níveis baixos de ruído ambiente afetando o padrão de

sono. Uma exposição a níveis iguais ou superiores a 55 dB(A) aumenta a percentagem de despertar consciente (WHO, 2011).

A incomodidade sonora pode ser caracterizada ainda pela perda de faculdades de compreensão e comunicação, *stress*, aumento dos problemas psíquicos e pela redução da capacidade atencional e de desempenho (Carvalho & Rocha, 2008).

A Figura 9, relativa à pirâmide dos efeitos do ruído, ilustra a gravidade dos efeitos na saúde derivados da exposição ao ruído, assim como das pessoas afetadas. Como se pode verificar, uma grande parte de pessoas expostas a níveis de ruído são propensos a desenvolver sentimentos de desconforto. Alguma da população exposta pode também sofrer efeitos adversos mais graves, como reações de *stress*, alterações de sono e outros efeitos biológicos e biofísicos. Estes efeitos podem por sua vez aumentar o papel dos fatores de risco adicionais, tais como pressão arterial. Para uma parte relativamente pequena da população, a exposição a níveis de ruído elevados, pode causar outros sintomas clínicos, como insónias, doenças cardiovasculares e, em casos extremos, podem mesmo conduzir ao aumento da taxa de mortalidade (Babisch, 2002; Guarinoni *et al.*, 2012). No caso das patologias coronárias, onde se incluem acidentes vasculares cerebrais, a OMS demonstra uma associação com efeitos cardiovasculares que ocorrem após exposição a níveis de ruído com valores de $L_{Aeq,24}$ de 65-70 dB(A) (WHO, 2011).



Figura 9: Pirâmide dos efeitos do ruído
Fonte: Adaptado de Babisch (2002)

1.7. A particularidade dos infrassons e ruído de baixa frequência

A industrialização e a mobilização do esforço humano têm levado ao aumento da produção de ruído ao longo de todo o espectro acústico, levando a um problema global de redução de bem-estar humano devido ao ruído (WHO, 1980; Kihlman, 1993).

O IRBF é uma componente comum do ruído ocupacional e residencial, e que tem recebido pouca atenção. No entanto, o IRBF não tem características repartidas com ruídos de maior espectro. Este tipo de ruído, onde se englobam os infrassons, é considerada a superpotência das frequências por:

1. Ter menor atenuação por muros e outras estruturas de isolamento/dissipação;
2. Fazer vibrar paredes e objetos;
3. Ocultar frequências mais elevadas, mais do que é ocultado por elas;
4. Atravessar grandes distâncias com pouca perda de energia devido à atenuação atmosférica e do solo;
5. Menor eficácia dos dispositivos de proteção;
6. Ser capaz de produzir ressonância no corpo humano;
7. Provocar grandes reações subjetivas (em estudos laboratoriais e na comunidade);
8. Desencadear reações fisiológicas nos seres humanos diferentes comparativamente às médias e altas frequências (Berglund *et al.*, 1996).

Os sons que se encontram abaixo do limiar da audição (20 Hz) são referidos como infrassons. Apesar de, a estas frequências, o som ser audível, o intervalo entre a primeira percepção suave à dor é apenas 30-40 dB (Berglund & Lindvall, 1995; Rogers *et al.*, 2006). Isto deve-se ao facto de o ouvido humano ter uma gama dinâmica muito estreita nos infrassons. A percepção de som dos 2 Hz até aos 100 Hz é uma mistura de sensações táteis e auditivas (por exemplo, as frequências na ordem dos 10 Hz, podem causar desconforto através de uma vibração das cordas vocais) (Berglund & Lindvall, 1995). Møller & Pedersen (2011) referem que a capacidade auditiva não pára aos 20 Hz e que, caso os níveis sonoros sejam elevados, é possível ouvir até às frequências de 1 a 2 Hz. O som é percebido pelos ouvidos, mas a qualidade subjetiva difere do som a frequências mais elevadas. Abaixo dos 20 Hz, a sensação tonal desaparece, o som torna-se descontínuo em carácter, e ocorre uma sensação de pressão ao nível dos tímpanos. Os infrassons têm ainda a particularidade de se propagarem a distâncias maiores, ou seja, têm níveis mais baixos de dissipação do que frequências mais altas (Rogers *et al.*, 2006).

Para Rogers *et al.* (2006), as vibrações de pressão de baixa frequência são normalmente classificados como sons de baixa frequência, quando estes podem ser ouvidos perto do limiar inferior da percepção

humana (10-200 Hz). Os autores indicam algumas características da percepção humana ao nível dos infrassons e do som de baixa frequência:

- Infrassons e som de baixa frequência são percebidos como uma mistura de sensações auditivas e táteis;
- Frequências mais baixas devem ser de uma magnitude superior (dB) para ser entendida (exemplo: o limiar de audição em 10 Hz é de cerca de 100 dB) (Figura 10);
- Tonalidade não pode ser percebida abaixo de cerca de 18 Hz;
- Infrassons não podem parecer estar vindo de um local específico, devido aos grandes comprimentos de onda.

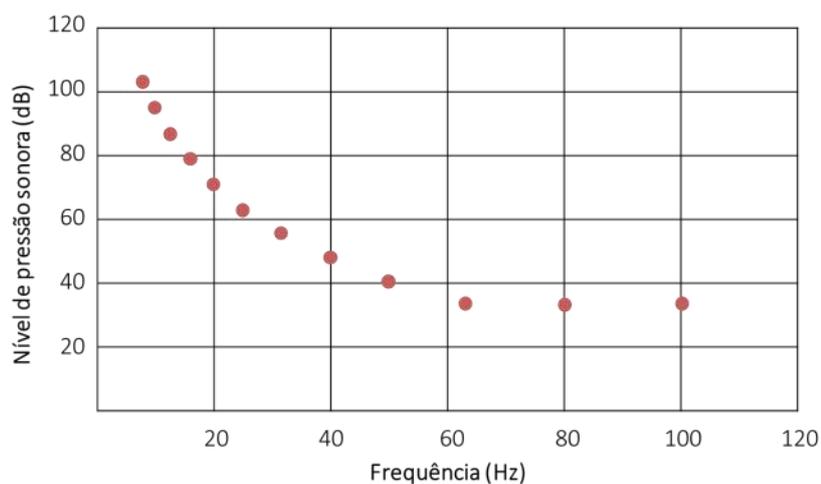


Figura 10: Limiar de percepção típica do ouvido humano para som de baixa frequência em função do nível de pressão sonora

Fonte: Adaptado de Rogers *et al.* (2006)

Os ruídos que possuem uma frequência menor ou igual a 500 Hz são denominados por ruídos de baixa frequência. Apesar do ouvido humano não ser capaz de escutar a maior parte do RBF abaixo os 500 Hz, o corpo reage às suas vibrações, responsáveis por um conjunto de distúrbios no organismo humano.

1.7.1. Fontes de infrassons e do ruído de baixa frequência

Pode-se afirmar que os IRBF estão sempre presente no ambiente. Este tipo de ruído pode ter origem em muitas fontes, incluindo a turbulência do ar ambiente, unidades de ventilação, ondas marítimas, explosões distantes, tráfego aéreo, ferroviário e rodoviário, PE, equipamentos laborais ou habitacionais (que produzam IRBF como por exemplo os equipamentos de refrigeração), restaurantes,

bares ou discotecas (que não tenham um bom isolamento acústico na proximidade de residências) (Bolin *et al.*, 2011; Pardal, 2013; Rogers *et al.*, 2006; Yamamoto *et al.*, 2013).

Um dos locais onde se pode observar a influência do IRBF é nas cabines dos helicópteros, onde, a longa permanência dos pilotos neste local pode levar a inúmeros riscos profissionais (Antunes, 2009). O autor refere que o ruído de baixa frequência é originado por estruturas mecânicas, mais concretamente pelo rotor e pelas pás da hélice, sendo que a assinatura acústica destas aeronaves, muito característica, depende do número e velocidade das pás do rotor, assim como das características do motor. Situação análoga ao verificado nas turbinas eólicas.

O ruído, originado pelas turbinas eólicas é muitas vezes considerado mais irritante que o ruído rodoviário. Ao contrário do tráfego rodoviário, que tende a ficar mais silencioso à noite, as turbinas eólicas podem produzir níveis de ruído mais elevados à noite. Para além disso, geram ruído em frequências mais baixas, que tendem a ser julgadas como mais irritantes do que as frequências mais altas (Seltenrich, 2014). Tendem ainda a ser mais propensas a viajar através de infraestruturas e meios como paredes e janelas (Møller & Pedersen, 2011; Seltenrich, 2014).

Apesar do avanço da tecnologia no sentido de tornar as turbinas eólicas cada vez mais silenciosas, estas ainda geram sons resultantes da sua mecânica e aerodinâmica (Rogers & Manwell, 2004; Salt & Hullar, 2010), assim como IRBF que pode afetar a qualidade de vida das populações vizinhas (van den Berg, 2004a). Neste caso, havendo pessoas a viver perto de turbinas eólicas, devem ser tomadas algumas medidas no sentido de garantir que o ruído das turbinas seja de uma intensidade razoável relativamente à envolvente (Stewart, 2006). Uma vez que há uma grande diferença no que diz respeito aos níveis de tolerância individual ao ruído, não há nenhuma forma completamente satisfatória para medir os seus efeitos subjetivos, assim como, as reações correspondentes de incomodidade (Filho & Azevedo, 2013).

As turbinas eólicas industriais emitem baixa frequência e ruído audível, no entanto, relativamente ao IRBF, de acordo os defensores das energias renováveis eólicas, se “não se ouve o ruído então não nos pode fazer mal”, o que corresponde a dizer, pela mesma lógica de ideias que, “se os raios-X não são visíveis, então não nos podem fazer mal”, o que se sabe, e está provado cientificamente, não é real (Campanella, 2001; von Gierke & Mohler, 2002).

van den Berg (2006) verificou que o ruído audível produzido pelas turbinas eólicas poderá ser caracterizado como um fenómeno de batimento, pulsado, especialmente em períodos noturnos. O autor refere que este facto se deve à diferença entre o ar fresco ao nível do solo e do fluxo constante de energia ao nível dos polos da turbina, o que correspondente a uma zona de atmosfera estável, em que há pouco movimento vertical do ar. No período noturno, o ruído percorre grandes distâncias,

sendo classificado como incomodativo para indivíduos que residem a cerca 2 km dos PE, em terreno com relevo regular, e a 2,5 km de distância em zonas de vale. As zonas montanhosas podem propiciar, ou não, as condições para que o som se propague a distâncias maiores (van den Berg, 2006).

As turbinas eólicas geram sons resultantes da sua mecânica e aerodinâmica. Segundo Rogers *et al.* (2006), estas estruturas localizam-se, na sua maioria, em áreas rurais ou remotas que possuem características sonoras típicas, podendo o ruído ser uma preocupação para a saúde pública, uma vez que muito do som emitido é aparentemente dissimulado pelo ruído ambiente, pelo ruído de fundo e pelos sons típicos resultantes do vento.

A Figura 11 reflete o potencial de impacte ambiental provocado pelo ruído produzido pelas turbinas eólicas (Hubbard & Shepherd, 1990). Note-se que toda a tecnologia acústica baseia-se nos seguintes elementos principais: fontes sonoras, meio de propagação, e recetores (Hubbard & Shepherd, 1990; Rogers *et al.*, 2006).

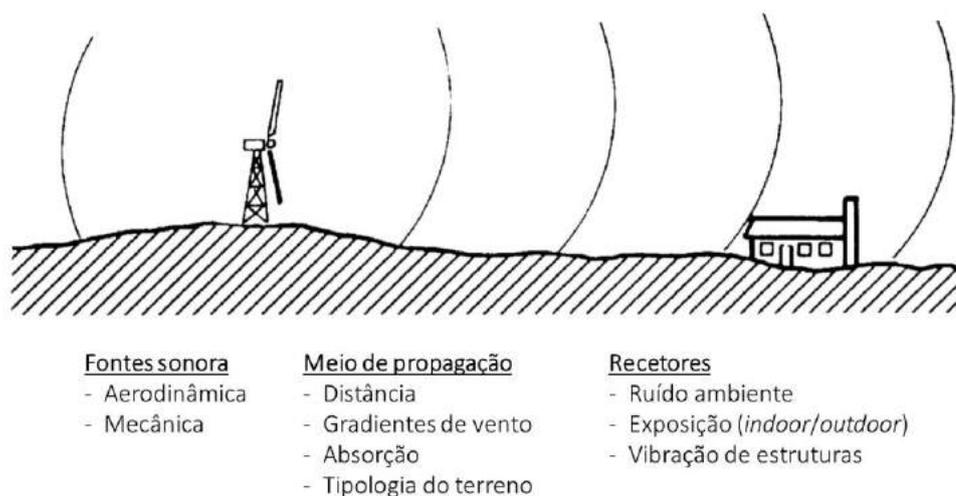


Figura 11: Fatores relevantes para o potencial impacte ambiental do ruído de turbinas eólicas
Fonte: Adaptado de Hubbard & Shepherd (1990)

Os dois principais tipos de ruído produzido por turbinas eólicas são o ruído mecânico e o ruído aerodinâmico. O primeiro resulta da interação dos componentes da turbina, sobretudo da caixa de velocidades, mas também do gerador, sistema de direção, ventoinhas de arrefecimento e do equipamento auxiliar (Pedersen & Halmstad, 2003; Rogers *et al.*, 2006). Este ruído consegue ser praticamente eliminado através de materiais de isolamento (Filho & Azevedo, 2013).

O ruído aerodinâmico é principalmente originado a partir do fluxo de ar em torno das lâminas, sendo este em função da velocidade do ar gerando um som sibilante, ou seja, quanto maior a velocidade do

ar, maior a intensidade de ruído produzido (Filho & Azevedo, 2013; Pedersen & Halmstad, 2003). Este ruído é o que está diretamente ligada à produção de energia e, portanto, inevitável (Pedersen & Halmstad, 2003).

Segundo Rogers *et al.* (2006) e Pardal (2013) o som produzido pelas turbinas eólicas pode ser classificado em tonal, banda larga, baixa frequência e impulsivo:

- Som tonal – Som com frequências discretas, causado por componentes mecânicos como as engrenagens, instabilidades aerodinâmicas que interagem com o rotor à superfície da lâmina, ou fluxos instáveis ao longo de buracos, fendas ou de uma ponta chanfrada;
- Som de banda larga – Caracterizado por uma distribuição contínua de pressão sonora com frequências superiores a 100 Hz, que resulta geralmente da interação das pás com a turbulência atmosférica;
- Som de baixa frequência – Representado por frequências na gama dos 20 Hz a 100 Hz, geralmente com rotores – *downwind*, resultante do conflito da pá da turbina e fluxos anormais resultantes associado da corrente em torno da torre;
- Som impulsivo – Caracterizado por impulsos acústicos curtos ou sons de batimento que variam em amplitude com o tempo, originado pela interação das pás com fluxo de ar perturbado em torno da torre e do rotor *downwind*.

1.7.2. Efeitos dos infrassons e do ruído de baixa frequência

A exposição a IRBF é omnipresente na vida moderna. Este ruído pode ser gerado por fontes naturais, como terremotos e vento, mas também de forma antropogénica através de muitas fontes artificiais, como por exemplo, automóveis, tráfego ferroviário, aviões, máquinas industriais, explosões resultantes da atividade mineira, máquinas de movimentação de ar (incluindo as turbinas eólicas), compressores e unidades de ventilação ou de ar condicionado, aparelhos domésticos (como máquinas de lavar e alguns dispositivos terapêuticos) (Leventhall *et al.*, 2003). Berglund *et al.* (1996) e Leventhall *et al.* (2003) referem que os efeitos dos IRBF são uma preocupação especial devido à sua capacidade de penetração, ao número de fontes, à elevada eficiência de propagação e reduzida eficiência das estruturas (casas, paredes, muros, etc) na atenuação de IRBF em comparação com outros ruídos com gamas de frequência mais elevadas.

A falta de atenuação dos IRBF, por estruturas e a sua característica difusa, fazem deste tipo de ruído um fator de importância crítica para a saúde (Berglund *et al.*, 1996; Møller & Pedersen, 2011). Para que possa ser considerado um problema de saúde pública, é importante e necessário reconhecer que os fenómenos acústicos afetam mais do que apenas o aparelho auditivo (Alves-Pereira & Branco,

2007a). Segundo estes autores ao considerar-se que os fenómenos acústicos apenas afetam a saúde pública através do sistema auditivo, tanto os fenómenos acústicos não audíveis como as patologias não auditivas (não induzida exclusivamente através do aparelho auditivo) são consideradas irrelevantes.

Salt & Hullar (2010) referem alguns pontos de elevada importância do ponto de vista das consequências do ruído de baixa frequência, incluindo os infrassons:

1. A percepção auditiva, mediada pelas células ciliadas internas da cóclea, é insensível aos infrassons;
2. Outras células ou estruturas sensoriais do ouvido interno, como as células ciliadas externas, são mais sensíveis ao infrassons do que as células ciliadas internas e podem ser estimuladas por sons de baixa frequência a níveis abaixo daqueles que são perceptíveis. Este facto revela que os infrassons podem influenciar a fisiologia do ouvido interno;
3. Sob algumas condições clínicas, como doença de Ménière, deiscência do canal superior, ou mesmo casos assintomáticos de hidropisia endolinfática, os indivíduos podem ser hipersensíveis ao infrassons;
4. Sons de baixa frequência são processados no ouvido, causando mais irritabilidade (comparando com outros tipos de ruído com níveis de intensidade semelhante) e afetando a qualidade de vida em indivíduos sensíveis.

Pessoas que vivam nas proximidades de fontes de IRBF podem apresentar sintomas graves como perturbações do sono, dores de cabeça, zumbidos, tonturas e falta de equilíbrio (como resultado de alterações ao nível vestibular), náuseas, vômitos, ataques de pânico, palpitações, fadiga e dificuldades de concentração (Bengtsson *et al.*, 2004; Bolin *et al.*, 2011; Leventhall *et al.*, 2003; Pierpont, 2009). Leventhall *et al.* (2003) refere ainda sensações de intolerabilidade e incapacidade ao ruído, desorientação, espasmos intestinais e ressonâncias em órgãos internos (tais como o abdómen e no coração). Para Roberts & Roberts (2009) e Seltenrich (2014) os infrassons (inaudíveis ao ouvido humano), têm sido associados a, para além da fadiga e insónias já identificados por outros autores, sintomas como irritabilidade.

Estes sintomas podem ser causados pela exposição a IRBF e vibrações e que afetam o sistema de equilíbrio humano (Leventhall *et al.*, 2003; Pierpont, 2009). A intensidades mais elevadas, pode ser perceptível uma sensação de fadiga, apatia e depressão, dor auditiva, perda de concentração e vibração de órgãos internos (Leventhall *et al.*, 2003).

Tal como anteriormente foi mencionado, também se verifica uma correlação entre a exposição a este tipo de ruído e algumas patologias, nomeadamente problemas cardiovasculares (Babisch *et al.*, 2009;

WHO, 2011). Verifica-se que há alterações de pressão arterial com vasoconstrição ou vasodilatação, podendo a frequência cardíaca dar origem a alterações ao nível do sistema circulatório. Por esta razão, deve ser dada particular atenção e preocupação relativamente à saúde das pessoas que se encontram expostas ao ruído com um espetro de frequências mais baixo e com intensidades elevadas (Berglund *et al.*, 1996; Parrot, Petiot, Lobreau, & Smolik, 1992).

Podem ser verificados também outros efeitos fisiológicos, não auditivos, como alterações endócrinas ao nível das catecolaminas (hormonas libertadas na corrente sanguínea em resposta a um *stress* físico ou emocional) e cortisol em resposta ao ruído (Berglund *et al.*, 1996). Para Bly *et al.* (1993) e Leventhall *et al.* (2003) estas alterações hormonais, quando prolongadas, podem produzir efeitos significativos relacionados com a saúde, nomeadamente uma diminuiu a imunidade, aumento da frequência cardíaca e da pressão arterial e arritmias cardíacas. Leventhall *et al.* (2003) e Berglund *et al.*, (1996) referem ainda efeitos a nível respiratório, que podem ser suspensos (dando origem a apneias) e/ou reduzidos (dando origem a engasgamentos e tosse). A exposição prolongada aos sons audíveis de baixa frequência pode também causar *stress* fisiológico, tal como indicado por um aumento dos níveis de cortisol salivar (Bengtsson *et al.*, 2004; Berglund *et al.*, 1996).

Relativamente às consequências fisiológicas adversas para as populações residentes nas proximidades de PE, estas podem ser classificadas em duas categorias tendo em conta os fenómenos associados ao ruído das turbinas. Pierpont (2009) refere a “Síndrome da Turbina Eólica” (STE), que se caracteriza pelos diversos sintomas relacionados com os órgãos do sistema vestibular, que se manifestam sob a forma de perturbação do sono, dores de cabeça, zumbidos, sensação de tremor ou vibração, nervosismo, arritmia cardíaca, náuseas, dificuldade de concentração e de memória e irritabilidade. A STE é provocada pelo ruído emitido pelas turbinas eólicas na gama das baixas frequências (entre os 20 Hz e os 500 Hz) (Pierpont, 2009).

A outra categoria retrata uma patologia desenvolvida em consequência de exposição excessiva e prolongada aos IRBF e designada de “Doença Vibroacústica” (DVA) (Alves-Pereira & Branco, 2007b; Branco, 1999b; Branco & Rodriguez, 1999) Esta patologia pode ser definida como uma patologia sistémica que envolve todo o organismo, originada por exposições crónica ao IRBF, caracterizada pela proliferação anormal da matriz extracelular na ausência do processo inflamatório. O mecanismo fisiopatológico prende-se com o crescimento do colagénio, elastina e biopolímeros que constituem o citoesqueleto, tanto nos seres humanos como nos animais (Branco *et al.*, 2007).

Esta doença está relacionada com a vibração das estruturas sólidas. Quando estas vibram, a sua integridade estrutural pode ser ameaçada. O reforço estrutural é, frequentemente, a contramedida aplicada em estruturas que necessitam de permanecer em ambientes vibratórios. Quando o IRBF,

propagado pelo ar, choca com o tecido biológico (viscoelástico), é desencadeado um movimento vibratório das camadas de células. Como resposta não inflamatória do organismo dá-se a produção de colagénio. O colagénio é uma proteína que fornece rigidez mecânica ao tecido, sendo que, o aumento de produção de colagénio na presença de IRBF pode ser interpretado como uma tentativa de reforço da integridade estrutural por parte das estruturas biológicas (Alves-Pereira & Branco, 2007a).

Este tipo de ruído é, por vezes, confundido também com vibrações. Deve-se essencialmente ao facto de os órgãos internos vibrarem a uma determinada gama de frequência, geralmente baixa (frequência de ressonância). Estas vibrações induzidas ao corpo humano, em especial aos órgãos internos podem levar a alguns distúrbios fisiológicos consoante a sensibilidade individual (Rasmussen, 1983) tal como se pode ver na Tabela 2.

Tabela 2: Sintomas percebidos de acordo com a gama de de frequência
Fonte: Adaptado de Rasmussen (1983)

Sintomas	Gama de frequência
Perturbações de ritmo respiratório	4hz – 8Hz
Sensação de desconforto	4Hz – 9Hz
Dores abdominais	4 Hz – 10Hz
Dores no peito	5Hz – 7Hz
Vontade de urinar	10Hz – 18Hz
Dificuldade na deglutição	12Hz – 16Hz
Dores de cabeça	13Hz – 20Hz
Influências na fala	13Hz – 20Hz

A pré-disposição para o desenvolvimento da patologia varia de indivíduo para indivíduo, assim como, de profissão para profissão. No entanto, as pessoas mais suscetíveis são as que, no decorrer das suas atividade profissionais se encontram expostas a IRBF, pelo número continuado de horas que são sujeitos a este ruído (Branco & Alves-Pereira, 2006). A Tabela 3 mostra os 3 estádios clínicos da DVA para técnicos de aeronáutica (Alves-Pereira & Branco, 2007b; Branco, 1999b). Nos estudos em causa, quando o ambiente acústico, rico em IRBF, se encontra apenas na residência, ou se existe exposição ocupacional acrescida de outras fontes de IRBF (residência, de lazer, segundo emprego, ou *in utero*), o aparecimento destes sinais e sintomas é significativamente acelerado.

Tabela 3: Estádios da doença vibroacústica
Fonte: Adaptado de Alves-Pereira & Branco (2007) e Branco (1999)

Estádio clínico	Tempo *	Sinal / Sintoma
Estádio I - Suave	1 a 4 anos	Ligeiras alterações de humor; indigestão e pirose; infeções da orofaringe; bronquite
Estádio II – Moderado	4 a 10 anos	Dor no peito; alterações de humor bem definidas; dores lombares; fadiga; infeções da pele por fungos, vírus e parasitas; inflamação da superfície gástrica; dor a urinar e sangue na urina; conjuntivites; alergias
Estádio III – Severo	> 10 anos	Distúrbios psiquiátricos; hemorragias da conjuntiva e dos epitélios nasal e digestivo; varizes e hemorroidas; úlceras duodenais; cólon espático; decréscimo na acuidade visual; cefaleias; dores articulares e musculares intensas; alterações neurológicas

* O tempo de exposição (anos) refere-se ao tempo necessário para que 50% da população do estudo desenvolvessem o sinal ou sintoma correspondente.

1.8. Ordenamento do território e a sua importância

O OT, ao contrário do urbanismo que já existe antes da antiguidade clássica é uma disciplina bastante recente (Papudo *et al.*, 2007). A génese da expressão “ordenamento do território” remonta a meados do século XX, no seio da política francesa do pós-guerra. A expressão “ordenamento do território” surge, pela primeira vez, em 1944, para descrever um serviço responsável por diversos estudos sobre o descongestionamento dos centros industriais, tornando-se mais tarde num objetivo do Estado (Gravier, 1964). A conceptualização deste conceito resulta de um processo de amadurecimento de cerca de 50 anos (Papudo *et al.*, 2007).

De um modo geral, o OT é determinado pelas atividades humanas (Ullah & Mansourian, 2016). Orea & Vilarino (2013) definem OT através de três elementos: atividades humanas, território onde elas se inserem e o sistema que ambos integram. O território corresponde à superfície da terra, natural e alterada pelo Ser Humano, onde as atividades deste são desenvolvidas. A utilização do território está relacionada com as atividades humanas propriamente ditas (Burley, 1961). Ambos os elementos são importantes para o OT, porque, por um lado, as ações humanas são limitadas pelas configurações do solo e, por outro lado, as atividades humanas alteram a cobertura do território (Wang & vom Hofe, 2007).

Na era moderna, as atividades humanas estão a multiplicar-se rapidamente. Estas atividades contribuem para a rápida urbanização, com impactes ambientais adversos caso o desenvolvimento não seja gerido de forma sustentável. Aqui, o OT pode desempenhar um papel de extrema importância, quer para o desenvolvimento sustentável (Cao *et al.*, 2012), quer para o desenvolvimento urbano sustentável (Shen *et al.*, 2011). A crescente urbanização exige uma expansão das áreas urbanas e, ao mesmo tempo, uma alteração da utilização das áreas urbanas já existentes o

que, em alguns casos corresponde a um cenário de conflito e tensão com consequências diversas onde se inclui a saúde pública (Ullah & Mansourian, 2016). Sousa (1993) aborda esta questão demonstrando os impactos gerados sobre a saúde humana por via de uma desqualificação de variáveis importantes nas práticas planeamento, como a relação entre o binómio clima-poliuição atmosférica:

“[É] necessário cuidar da estrutura física da cidade, ao nível do planeamento, dos transportes urbanos e da proteção e valorização das áreas naturais e do património histórico, e em simultâneo desenvolver uma política que reduza os impactos das atividades urbanas sobre o ambiente.

O reconhecimento desta grande dependência entre os novos padrões de desenvolvimento económico e a qualidade das diversas componentes ambientais, faz com que, até do ponto de vista económico, se torne urgente reverter, absolutamente, os inúmeros impactos ambientais detetados na região do Porto.” (Sousa, 1993).

Com a publicação da Carta Europeia de Ordenamento do Território (CEOT), foi incluído um princípio para a resolução de problemas relacionados com a harmonização e coordenação das várias atividades existentes num determinado território (CE, 1983; Oliveira, 2002). Orea & Vilarino (2013) referem ainda que o OT deverá ter uma função pública, pois só assim é possível controlar o crescimento espontâneo das atividades humanas, evitando problemas e constrangimentos futuros, assim como, promovendo e garantindo uma justiça sócio-espacial.

A CEOT descreve os principais elementos que o OT deverá reconhecer na sua forma de desenvolver e, integra ainda, um sentimento de consciência relativamente à existência de diferentes níveis e poderes de decisão (independentemente de estes serem individuais e institucionais), os quais têm uma influência direta na organização territorial, nos estudos prospetivos previstos para a sua planificação, no próprio mercado em si, nos diferentes sistemas administrativos e nas condições sócio-económicas e ambientais. Deste modo, a CEOT destaca como principal objetivo, a conciliação de todo este universo de fatores, como forma de promover um relacionamento harmonioso entre eles (CE, 1983).

A Carta Europeia do Ordenamento do Território (CEOT) estabeleceu também como objetivos fundamentais para o OT europeu, os seguintes (CE, 1983): desenvolvimento socioeconómico equilibrado das regiões; melhoria da qualidade de vida; gestão responsável dos recursos naturais e a proteção do ambiente; e utilização racional do território. De forma a implementar estes objetivos, é importante a coordenação entre os diferentes setores, a coordenação e cooperação entre os diversos níveis de decisão e obtenção de recursos financeiros, assim como, a participação das populações.

Em Portugal, o conceito de OT surge no ano de 1987, na Lei n.º 11/87, de 7 de Abril, onde foi publicada a Lei de Bases do Ambiente. Aqui, OT é descrito como “processo integrado da organização do espaço biofísico, tendo como objetivo o uso e a transformação do território, de acordo com as suas capacidades e vocações, e a permanência dos valores de equilíbrio biológico e de estabilidade geológica, numa perspetiva de aumento da sua capacidade de suporte de vida”. Entretanto, a legislação foi alterando dando origem à Lei n.º 31/2014, de 30 de Maio, que publicou a Lei de Bases da Política Pública de Solos, de Ordenamento do Território e de Urbanismo (LBPPSOT) que tem como princípios gerais: sustentabilidade e solidariedade intergeracional; responsabilidade; economia e eficiência; coordenação e compatibilização das diversas políticas públicas com incidência territorial com as políticas de desenvolvimento económico e social; subsidiariedade; equidade; participação dos cidadãos; concertação e contratualização entre interesses públicos e privados; e a segurança jurídica e proteção da confiança.

A Figura 12 estabelece uma análise comparativa entre estes dois documentos (CEOT e LBPPSOT), no que concerne aos princípios de OT.



Figura 12: Princípios de ordenamento do território
Fonte: Adaptado de CE (1983) e AR (2014)

1.8.1. O ordenamento do território como medida de minimização do impacto do ruído

O OT é uma política pública de prevenção de ruído por excelência numa perspetiva de sustentabilidade (Silva *et al.*, 2013). Só uma adequada localização de fontes sonoras e recetores sensíveis ao ruído possibilita uma harmonia na utilização dos espaços evitando conflitos no uso do solo (Braga & Morgado, 2007).

O ruído é regulamentado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que aprovou o RGR. Esta legislação determina que, na execução da política de OT, seja assegurada a qualidade do ambiente sonoro, na habitação, trabalho e lazer sendo que a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora visam salvaguardar a saúde humana e o bem-estar das populações.

Na referida legislação, são definidas zonas mistas e zonas sensíveis em função do Plano Municipal de Ordenamento do Território (PMOT). Desta forma, zona sensível pode ser definida como uma área vocacionada para uso habitacional, escolas, hospitais ou similares, 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. Já as zonas mistas são área cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível (Decreto-Lei n.º 9/2007).

Fonte de ruído, segundo o RGR, é definido como uma ação, atividade permanente ou temporária, equipamento, estrutura ou infraestrutura que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se faça sentir o seu efeito. Minimizar os impactos do ruído para proteger recetores sensíveis que coexistem com as fontes de ruído tem sido um desafio que nem sempre é bem conseguido pelas tradicionais políticas de redução de ruído ambiente (Braga & Morgado, 2007).

A interação entre instrumentos de gestão territorial e o ruído são fundamentais para a saúde e bem-estar das populações, e encontram-se fundamentalmente expressas nos Planos Diretores Municipais (PDM). Esta interação é representada por Instrumentos de Gestão do Ruído, nomeadamente a Carta de Classificação de Zonas (CCZ), o Mapa de Ruído, Planos Municipais de Redução de Ruído (PMRR) e Regulamento Municipal de Ruído Ambiente (RMRA) (Carvalho & Rocha, 2008).

Os instrumentos de gestão territorial condicionam a ocupação e o OT e servem de orientação para os objetivos estratégicos dos municípios. A delimitação das zonas sensíveis e mistas terá de ser prevista na elaboração dos PMOT que devem assim assegurar a qualidade do ambiente sonoro, promovendo a distribuição adequada dos usos do território, tendo em consideração as fontes de ruído existentes e previstas (Carvalho & Rocha, 2008; Decreto-Lei n.º 9/2007).

No âmbito do controlo do ruído ambiente, o objetivo é evitar a coexistência de usos conflituosos do solo e proceder à prevenção do ruído, entendendo-se que as componentes do território potencialmente ruidosas devem localizar-se de forma a evitar conflitos com áreas envolventes sensíveis e mistas (IA, 2004). O planeamento dos lugares como um todo deve ter em consideração a densidade das habitações a construir e deve depender da exposição ao ruído, da separação espacial e das atividades compatíveis com o ruído que poderão funcionar como barreiras (Silva, 2012).

O método de controlo de ruído que mais se utiliza, relativamente a todas as infraestruturas que produzem elevados níveis de ruído, é o aumento da distância entre as fontes sonoras e a área a proteger (Belo, 2013). No entanto há outras formas de diminuir os níveis de ruído, nomeadamente através da redução na fonte, limitação na propagação e através de implementação de medidas de proteção no recetor (IA, 2002).

Neste contexto, e de modo a localizar em contexto urbano as fontes de ruído e o modo como afetam os habitantes, Guedes & Leite (2011) elaboraram um conjunto de diretrizes orientadoras para a produção de mapas de ruído (publicado pela Agência Portuguesa do Ambiente) atualizando a informação já existente de 2001 (da Direção-Geral do Ambiente e Direção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano), e que devem funcionar como ferramentas de apoio à decisão em planeamento e OT:

“O mapa de ruído constitui, essencialmente, uma ferramenta de apoio à decisão sobre planeamento e ordenamento do território que permite visualizar condicionantes dos espaços por requisitos de qualidade do ambiente acústico devendo, portanto, ser adoptado na preparação dos instrumentos de ordenamento do território e na sua aplicação.

Neste contexto o mapa de ruído deverá fornecer informação para atingir os seguintes objetivos:

- preservar zonas sensíveis e mistas com níveis sonoros regulamentares;*
- corrigir zonas sensíveis e mistas com níveis sonoros não regulamentares;*
- criar novas zonas sensíveis e mistas com níveis sonoros compatíveis.”* (Guedes & Leite, 2011).

Assim, no âmbito do controlo do ruído ambiente, objetiva-se evitar a coexistência de usos conflituosos do solo e proceder à prevenção do ruído, entendendo-se que sempre que a escala adoptada o permitir e a conceção da organização urbana seja estabelecida, as zonas destinadas a escolas, hospitais e espaços de lazer, assim como as vocacionadas para uso habitacional propostas ao nível da planta de ordenamento devem traduzir critérios de localização que satisfaçam, entre outros aspetos, o respeito pelos níveis acústicos estipulados para as zonas sensíveis (Guedes & Leite, 2011).

Para além da implementação deste tipo de instrumento de gestão, a redução na fonte é o método mais apropriado de mitigação de ruído, através de melhorias tecnológicas ao nível das fontes geradoras (ex.: ventoinhas, bombas, compressores, turbinas e motores). Por outro lado, é sempre necessário considerar o número de fontes e o ambiente onde estas operam. Algumas das possíveis medidas de controlo de ruído na fonte são: silenciadores, atenuadores ou abafadores de máquinas e condutas; barreiras; melhoria da insonorização da infraestrutura; utilização de soluções menos ruidosas (Freitas & Rodrigues, 2013; IA, 2002; Kotzen & English, 2009).

Um método eficaz e pouco dispendioso de controlo do ruído, ao nível da propagação, é a utilização de barreiras acústicas. As barreiras acústicas deverão ser suficientemente altas e extensas, permitindo uma cobertura entre a fonte e os recetores. Através da utilização de barreiras acústicas, é possível uma redução acentuada dos níveis sonoros (IA, 2002). As barreiras têm no entanto efeitos adversos tais como a degradação visual da paisagem (Belo, 2013), no entanto, em alguns casos recorre-se à vegetação como barreira ao ruído, sendo de referir que este método é pouco eficaz (IA, 2004). A arborização é também uma barreira aos elevados níveis de ruído (Siebert, 2008).

Na prática, em muitas situações, o controlo de ruído na fonte e a limitação da sua propagação não são métodos suficientes de controlo. Assim, terá de se atuar ao nível do recetor. A melhoria do *design* e o reforço do isolamento acústico das habitações são medidas de proteção do recetor. No entanto, esta medida poderá ser eficaz numa fase de planeamento de uma nova habitação, tendo em consideração a forma, a orientação, a localização do edifício bem como o arranjo dos espaços interiores (IA, 2004).

O *design* do edifício pode ser feito tanto ao nível da distribuição das divisórias dentro do mesmo, bem como a sua localização face à fonte de ruído. Consoante o tipo de divisórias dentro de uma habitação, as pessoas apresentam diferente sensibilidade ao ruído. O isolamento acústico de novos edifícios faz parte de todo o processo construtivo. As melhorias nos isolamentos de edifícios existentes são geralmente muito dispendiosas, onde geralmente é impossível evitar que salas de estar e quartos estejam expostos a ruído. As portas e as janelas, são os elementos críticos numa habitação por onde existe maior propagação de som (geralmente, a qualidade destes componentes traduzem o grau de insonorização de todo o edifício) (IA, 2004).

O modo de assegurar a separação espacial entre as fontes sonoras e as áreas a proteger, tal como referido anteriormente, é uma imposição da política de OT. Este método funcionará eficazmente se todos os setores se combinarem de modo a estabelecer um plano agregado de desenvolvimento, ou seja, estabelecer diferentes usos do solo que serão aceitáveis em relação ao nível sonoro existente no local (IA, 2002).

A prevenção e o controlo do ruído interferem nas políticas de desenvolvimento económico, social e ambiental e no OT. Torna-se assim evidente a necessidade de definir a política de controlo de ruído a par das restantes, para que dessa forma sejam tomadas em devida consideração as implicações resultantes da sua coexistência (Carvalho & Rocha, 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente capítulo pretende explicar a metodologia adotada neste estudo. Para o efeito, e para ser mais fácil compreender os materiais e métodos utilizados, a mesma encontra-se dividida em quatro etapas.

A primeira etapa consiste na identificação dos parques eólicos em Portugal continental e do distrito onde foi realizado o estudo. A segunda etapa compreende a definição dos pontos onde foram efetuadas as medições. A etapa seguinte apresenta a metodologia adoptada para a recolha de dados, nomeadamente ao nível das medições de ruído, com uma explicação dos procedimentos práticos adoptados e quais os tipos de ruídos que foram trabalhados. Nesta terceira etapa foram ainda recolhidos dados climatológicos relevantes para a análise dos dados recolhidos. Por fim, a última etapa consiste no tratamento dos dados colhidos.

2.1. Identificação dos parques eólicos em estudo

A primeira etapa consistiu na identificação dos casos de estudo, ou seja, dos parques eólicos (PE) a avaliar. Os PE encontram-se espalhados por todo o país, concentrando-se essencialmente em zonas montanhosas ou altitudes elevadas, de forma a permitir a ação do vento (Figura 13). Face à grande quantidade de PE existentes em Portugal (N=235), verificou-se a necessidade de seleccionar os casos de estudo. Para tal, e por uma questão de conveniência seleccionou-se o distrito de Leiria (N=13).

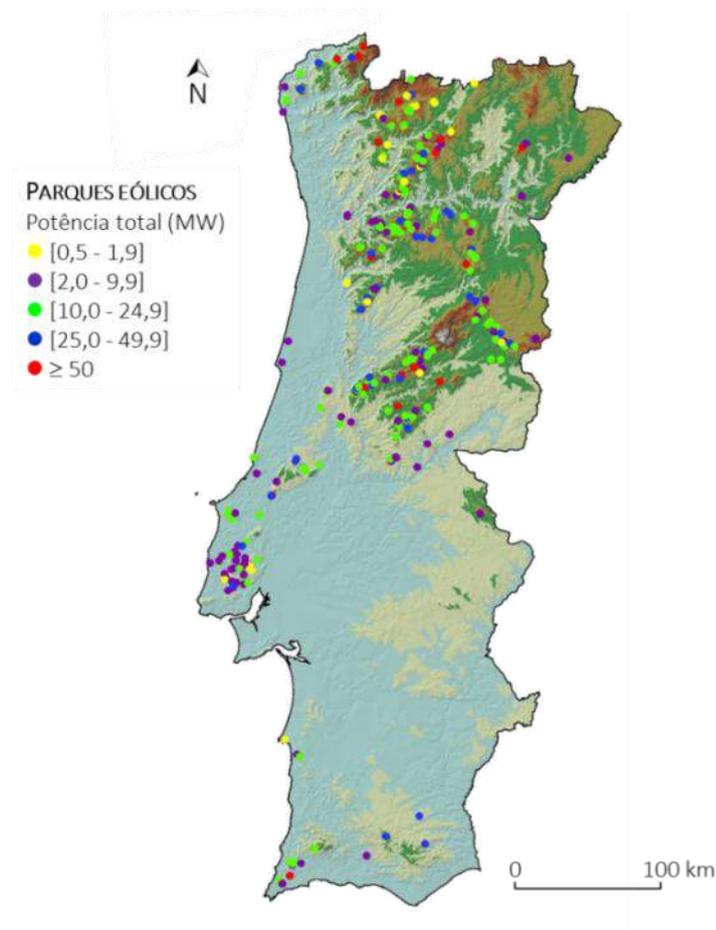


Figura 13: Localização dos PE no final de 2017, face à potência total instalada
Fonte: (e2p, 2018)

A Tabela 4 descreve os PE localizados no distrito de Leiria, sendo que alguns são exclusivamente do distrito e outros partilhados geograficamente com o distrito que faz fronteira, nomeadamente os distritos de Coimbra, Santarém e Lisboa.

Tendo em consideração a informação inscrita na Tabela 4, foram seleccionados os PE exclusivamente localizados no distrito de Leiria. Destes, foram seleccionados um PE de cada classe de potência total.

Foram seleccionados os PE de Cela (por só ter uma turbina eólica), Chão Falcão I e II (por ser o único com uma potência total ≥ 50 MW) e Marvila (por uma questão de proximidade e conhecimento do lugar). Desta forma, a amostragem foi probabilística quanto ao tipo e por conveniência quanto à técnica.

Tabela 4: Parques eólicos do distrito de Leiria e respetiva potência total e número de máquinas
Fonte: Adaptado de e2p (2018)

Parque eólico	Distrito	Potência total [MW]	Número de máquinas
Alvaiázere	Leiria	● 18	9
Caldas	Leiria	● 10	5
Cela	Leiria	● 2	1
Chão Falcão	Leiria	● 90,5	40
Chão Falcão I	Leiria	34,5	15
Chão Falcão II (1ª ampliação)	Leiria	25,3	11
Chão Falcão III (2ª ampliação + sobreequipamento)	Leiria / Santarém	30,7	14
Coentral - Safra	Leiria / Coimbra	● 41,8	25
Marvila	Leiria	● 12	6
Ortiga	Leiria	● 13,4	8
Pó	Leiria / Lisboa	● 9,1	7
Portela do Pereiro	Leiria	● 7,2	4
Senhora da Vitória	Leiria	● 12	8
Serra d'el Rei	Leiria	● 21,7	13
Serra dos Candeeiros	Leiria / Santarém	● 121	42
Serra dos Candeeiros	Leiria / Santarém	111	37
Serra dos Candeeiros (sobreequipamento)	Leiria / Santarém	10	5
Sicó	Leiria	● 20	10
Videira	Leiria	● 6	3

Legenda:

Potência total dos parques eólicos (MW): ● [2,0 - 9,9]; ● [10,0 - 24,9]; ● ≥ 50

Para definição dos pontos de medição, foram delineados polígonos nos PE de Marvila e Chão Falcão (Figura 14). Estes polígonos foram determinados de forma a que as turbinas eólicas se situassem todas dentro do mesmo e com o objetivo de identificar o ponto central que serviu para definir os pontos de medição. O PE de Cela não apresenta um polígono, uma vez que apenas possui uma turbina eólica.

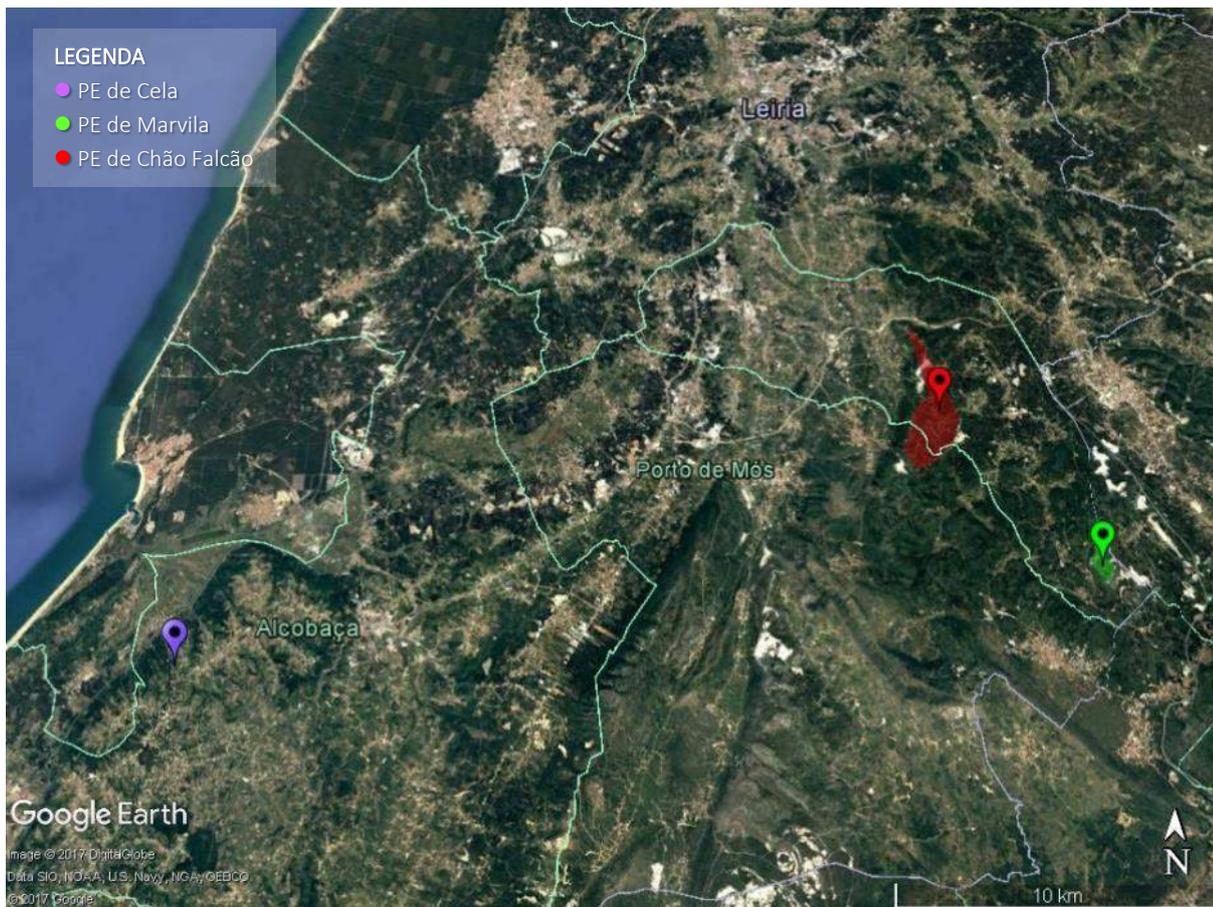


Figura 14: Localização dos PE em estudo
Fonte: *Google Earth Pro*, versão 7.1.8.3036

2.2. Definição dos pontos de medição

Para a segunda etapa, foram solicitados ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) dados históricos relativos às estações meteorológicas (EM) mais próximas dos PE. A EM mais próxima dos PE de Cela e de Marvila é a EM de Alcobaça situando-se a 7 km e a 24,2 km, respetivamente. Esta EM efetua medições a uma altitude de 38 m. O PE de Chão Falcão I e II (doravante denominada de Chão Falcão) utilizou como referência a EM de Leiria. Esta EM localiza-se a 18,5 km do PE e efetua medições a uma altitude de 45 m. Foram recolhidos dados compreendidos no período de Agosto de 1998 e Dezembro de 2016, para a EM de Alcobaça e de Julho de 1998 a Dezembro de 2016 para a EM de Leiria. Os dados analisados foram relativos às médias da velocidade do ar e do rumo predominante do vento, para os diferentes locais.

Como se pode verificar na Tabela 5, foram tidos em consideração, para a realização da rosa dos ventos da EM de Alcobaça, 185 meses de dados relativos à direção do vento e 208 meses de dados relativos à velocidade do ar, de um total de 221 meses. Para a EM de Leiria, foram considerados 189 dados relativos à direção do vento e 198 relativos à velocidade do ar, de um total de 222 meses.

Tabela 5: Número de meses correspondentes aos dados avaliados para conceção de rosas dos ventos

	Alcobaça		Leiria	
	Direção do vento	Velocidade do ar	Direção do vento	Velocidade do ar
Meses em avaliação	221	221	222	222
Meses sem dados	36	13	33	24
Meses analisados	185	208	189	198

Os dados foram posteriormente tratados no *software* WRPLOT View™, versão 8.0.0 para composição das rosas dos ventos (Figura 15). A rosa dos ventos tem como objetivo saber quais os ventos dominantes e a direção dos mesmos na perspetiva de compreender os resultados encontrados. É sabido que a propagação do som é influenciada pela velocidade do ar, prevendo-se que a direção do vento possa também influenciar os níveis de pressão sonora na linha da sua direção.

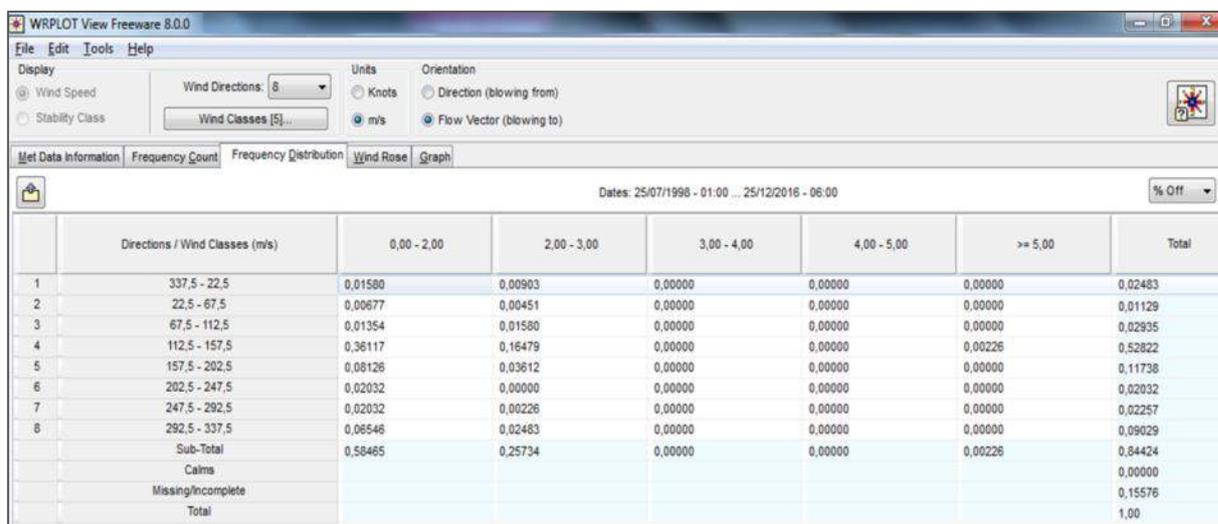


Figura 15: Exemplo da distribuição de frequências face à direção do vento e velocidade do ar
Fonte: WRPLOT View™, versão 8.0.0

Após identificar o vento dominante, quer ao nível da velocidade do ar, quer ao nível da direção, foram determinados os pontos de medição. Para tal, teve-se em consideração os pontos cardeais e os pontos colaterais (doravante denominados todos por “pontos cardeais”): norte (N), sul (S), este (E), oeste (W), nordeste (NE), noroeste (NW), sudeste (SE) e sudoeste (SW). Considerou-se também a distância que, por uma questão de estratégia e pelo facto de não existirem estudos semelhantes que auxiliem na definição dos mesmos, ficaram definidas as seguintes (em km): 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15. Foram ainda efetuadas medições no centro dos PE de Marvila e de Chão Falcão (km 0). Alguns pontos de medição tiveram de necessidade de ser ajustados no local, por motivos de segurança e acesso ao local.

2.3. Metodologia de recolha de dados

2.3.1. Medição dos níveis de ruído

Na terceira etapa utilizou-se o sonómetro integrador da classe 1, da marca CESVA, modelo SC420, equipado com o módulo “Filtros de 1/3 oitava” (TF420) para análise por filtros de terços de oitava de 10Hz a 20000Hz mais funções globais e com o módulo “Análise FFT” (FF420) para análise de *Fast Fourier Transform* (FFT) de 10000 linhas de 2 a 20000Hz (2Hz/linha).

A análise de Fourier, denominada FFT, permite determinar as frequências existentes em sinais complexos como os existentes em vibrações. Os sinais discretos no domínio do tempo podem ser submetidos a esta análise de Fourier, passando a serem observados no domínio da frequência (Siljak & Subasi, 2014).

O equipamento encontra-se ainda provido de microfone modelo C-140 (microfone de condensador de ½ polegada), pré-amplificador PA020 e protetor antivento PV009. O sonómetro faz-se também acompanhar do calibrador acústico, de classe 1, da marca CESVA, modelo CB006 (Figura 16).

Devendo o sonómetro ser sujeito a uma calibração interna antes e após uma série de medições, de forma a ir de encontro ao definido na norma ISO 1996-2:2017, foram efetuadas calibrações (com recurso ao calibrador acústico CB006) em intervalos de duas horas, uma vez que as medições decorreram em longos períodos de tempo.

As medições, com a duração de um minuto (tempo máximo permitido pelo equipamento com o módulo “Análise FFT” ativo), foram efetuadas em modo de análise de frequências de banda estreita FFT (em dB), ou seja, foi realizada uma análise por banda de frequências de largura de banda constante desde 2Hz a 20000Hz, em tempo real e em toda a gama dinâmica de medição. Em simultâneo foram também realizadas medições com malha de ponderação “A” para posterior cálculo do RA. Este ruído, embora não seja o alvo principal do estudo, foi avaliado no sentido de se poder comparar os níveis de pressão sonora do ruído audível com os do não audível. Para além disso, este ruído é o indicador utilizado para o desenvolvimento de estudos de impacte ambiental, razão pela qual se reveste de uma importância acrescida uma vez que tem impacte nos atores circundantes, nomeadamente fauna e populações.

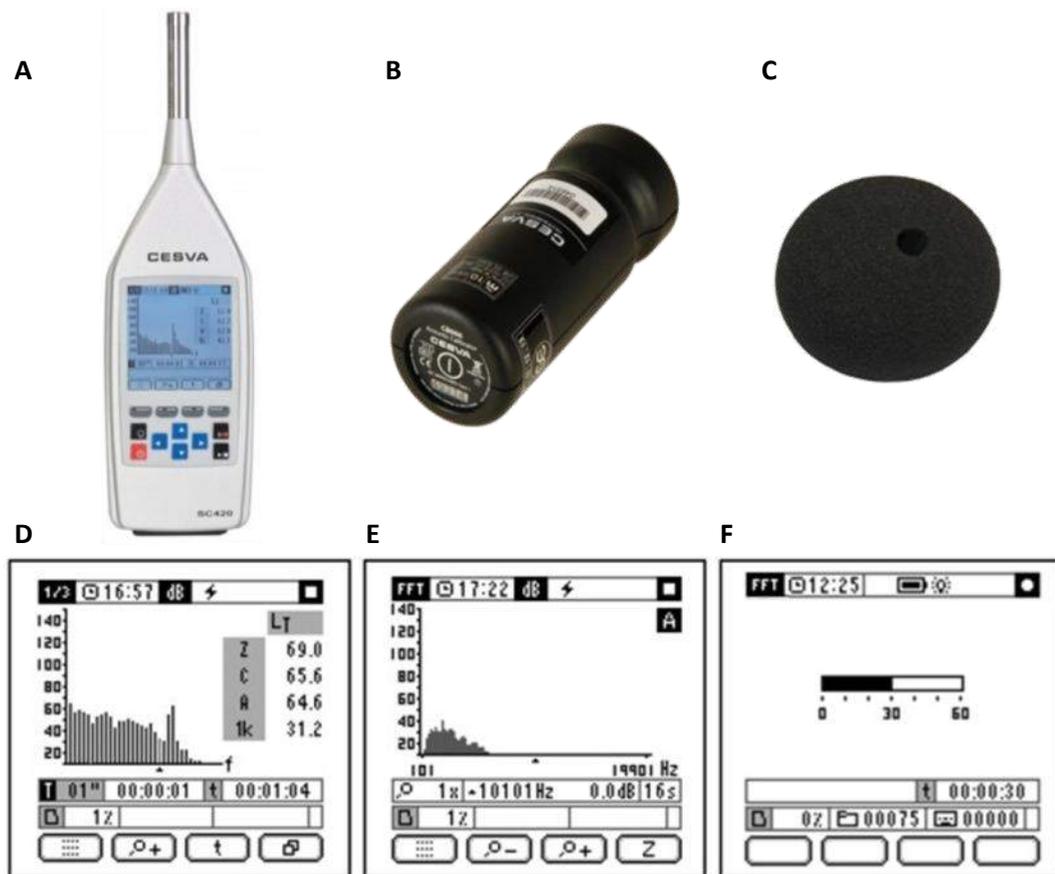


Figura 16: Sonómetro e *software* utilizado para medição dos níveis de ruído
A: Sonómetro CESVA SC420; **B:** Calibrador CESVA CB006; **C:** Protetor antiventoso PV009;
D: Ecrã com o módulo de 1/3 oitava ativo; **E:** Ecrã com o módulo FFT ativo (com malha de ponderação A ativa); **F:** Ecrã com medição em FFT a decorrer

Foram calculados, com base nas diversas frequências recolhidas, os seguintes tipos de ruído: Infrassons, RBF, IRBF e RA. Para o cálculo dos Infrassons, foram tidos em consideração as frequências até aos 20 Hz inclusive. Para o cálculo do RBF, foram consideradas as frequências dos 20 Hz até aos 500 Hz inclusive. Já para o cálculo do IRBF, foram consideradas todas as frequências até aos 500 Hz inclusive, ou seja, resulta da soma dos Infrassons e do RBF. O cálculo do RA considerou as frequências referenciadas no RGR, aprovado pela Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro.

Para efetuar as medições dos níveis de ruído, com recurso ao equipamento referido, seguiram-se os seguintes pressupostos:

- Posição do sonómetro a mais de 2 metros da fachada do edifício mais exposto, assim como de viaturas ou outras infraestruturas;
- Microfone do sonómetro a 1,5 metros acima do solo (Figura 17);
- Tempo de medição de cada amostra: 1 minuto;

-
- Medições compreendendo frequências entre 2 Hz e 20000 Hz;
 - Medições em dB (sem qualquer ponderação) e dB(A) (com a ponderação de malha A).



Figura 17: Sonómetro CESVA modelo SC420, instalado em tripé

Para o PE de Cela efetuaram-se ainda medições com a turbina eólica parada. Para os restantes PE tal não foi possível pelo facto de a velocidade do ar não ser nula e por conseguinte, haveria sempre turbinas em rotação.

2.3.2. Recolha de dados climatológicos

A recolha de dados climatológicos decorreu nos meses de verão (7 de junho a 3 de agosto de 2017), no período da tarde (maioritariamente entre as 13:00 e a 20:00), não se tendo verificado ocorrência de precipitação no intervalo de tempo considerado. Para complementar as medições foi necessário recolher algumas variáveis climatológicas, nomeadamente: velocidade do ar, direção do vento e temperatura. Para tal, recorreu-se à página da internet do IPMA antes de efetuar as medições no sentido de recolher os dados diariamente publicados referentes à cidade/vila mais próxima do ponto de medição (Figura 18).

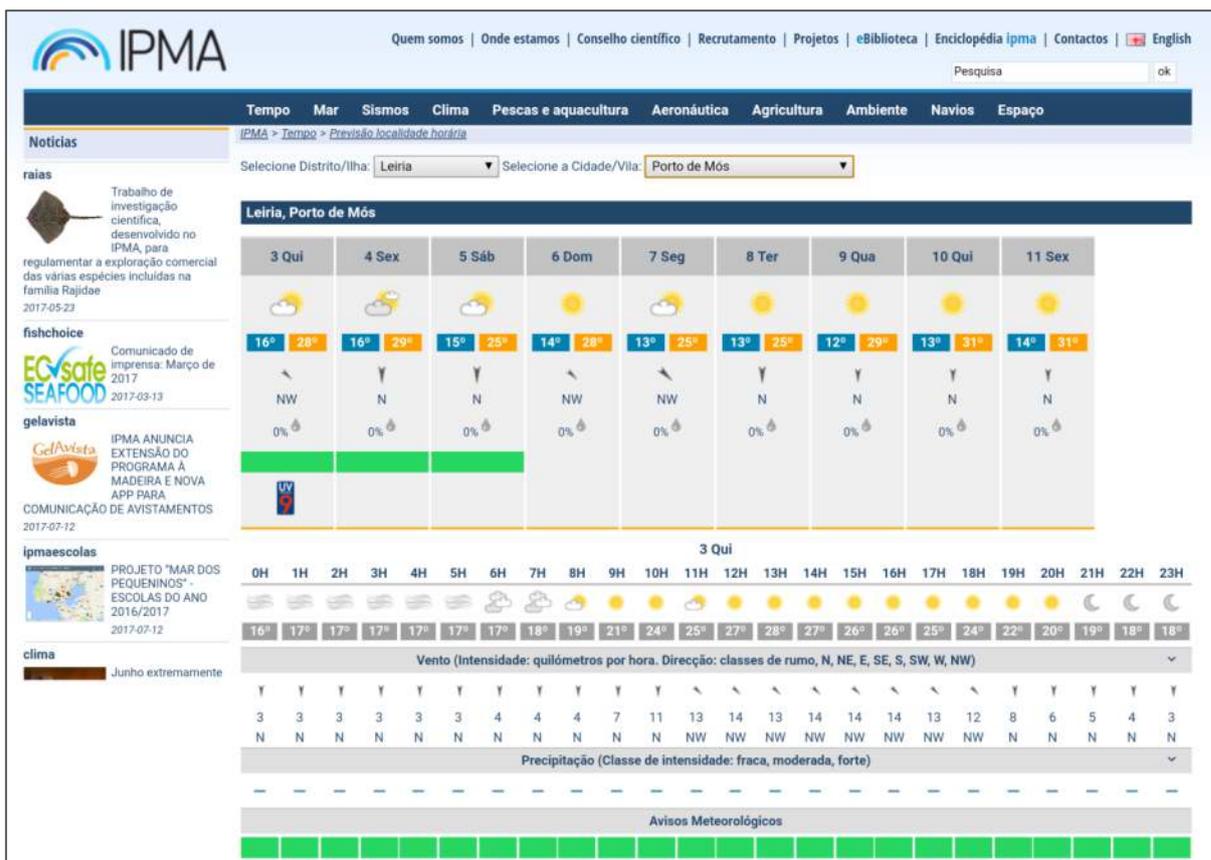


Figura 18: Exemplo de dados climatológicos retirados da página da internet do IPMA, referentes à temperatura (°C), à intensidade do vento (km/h) e direção do vento (classes de rumo)
 Fonte: IPMA (2017)

De referir que os valores registados pelas EM e indicadas na página da internet do IPMA são inferiores aos observados na nacel das torres eólicas, uma vez que existe um gradiente de velocidade à medida que aumenta a altura ao solo. Desta forma, a velocidade do ar é manifestamente inferior ao nível do solo, onde foram realizadas as medições.

Após a recolha destes dados, a velocidade do ar (m/s) foi sujeita a pontos de corte e convertida para as seguintes classes: $\leq 1,999$; [2,000 - 2,999]; [3,000 - 3,999]; [4,000 - 4,999]; e ≥ 5 .

2.4. Análise estatística

Para descrever a amostra do nosso estudo recorreu-se às medidas de tendência central (média empírica) e de dispersão (desvio padrão e variância), bem como às medidas e frequências (absolutas e relativas). Também para complementar a descrição da amostra recorreu-se a análises gráficas do tipo: Diagramas de Dispersão, Diagramas de Extremos e Quartis e Diagramas de linhas de tendência.

Quanto à aplicação de testes de hipóteses (análise inferencial) teve-se que ter em consideração determinados princípios e validação de pressupostos fundamentais para a correta aplicação dos diferentes modelos estatísticos.

Na presença de variáveis métricas (razão) para a aplicação de modelos de análise estatística paramétrica recorreu-se a medidas de forma (testes estatísticos) como a análise de *assimetria* e de *achatamento*. Para a avaliação dos pressupostos no que diz respeito à assimetria de uma distribuição de valores recorreu-se ao *quociente* entre a *estatística Skewness* e seu *erro padrão*. Este quociente permitiu avaliar a assimetria de uma distribuição quanto ao enviesamento que a mesma apresenta relativamente à média. Segundo a literatura, se o resultado deste quociente se encontrasse dentro do intervalo de $[-1,96$ e $+1,96]$ pode-se assumir que a variável de interesse revelaria uma distribuição tendencialmente simétrica. Se o resultado estimado for $>+1,96$ pode-se afirmar que a distribuição da variável assume uma *distribuição assimétrica positiva* ou enviesada à esquerda; caso o valor estimado fosse $<-1,96$ a distribuição de frequências da variável métrica era *assimétrica negativa* ou enviesada à direita.

Também para se avaliar a distribuição de frequências no que diz respeito ao seu *grau de achatamento* (curtose) recorreu-se ao quociente da *estatística Kurtosis* e ao seu *erro padrão*. Tendo como referência a literatura especializada, se o resultado deste coeficiente se encontrasse dentro do intervalo de $[-1,96$ e $+1,96]$ pode-se assumir que a variável de interesse revelaria uma distribuição tendencialmente mesocúrtica (campanular). Porém, se os valores forem $<-1,96$ a distribuição de frequências tenderia a ser do tipo *Platicúrtica*; nos valores $>+1,96$ a distribuição tenderia a ser do tipo *Leptocúrtica*.

A avaliação de um outro pressuposto importante para a decisão da escolha de testes de estatísticos paramétricos ou não paramétricos foi avaliação da *distribuição normal*. Para a avaliação deste pressuposto recorreu-se aos testes: *Kolmogorov-Smirnov* com o fator de *Correção Lilliefors* para dimensões amostrais >50 e/ou *Shapiro-Wilk* para dimensões amostras ≤ 50 . Também no sentido de complementarmos a leitura das estatísticas da normalidade recorreremos à análise gráfica: *diagramas Normal Q-Q Plot* e *Detrended Normal Q-Q Plot*.

Para a avaliação da homogeneidade de variâncias entre grupos recorreu-se ao *teste de Levene*. Segundo a literatura o teste de *Levene* é considerado como um dos melhores testes para avaliar a homocedasticidade das variâncias entre k grupos independentes.

A maioria dos testes paramétricos exige que os pressupostos anteriormente apresentados sejam cumpridos de forma cumulativa, para além de que a variável de interesse (nuclear) seja do tipo de

escala de intervalo ou rácio. O não cumprimento dos pressupostos anteriormente apresentados conduziram à aplicação de testes não paramétricos.

Para a comparação de médias entre três ou mais amostras independentes, aplicou-se o teste paramétrico *Análise da Variância* (ANOVA) a um fator perante a homogeneidade de variâncias (com a aplicação do Teste *Levene*) entre os três ou mais grupos. Na corrupção do pressuposto da homocedasticidade de variâncias aplicou-se o teste *F de Brown-Forsythe* (teste robusto à igualdade de médias). Na avaliação do cumprimento dos pressupostos fundamentais para a estatística paramétrica (tais como simetria, achatamento e distribuição normal), o não cumprimento levou à aplicação do teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*.

Nos modelos de análise estatística com 3 ou mais grupos independentes e que se verificou que se estaria na presença de diferenças significativas entre pelo menos um dos pares do grupo, recorreu-se aos testes de comparações múltiplas *à posteriori*. Na presença de diferenças estatisticamente significativas entre três ou mais grupos independentes comprovados pela ANOVA a um fator recorreu-se ao teste comparações múltiplas *Bonferroni Ajustado*. Na presença do teste *F de Brown-Forsythe* recorreu-se ao teste de comparações múltiplas *Games-Howell*. Perante um modelo não paramétrico (*Kruskal-Wallis*), o teste de comparações múltiplas aplicado foi *Dunn de Bonferroni Corrigido*.

Também se recorreu à *Análise de Variância a II Fatores* (ANOVA Fatorial) para compreender o efeito de pelo menos duas variáveis independentes do tipo qualitativo (dicotómico ou policotómico) na variação explicada da variável dependente tipo quantitativo (razão). O mesmo teste avalia a significância quer do efeito de interação (efeito moderação) das variáveis independentes quer dos efeitos isolados destas sobre a variável dependente.

Para a avaliação da correlação entre duas variáveis aplicou-se quer o *Coefficiente de Correlação Linear de Pearson* quer o *Coefficiente Ordinal de Spearman* que permitiram avaliar a direção (sentido) da correlação bivariada. Para a avaliação da qualidade da magnitude/correlação: $r=1$ Correlação Perfeita Positiva; $0,8 \leq r < 1$ Correlação Forte Positiva; $0,5 \leq r < 0,8$ Correlação Moderada Positiva; $0,1 \leq r < 0,5$ Correlação Fraca Positiva; $0 < r < 0,1$ Correlação ínfima positiva; $0 =$ Ausência de correlação. Estes pontos de corte também se adequam para valores de correlação negativos.

A interpretação estatística no que diz respeito à rejeição da H_0 assumiu-se como probabilidade de significância $p\text{-value} \leq 0,05$. Esta decisão baseou-se no princípio do erro de tipo I (α) ou o nível de significância, isto é, a probabilidade de encontrar uma diferença significativa quando na realidade, não existe nenhuma.

Níveis de significância de 0,05 ou inferiores são escolhidos normalmente para minimizar a probabilidade de que os resultados observados sejam o resultado das flutuações da amostragem.

Procurou-se escalonar os níveis de significância para melhor compreender quando se está na presença de diferenças/associações ou correlações estatisticamente significativas: Para um valor de $p\text{-value} \leq 0,05$ assumiu-se para uma probabilidade inferior ou igual a 5% de que as diferenças/associações ou correlações eram estatisticamente significativas. Para valores de $p\text{-value} < 0,01$ assumiu-se que as diferenças/associações ou correlações eram altamente significativas. Para valores de $p\text{-value} < 0,001$ revelaram diferenças/associações ou correlações muito altamente significativas.

A análise estatística foi realizada com acesso ao *software IBM Statistical Package for the Social Science (SPSS)*, versão 24.

O presente capítulo pretende apresentar os resultados do estudo, começando por fazer uma caracterização dos lugares onde os PE se encontram instalados, assim como do PE quanto à sua localização e quanto às suas características técnicas. Apresentam-se também variáveis climatológicas, nomeadamente velocidade do ar e direção do vento, face aos locais em estudo. Após identificação dos pontos de medição apresentam-se os resultados das avaliações e respetiva análise às variações dos níveis de ruído, de forma global e por PE em estudo.

3.1. Caracterização dos lugares de instalação dos parques eólicos

Os PE em estudo localizam-se no distrito de Leiria, mais concretamente no concelho de Alcobaça, concelho de Porto de Mós e concelho da Batalha (Figura 19).



Figura 19: Localização dos concelhos de Alcobaça, Porto de Mós e Batalha, onde se localizam os PE em estudo

Na Figura 20 encontram-se identificados os PE em estudo, nomeadamente o PE de Cela, Marvila e Chão Falcão (Chão Falcão I e Chão Falcão II, correspondente à 1ª ampliação).

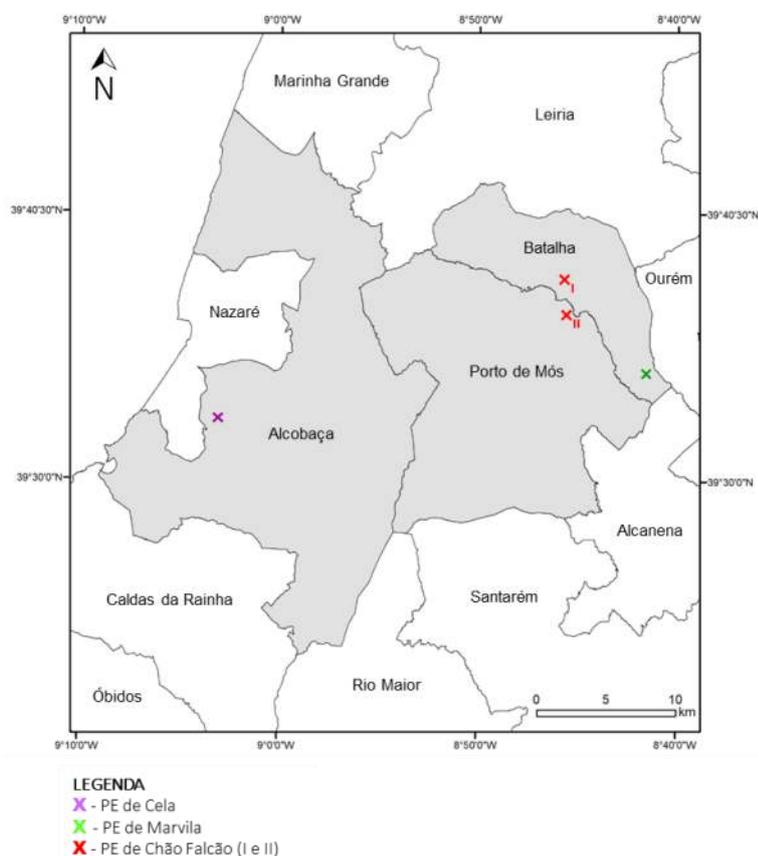


Figura 20: Localização dos PE em estudo, por concelho

O PE de Cela tem uma localização mais ocidental, a 6,4 km da linha de costa, mais especificamente no concelho de Alcobaça. O município de Alcobaça faz fronteira a Norte com o concelho da Marinha Grande, a Este com Leiria, Porto de Mós e Rio Maior, a Sudoeste com Caldas da Rainha e a Oeste com o concelho da Nazaré. O PE localiza-se na povoação de Cela e próximo da povoação de Casal da Maceda.

O PE de Marvila localiza-se no concelho da Batalha, próximo da fronteira com o distrito de Santarém. O concelho é limitado a Norte e Oeste pelo concelho de Leiria, a Este por Ourém, a Sudeste por Alcanena e a Sudoeste por Porto de Mós. O PE propriamente dito encontra-se rodeado das povoações de Giesteira, Vale de Barreira, Pessegueiro e Casal Vieira. A Sul o PE de Marvila encontra ainda o PE de Chão Falcão III (2ª ampliação e sobreequipamento), a Sudeste uma pedreira e a Este (sensivelmente a 2,5km) a autoestrada A1.

O PE de Chão Falcão I e II (1ª ampliação) localiza-se maioritariamente no concelho da Batalha, mas parte localiza-se no concelho de Porto de Mós. Este concelho faz fronteira a Norte pelos concelhos de Leiria e da Batalha, a Este com Alcanena, a Sul com Santarém e Rio Maior e a Oeste com Alcobaça. O PE encontra em seu redor as povoações de Alqueidão da Serra, Reguengo do Fetal, Lapa Furada, São Mamede e Barreira de Água. A separar o PE de Chão Falcão I e II encontra-se uma pedreira (que não se encontrava em funcionamento à data das medições).

Para se compreender o potencial impacte que a problemática em estudo terá nas populações que moram nas proximidades dos respetivos PE, efectuou-se um levantamento da população e edifícios, por freguesias (Tabela 6).

Tabela 6: Caracterização das freguesias onde se encontram instalados os parques eólicos e respetivo edificado
Fonte: adaptado de INE (2012a, 2012b, 2012c)

		Freguesias		
		Cela ^a	São Mamede ^b	Alqueidão da Serra ^c
Área	km ²	25,83	41,77	21,27
População residente	N	3264	3560	1755
Densidade populacional	hab/km ²	126,36	85,23	82,51
População em grandes escalões de idades (≥65 anos)	%	22,55	21,35	24,67
Alojamentos familiares	N	1720	2087	973
Edifícios clássicos	N	1682	2009	965
Densidade do edificado	ed/km ²	65,12	48,10	45,37
Edifícios construído antes de 1990	%	74,14	75,54	72,62
Edifícios a necessitar de reparação	%	21,11	36,68	28,47
Edifícios degradados	%	1,90	0,31	1,24

^a PE de Cela

^b PE de Marvila

^c PE de Chão Falcão

Das três freguesias, é a freguesia de São Mamede (onde se encontra instalado o PE de Marvila) a que apresenta uma área (41,77 km²) maior sendo também a que tem maior número de habitantes (N=3560). No entanto, no que diz respeito à densidade populacional, é a freguesia de Cela a que tem maior número de habitantes por km² (126,36 hab/km²). No que concerna às faixas etárias mais avançadas, a freguesia de Alqueidão da Serra é a mais envelhecida das três, com 24,67% dos seus habitantes com idade igual ou superior a 65 anos, seguida da freguesia de Cela com 22,55% da população nesta faixa etária.

Relativamente às habitações e edificado, a freguesia com um maior número de edifícios é a freguesia de São Mamede, com 2009 edifícios. No entanto, a freguesia de Cela é a que apresenta uma densidade de edificado mais expressiva, com 65,12 ed/km². Apesar de São Mamede ser a freguesia com edifícios mais antigos (75,54% dos edifícios construídos antes de 1990) e conseqüentemente ser

a que apresenta mais edifícios a necessitar de reparação, é a que ostenta menos edifícios degradados (0,31%). Neste campo, é a freguesia de Cela a que apresenta maior número de edifícios degradados (1,90%) seguida da freguesia de Alqueidão da Serra (1,24%).

3.2. Caracterização dos parques eólicos

O PE de Cela é caracterizado por ter apenas uma turbina eólica (Figura 21). A turbina eólica é da marca SENVION, modelo MM82 e foi ligada à rede no ano de 2006 (Cavalum, 2017). A turbina eólica caracteriza-se por ter uma altura de torre de 80 m, pás de 40 m de comprimento e uma potência nominal de 2050 kW. A rotação do equipamento inicia quando a velocidade do ar é superior a 3,5 m/s e pára quando atinge os 25 m/s. O nível de potência sonora é, de acordo com a técnica do equipamento, de 104 dB(A) (Senvion, 2017a).

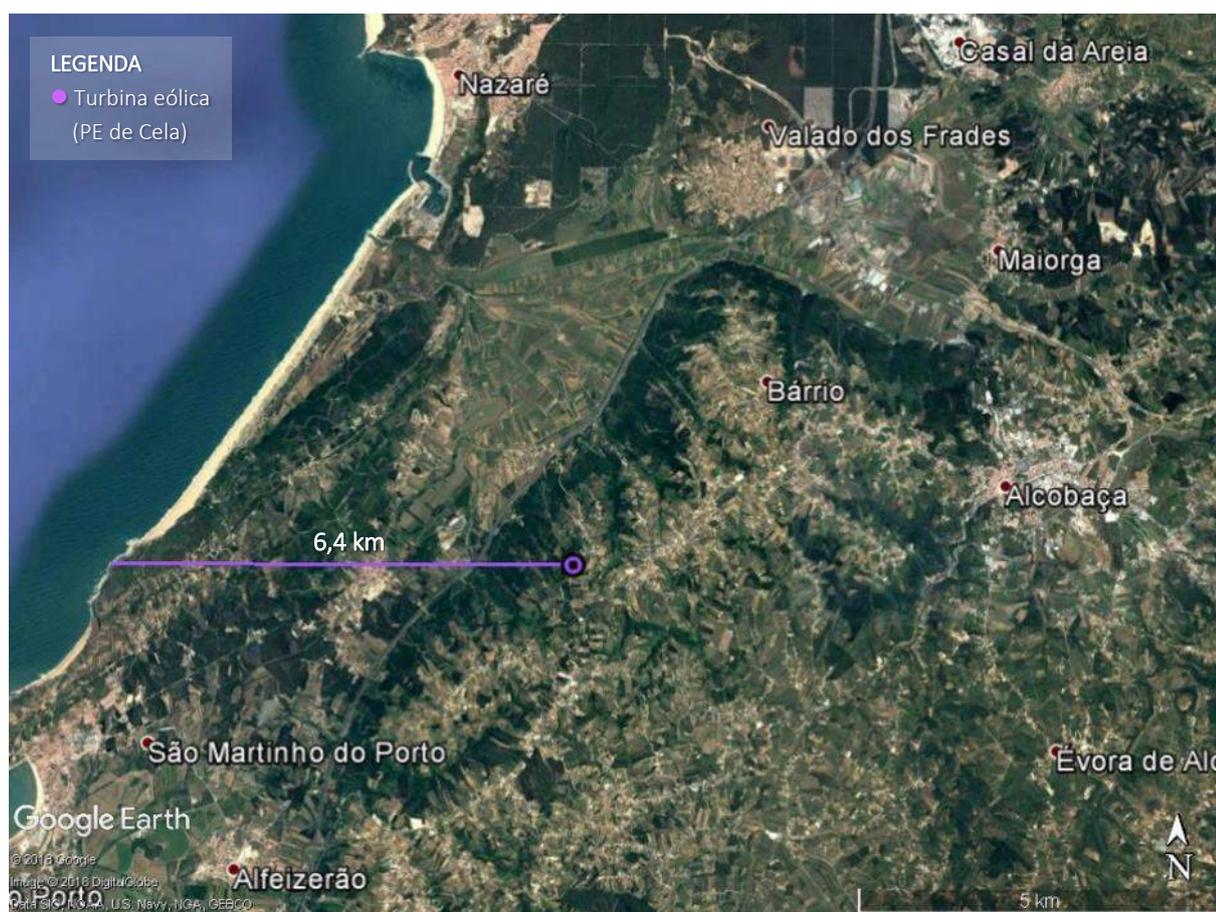


Figura 21: Localização das turbinas eólicas do PE de Cela
Fonte: Google Earth Pro, versão 7.1.8.3036

Relativamente às características do PE de Marvila, este possui 6 turbinas eólicas da marca SENVION, modelo MM92 (Figura 22). Estes equipamentos têm uma altura de torre de 100 m, pás com um comprimento de 45,2 m e uma potência nominal de 2050 kW, sendo a potência total do PE de 12000 kW. De acordo com a Senvion (2017b) o equipamento desliga aquando de velocidades do ar inferior a 3 m/s e superior a 24 m/s. O funcionamento da turbina eólica é capaz de produzir um nível de potência sonora de 103,2 dB(A). O PE iniciou exploração no início de 2008 (Eneólica, 2017).

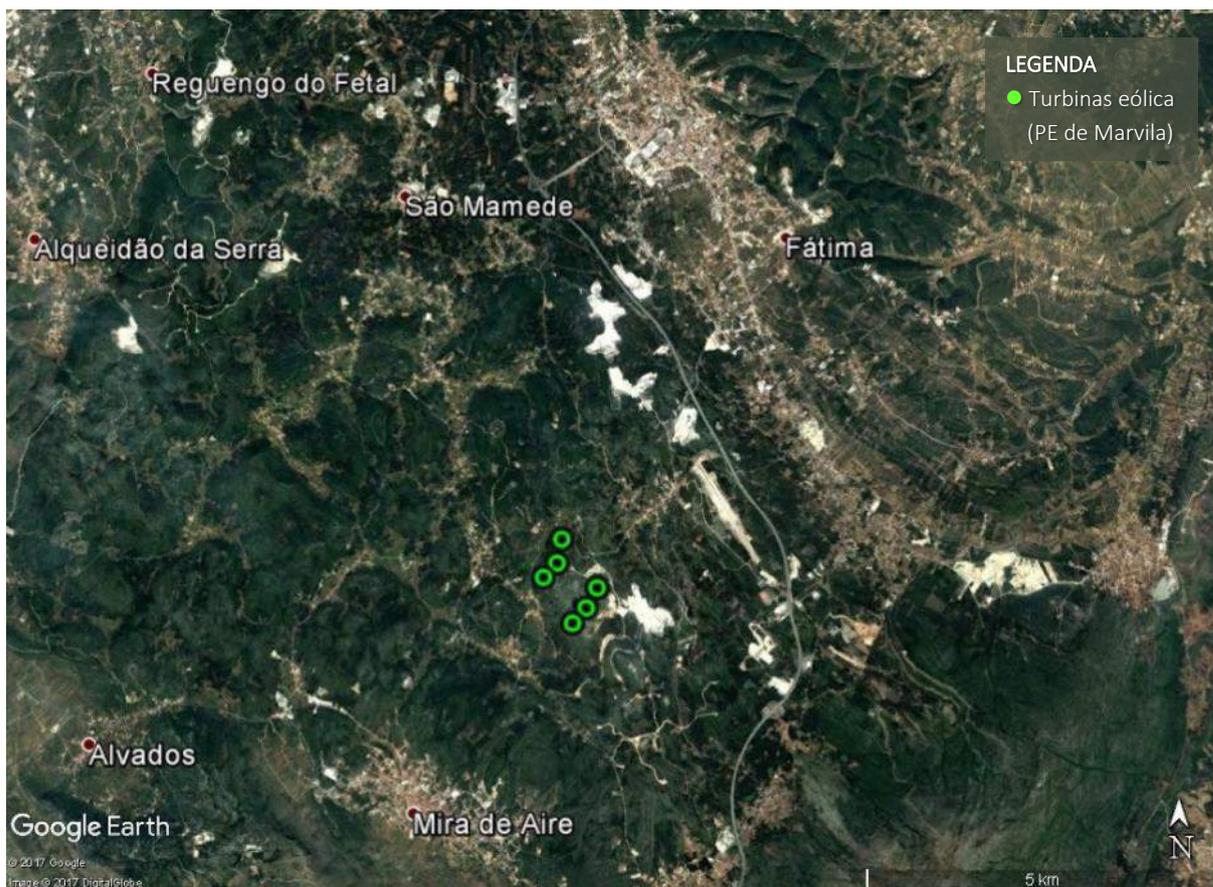


Figura 22: Localização das turbinas eólicas do PE de Marvila
Fonte: Google Earth Pro, versão 7.1.8.3036

O PE de Chão Falcão, inicialmente constituído apenas por 15 turbinas eólicas (com entrada em funcionamento em 2005), rapidamente aumentou a capacidade instalada para 26 turbinas (Figura 23), com a primeira ampliação (Chão Falcão I e II, respetivamente). Ainda viria a aumentar mais uma vez e a sobreequipar outra no que se denomina PE de Chão Falcão III (localizado no distrito de Santarém e portanto, fora do âmbito do estudo). As 26 turbinas eólicas são da marca NORDEX, modelo N90. Estes equipamentos têm uma altura de torre de 80 m, pás com um comprimento de 45 m e uma potência nominal de 2300 kW, sendo a potência total do PE de 59800 kW. De acordo com a ficha técnica do

equipamento, o rotor funciona aquando de velocidades do ar superiores a 4 m/s e inferiores a 25 m/s (Iberwind, 2017; NORDEX, 2009).

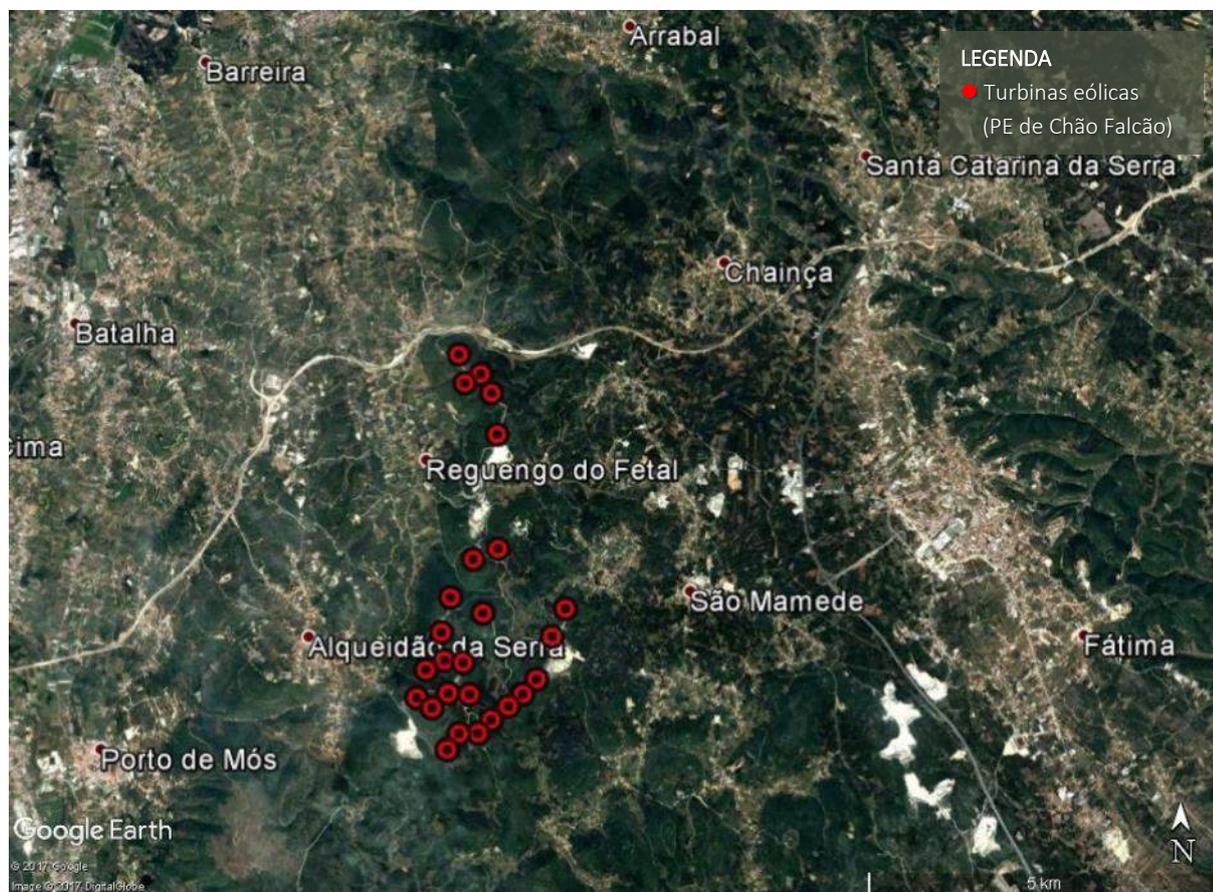


Figura 23: Localização das turbinas eólicas do PE de Chão Falcão

Fonte: Google Earth Pro, versão 7.1.8.3036

3.3. Caracterização do fluxo de velocidade do ar medido nas estações meteorológicas de referência

Como já referido, foram solicitados ao IPMA dados históricos de intensidade média do vento, rumo predominante do vento e temperatura média do ar, para os diferentes locais. Os dados compreenderam o período de Agosto de 1998 a Dezembro de 2016, para a EM de Alcobaça e Julho de 1998 a Dezembro de 2016 para a EM de Leiria. Com os dados obtidos construíram-se as rosas dos ventos para ambas as EM de referência.

Na Figura 24, referente à rosa dos ventos dos dados de velocidade do ar medidos na EM de Alcobaça, pode-se observar que a direção do vento mais significativa é de NW, seguida do vento N. No total dos valores da velocidade do ar (m/s) em análise, 61,1% do vento se situa na classe [0,00 - 2,00] e 22,6% na classe [2,00-3,00].

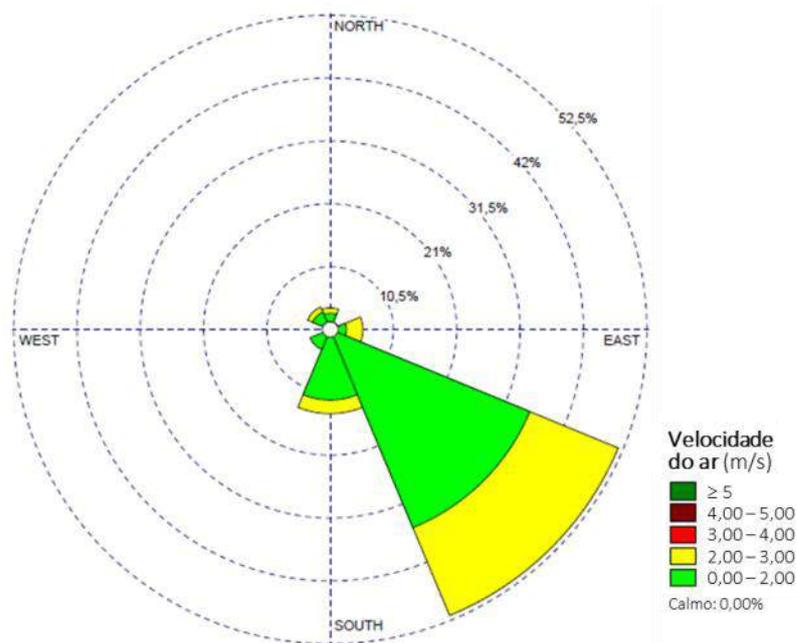


Figura 24: Rosa dos ventos dos dados medidos na EM de Alcobaça

Fonte: WRPLOT View, versão 8.0.0

Nota: Vetor de fluxo de velocidade do ar indica a direção do vento; Velocidade média do vento: 1,75 m/s

No que concerne dados de velocidade do ar medidos na EM de Leiria (Figura 25), pode-se constatar na rosa dos ventos que, no total dos valores em análise, 58,5% do vento se situa na classe [0,00 - 2,00], 25,7% na classe [2,00 - 3,00] e 0,2% na classe “≥ 5”. A direção do vento mais significativa é de NW, seguida do vento N.

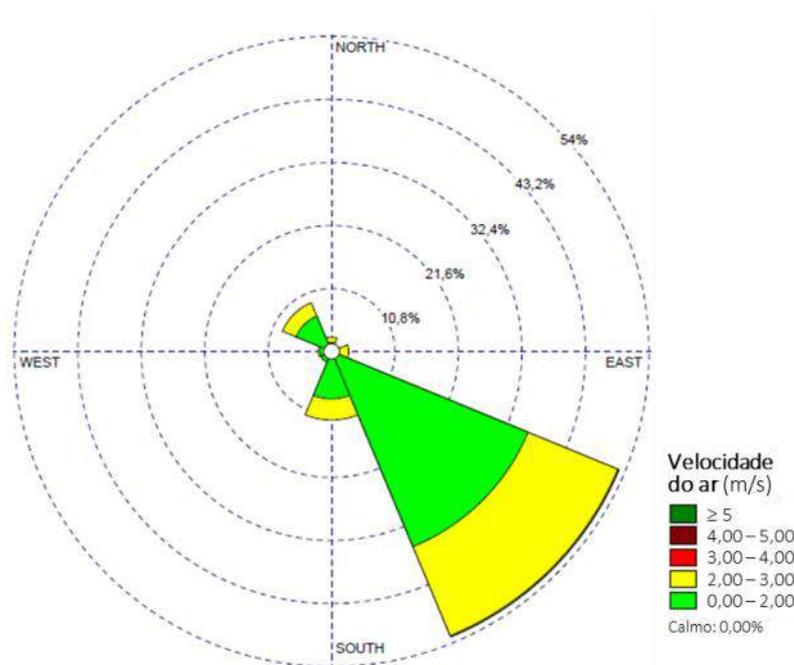


Figura 25: Rosa dos ventos dos dados medidos na EM de Leiria

Fonte: WRPLOT View, versão 8.0.0

Nota: Vetor de fluxo de velocidade do ar indica a direção do vento; Velocidade média do vento: 1,78 m/s

3.4. Identificação dos pontos de medição

A Figura 26 apresenta os pontos de medição circundantes ao PE de Cela. Este PE contou com menos pontos de medição uma vez que a W encontra-se a costa e como tal, não há populações para além de 5300 m, sensivelmente. Desta forma, não se efetuaram medições aos km “5” no ponto NW e aos km “10” e “15” nos pontos W e NW, perfazendo um total de 59 pontos de medição.

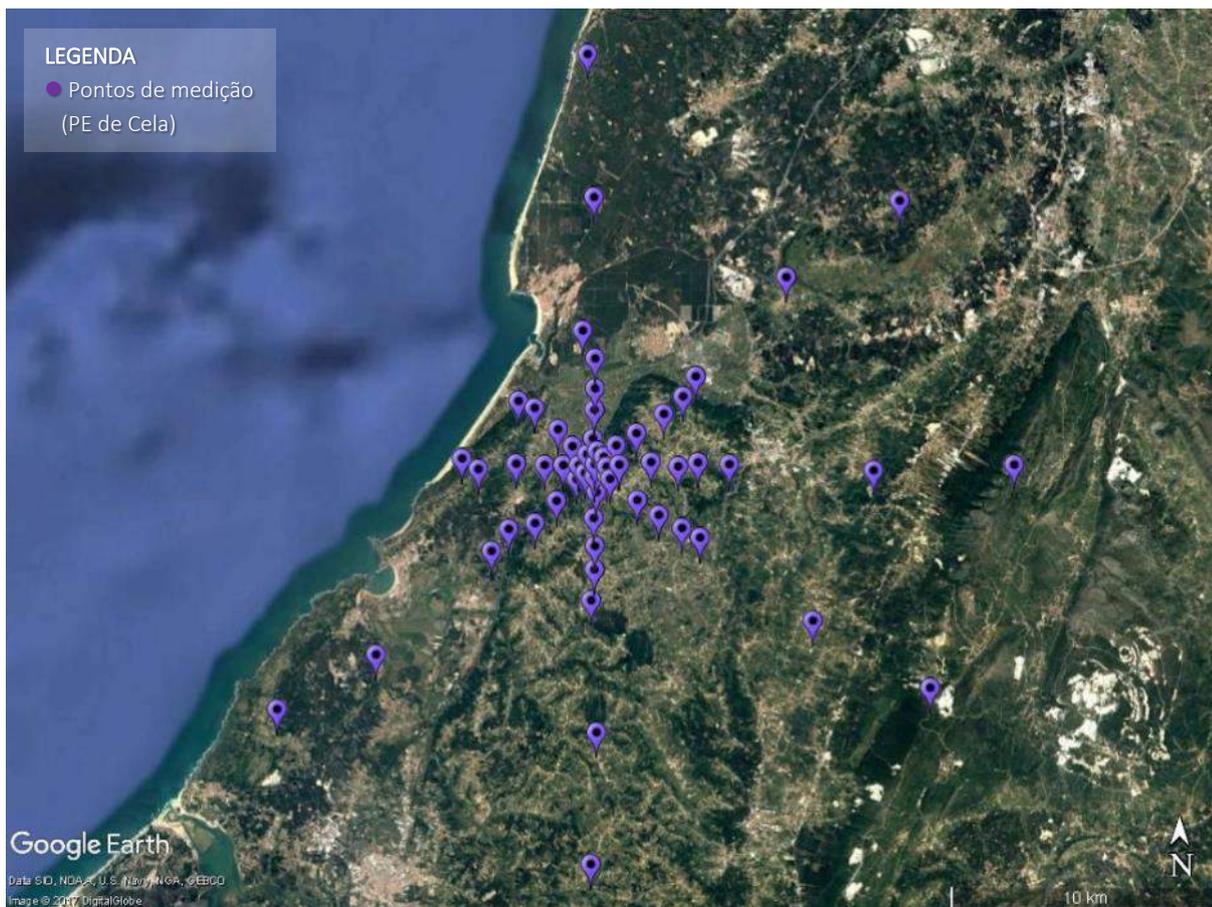


Figura 26: Localização dos pontos de medição do PE de Cela
Fonte: *Google Earth Pro*, versão 7.1.8.3036

No que diz respeito ao PE de Marvila (Figura 27), este contou com 65 pontos de medição, dos quais 64 se situavam a distâncias e nos pontos cardeais e colaterais previamente definidos e um ponto adicional de medição no interior do PE.

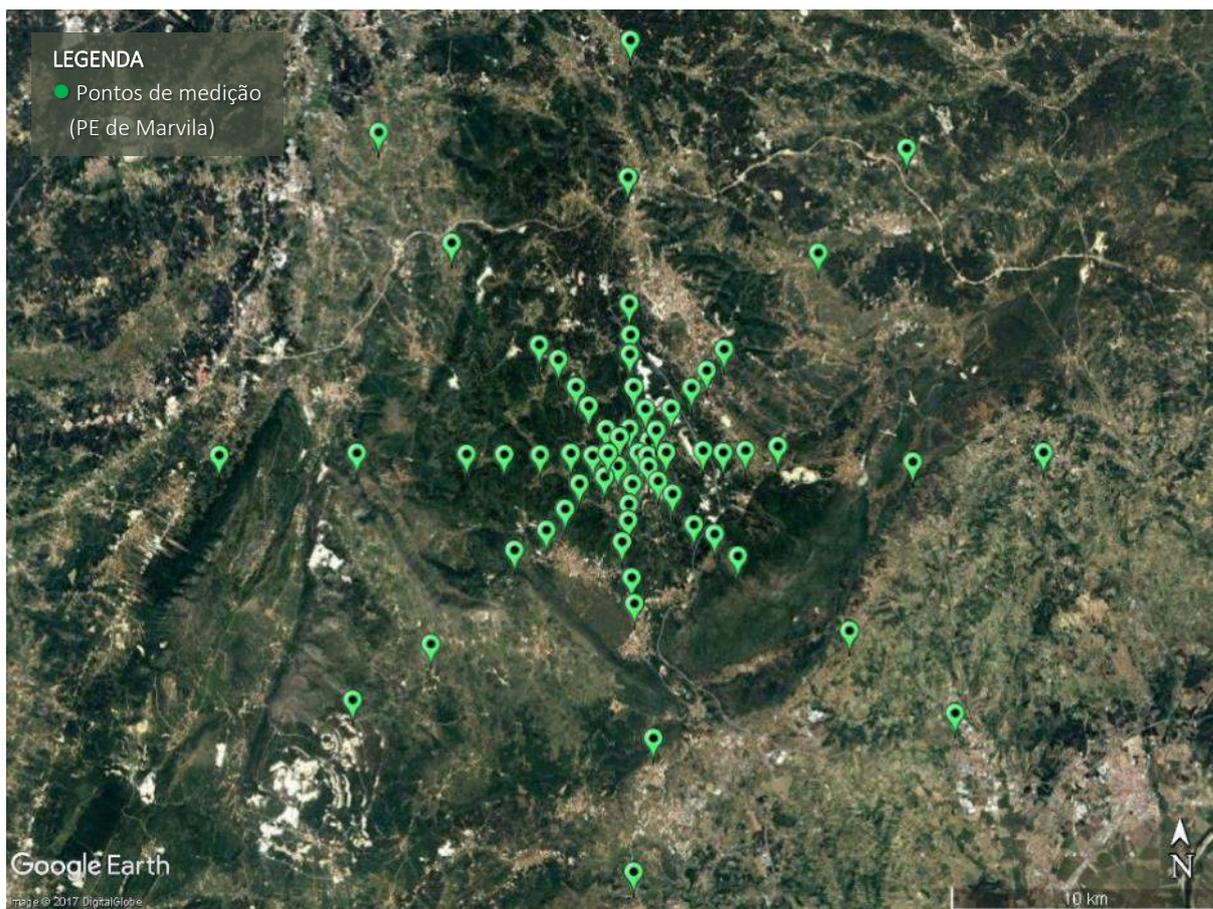


Figura 27: Localização dos pontos de medição do PE de Marvila
Fonte: *Google Earth Pro*, versão 7.1.8.3036

O PE de Chão Falcão (Figura 28) apresenta 67 pontos de medição, dos quais 64 tendo em consideração as distâncias e os pontos cardeais e colaterais definidos e 3 pontos adicionais de medição no interior do PE. Destes 3 pontos adicionais de medição, um foi referenciado na parte do PE correspondendo à instalação inicial (Chão Falcão I), outro ponto à primeira ampliação (Chão Falcão II) e outro num ponto entre as eólicas mais próximas de ambas as partes do PE.

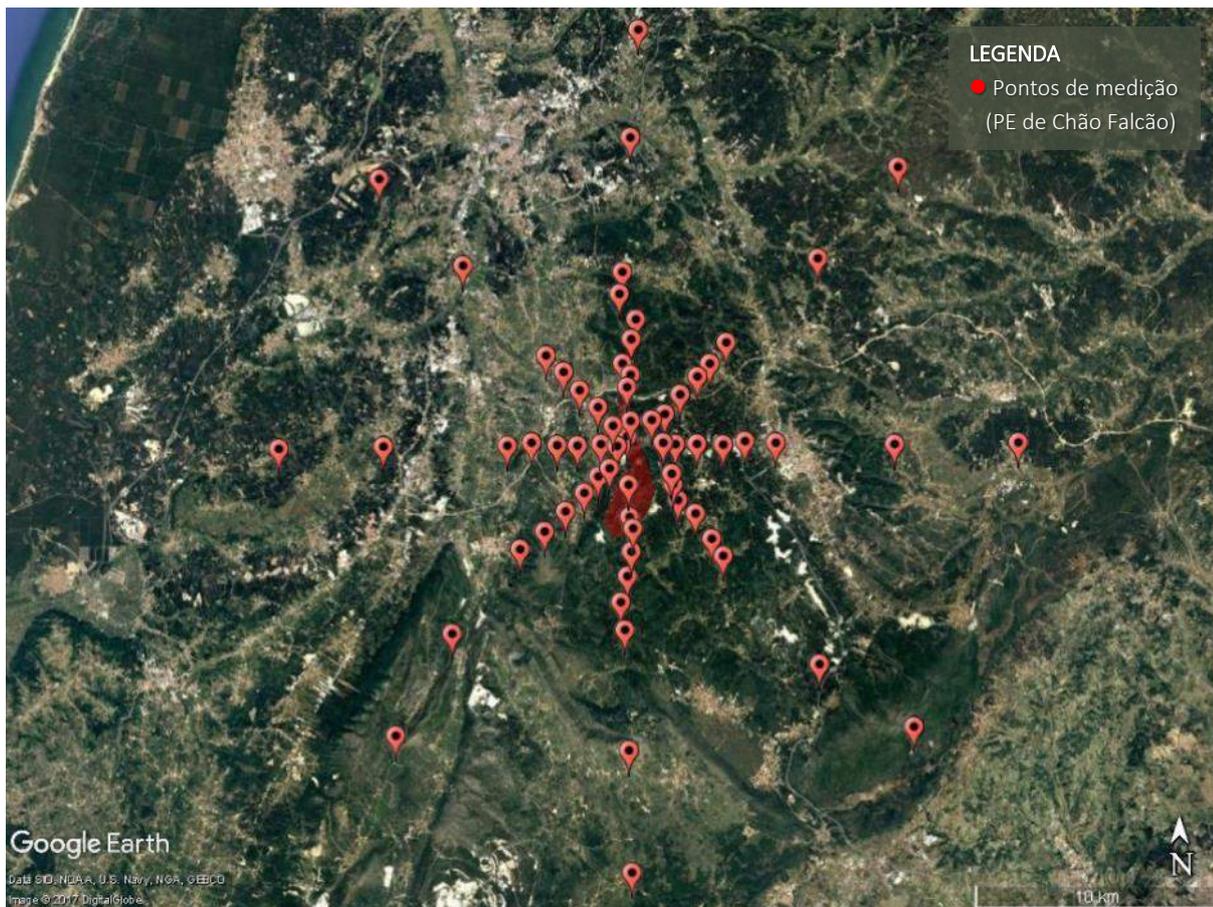


Figura 28: Localização dos pontos de medição do PE de Chão Falcão
Fonte: *Google Earth Pro*, versão 7.1.8.3036

Foram efetuadas um total de 416 medições, entre os dias 7 de Junho e 3 de Agosto de 2017, sendo 148 relativas ao PE de Cela, 132 ao PE de Marvila e 136 relativas ao PE de Chão Falcão. Das 416 medições, 26 foram efetuadas com as turbinas eólicas paradas, ou seja, sem que houvesse rotação, sendo que todas elas correspondiam ao PE de Cela.

As medições realizadas tiveram em consideração o nível de pressão sonora medido em dB(A) e em dB. Desta forma, foram efetuadas um total de 208 medições com uma ponderação de malha A e 208 sem qualquer ponderação. Destas, apenas 195 foram efetuadas com as turbinas eólicas em rotação (PE Cela: 13 medições com a turbina eólica parada).

No que concerne à “Distância ao PE” (Tabela 7), foram efetuadas mais medições à distância de “1” km (N=58) e “2” km (N = 56). O PE com mais medições a estes km foi o PE de Cela que contou com 26 e 24 medições para o ponto “1” km e “2” km, repetivamente. Estas medições tiveram em consideração todas as medições efetuadas, quer com as turbinas eólicas paradas, quer em rotação.

Tabela 7: Caracterização da amostra face à distância dos pontos de medição

Distância ao PE (km)	Parque eólico			Total
	Cela	Marvila	Chão Falcão	
0	0	4	6	10
0,5	16	16	16	48
1	26	16	16	58
2	24	16	16	56
3	22	16	16	54
4	18	16	16	50
5	18	16	16	50
10	12	16	16	44
15	12	16	18	46
Total	148	132	136	416

Relativamente aos “Pontos cardeais” onde foram realizadas as medições, como se pode verificar na Tabela 8, o ponto cardinal com maior número de medições foi o “NE” (N=62) seguido do “SE” e “SW”, ambos com 52 medições (diferença justificada pela proximidade do PE de Cela à costa, não se efetuando medições em alguns pontos cardeais). Mais uma vez é notória a diferença entre os PE, sendo que Cela apresenta um maior número de medições, resultado das medições com a turbina eólica no estado de “Parada”. Relativamente ao ponto “0”, este corresponde a uma medição no interior dos PE, daí que o PE de Cela não apresenta nenhuma medição (apenas possui uma turbina eólica).

Tabela 8: Caracterização da amostra face aos pontos cardeais onde foram realizadas as medições

Pontos cardeais	Parque eólico			Total
	Cela	Marvila	Chão Falcão	
E	16	16	16	48
N	18	16	16	50
NE	30	16	16	62
NW	16	16	16	48
S	16	16	16	48
SE	20	16	16	52
SW	20	16	16	52
W	12	16	18	46
0*	0	4	6	10
Total	148	132	136	416

* Medições efetuadas dentro do PE

3.5. Definição das classes de velocidade do ar

Para que fosse possível avaliar a velocidade do ar (medida em m/s), de forma padronizada entre os diferentes PE, estabeleceu-se os seguintes pontos de corte: “ $\leq 1,999$ ”; “[2,000 - 2,999]”; “[3,000 - 3,999]”; “[4,000 - 4,999]”; e “ ≥ 5 ”. Assim, tal como já referido na metodologia, as velocidades do ar foram convertidas nas classes que se seguem (Tabela 9).

Tabela 9: Dados de velocidade do ar durante a amostragem, obtidos através do IPMA

Classes de velocidade do ar (m/s)	Velocidade do ar (m/s)	N	%	% Acumulada
≤ 1,999	1,111	6	1,4	1,4
	1,389	2	0,5	1,9
	1,667	12	2,9	4,8
	1,944	10	2,4	7,2
[2,000 - 2,999]	2,222	8	1,9	9,1
	2,500	4	1,0	10,1
	2,778	30	7,2	17,3
[3,000 - 3,999]	3,056	28	6,7	24,0
	3,333	60	14,4	38,5
	3,611	30	7,2	45,7
	3,889	64	15,4	61,1
[4,000 - 4,999]	4,167	40	9,6	70,7
	4,444	26	6,3	76,9
	4,722	32	7,7	84,6
≥ 5	5,000	20	4,8	89,4
	5,278	8	1,9	91,3
	5,556	10	2,4	93,8
	5,833	12	2,9	96,6
	6,111	14	3,4	100,0
Total		416	100,0	

3.6. Variação do nível de ruído em função das classes de velocidade do ar

3.6.1. Análise geral da variação do nível ruído em função da velocidade do ar

Pretendeu-se avaliar o nível de pressão sonora do ruído produzido pelas turbinas eólicas em função das classes de velocidade do ar. Esta primeira avaliação teve em consideração o conjunto dos 3 PE em estudo, ou seja, foi efetuada uma análise mais global (Tabela 10).

Segundo os resultados apresentados na Tabela 10, pode-se constatar que a classe de ruído do tipo “RBF” foi significativamente diferenciadora em função da velocidade do vento ($p\text{-value}<0,05$). Também o ruído “RA” apresentou diferenças médias estatisticamente significativas face às diferentes classes de velocidade do ar ($p\text{-value}<0,001$). Os restantes parâmetros de ruído (“Infrassons” e “IRBF”) apresentaram uma distribuição relativamente semelhante entre as diferentes classes de velocidade do ar ($p\text{-value}>0,05$).

Tabela 10: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à velocidade do ar

Ruído	Velocidade do ar (m/s)	N	Média	Desvio padrão	95% Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Infrassons [dB] ^a	≤ 1,999	2	80,711	2,165	61,256	100,166
	[2,000 - 2,999]	21	80,889	8,562	76,992	84,787
	[3,000 - 3,999]	91	81,369	8,572	79,584	83,154
	[4,000 - 4,999]	49	82,362	8,322	79,972	84,752
	≥ 5	32	85,716	8,260	82,738	88,694
	Total	195	82,273	8,502	81,073	83,474
RBF [dB] ^b	≤ 1,999	2	59,532	0,235	57,420	61,644
	[2,000 - 2,999]	21	60,127	6,412	57,208	63,046
	[3,000 - 3,999]	91	60,582	6,339	59,261	61,902
	[4,000 - 4,999]	49	61,859	7,795	59,620	64,098
	≥ 5	32	65,557	7,572	62,827	68,287
	Total	195	61,659	7,102	60,656	62,662
IRBF [dB] ^c	≤ 1,999	2	80,737	2,153	61,394	100,080
	[2,000 - 2,999]	21	80,947	8,505	77,076	84,819
	[3,000 - 3,999]	91	81,467	8,444	79,709	83,226
	[4,000 - 4,999]	49	82,462	8,255	80,091	84,833
	≥ 5	32	85,779	8,203	82,822	88,737
	Total	195	82,361	8,410	81,173	83,549
RA [dB(A)] ^d	≤ 1,999	2	36,473	2,724	12,001	60,944
	[2,000 - 2,999]	21	45,055	6,893	41,918	48,193
	[3,000 - 3,999]	91	44,145	5,834	42,930	45,360
	[4,000 - 4,999]	49	46,287	6,487	44,423	48,150
	≥ 5	32	50,275	5,365	48,341	52,210
	Total	195	45,709	6,429	44,801	46,617

ANOVA a um fator:

^a. F=1,754; gl1=4; gl2=190; *p-value*=0,140

^b. F=3,392; gl1=4; gl2=190; *p-value*=0,010

^c. F=1,775; gl1=4; gl2=190; *p-value*=0,135

^d. F=7,439; gl1=4; gl2=190; *p-value*<0,001

Pode-se verificar que o aumento do nível de pressão sonora é proporcional ao aumento da velocidade do ar. Isto é, à medida que aumenta a velocidade do ar, aumentam também os níveis de pressão sonora das diversas variáveis de ruído em estudo. Para a variável “RBF”, os níveis de ruído podem atingir os 65,56 dB quando a velocidade do ar se encontra na classe “≥ 5”. Para as variáveis “Infrassons” e “IRBF”, os níveis de ruído podem atingir os 85,72 dB e 85,78 dB, respetivamente. Já o tipo de ruído “RA”, atinge os 50,28 dB(A) à mesma velocidade do ar.

Para avaliar as diferenças de produção de ruído “RBF” nos PE, em função da velocidade do ar, recorreu-se ao teste de comparações múltiplas ajustado de Bonferroni (Anexo 1) podendo constatar-se que, perante velocidades do ar mais elevados, os níveis de ruído revelaram ser mais elevados, com especial ênfase nas classes de velocidade do ar entre “[2,000 - 2,999]” e “≥ 5” ($\bar{d}=-5,430$; *p-value*=0,05), bem como entre “[3,000 - 3,999]” e “≥ 5” ($\bar{d}=-4,975$; *p*=0,006). No entanto, não se observam mais diferenças significativas entre as restantes velocidades do ar face ao parâmetro de ruído “RBF”.

Com recurso ao teste de comparações múltiplas ajustado Bonferroni, veio a constatar-se que velocidades do ar “ ≥ 5 ” estiveram associadas a níveis de ruído “RA” significativamente superiores face a velocidades do ar “ $\leq 1,999$ ” ($\bar{d}=-13,803$; $p\text{-value}=0,020$), “[2,000 - 2,999]” ($\bar{d}=-5,220$; $p\text{-value}=0,024$), “[3,000 - 3,999]” ($\bar{d}=-6,130$; $p\text{-value}<0,001$) e “[4,000 - 4,999]” ($\bar{d}=-3,99$; $p\text{-value}=0,041$).

Os diagramas seguintes (Figura 29) dizem respeito à distribuição dos valores dos diferentes tipos de ruído em função dos pontos de corte assumidos na avaliação da velocidade do ar.

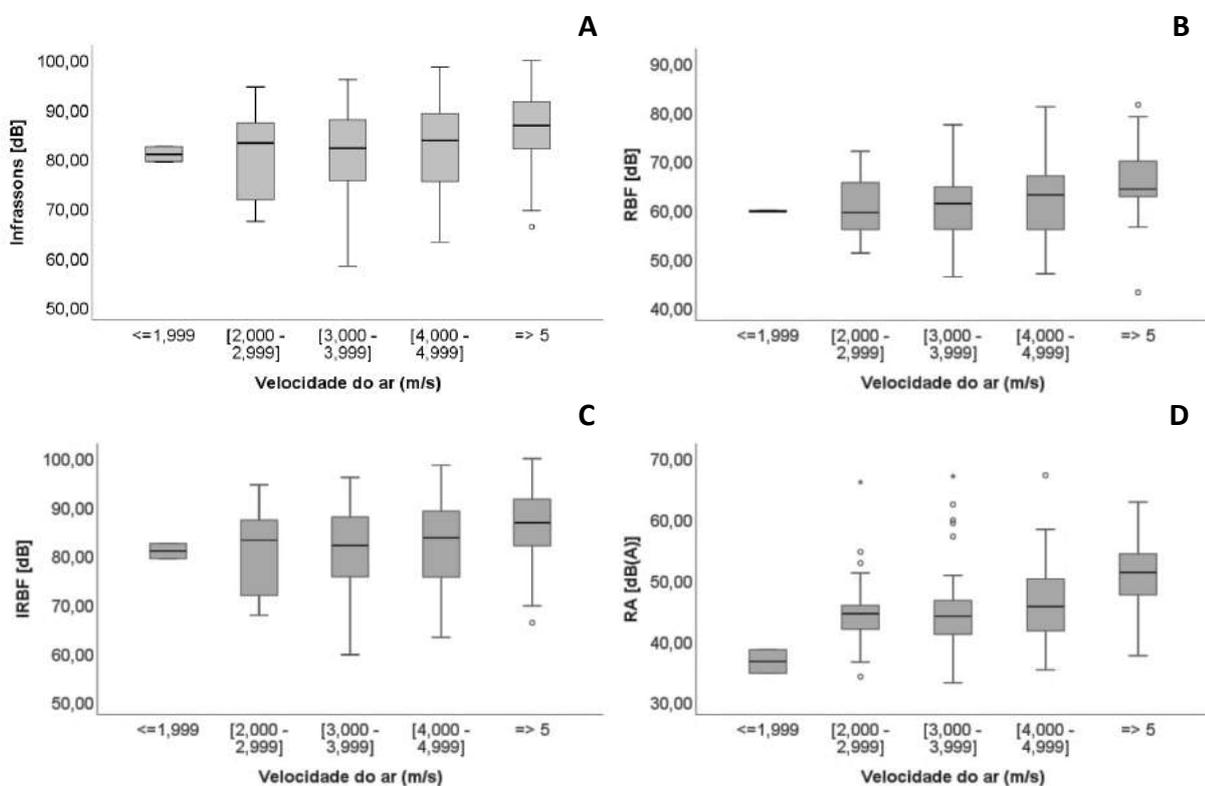


Figura 29: Diagrama de extremos e quartis das variáveis de ruído face à velocidade do ar
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

Como se pode constatar na Figura 29A, a distribuição dos níveis de ruído do tipo “Infrassons” foram relativamente heterogéneos nos primeiros pontos de velocidade do ar ($\leq 2,99$ m/s). A partir dos pontos de classificação com velocidades do ar $\geq 3,00$ m/s, constata-se também, proporcionalmente, valores mais elevados do nível de ruído do tipo “Infrassons”. Como referido anteriormente, os valores do nível de ruído aumentaram de forma gradual à medida que a velocidade do ar ia aumentando, segundo as estimativas para cada ponto de corte: “[3,000 - 3,999]” m/s: $\bar{x}=81,89$ dB; “[4,000 - 4,999]” m/s: $\bar{x} = 83,44$ dB e “ ≥ 5 ” m/s: $\bar{x} = 86,51$ dB.

Tendo como referência a Figura 29B, pode-se verificar que as estimativas pontuais de medianas de ruído do tipo “RBF” tendiam a aumentar conforme a velocidade do ar aumentasse também. As estimativas para cada ponto de corte de velocidade do ar referente à produção de ruído avaliado no referido gráfico foram: “ $\leq 1,999$ ” m/s: $\tilde{x} = 59,32$ dB; “[2,000 - 2,999]” m/s: $\tilde{x} = 59,25$ dB; “[3,000 - 3,999]” m/s: $\tilde{x} = 61,09$ dB; “[4,000 - 4,999]” m/s: $\tilde{x} = 62,86$ dB e “ ≥ 5 ” m/s: $\tilde{x} = 64,07$ dB.

Relativamente à distribuição dos níveis de ruído do tipo “IRBF” (Figura 29C), constata-se que estes foram relativamente heterogêneos nos primeiros pontos de velocidade do ar ($\leq 2,99$ m/s). À semelhança do ruído “Infrassons”, a partir dos pontos de classificação com velocidades do ar $\geq 3,00$ m/s, constata-se também valores mais elevados do nível de ruído, proporcionalmente. Os valores do nível de ruído aumentaram de forma gradual à medida que aumentou a velocidade do ar, segundo as estimativas para cada ponto de corte: “[3,000 - 3,999]” m/s: $\tilde{x} = 81,89$ dB; “[4,000 - 4,999]” m/s: $\tilde{x} = 83,45$ dB e “ ≥ 5 ” m/s: $\tilde{x} = 86,53$ dB.

No que concerne ao ruído “RA” (Figura 29D), constata-se que as estimativas pontuais de medianas deste tipo de ruído tenderam a aumentar à medida que a velocidade do ar aumentou. As estimativas para cada ponto de corte de velocidade do ar referente à produção deste tipo de ruído avaliado foram: “ $\leq 1,999$ ” m/s: $\tilde{x} = 36,47$ dB(A); “[2,000 - 2,999]” m/s: $\tilde{x} = 44,31$ dB(A); “[3,000 - 3,999]” m/s: $\tilde{x} = 43,89$ dB(A); “[4,000 - 4,999]” m/s: $\tilde{x} = 45,50$ dB(A) e “ ≥ 5 ” m/s: $\tilde{x} = 51,09$ dB(A).

Os diagramas de extremos e quartis reforçam os resultados obtidos na análise anterior e refletidos nas respectivas tabelas, ou seja, que os níveis das diferentes variáveis de ruído tendem a aumentar à medida que a velocidade do ar também aumenta (Anexo 2).

3.6.2. Análise da variação do ruído em função da velocidade do ar por parque eólico

3.6.2.1. Parque eólico de Cela

Procurou-se avaliar a variação dos diferentes tipos de ruído em estudo, ajustado à “Velocidade do ar” (Tabela 11).

Da análise da Tabela 11 pode-se constatar não existirem diferenças médias estatisticamente significativas entre a “Velocidade do ar” e os diferentes tipos de ruído. No entanto, não considerando a classe “ ≥ 5 ” (N=1), pode-se verificar que o aumento do nível de pressão sonora é proporcional ao aumento da “Velocidade do ar”. Para as variáveis “Infrassons” e “IRBF”, os níveis de ruído atingiram, respetivamente os valores de 84,49 dB e 84,69 dB à classe de velocidade do ar “[4,000 - 4,999]”. O ruído “RBF” e “RA” seguem a mesma tendência e apresentam valores de 64,91 dB e 65,14 dB(A), à mesma velocidade do ar.

Tabela 11: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à velocidade do ar, no PE de Cela

Ruído	Velocidade do ar (m/s)	N	Média	Desvio padrão	95% Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Infrassons [dB] ^a	≤ 1,999	2	80,711	2,165	61,256	100,166
	[2,000 - 2,999]	14	81,489	7,596	77,103	85,874
	[3,000 - 3,999]	33	84,149	8,506	81,134	87,165
	[4,000 - 4,999]	11	84,493	7,604	79,384	89,601
	≥ 5	1	69,305	.	.	.
	Total		61	83,245	8,106	81,168	85,321
RBF [dB] ^b	≤ 1,999	2	59,532	0,235	57,420	61,644
	[2,000 - 2,999]	14	59,740	5,334	56,660	62,820
	[3,000 - 3,999]	33	61,254	6,505	58,947	63,560
	[4,000 - 4,999]	11	64,906	6,542	60,511	69,301
	≥ 5	1	56,291	.	.	.
	Total		61	61,427	6,271	59,821	63,033
IRBF [dB] ^c	≤ 1,999	2	80,737	2,153	61,394	100,080
	[2,000 - 2,999]	14	81,526	7,567	77,157	85,894
	[3,000 - 3,999]	33	84,211	8,366	81,245	87,178
	[4,000 - 4,999]	11	84,694	7,417	79,711	89,676
	≥ 5	1	69,502	.	.	.
	Total		61	83,327	7,995	81,279	85,374
RA [dB(A)] ^d	≤ 1,999	2	59,548	0,248	57,322	61,775
	[2,000 - 2,999]	14	60,197	5,427	57,063	63,330
	[3,000 - 3,999]	33	61,442	6,409	59,169	63,714
	[4,000 - 4,999]	11	65,139	6,613	60,697	69,582
	≥ 5	1	56,804	.	.	.
	Total		61	61,685	6,234	60,088	63,281

Kruskal-Wallis:

^{a.} KW=4,781; gl=4; *p-value*=0,311

^{b.} KW=4,726; gl=4; *p-value*=0,317

^{c.} KW=4,627; gl=4; *p-value*=0,328

^{d.} KW=4,519; gl=4; *p-value*=0,340

3.6.2.2. Parque eólico de Marvila

Pretendeu-se estabelecer uma correlação entre os níveis de pressão sonora por tipo de ruído e classe de “Velocidade do ar” (Tabela 12).

Face aos resultados constantes na Tabela 12, pode afirmar-se que existem diferenças médias estatisticamente significativas entre a velocidade do ar na variação do ruído. Pode-se constatar que o aumento do nível de pressão sonora é proporcional ao aumento da velocidade do ar. Isto é, com exceção da velocidade “[2,000 - 2,999]”, à medida que aumenta a velocidade do ar, aumentam também os níveis de pressão sonora das diversas variáveis de ruído em estudo. Para a variável “RBF”, os níveis de ruído podem atingir, em média, 63,66 dB. Para as variáveis “Infrassons” e “IRBF”, os níveis de ruído podem atingir, em média, os 83,82 dB e 83,89 dB, respetivamente. Os níveis de ruído “RA” podem atingir, em média, 63,869 dB(A).

Tabela 12: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à velocidade do ar, no PE de Marvila

Ruído	Velocidade do ar (m/s)	N	Média	Desvio padrão	95% Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Infrassons [dB] ^a	[2,000 - 2,999]	2	89,761	2,595	66,445	113,077
	[3,000 - 3,999]	18	79,136	8,105	75,105	83,166
	[4,000 - 4,999]	17	82,833	9,913	77,736	87,930
	≥ 5	29	86,894	7,104	84,192	89,597
	Total	66	83,819	8,652	81,692	85,946
RBF [dB] ^b	[2,000 - 2,999]	2	68,325	3,959	32,755	103,895
	[3,000 - 3,999]	18	58,284	6,951	54,828	61,741
	[4,000 - 4,999]	17	63,526	8,943	58,928	68,123
	≥ 5	29	66,742	6,361	64,323	69,162
	Total	66	63,655	7,932	61,705	65,605
IRBF [dB] ^c	[2,000 - 2,999]	2	89,787	2,600	66,428	113,146
	[3,000 - 3,999]	18	79,227	8,058	75,219	83,234
	[4,000 - 4,999]	17	82,916	9,853	77,850	87,981
	≥ 5	29	86,956	7,038	84,279	89,633
	Total	66	83,893	8,594	81,780	86,006
RA [dB(A)] ^d	[2,000 - 2,999]	2	68,358	3,947	32,896	103,819
	[3,000 - 3,999]	18	58,548	6,990	55,071	62,024
	[4,000 - 4,999]	17	63,706	8,844	59,158	68,253
	≥ 5	29	66,958	6,266	64,574	69,341
	Total	66	63,869	7,869	61,935	65,803

Kruskal-Wallis:

- a. KW=8,889; gl=3; *p-value*=0,031
 b. KW=14,137; gl=3; *p-value*=0,003
 c. KW=9,015; gl=3; *p-value*=0,029
 d. KW=14,111; gl=3; *p-value*=0,003

Uma vez que *p-value*<0,05 (para o tipo de ruído “RBF”), aplicou-se o teste de Bonferroni corrigido (Dunn) para comparações múltiplas. Observam-se diferenças estatisticamente significativas entre os valores de velocidade do ar “[3,000 - 3,999]” e “≥ 5” ($Z=-2,737$; $p=0,037$). Também no ruído “RBF” se verificam diferenças estatisticamente significativas entre as mesmas classes de velocidade do ar ($Z=-3,561$; $p=0,002$). O mesmo se verifica no parâmetro de ruído “IRBF” para as classes de velocidade do ar “[3,000 - 3,999]” e “≥ 5” ($Z=-2,759$; $p=0,035$) e no parâmetro de ruído “RA” entre os valores de velocidade do ar “[3,000 - 3,999]” e “≥ 5” ($Z=-3,566$; $p=0,002$). Não se observam mais diferenças significativas entre as restantes velocidades do ar.

3.6.2.3. Parque eólico de Chão Falcão

Pretendeu-se estabelecer uma relação entre as variáveis níveis de pressão sonora por tipo de ruído e velocidade do ar (Tabela 13).

Tabela 13: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à velocidade do ar, no PE de Chão Falcão

Ruído	Velocidade do ar (m/s)	N	Média	Desvio padrão	95% Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Infrassons [dB] ^a	[2,000 - 2,999]	5	75,662	10,127	63,087	88,237
	[3,000 - 3,999]	40	80,080	8,428	77,385	82,775
	[4,000 - 4,999]	21	80,864	7,324	77,531	84,198
	≥ 5	2	76,839	15,324	-60,845	214,523
	Total	68	79,902	8,302	77,893	81,911
RBF [dB] ^b	[2,000 - 2,999]	5	57,932	8,309	47,614	68,249
	[3,000 - 3,999]	40	61,061	5,823	59,199	62,923
	[4,000 - 4,999]	21	58,915	6,625	55,899	61,930
	≥ 5	2	53,004	14,232	-74,865	180,873
	Total	68	59,931	6,542	58,348	61,515
IRBF [dB] ^c	[2,000 - 2,999]	5	75,792	10,024	63,346	88,238
	[3,000 - 3,999]	40	80,211	8,277	77,564	82,859
	[4,000 - 4,999]	21	80,925	7,279	77,612	84,238
	≥ 5	2	76,854	15,319	-60,784	214,493
	Total	68	80,008	8,192	78,025	81,991
RA [dB(A)] ^d	[2,000 - 2,999]	5	58,125	8,160	47,993	68,257
	[3,000 - 3,999]	40	61,263	5,811	59,405	63,122
	[4,000 - 4,999]	21	59,198	6,546	56,219	62,178
	≥ 5	2	53,960	13,026	-63,076	170,995
	Total	68	60,180	6,436	58,622	61,738

Kruskal-Wallis:

^{a.} KW=1,973; gl=3; *p-value*=0,578

^{b.} KW=2,748; gl=3; *p-value*=0,432

^{c.} KW=2,010; gl=3; *p-value*=0,570

^{d.} KW=2,966; gl=3; *p-value*=0,397

Observando os resultados da Tabela 13, não se verificaram diferenças médias estatisticamente significativas entre a velocidade do ar e a variação dos níveis de ruído. Pode-se, no entanto, constatar que não existem grandes variações nos valores médios dos níveis de ruído face às diferentes classes de velocidade do ar. Os ruídos “Infrassons” e “IRBF” apresentam valores médios de nível de pressão sonora na ordem dos 80 dB enquanto o ruído “RBF” apresenta valor a rondar os 60 dB e o “RA” valores ligeiramente acima dos 60 dB(A).

3.6.3. Análise comparativa da variação do nível de ruído em função da velocidade do ar

Procurou-se descrever o comportamento dos diferentes tipos de ruído em estudo por velocidade do ar avaliado no momento das medições, ajustado a cada PE. Para se avaliar o padrão de variação dos diferentes tipos de ruído realizaram-se, de forma descritiva, os diferentes diagramas de dispersão (Figura 30).

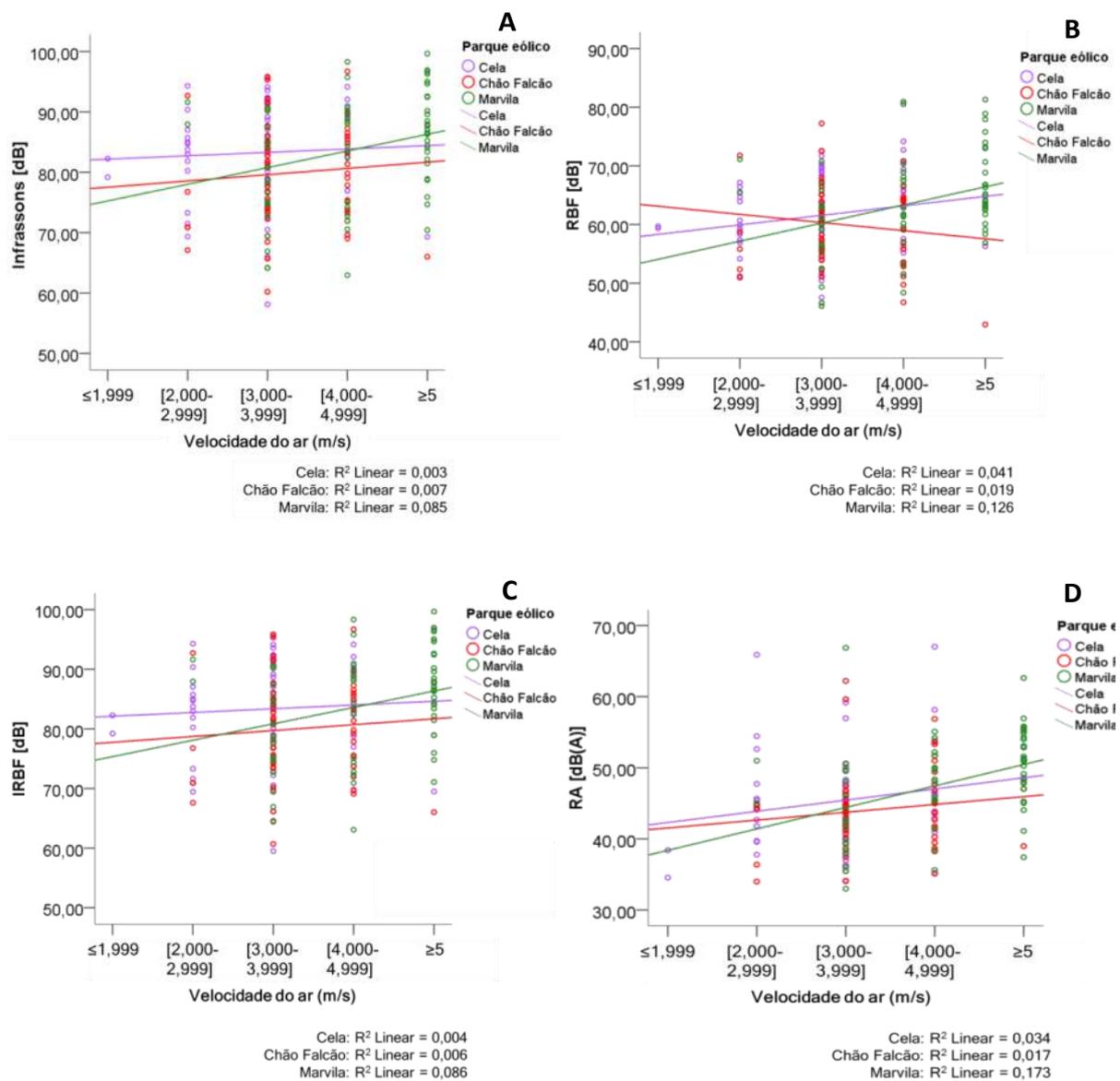


Figura 30: Relação entre a velocidade do ar e as variáveis de ruído, por PE
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

Ao analisar-se a representação do diagrama de dispersão relativos aos “Infrassons” e “IRBF”(Figura 30A e 30C) no que diz respeito à variação do nível de ruído em função da velocidade do ar, constata-se que só o PE de Marvila expressou de forma mais acentuada um aumento dos valores médios de ruído associado a maior velocidade do ar presente no mesmo PE. Tendência semelhante, mas pouco expressiva, observou-se nos PE de Cela e Chão de Falcão.

Quando avaliado o comportamento da variação do nível de ruído do tipo “RBF” (Figura 30B), os PE de Cela e Marvila tenderam para um padrão positivo de variação (valores dos níveis de ruído mais elevados estavam associados a valores mais elevados de velocidade do ar). Em sentido inverso ocorrera ao nível do PE de Chão de Falcão.

Por fim, quando se teve em atenção aos níveis de ruído do tipo “RA” (Figura 30D), todos os PE apresentaram um padrão de variação positivo, isto é, velocidades do ar maiores estiveram também associados níveis mais elevados de ruído do tipo “RA”.

3.7. Variação do nível de ruído em função da distância aos parques eólicos

3.7.1. Análise geral da variação do nível de ruído em função da distância aos parques eólicos

Procurou-se avaliar a variação dos diferentes tipos de ruído em estudo, ajustado aos diferentes pontos de medição predefinidos e standardizados na secção “2.2. Definição dos pontos de medição” (Tabela 14).

Não se registaram diferenças médias estatisticamente significativas de variação do nível de ruído em função do local de medição face ao PE ($p\text{-value}>0,05$). No entanto, não se pode deixar de referir, que a maioria das medições obtidas, revelaram uma tendência de diminuição à medida que a distância aos PE aumenta. Verificou-se que entre os PE e o km “15” a diminuição dos níveis de ruído é muito reduzida: “Infrassons” com uma perda de 7,86%; “RBF” com uma perda de 13,36%; “IRBF” com uma perda de 5,74%; e “RA” com uma perda de 9,48%.

Tabela 14: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à distância aos PE

Ruído	Distância ao PE (km)	N	Média	Desvio padrão	95% Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Infrassons [dB] ^a	0	5	86,557	11,127	72,742	100,373
	0,5	24	85,580	7,439	82,438	88,721
	1	25	82,514	8,326	79,077	85,950
	2	24	84,570	6,305	81,907	87,232
	3	25	82,323	8,615	78,767	85,879
	4	24	79,609	8,042	76,213	83,005
	5	23	81,163	9,542	77,037	85,289
	10	22	81,561	9,368	77,408	85,715
	15	23	79,753	8,851	75,925	83,580
Total	195	82,273	8,502	81,073	83,474	
RBF [dB] ^b	0	5	67,861	8,600	57,183	78,540
	0,5	24	64,811	5,850	62,341	67,282
	1	25	61,108	7,588	57,976	64,240
	2	24	63,097	4,918	61,020	65,173
	3	25	61,167	6,808	58,357	63,977
	4	24	60,403	6,902	57,488	63,317
	5	23	60,861	8,311	57,267	64,455
	10	22	61,633	7,139	58,467	64,798
	15	23	58,793	7,479	55,559	62,027
Total	195	61,659	7,102	60,656	62,662	
IRBF [dB] ^c	0	5	86,632	11,066	72,892	100,372
	0,5	24	85,623	7,406	82,495	88,750
	1	25	82,566	8,274	79,151	85,981
	2	24	84,625	6,234	81,992	87,258
	3	25	82,377	8,551	78,847	85,907
	4	24	79,815	7,883	76,486	83,144
	5	23	81,302	9,363	77,253	85,351
	10	22	81,657	9,261	77,551	85,764
	15	23	79,816	8,806	76,008	83,624
Total	195	82,361	8,410	81,173	83,549	
RA [dB(A)] ^d	0	5	49,043	4,031	44,038	54,048
	0,5	24	47,376	4,268	45,574	49,178
	1	25	46,870	5,822	44,467	49,274
	2	24	47,600	4,801	45,573	49,628
	3	25	43,758	6,190	41,203	46,313
	4	24	43,638	6,444	40,917	46,359
	5	23	45,778	9,258	41,774	49,781
	10	22	45,525	7,652	42,133	48,918
	15	23	44,395	5,723	41,921	46,870
Total	195	45,709	6,429	44,801	46,617	

ANOVA a um fator:

a. $F=1,478$; $gl1=8$; $gl2=186$; $p\text{-value}=0,168$

b. $F=1,890$; $gl1=8$; $gl2=186$; $p\text{-value}=0,064$

c. $F=1,462$; $gl1=8$; $gl2=199$; $p\text{-value}=0,174$

d. $F=1,482$; $gl1=8$; $gl2=186$; $p\text{-value}=0,166$

A Figura 31 reflete os diagramas de extremos e quartis respeitantes à distribuição dos valores dos diferentes tipos de ruído em função da distância dos pontos de medição aos PE.

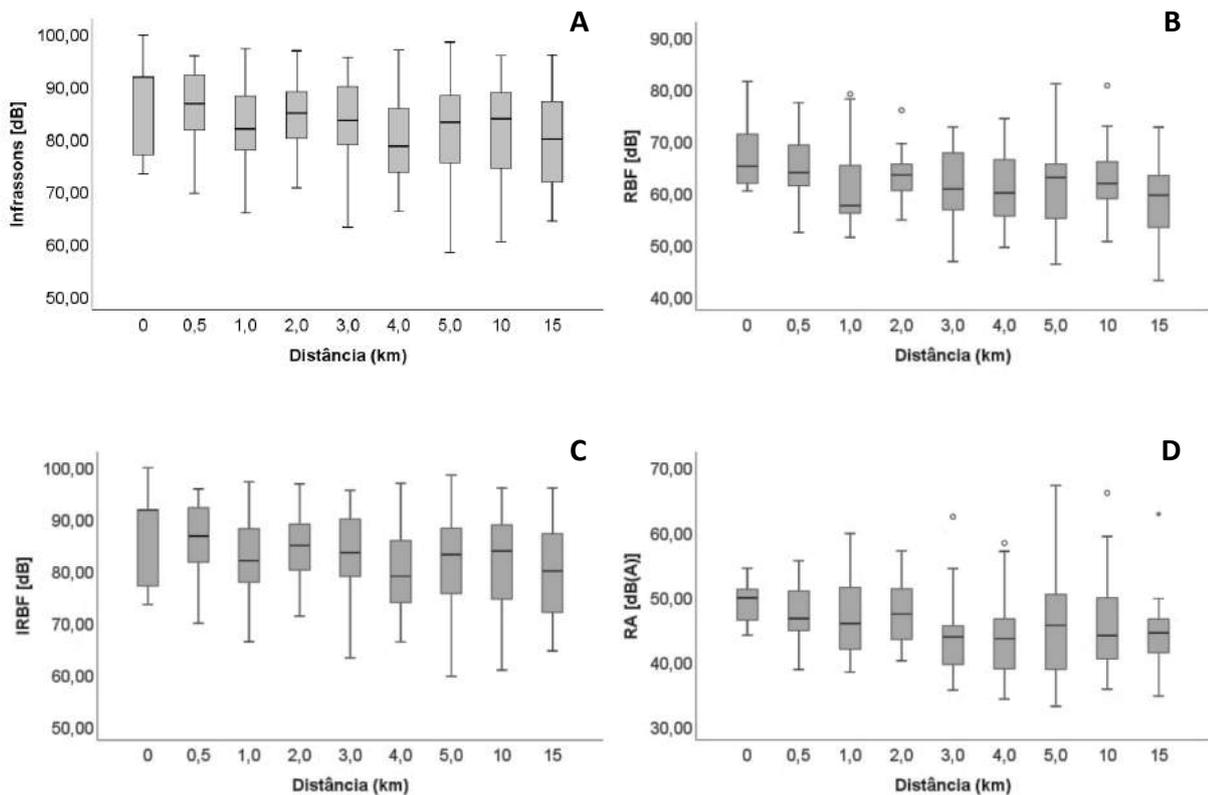


Figura 31: Diagrama de extremos e quartis das variáveis de ruído face à distância ao PE
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

Como se pode constatar pela Figura 31A, quanto à distribuição dos níveis de “Infrassons” em função da “Distância ao PE”, os valores medianos estimados revelaram uma distribuição heterogénea, isto é, sem qualquer padrão de variação. Como referido anteriormente, os valores de ruído variaram, segundo as estimativas para cada ponto de corte: “0” km: $\tilde{x} = 91,55$ dB; “0,5” km: $\tilde{x} = 86,51$ dB; “1” km: $\tilde{x} = 81,75$ dB; “2” km: $\tilde{x} = 84,71$ dB; “3” km: $\tilde{x} = 83,33$ dB; “4” km: $\tilde{x} = 78,45$ dB; “5” km: $\tilde{x} = 82,95$ dB; “10” km: $\tilde{x} = 83,66$ dB; e “15” km: $\tilde{x} = 79,78$ dB.

Ao nível do parâmetro de ruído “RBF” (Figura 31B) pode-se constatar uma ligeira tendência de variação deste parâmetro face ao PE, sendo essa mesma variação inversamente proporcional à distância padronizada. As estimativas para cada ponto de corte de velocidade do ar referente à produção de ruído avaliado no referido gráfico foram: “0” km: $\tilde{x} = 64,97$ dB; “0,5” km: $\tilde{x} = 63,76$ dB; “1” km: $\tilde{x} = 57,38$ dB; “2” km: $\tilde{x} = 63,30$ dB; “3” km: $\tilde{x} = 60,58$ dB; “4” km: $\tilde{x} = 59,84$ dB; “5” km: $\tilde{x} = 62,81$ dB; “10” km: $\tilde{x} = 61,64$ dB; e “15” km: $\tilde{x} = 59,37$ dB.

Relativamente à distribuição dos níveis de ruído do tipo “IRBF” (Figura 31C), este apresentou uma distribuição de valores mediano de forma aleatória não evidenciando uma redução ou aumento deste parâmetro em função da maior ou menor “Distância ao PE”. Os valores de ruído variaram de acordo com as estimativas para cada ponto de corte: “0” km: $\tilde{x} = 91,56$ dB; “0,5” km: $\tilde{x} = 86,53$ dB; “1” km: $\tilde{x} = 81,75$ dB; “2” km: $\tilde{x} = 84,71$ dB; “3” km: $\tilde{x} = 83,33$ dB; “4” km: $\tilde{x} = 78,45$ dB; “5” km: $\tilde{x} = 82,95$ dB; “10” km: $\tilde{x} = 83,66$ dB; e “15” km: $\tilde{x} = 79,78$ dB.

= 81,79 dB; “2” km: \tilde{x} = 84,73 dB; “3” km: \tilde{x} = 83,34 dB; “4” km: \tilde{x} = 78,79 dB; “5” km: \tilde{x} = 82,97 dB; “10” km: \tilde{x} = 83,67 dB; e “15” km: \tilde{x} = 79,78 dB.

Por fim, no que concerne ao ruído “RA” (Figura 31D), constata-se um padrão semelhante à variação do ruído “RBF”. Também neste tipo de ruído se verifica uma ligeira tendência de variação face à “Distância ao PE”. As estimativas para cada ponto de corte de velocidade do ar referente à produção deste ruído avaliado foram: “0” km: \tilde{x} = 49,69 dB(A); “0,5” km: \tilde{x} = 46,51 dB(A); “1” km: \tilde{x} = 45,72 dB(A); “2” km: \tilde{x} = 47,23 dB(A); “3” km: \tilde{x} = 43,69 dB(A); “4” km: \tilde{x} = 43,39 dB(A); “5” km: \tilde{x} = 45,48 dB(A); “10” km: \tilde{x} = 43,89 dB(A); e “15” km: \tilde{x} = 44,31 dB(A).

Os diagramas relativos à distribuição dos valores dos diferentes tipos de ruído em função da “Distância ao PE” demonstraram uma tendência negativa da variação dos níveis de ruído face à mesma (Anexo 3).

3.7.2. Análise da variação do nível de ruído em função da distância por parque eólico

3.7.2.1. Parque eólico de Cela

Pretendeu-se estabelecer uma relação entre as variáveis “Infrassons”, “RBF”, “IRBF” e “RA” e a distância ao PE de Cela (Tabela 15).

Analisando a Tabela 15, registaram-se diferenças médias estatísticas marginalmente significativas entre a variável “RBF” e a distância ao PE ($p\text{-value}=0,05$). Não se encontraram diferenças significativas entre variáveis de ruído “Infrassons”, “IRBF” e “RA” face à distância ao PE. Os níveis médios de ruído mais elevados foram encontrados, tal como expectável, nos pontos mais próximos do PE, com particular atenção ao km “2” (para todos os tipos de ruído) onde se registaram os níveis de ruído mais elevados. Registaram-se os seguintes níveis médios de ruído: “Infrassons” = 83,25 dB; “RBF” = 61,43 dB, “IRBF” = 83,33 dB; e “RA” = 61,69 dB(A).

Tabela 15: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à distância ao PE de Cela

Ruído	Distância (km)	N	Média	Desvio padrão	95% Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Infrassons [dB] ^a	0,5	8	88,347	6,672	82,769	93,924
	1	9	80,250	8,120	74,008	86,491
	2	8	87,563	4,676	83,654	91,472
	3	9	83,481	6,790	78,262	88,701
	4	8	81,980	7,592	75,633	88,327
	5	7	77,765	10,317	68,223	87,306
	10	6	86,052	8,818	76,799	95,306
	15	6	80,091	8,741	70,918	89,264
	Total	61	83,245	8,106	81,168	85,321
RBF [dB] ^b	0,5	8	64,821	4,716	60,878	68,763
	1	9	57,641	4,563	54,133	61,148
	2	8	65,352	3,413	62,498	68,205
	3	9	61,528	6,162	56,791	66,264
	4	8	62,342	7,154	56,361	68,322
	5	7	57,064	7,394	50,226	63,903
	10	6	63,252	7,687	55,185	71,319
	15	6	59,241	5,236	53,746	64,736
	Total	61	61,427	6,271	59,821	63,033
IRBF [dB] ^c	0,5	8	88,367	6,659	82,799	93,934
	1	9	80,291	8,078	74,082	86,500
	2	8	87,590	4,659	83,695	91,485
	3	9	83,512	6,765	78,312	88,712
	4	8	82,238	7,412	76,041	88,434
	5	7	77,979	9,890	68,833	87,126
	10	6	86,073	8,811	76,827	95,320
	15	6	80,143	8,688	71,025	89,261
	Total	61	83,327	7,995	81,279	85,374
RA [dB(A)] ^d	0,5	8	64,890	4,674	60,983	68,797
	1	9	58,037	4,406	54,650	61,424
	2	8	65,434	3,403	62,589	68,279
	3	9	61,611	6,092	56,929	66,294
	4	8	62,516	7,021	56,646	68,386
	5	7	57,423	7,775	50,232	64,614
	10	6	64,067	7,793	55,889	72,245
	15	6	59,473	4,976	54,252	64,695
	Total	61	61,685	6,234	60,088	63,281

Kruskal-Wallis:

^{a.} KW=11,783; gl=7; *p-value*=0,108

^{b.} KW=14,049; gl=7; *p-value*=0,050

^{c.} KW=11,927; gl=7; *p-value*=0,103

^{d.} KW=13,736; gl=7; *p-value*=0,056

3.7.2.2. Parque eólico de Marvila

Pretendeu-se estabelecer uma relação entre as variáveis de ruído “Infrassons”, “RBF”, “IRBF” e “RA” e a distância ao parque eólico de Marvila (Tabela 16).

Tabela 16: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à distância ao PE de Marvila

Ruído	Distância (km)	N	Média	Desvio padrão	95% Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Infrassons [dB] ^a	0	2	95,619	5,690	44,500	146,738
	0,5	8	88,303	4,630	84,432	92,174
	1	8	89,382	7,020	83,514	95,251
	2	8	84,711	7,612	78,348	91,075
	3	8	80,072	10,118	71,613	88,531
	4	8	75,431	5,790	70,591	80,271
	5	8	85,764	9,825	77,551	93,978
	10	8	83,526	7,366	77,368	89,684
	15	8	80,413	7,867	73,836	86,990
Total	66	83,819	8,652	81,692	85,946	
RBF [dB] ^b	0	2	76,210	7,191	11,599	140,820
	0,5	8	67,096	4,471	63,358	70,833
	1	8	69,555	6,729	63,929	75,181
	2	8	64,196	5,436	59,651	68,741
	3	8	59,646	8,701	52,371	66,920
	4	8	56,403	5,566	51,749	61,056
	5	8	65,476	9,915	57,187	73,765
	10	8	64,039	7,008	58,180	69,898
	15	8	59,690	5,360	55,209	64,171
Total	66	63,655	7,932	61,705	65,605	
IRBF [dB] ^c	0	2	95,656	5,700	44,439	146,873
	0,5	8	88,330	4,625	84,464	92,196
	1	8	89,422	7,009	83,562	95,282
	2	8	84,811	7,446	78,586	91,036
	3	8	80,139	10,061	71,728	88,550
	4	8	75,511	5,746	70,707	80,314
	5	8	85,908	9,706	77,793	94,022
	10	8	83,592	7,333	77,461	89,722
	15	8	80,491	7,788	73,980	87,002
Total	66	83,893	8,594	81,780	86,006	
RA [dB(A)] ^d	0	2	76,224	7,178	11,730	140,718
	0,5	8	67,315	4,295	63,725	70,906
	1	8	69,698	6,577	64,199	75,196
	2	8	64,421	5,363	59,938	68,905
	3	8	59,896	8,589	52,715	67,076
	4	8	56,673	5,469	52,100	61,246
	5	8	65,736	9,967	57,403	74,068
	10	8	64,116	6,974	58,285	69,946
	15	8	60,008	5,546	55,371	64,644
Total	66	63,869	7,869	61,935	65,803	

Kruskal-Wallis:

a. KW=20,650; gl=8; *p-value*=0,008

b. KW=23,560; gl=8; *p-value*=0,003

c. KW=20,696; gl=8; *p-value*=0,008

d. KW=23,583; gl=8; *p-value*=0,003

De acordo com a Tabela 16, verificou-se haver diferenças médias estatisticamente significativas entre todas estas variáveis e a distância ao PE (*p-value*<0,05). Os níveis médios de ruído mais elevados foram encontrados, tal como expectável, no centro do PE, ou seja, no ponto “0”. Verificaram-se níveis médios de “Infrassons” de 83,82 dB, “RBF” de 63,66 dB, “IRBF” de 83,89 dB e “RA” de 63,87 dB(A).

Sendo o $p\text{-value} < 0,05$, aplicou-se o teste de Bonferroni corrigido para comparações múltiplas. Constataram-se diferenças estatisticamente significativas entre as distâncias km “4” e “1” nas várias variáveis de ruído: “Infrassons” ($Z=3,308$; $p=0,034$), “RBF” ($Z=3,464$; $p=0,019$), “IRBF” ($Z=3,321$; $p=0,032$) e “RA” ($Z=3,464$; $p=0,019$). Na variável “RA”, constataram-se ainda diferenças estatisticamente significativas entre os km “4 e “0,5” ($Z=3,204$; $p=0,049$).

3.7.2.3. Parque eólico de Chão Falcão

Pretendeu-se estabelecer uma relação entre as variáveis de ruído e a distância ao PE de Chão Falcão (Tabela 17).

Pode constatar-se que não existem diferenças médias estatisticamente significativas entre as variáveis “Infrassons”, “RBF”, “IRBF” e “RA” e a distância ao PE. Mais uma vez se verificou uma diminuição dos níveis de pressão sonora à medida que a distância ao PE aumenta, no entanto, esta diminuição não é significativa. Para os “Infrassons” e “IRBF” a perda, entre o km “0” e o km “15” é de, sensivelmente, 1,6 dB. Para o “RBF” e “RA”, o nível de pressão sonora entre os dois extremos de distância é de 4,6 dB e 4,26 dB(A), respetivamente. Registaram-se os seguintes níveis médios de ruído: “Infrassons” = 79,90 dB; “RBF” = 59,93 dB, “IRBF” = 80,01 dB; e “RA” = 60,18 dB(A).

Tabela 17: Variação dos níveis de pressão sonora por tipo de ruído, face à distância ao PE de Chão Falcão

Ruído	Distância (km)	N	Média	Desvio padrão	95% Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Infrassons [dB] ^a	0	3	80,516	9,724	56,360	104,672
	0,5	8	80,089	8,012	73,391	86,788
	1	8	78,192	5,586	73,522	82,862
	2	8	81,436	5,416	76,908	85,963
	3	8	83,272	9,531	75,304	91,240
	4	8	81,416	9,551	73,431	89,400
	5	8	79,535	7,722	73,079	85,991
	10	8	76,228	9,963	67,899	84,557
	15	9	78,940	10,596	70,795	87,085
Total		68	79,902	8,302	77,893	81,911
RBF [dB] ^b	0	3	62,296	2,432	56,254	68,338
	0,5	8	62,518	7,632	56,137	68,898
	1	8	56,561	2,778	54,239	58,883
	2	8	59,742	4,267	56,175	63,309
	3	8	62,281	5,964	57,296	67,267
	4	8	62,463	6,850	56,736	68,190
	5	8	59,567	5,590	54,894	64,240
	10	8	58,011	6,140	52,878	63,145
	15	9	57,697	10,452	49,663	65,731
Total		68	59,931	6,542	58,348	61,515
IRBF [dB] ^c	0	3	80,616	9,639	56,670	104,561
	0,5	8	80,171	7,972	73,506	86,836
	1	8	78,270	5,434	73,727	82,812
	2	8	81,474	5,397	76,962	85,986
	3	8	83,338	9,420	75,463	91,213
	4	8	81,697	9,182	74,021	89,374
	5	8	79,605	7,676	73,188	86,022
	10	8	76,411	9,779	68,236	84,587
	15	9	78,998	10,569	70,874	87,122
Total		68	80,008	8,192	78,025	81,991
RA [dB(A)] ^d	0	3	62,383	2,399	56,424	68,343
	0,5	8	62,610	7,562	56,287	68,932
	1	8	56,879	3,266	54,149	59,609
	2	8	59,928	4,219	56,401	63,455
	3	8	62,690	5,968	57,700	67,679
	4	8	62,626	6,791	56,949	68,303
	5	8	59,888	5,424	55,354	64,423
	10	8	58,165	6,078	53,083	63,246
	15	9	58,089	10,048	50,366	65,813
Total		68	60,180	6,436	58,622	61,738

Kruskal-Wallis:

a. KW=3,281; gl=8; *p-value*=0,916

b. KW=7,801; gl=8; *p-value*=0,453

c. KW=3,344; gl=8; *p-value*=0,911

d. KW=8,530; gl=8; *p-value*=0,384

3.7.3. Análise comparativa da variação do nível de ruído em função da distância aos parques eólicos

A Figura 32 descreve o comportamento dos diferentes tipos de ruído em função da distância dos pontos de medição aos PE, ajustado a cada PE. Para se avaliar o padrão de variação dos diferentes tipos de ruído realizaram-se, de forma descritiva, os diferentes diagramas de dispersão.

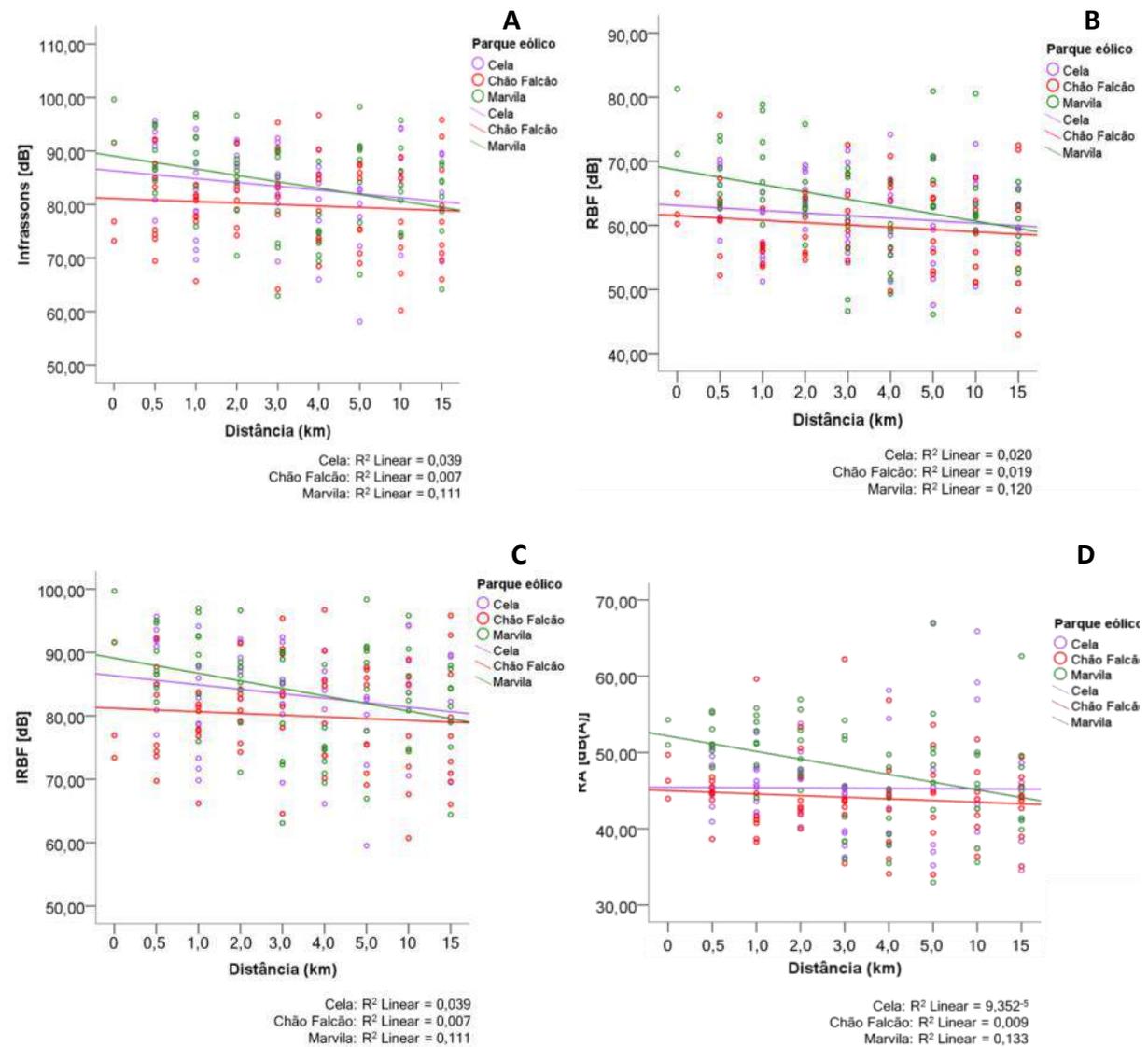


Figura 32: Relação entre a distância e as variáveis de ruído, por PE
A: Infrassons; B: RBF; C: IRBF; D: RA

Ao analisar-se a representação do diagrama de dispersão (Figura 32A e 32C) no que diz respeito à variação do ruído “Infrassons” e “IRBF”, em função da distância ao PE, verifica-se que ambos os PE expressaram uma diminuição dos valores médios de ruído associado a um aumento da distância ao PE. Essa diminuição é menos expressiva no que diz respeito ao PE de Chão Falcão e mais acentuada no PE de Marvila.

No que concerne ao comportamento da variação do nível de ruído do tipo “RBF” (Figura 32B), os PE de Cela e Chão Falcão apresentam um padrão de variação muito semelhante. Em todos os PE se verifica um padrão de variação negativo (valores mais elevados de ruído estavam associados a pontos de medição mais afastadas).

Por fim, no que diz respeito ao tipo de ruído “RA” (Figura 32), os PE de Marvila e Cela apresentam um padrão de variação negativo. No entanto, é possível observar-se uma ligeira subida dos valores médios de ruído com o aumento da distância, para o PE de Cela.

3.8. Variação do nível de ruído em função da velocidade do ar e da distância aos parques eólicos

3.8.1. Análise geral da variação do nível de ruído em função da velocidade do ar e da distância aos parques eólicos

Tendo por base a análise anterior dos diagramas de dispersão, avaliou-se a correlação dos diferentes tipos de ruído em função das diferentes distâncias padronizadas aos pontos de corte de velocidade do ar predefinidos (Tabela 18).

Tabela 18: Correlação entre a distância e os tipos de ruído, ajustados à velocidade do ar

Velocidade do ar (m/s)	N			Variável de ruído			
				Infrassons	RBF	IRBF	RA
[2,000 - 2,999]	21	Distância aos PE	r	-0,039	-0,092	-0,038	-0,109
			p-value	0,867	0,693	0,869	0,638
[3,000 - 3,999]	91	Distância aos PE	r	-0,202	-0,151	-0,200	-0,068
			p-value	0,055	0,152	0,058	0,519
[4,000 - 4,999]	49	Distância aos PE	r	0,125	0,015	0,124	-0,015
			p-value	0,391	0,919	0,394	0,919
≥ 5	32	Distância aos PE	r	-0,609	-0,579	-0,610	-0,432
			p-value	<0,001	0,001	<0,001	0,013

Legenda:

r - Correlação de Pearson

Segundo os resultados apresentados na tabela, constata-se a presença de correlação entre as distâncias assumidas no estudo e os níveis de ruído do tipo “Infrassons”, “RBF” e “IRBF”, perante uma velocidade do ar de “≥ 5” ($p\text{-value}<0,05$). Pode-se afirmar que este padrão de correlação é inversamente proporcional entre os níveis de ruído e os pontos de medição (Distância ao PE), isto é, quanto maior o afastamento (Distância ao PE) face ao PE, menor é a exposição média dos diferentes níveis de ruído. Padrão semelhante ocorreu perante uma velocidade do ar de “[3,000 - 3,999]” ao nível das diferentes distâncias padronizadas com os parâmetros de ruído “Infrassons” e “IRBF”. No entanto, estas correlações, inversamente proporcionais, foram consideradas marginalmente

significativas de baixa magnitude. Não se observou qualquer padrão de correlação entre os diferentes níveis de ruído face às distâncias avaliadas quer ao nível das velocidades do ar entre “[2,000 - 2,999]” bem como entre “[4,000 - 4,999]” ($p\text{-value}>0,05$). No que diz respeito ao tipo de ruído “RA”, só se observou um padrão de correlação negativo entre o PE com a variação deste tipo de ruído na presença de velocidade do ar de “ ≥ 5 ”.

Tabela 19: Relação entre velocidade do ar e distância ao PE, para a variável “Infrassons”

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	15	80,711	2,165
	Total	80,711	2,165
[2,000 - 2,999]	1	72,384	1,266
	3	80,423	6,595
	4	87,366	2,843
	5	76,910	8,547
	10	80,466	11,462
	15	80,603	11,375
	Total	80,889	8,562
[3,000 - 3,999]	0	80,516	9,724
	0,5	84,692	8,669
	1	81,177	6,911
	2	84,569	6,157
	3	83,023	8,577
	4	77,767	7,293
	5	78,154	10,284
	10	79,477	10,451
	15	80,128	11,331
Total	81,369	8,572	
[4,000 - 4,999]	0,5	80,903	5,618
	1	76,294	5,994
	2	84,291	5,519
	3	82,382	10,801
	4	79,694	9,322
	5	84,371	8,858
	10	84,460	8,514
	15	82,037	7,577
Total	82,362	8,322	
≥ 5	0,5	88,303	4,630
	1	89,382	7,020
	2	84,711	7,612
	10	80,491	8,220
	15	73,862	7,380
	Total	85,716	8,260
Total	0	86,557	11,127
	0,5	85,580	7,439
	1	82,514	8,326
	2	84,570	6,305
	3	82,323	8,615
	4	79,609	8,042
	5	81,163	9,542
	10	81,561	9,368
	15	79,753	8,851
	Total	82,273	8,502

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=1,224$; $gl_1=19$; $gl_2=163$; $p\text{-value}=0,224$; $R^2_p=0,125$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,235$; $gl_1=8$; $gl_2=163$; $p\text{-value}=0,282$; $R^2_p=0,057$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=1,289$; $gl_1=4$; $gl_2=163$; $p\text{-value}=0,276$; $R^2_p=0,031$

$R^2_{aj}=0,047$

Procurou-se compreender como a variação do nível de ruído do tipo “Infrassons” poderia ser predito pelos efeitos combinados em função dos efeitos principais “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar” em classes (Tabela 19).

Como se pode constatar, segundo os resultados apresentados na tabela, não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “Infrassons” ($p\text{-value}>0,05$). Esses resultados apresentaram ausência de um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias à fonte consideradas.

Também quanto aos efeitos principais isolados não se verificaram efeitos estatisticamente significativos (“Distância ao PE”: $p\text{-value}>0,05$; “Velocidade do ar”: $p\text{-value}>0,05$) na produção do parâmetro de ruído em estudo.

À semelhança da análise anterior procurou-se compreender a variação do nível de ruído do tipo “RBF” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar” (Tabela 20).

Como se pode verificar, não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com a “Velocidade do ar” na variação do tipo de ruído “RBF” ($p\text{-value}>0,05$). Mais uma vez, verificou-se a ausência de um padrão de variação do nível de ruído do tipo “RBF” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias ao PE.

Quanto aos efeitos principais isolados apenas se verificou um efeito estatisticamente significativos na variável “Distância ao PE” face à produção de ruído “RBF”. Verifica-se uma redução tendencialmente significativa deste tipo de ruído, quanto mais afastados os pontos de medições face ao PE.

Tabela 20: Relação entre velocidade do ar e distância ao PE, para a variável “RBF”

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	15	59,532	0,235
	Total	59,532	0,235
[2,000 - 2,999]	1	54,066	4,000
	3	59,187	4,174
	4	65,250	1,679
	5	56,125	5,333
	10	60,057	4,500
	15	59,811	10,517
	Total	60,127	6,412
[3,000 - 3,999]	0	62,296	2,432
	0,5	64,139	6,471
	1	58,128	3,839
	2	62,128	4,550
	3	61,162	7,606
	4	58,255	5,894
	5	57,972	8,179
	10	60,693	6,403
15	61,220	6,902	
	Total	60,582	6,339
[4,000 - 4,999]	0,5	60,379	3,945
	1	55,197	1,654
	2	63,803	5,736
	3	62,588	7,243
	4	62,075	8,622
	5	64,476	8,335
	10	63,479	9,778
15	57,463	6,903	
	Total	61,859	7,795
≥ 5	0,5	67,096	4,471
	1	69,555	6,729
	2	64,196	5,436
	10	61,158	2,901
	15	56,093	9,876
	Total	65,557	7,572
Total	0	67,861	8,600
	0,5	64,811	5,850
	1	61,108	7,588
	2	63,097	4,918
	3	61,167	6,808
	4	60,403	6,902
	5	60,861	8,311
	10	61,633	7,139
	15	58,793	7,479
	Total	61,659	7,102

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=1,541$; $gl_1=19$; $gl_2=163$; $p\text{-value}=0,078$; $R^2_p=0,152$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=2,112$; $gl_1=8$; $gl_2=163$; $p\text{-value}=0,037$; $R^2_p=0,094$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=2,146$; $gl_1=4$; $gl_2=163$; $p\text{-value}=0,077$; $R^2_p=0,050$

$R^2_{aj}=0,125$

Na Tabela 21, procurou-se compreender a variação do nível de ruído do tipo “IRBF” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar”.

Tabela 21: Relação entre velocidade do ar e distância ao PE, para a variável “IRBF”

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	15	80,737	2,153
	Total	80,737	2,153
[2,000 - 2,999]	1	72,467	1,182
	3	80,465	6,554
	4	87,390	2,830
	5	76,944	8,519
	10	80,602	11,269
	15	80,636	11,367
	Total	80,947	8,505
[3,000 - 3,999]	0	80,616	9,639
	0,5	84,745	8,625
	1	81,233	6,810
	2	84,592	6,145
	3	83,070	8,508
	4	77,932	7,107
	5	78,404	9,975
	10	79,603	10,299
	15	80,242	11,217
	Total	81,467	8,444
[4,000 - 4,999]	0,5	80,936	5,604
	1	76,349	5,921
	2	84,352	5,475
	3	82,457	10,722
	4	80,035	9,170
	5	84,435	8,817
	10	84,515	8,496
	15	82,051	7,573
Total	82,462	8,255	
≥ 5	0,5	88,330	4,625
	1	89,422	7,009
	2	84,811	7,446
	10	80,555	8,147
	15	73,986	7,397
Total	85,779	8,203	
Total	0	86,632	11,066
	0,5	85,623	7,406
	1	82,566	8,274
	2	84,625	6,234
	3	82,377	8,551
	4	79,815	7,883
	5	81,302	9,363
	10	81,657	9,261
	15	79,816	8,806
	Total	82,361	8,410

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=1,229$; $g1=19$; $g2=163$; $p\text{-value}=0,240$; $R^2_p=0,125$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,257$; $g1=8$; $g2=163$; $p\text{-value}=0,269$; $R^2_p=0,058$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=1,299$; $g1=4$; $g2=163$; $p\text{-value}=0,272$; $R^2_p=0,031$

$R^2_{aj}=0,047$

Não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “IRBF” ($p\text{-value}>0,05$). Esses resultados apresentaram ausência de um padrão de variação do ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias à fonte consideradas.

No que concerne aos efeitos principais isolados, não se verificaram efeitos estatisticamente significativos (“Distância ao PE”: $p\text{-value}>0,05$; “Velocidade do ar”: $p\text{-value}>0,05$) na produção de ruído do tipo “IRBF”.

Efetuuou-se a mesma análise para compreender a variação do nível de ruído do tipo “RA” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar” (Tabela 22).

Como se pode verificar na tabela, não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “RA” ($p\text{-value}>0,05$). Mais uma vez se verificou uma ausência de um padrão de variação do nível de ruído “RA” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias ao PE.

Quanto aos efeitos principais isolados, o fator “Velocidade do ar” apresentou um efeito estatisticamente significativo na produção do parâmetro de ruído em estudo. Verifica-se um aumento tendencialmente significativa do ruído do tipo “RA”, quanto maior é a velocidade do ar.

Apresentando a variável de ruído do tipo “RA” um $p\text{-value}<0,05$, aplicou-se o teste de Bonferroni para comparações multivariadas (Anexo 4), tendo-se observado diferenças estatisticamente significativas entre os valores da “Velocidade do ar”. As diferenças registaram-se entre os valores de “Velocidade do ar”: “ $\leq 1,999$ ” e “ ≥ 5 ” ($\bar{d}=-13,803$; $p=0,020$); “[2,000 - 2,999]” e “ ≥ 5 ” ($\bar{d}=-5,220$; $p=0,024$); “[3,000 - 3,999]” e “ ≥ 5 ” ($\bar{d}=-6,130$; $p<0,001$); e “[4,000 - 4,999]” e “ ≥ 5 ” ($\bar{d}=-3,9890$; $p=0,041$).

Tabela 22: Relação entre velocidade do ar e distância ao PE, para a variável “RA”

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	15	36,473	2,724
	Total	36,473	2,724
[2,000 - 2,999]	1	47,217	7,646
	3	42,644	3,638
	4	47,153	6,366
	5	40,859	9,706
	10	46,663	13,281
	15	44,422	0,389
	Total	45,055	6,893
[3,000 - 3,999]	0	46,650	2,883
	0,5	45,581	2,846
	1	45,147	5,217
	2	44,657	3,675
	3	42,419	6,841
	4	40,394	4,477
	5	43,801	9,898
	10	46,666	7,566
	15	45,599	3,453
	Total	44,145	5,834
[4,000 - 4,999]	0,5	41,915	1,399
	1	41,071	4,501
	2	50,112	3,990
	3	47,042	5,772
	4	47,592	6,915
	5	48,613	9,070
	10	44,859	5,542
	15	43,646	4,552
Total	46,287	6,487	
≥ 5	0,5	51,882	2,521
	1	51,543	3,851
	2	50,759	4,223
	10	41,349	5,551
	15	47,835	10,696
Total	50,275	5,365	
Total	0	49,043	4,031
	0,5	47,376	4,268
	1	46,870	5,822
	2	47,600	4,801
	3	43,758	6,190
	4	43,638	6,444
	5	45,778	9,258
	10	45,525	7,652
	15	44,395	5,723
	Total	45,709	6,429

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=1,160$; $gl_1=19$; $gl_2=163$; $p\text{-value}=0,298$; $R^2_p=0,119$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=0,779$; $gl_1=8$; $gl_2=163$; $p\text{-value}=0,622$; $R^2_p=0,039$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=2,776$; $gl_1=4$; $gl_2=163$; $p\text{-value}=0,029$; $R^2_p=0,068$

$R^2_{aj}=0,126$

Tendo por base as análises multivariadas, apresentadas anteriormente, pretendeu-se compreender a distribuição das estimativas médias, de cada um dos parâmetros de ruído, em função da “Velocidade do ar” e da “Distância ao PE” com recurso a análises gráficas longitudinais (Figura 33).

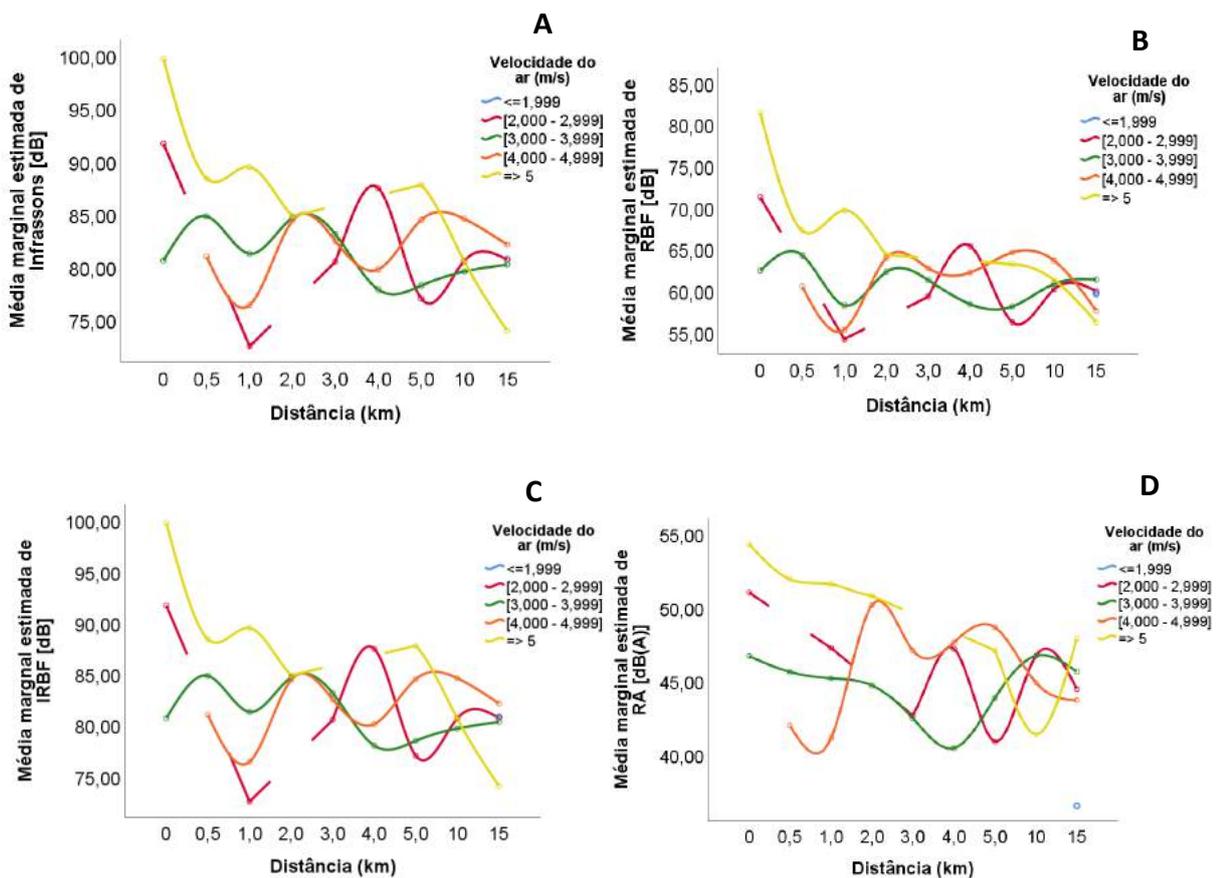


Figura 33: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à velocidade do ar
A: Infrasons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

Segundo as Figuras 33A e 33C, podem-se verificar que os valores médios do nível de ruído, do tipo “Infrasons” e “IRBF”, tendem a diminuir conforme aumenta a “Distância ao PE”.

Porém, não se pode deixar de referir que nem sempre esse comportamento ocorre nas diferentes velocidades do vento. Nestas variáveis de ruído registam-se níveis de pressão sonora a atingir os 99,7 dB (Distância: “0” km; Velocidade do ar: “≥ 5” m/s) e com uma média do nível de ruído de, sensivelmente, 82,3 dB.

Ao observar-se a Figura 33B, constata-se que os valores de ruído do tipo “RBF” nem sempre apresentaram uma diminuição de níveis de pressão sonora em função da maior “Distância ao PE”. A diminuição do nível de pressão sonora foi bastante presente perante velocidades do ar de “≥ 5”, o que não ocorreu nas restantes classes de velocidade do ar. Esta variável de ruído apresenta um nível de pressão sonora máximo de 81,3 dB (Distância: “0” km; Velocidade do ar: “≥ 5” m/s). Em média, esta variável de ruído apresenta níveis de pressão sonora de 61,7 dB.

Por fim, no tipo de ruído “RA”, representado na Figura 33D, também apresenta uma tendência negativa na variação do ruído. No entanto, esta diminuição do nível de pressão sonora, não é

expressiva em nenhuma classe de velocidade do ar. Este tipo de ruído apresentou valores médios de 45,7 dB(A) e um valor máximo de 54,3 dB(A) (Distância: “0” km; Velocidade do ar: “≥ 5”).

Em todas as variáveis é possível verificar uma tendência negativa, ou seja, à medida que aumenta a distância, o nível de ruído tem tendência para diminuir. A maior diferença entre os diferentes tipos de ruído é, sem dúvida, os níveis de ruído registados, sendo mais elevados nas variáveis que contemplam as frequências abaixo dos 20 Hz, ou seja, “Infrassons” e “IRBF”.

3.8.2. Análise da variação do nível de ruído em função da velocidade do ar e da distância, por parque eólico

3.8.2.1. Parque eólico de Cela

Pretendeu-se estabelecer uma correlação entre a distância e as variáveis “Infrassons”, “RBF”, “IRBF” e “RA”, ajustadas à velocidade do ar (Tabela 23).

Tabela 23: Correlação entre a distância e os tipos de ruído, ajustados à velocidade do ar, para o PE de Cela

Velocidade do ar (m/s)	N			Ruído			
				Infrassons	RBF	IRBF	RA
[2,000 - 2,999]	14	Distância	rho	0,343	0,189	0,342	0,200
		ao PE	<i>p-value</i>	0,230	0,519	0,231	0,492
[3,000 - 3,999]	33	Distância	rho	-0,538	-0,430	-0,540	-0,145
		ao PE	<i>p-value</i>	0,001	0,013	0,001	0,420
[4,000 - 4,999]	11	Distância	rho	0,570	0,378	0,585	0,125
		ao PE	<i>p-value</i>	0,067	0,251	0,058	0,714

Legenda:

rho - Correlação de Spearman

Constata-se a presença de correlação entre as distâncias ao PE e os níveis de ruído do tipo “Infrassons”, “RBF” e “IRBF”, face a uma velocidade do ar de “[3,000 - 3,999]” (*p-value*<0,05). Verifica-se a existência de um padrão de correlação inversamente proporcional entre os níveis de ruído e a distância ao PE. Verifica-se uma correlação marginalmente significativa de baixa magnitude quando a velocidade do ar é de “[3,000 - 3,999]”, com o tipo de ruído “IRBF”. Já para a variável de ruído “RA”, não se registou um padrão de correlação significativo entre a distância e a velocidade do ar.

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a velocidade do ar e a distância ao PE para o tipo de ruído “Infrassons”, no PE de Cela (Tabela 24).

Tabela 24: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “Infrassons”, para o PE de Cella

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	15	80,711	2,165
	Total	80,711	2,165
[2,000 - 2,999]	1,0	72,384	1,266
	3,0	80,423	6,595
	4,0	87,366	2,843
	10	89,004	7,477
	Total	81,489	7,596
[3,000 - 3,999]	0,5	90,828	5,143
	1,0	84,634	5,917
	2,0	87,642	4,647
	3,0	87,304	5,467
	4,0	79,193	9,021
	5,0	72,040	9,857
	10	81,388	9,610
	Total	84,149	8,506
[4,000 - 4,999]	0,5	80,903	5,618
	2,0	87,327	6,704
	5,0	86,620	5,679
	15	89,462	0,195
	Total	84,493	7,604
Total	0,5	88,347	6,672
	1,0	80,250	8,120
	2,0	87,563	4,676
	3,0	83,481	6,790
	4,0	81,980	7,592
	5,0	77,765	10,317
	10	86,052	8,818
	15	80,091	8,741
	Total	83,245	8,106

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e Velocidade do ar): $F=3,460$; $gl_1=10$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,002$; $R^2_p=0,470$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=2,256$; $gl_1=7$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,050$; $R^2_p=0,288$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=0,785$; $gl_1=4$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,542$; $R^2_p=0,075$

$R^2_{aj}=0,381$

Após análise da tabela, pode-se observar um efeito combinado entre a “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “Infrassons” ($p\text{-value}<0,05$). Verificou-se um padrão de variação do nível de ruído do tipo “Infrassons” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias ao PE.

Quanto aos efeitos principais isolados, apenas se verificou um efeito estatisticamente significativo na variável “Distância ao PE” face à produção de ruído “Infrassons”. Verifica-se uma redução tendencialmente significativa deste tipo de ruído, quanto mais afastados os pontos de medições face ao PE.

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a distância e a velocidade do ar para o tipo de ruído “RBF”, no PE de Cella (Tabela 25).

Tabela 25: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RBF”, para o PE de Cella

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	15	59,532	0,235
	Total	59,532	0,235
[2,000 - 2,999]	1,0	54,066	4,000
	3,0	59,187	4,174
	4,0	65,250	1,679
	10	62,832	5,061
	Total	59,740	5,334
[3,000 - 3,999]	0,5	66,301	4,183
	1,0	59,244	4,550
	2,0	64,637	3,527
	3,0	64,454	7,582
	4,0	57,205	5,225
	5,0	53,127	4,914
	10	60,378	8,809
Total	61,254	6,505	
[4,000 - 4,999]	0,5	60,379	3,945
	2,0	67,497	2,661
	5,0	63,524	10,105
	15	64,557	1,819
	Total	64,906	6,542
Total	0,5	64,821	4,716
	1,0	57,641	4,563
	2,0	65,352	3,413
	3,0	61,528	6,162
	4,0	62,342	7,154
	5,0	57,064	7,394
	10	63,252	7,687
	15	59,241	5,236
	Total	61,427	6,271

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e Velocidade do ar): $F=2,612$; $gl_1=10$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,016$; $R^2_p=0,401$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=2,901$; $gl_1=7$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,015$; $R^2_p=0,342$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=2,449$; $gl_1=4$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,062$; $R^2_p=0,201$

$R^2_{aj}=0,361$

Constatou-se que, a “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar”, em conjunto, conseguem prever a maior ou menor variação do “RBF”, de forma estatisticamente significativa. Mais uma vez se verificou um padrão de variação do ruído na presença de um efeito combinado entre as duas variáveis em análise.

Relativamente aos efeitos principais isolados, só o fator “Distância ao PE” apresentou um efeito estatisticamente significativo. De facto verifica-se uma redução deste tipo de ruído quando aumenta a distância ao PE.

Pretendeu-se controlar o efeito combinado entre a distância e a velocidade do ar face à variável de ruído “IRBF”, no PE de Cella (Tabela 26).

Tabela 26: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “IRBF”, para o PE de Cella

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	15	80,737	2,153
	Total	80,737	2,153
[2,000 - 2,999]	1,0	72,467	1,182
	3,0	80,465	6,554
	4,0	87,390	2,830
	10	89,013	7,474
	Total	81,526	7,567
[3,000 - 3,999]	0,5	90,844	5,133
	1,0	84,644	5,914
	2,0	87,661	4,637
	3,0	87,321	5,473
	4,0	79,237	8,962
	5,0	72,400	9,216
	10	81,417	9,605
	Total	84,211	8,366
[4,000 - 4,999]	0,5	80,936	5,604
	2,0	87,378	6,658
	5,0	86,644	5,701
	15	89,472	0,190
	Total	84,694	7,417
Total	0,5	88,367	6,659
	1,0	80,291	8,078
	2,0	87,590	4,659
	3,0	83,512	6,765
	4,0	82,238	7,412
	5,0	77,979	9,890
	10	86,073	8,811
	15	80,143	8,688
	Total	83,327	7,995

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e Velocidade do ar): $F=3,451$; $gl_1=10$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,003$; $R^2_p=0,469$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=2,252$; $gl_1=7$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,050$; $R^2_p=0,288$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=0,829$; $gl_1=4$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,515$; $R^2_p=0,078$

$R^2_{aj}=0,381$

Verificou-se um efeito combinado entre a “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar” na variação do tipo de ruído “IRBF” ($p\text{-value}<0,05$). Verificou-se um padrão de variação deste ruído na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias ao PE.

Quanto aos efeitos principais isolados, mais uma vez se verificou um efeito estatisticamente significativo na variável “Distância ao PE” face à produção de ruído “IRBF”.

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a distância ao PE e a velocidade do ar para o tipo de ruído “RA”, no PE de Cella (Tabela 27).

Tabela 27: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RA”, para o PE de Cella

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB(A)]	Desvio padrão
≤ 1,999	15	36,473	2,724
	Total	36,473	2,724
[2,000 - 2,999]	1,0	47,217	7,646
	3,0	42,644	3,638
	4,0	47,153	6,366
	10	52,733	18,605
	Total	46,186	7,327
[3,000 - 3,999]	0,5	47,063	2,740
	1,0	45,446	2,283
	2,0	45,712	3,726
	3,0	41,363	4,258
	4,0	40,402	3,108
	5,0	38,594	4,879
	10	53,116	8,646
Total	44,549	5,476	
[4,000 - 4,999]	0,5	41,915	1,399
	2,0	50,148	5,156
	5,0	51,112	22,500
	15	45,777	0,418
	Total	47,838	8,776
Total	0,5	45,776	3,365
	1,0	45,930	3,342
	2,0	46,821	4,234
	3,0	42,074	3,725
	4,0	45,152	7,380
	5,0	43,475	11,602
	10	51,451	10,624
	15	42,906	5,321
	Total	45,320	6,711

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e Velocidade do ar): $F=1,361$; $gl_1=10$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,234$; $R^2_p=0,259$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=0,994$; $gl_1=7$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,450$; $R^2_p=0,151$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=1,561$; $gl_1=4$; $gl_2=39$; $p\text{-value}=0,204$; $R^2_p=0,138$

$R^2_{aj}=0,136$

Como se pode constatar na tabela, não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com a “Velocidade do ar” na variação do tipo de ruído “RA” ($p\text{-value}>0,05$). Esses resultados apresentaram ausência de um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias à fonte consideradas.

Também quanto aos efeitos principais isolados não se verificaram efeitos estatisticamente significativos na produção do parâmetro de ruído em estudo.

A Figura 34 reflete a variação dos níveis de ruído em função da distância e da velocidade do ar, para as diferentes classes.

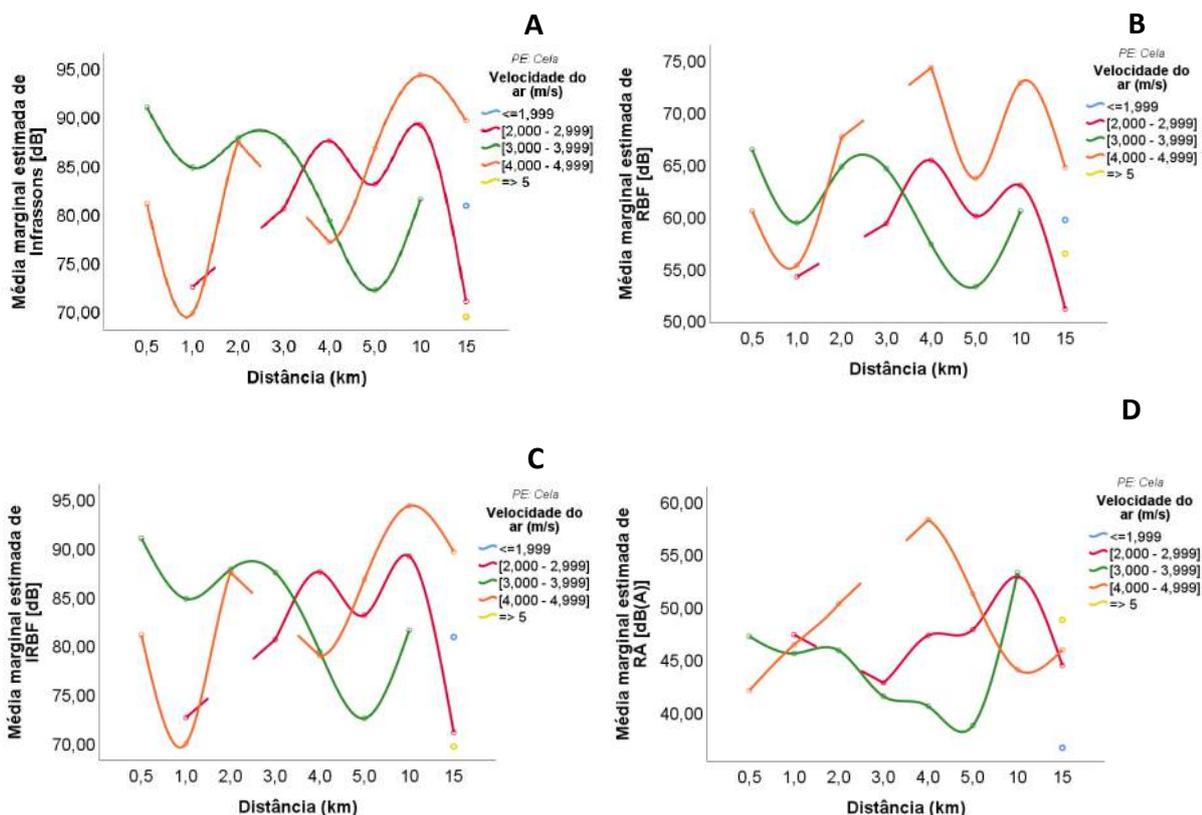


Figura 34: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à velocidade do ar, para o PE de Cela
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

Embora não seja possível afirmar com clareza que existe uma tendência negativa na evolução dos níveis de ruído, pode-se verificar que, em todas as variáveis de ruído, quando a velocidade do ar é de “[4,000 - 4,999]”, os níveis de pressão sonora tendem a ser mais elevados. Em ambas as variáveis de ruído, não é possível analisar os níveis de ruído a velocidade extremas uma vez que a amostra é reduzida.

Tanto na variável de ruído “Infrassons” (Figura 34A), como na variável de ruído “IRBF” (Figura 34C), variáveis que contemplam as frequências mais baixas, se verificaram níveis de pressão sonora mais elevados quando comparados com as restantes variáveis de ruído. Nestas, atingiram-se valores médios do nível de ruído de 83,25 dB e 83,33 dB, respetivamente. Em ambas, os valores mais elevados do nível de ruído (na ordem dos 94 dB), verificaram-se à velocidade do ar de “[4,000 - 4,999]”, à distância de “10” km. À velocidade do ar de “[3,000 - 3,999]” também se verificam valores elevados (90,8 dB ao km “0,5”). Nestas duas classes de velocidade do ar foi onde se verificaram, em média, níveis de ruído mais elevados (84 dB, sensivelmente). No que diz respeito à variável de ruído “RBF” (Figura 34B), também se verificaram níveis de pressão sonora mais elevados quando a velocidade do ar é de “[4,000 - 4,999]” atingindo um valor médio de 64,9 dB. Os valores mais elevados foram registados nesta classe de velocidade do ar, aos km “4” e “10”, com níveis de ruído de 74,2 dB e 72,7

dB, respetivamente. Por fim, para a variável de ruído correspondente ao ruído audível “RA” (Figura 34D), verifica-se um valor médio de nível de pressão sonora de 45,32 dB(A). Relativamente aos níveis de ruído face à distância e à velocidade do ar, podem-se verificar valores de 58,2 dB(A) (“[4,000 - 4,999]”; km “4”) e 53,1 dB(A) (“[3,000 - 3,999]”; km “10”).

3.8.2.2. Parque eólico de Marvila

Pretendeu-se estabelecer uma correlação entre a distância e as variáveis de ruído ajustadas à velocidade do ar (Tabela 28).

Tabela 28: Correlação entre a distância e os tipos de ruído, ajustados à velocidade do ar, para o PE de Marvila

Velocidade do ar (m/s)	N			Variável de ruído			
				Infrassons	RBF	IRBF	RA
[3,000 - 3,999]	18	Distância ao PE	rho	0,188	0,358	0,193	0,298
			<i>p-value</i>	0,455	0,144	0,444	0,230
[4,000 - 4,999]	17	Distância ao PE	rho	0,131	-0,029	0,129	-0,233
			<i>p-value</i>	0,617	0,911	0,623	0,369
≥ 5	29	Distância ao PE	rho	-0,470	-0,415	-0,471	-0,319
			<i>p-value</i>	0,010	0,025	0,010	0,092

Legenda:

rho - Correlação de Spearman

No que concerne à distância e a relação que esta estabelece entre as variáveis de ruído, encontram-se correlações estatisticamente significativas entre a distância ao PE e as variáveis de ruído quando a velocidade do ar é “≥ 5”. Esta correlação é negativa, o que significa que à medida que a distância aumenta, os níveis de ruído associado às variáveis “Infrassons”, “RBF” e “IRBF” diminuem. Relativamente à variável de ruído “RA”, não se verificou uma correlação estatisticamente significativa entre a distância e este tipo de ruído para a diversas classes de velocidade do ar.

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a distância ao PE e a velocidade do ar para a variável “Infrassons”, no PE de Marvila (Tabela 29).

Pode-se constatar, segundo os resultados apresentados na Tabela 29, a não existência de um efeito combinado da “Distância ao PE” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “Infrassons” (*p-value*>0,05). Esses resultados apresentaram ausência de um padrão de variação de nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias à fonte consideradas.

Também quanto aos efeitos principais isolados não se verificaram efeitos estatisticamente significativos (“Distância ao PE”: $p\text{-value}>0,05$; “Velocidade do ar”: $p\text{-value}>0,05$) na produção do parâmetro de ruído em estudo.

Tabela 29: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “Infrassons”, para o PE de Marvila

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
[3,000 - 3,999]	3,0	78,926	6,258
	4,0	74,410	3,141
	5,0	81,699	10,034
	10	85,668	6,896
	15	78,593	12,609
	Total	79,136	8,105
[4,000 - 4,999]	3,0	80,759	12,570
	4,0	77,132	9,521
	5,0	92,540	5,129
	10	83,973	8,875
	15	79,728	6,627
	Total	82,833	9,913
≥ 5	0,5	88,303	4,630
	1,0	89,382	7,020
	2,0	84,711	7,612
	10	80,491	8,220
	15	80,070	1,950
	Total	86,894	7,104
Total	0	95,619	5,690
	0,5	88,303	4,630
	1,0	89,382	7,020
	2,0	84,711	7,612
	3,0	80,072	10,118
	4,0	75,431	5,790
	5,0	85,764	9,825
	10	83,526	7,366
	15	80,413	7,867
Total	83,819	8,652	

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e Velocidade do ar): $F=0,676$; $gl_1=6$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,669$; $R^2_p=0,078$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,678$; $gl_1=8$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,128$; $R^2_p=0,219$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=0,406$; $gl_1=3$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,750$; $R^2_p=0,025$

$R^2_{aj}=0,164$

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a distância e a velocidade do ar para a variável “RBF”, no PE de Marvila (Tabela 30).

Após análise da Tabela 30, pode-se observar a ausência de um efeito combinado entre a “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “RBF”. Não se observou um padrão de variação do nível de ruído do tipo “RBF” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias ao PE.

Quanto aos efeitos principais isolados, verificou-se um efeito estatisticamente significativo na variável “Distância ao PE”, face à produção de ruído “RBF”. Verifica-se uma redução tendencialmente significativa deste tipo de ruído, quanto mais afastados os pontos de medições face ao PE.

Aplicou-se o teste de comparações múltiplas Bonferroni à variável distância ao PE, tendo-se verificado uma diferença estatisticamente significativa ($p\text{-value}=0,003$) face à variação do ruído “RBF” entre os km “4” e “1” ($Z=3,464$; $p=0,019$).

Tabela 30: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RBF”, para o PE de Marvila

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
[3,000 - 3,999]	3,0	54,304	6,890
	4,0	54,550	3,734
	5,0	61,940	9,444
	10	63,546	3,198
	15	58,886	5,615
	Total	58,284	6,951
[4,000 - 4,999]	3,0	62,851	8,632
	4,0	59,491	7,594
	5,0	71,370	9,073
	10	65,725	9,945
	15	55,098	2,768
	Total	63,526	8,943
≥ 5	0,5	67,096	4,471
	1,0	69,555	6,729
	2,0	64,196	5,436
	10	61,158	2,901
	15	62,569	5,972
	Total	66,742	6,361
Total	0	76,210	7,191
	0,5	67,096	4,471
	1,0	69,555	6,729
	2,0	64,196	5,436
	3,0	59,646	8,701
	4,0	56,403	5,566
	5,0	65,476	9,915
	10	64,039	7,008
	15	59,690	5,360
	Total	63,655	7,932

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=1,043$; $gl_1=6$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,410$; $R^2_p=0,115$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=2,160$; $gl_1=8$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,048$; $R^2_p=0,265$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=1,269$; $gl_1=3$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,296$; $R^2_p=0,073$

$R^2_{aj}=0,281$

Pretendeu-se controlar o efeito combinado entre a distância e a velocidade do ar face à variável de ruído “IRBF”, no PE de Marvila (Tabela 31).

Como se pode verificar, não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “IRBF” ($p\text{-value}>0,05$). Mais uma vez, verificou-se a ausência de um padrão de variação do nível de ruído do tipo “IRBF” na presença do

efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias ao PE.

Quanto aos efeitos principais isolados não se verificaram efeitos estatisticamente significativos na variável “Distância ao PE” face à produção de ruído “IRBF”.

Tabela 31: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “IRBF”, para o PE de Marvila

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
[3,000 - 3,999]	3,0	78,938	6,259
	4,0	74,453	3,139
	5,0	81,909	9,913
	10	85,693	6,875
	15	78,691	12,472
	Total	79,227	8,058
[4,000 - 4,999]	3,0	80,860	12,483
	4,0	77,274	9,401
	5,0	92,572	5,156
	10	84,059	8,843
	15	79,743	6,614
	Total	82,916	9,853
≥ 5	0,5	88,330	4,625
	1,0	89,422	7,009
	2,0	84,811	7,446
	10	80,555	8,147
	15	80,209	1,774
	Total	86,956	7,038
Total	0	95,656	5,700
	0,5	88,330	4,625
	1,0	89,422	7,009
	2,0	84,811	7,446
	3,0	80,139	10,061
	4,0	75,511	5,746
	5,0	85,908	9,706
	10	83,592	7,333
	15	80,491	7,788
	Total	83,893	8,594

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=0,671$; $gl_1=6$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,673$; $R^2_p=0,077$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,704$; $gl_1=8$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,122$; $R^2_p=0,221$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=0,412$; $gl_1=3$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,745$; $R^2_p=0,025$

$R^2_{aj}=0,167$

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a distância ao PE e a velocidade do ar para a variável “RA”, no PE de Marvila (Tabela 32).

Não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “RA”. Esses resultados revelam uma ausência de um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias ao PE.

No que concerne aos efeitos principais isolados também não se verificaram efeitos estatisticamente significativos na produção de ruído do tipo “RA” ($p\text{-value}>0,05$).

Tabela 32: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RA”, para o PE de Marvila

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB(A)]	Desvio padrão
[3,000 - 3,999]	3,0	38,648	2,786
	4,0	41,293	5,660
	5,0	47,789	12,466
	10	42,619	0,018
	15	45,849	5,218
	Total	43,563	7,764
[4,000 - 4,999]	3,0	48,400	6,474
	4,0	44,901	3,360
	5,0	51,115	3,520
	10	45,308	6,725
	15	43,385	2,803
	Total	46,944	5,419
≥ 5	0,5	51,882	2,521
	1,0	51,543	3,851
	2,0	50,759	4,223
	10	41,349	5,551
	15	51,868	15,217
	Total	50,834	5,149
Total	0	52,633	2,325
	0,5	51,882	2,521
	1,0	51,543	3,851
	2,0	50,759	4,223
	3,0	44,743	7,186
	4,0	42,646	5,002
	5,0	49,036	9,762
	10	43,646	5,213
	15	46,630	7,313
	Total	47,763	6,630

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=0,816$; $gl_1=6$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,563$; $R^2_p=0,093$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,284$; $gl_1=8$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,274$; $R^2_p=0,176$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=1,035$; $gl_1=3$; $gl_2=48$; $p\text{-value}=0,385$; $R^2_p=0,061$

$R^2_{aj}=0,188$

O Gráfico 35 reflete a variação dos níveis de ruído em função da distância e da velocidade do ar, para as diferentes classes.

Verificou-se que há uma tendência negativa na evolução dos níveis de ruído, ressaltando algumas velocidades do ar e algumas distâncias. Em todas as variáveis de ruído se constata valores elevados ao km “0” (quando a velocidade do ar é de “≥ 5”) e ao km “5” (quando a velocidade do ar é de “[4,000 - 4,999]”).

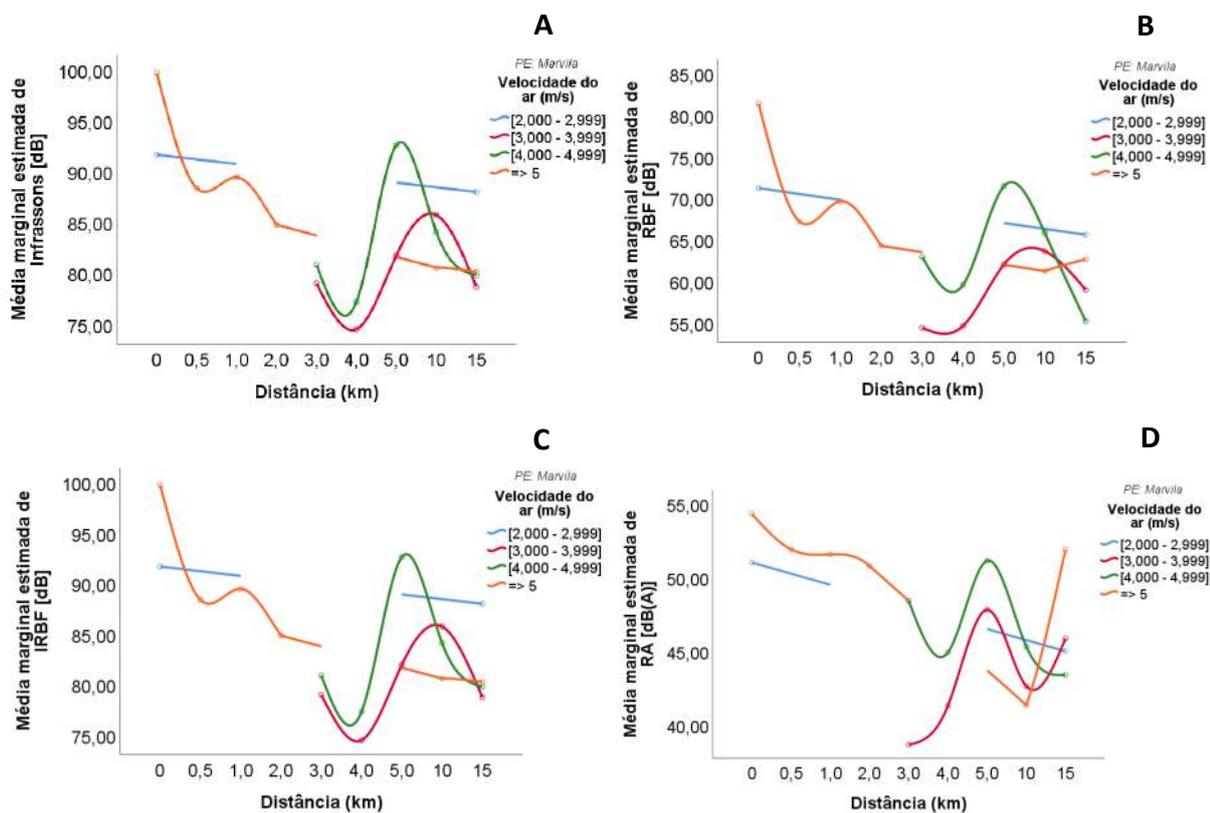


Figura 35: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à velocidade do ar, para o PE de Marvila
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

Pela semelhança que apresentam, as variáveis de ruído “Infrassons” (Figura 35A) e “IRBF” (Figura 35C) serão analisadas em conjunto. Estas variáveis de ruído apresentam valores médios totais de níveis de ruído de 83,82 dB e 83,89 dB, respetivamente. Os valores mais elevados verificaram-se quando a velocidade do ar é superior, ou seja “ ≥ 5 ”. A esta velocidade, ao km “0”, registaram-se valores de 99,7 dB. Ainda se registaram valores elevados a esta distância quando a velocidade do ar é de [2,000 - 2,999] (91,6 dB). À distância de “5” km, e com uma velocidade do ar de [4,000 - 4,999], registaram-se valores de, sensivelmente, 95,5 dB. Destaca-se ainda os valores registados quando a velocidade do ar é de “ ≥ 5 ”, aos km “0,5” e “1”, ou seja, em pontos mais pertos do PE, com valores de 88,3 dB e 89,4 dB, respetivamente. No que diz respeito à variável de ruído “RBF” (Figura 35B), verifica-se um valor médio total de nível de ruído de 63,66 dB. Os níveis de intensidade sonora mais elevados registaram-se à distância de “0” km quando a velocidade do ar é de “ ≥ 5 ” (81,3 dB) e “[2,000 - 2,999]” (71,13 dB) e ainda ao km “5” quando a velocidade do ar é de “[4,000 - 4,999]” (71,37 dB). Relativamente à variável de ruído “RA” (Figura 35D), verifica-se um valor médio de nível de pressão sonora de 47,76 dB(A). Relativamente aos níveis de RA face à distância e à velocidade do ar, registaram-se valores acima dos 50 dB(A) quando a velocidade do ar é de “ ≥ 5 ” (exceto à distância de “10” km), com o valor

máximo a atingir os 54,28 dB(A) ao km "0". Registou-se ainda um valor de 50,99 dB(A) ao km "0", quando a velocidade do ar é de "[2,000 - 2,999]".

3.8.2.3. Parque eólico de Chão Falcão

Pretendeu-se estabelecer uma correlação entre a distância e as variáveis "Infrassons", "RBF", "IRBF" e "RA" ajustadas à velocidade do ar (Tabela 33).

Tabela 33: Correlação entre a distância e os tipos de ruído, ajustados à velocidade do ar, para o PE de Chão Falcão

Velocidade do ar (m/s)	N			Variável de ruído			
				Infrassons	RBF	IRBF	RA
[2,000 - 2,999]	5	Distância ao PE	rho	0,503	0,448	0,505	0,798
			<i>p-value</i>	0,387	0,449	0,385	0,106
[3,000 - 3,999]	40	Distância ao PE	rho	-0,019	0,045	-0,013	-0,125
			<i>p-value</i>	0,905	0,781	0,936	0,441
[4,000 - 4,999]	21	Distância ao PE	rho	-0,113	-0,122	-0,114	0,008
			<i>p-value</i>	0,627	0,598	0,623	0,974

Legenda:

rho - Correlação de Spearman

Conforme se pode constatar na Tabela 33, não existe uma relação estatisticamente significativa entre a distância ao PE e os diversos tipos de ruído ("Infrassons", "RBF", "IRBF" e "RA"), face às várias classes de velocidade do ar ($p\text{-value} < 0,05$). Verifica-se a ausência de um padrão de correlação entre os níveis de ruído e a distância ao PE.

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a distância e a velocidade do ar para a variável "Infrassons", no PE de Chão Falcão (Tabela 34).

Pode-se observar, na Tabela 34, a ausência de um efeito combinado entre a "Distância ao PE" e a "Velocidade do ar" na variação explicada no tipo de ruído "Infrassons". Não se observou um padrão de variação de nível de ruído do tipo "Infrassons" na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias ao PE.

Quanto aos efeitos principais isolados, também aqui não se verificou um efeito estatisticamente significativo na variável "Distância ao PE", face à produção de ruído "Infrassons".

Tabela 34: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “Infrassons”, para o PE de Chão Falcão

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
[2,000 - 2,999]	10	71,927	6,827
	15	81,795	15,412
	Total	75,662	10,127
[3,000 - 3,999]	0	80,516	9,724
	0,5	80,089	8,012
	1,0	77,721	6,433
	2,0	81,496	6,256
	3,0	82,217	10,838
	4,0	80,537	9,300
	10	73,439	12,948
	15	81,662	12,446
Total	80,080	8,428	
[4,000 - 4,999]	1,0	79,603	2,485
	2,0	81,254	3,090
	3,0	86,438	4,676
	4,0	82,295	11,149
	5,0	78,570	7,790
	10	81,883	8,848
	15	78,627	8,506
Total	80,864	7,324	
Total	0	80,516	9,724
	0,5	80,089	8,012
	1,0	78,192	5,586
	2,0	81,436	5,416
	3,0	83,272	9,531
	4,0	81,416	9,551
	5,0	79,535	7,722
	10	76,228	9,963
	15	78,940	10,596
	Total	79,902	8,302

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=0,698$; $gl_1=9$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,707$; $R^2_p=0,118$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=0,339$; $gl_1=8$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,946$; $R^2_p=0,055$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=0,500$; $gl_1=3$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,684$; $R^2_p=0,031$

$R^2_{aj}=-0,164$

Pretendeu-se controlar o efeito combinado entre a distância e a velocidade do ar para a variável “RBF”, no PE de Chão Falcão (Tabela 35).

Também para esta variável de ruído (“RBF”) se observou a ausência de um efeito combinado da “Distância ao PE” com a “Velocidade do ar” ($p\text{-value}>0,05$). Esses resultados apresentaram ausência de um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias à fonte consideradas.

Também quanto aos efeitos principais isolados não se verificaram efeitos estatisticamente significativos na produção do parâmetro de ruído em estudo.

Tabela 35: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RBF”, para o PE de Chão Falcão

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
[2,000 - 2,999]	10	57,281	2,078
	15	61,372	14,704
	Total	57,932	8,309
[3,000 - 3,999]	0	62,296	2,432
	0,5	62,518	7,632
	1,0	57,012	2,955
	2,0	59,619	4,243
	3,0	62,398	6,829
	4,0	63,936	5,067
	10	59,106	6,980
	15	63,553	8,439
	Total	61,061	5,823
[4,000 - 4,999]	1,0	55,210	2,339
	2,0	60,109	6,087
	3,0	61,933	3,934
	4,0	60,991	8,834
	5,0	60,720	5,991
	10	57,404	8,842
	15	54,310	8,163
	Total	58,915	6,625
Total	0	62,296	2,432
	0,5	62,518	7,632
	1,0	56,561	2,778
	2,0	59,742	4,267
	3,0	62,281	5,964
	4,0	62,463	6,850
	5,0	59,567	5,590
	10	58,011	6,140
	15	57,697	10,452
	Total	59,931	6,542

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=0,919$; $gl_1=9$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,518$; $R^2_p=0,150$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=0,706$; $gl_1=8$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,685$; $R^2_p=0,107$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=0,636$; $gl_1=3$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,596$; $R^2_p=0,039$

$R^2_{aj}=-0,019$

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a distância e a velocidade do ar face à variável de ruído “IRBF”, no PE Chão Falcão (Tabela 36).

Constatou-se que, a “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar”, em conjunto, não conseguem prever a maior ou menor variação do “IRBF”, de forma estatisticamente significativa. Também para este tipo de ruído se verificou-se a ausência de um padrão de variação no nível do ruído na presença de um efeito combinado entre as duas variáveis em análise.

Quanto aos efeitos principais isolados, nenhum dos fatores apresentou um efeito estatisticamente significativo ($p\text{-value}>0,05$).

Tabela 36: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “IRBF”, para o PE de Chão Falcão

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB]	Desvio padrão
[2,000 - 2,999]	10	72,192	6,493
	15	81,828	15,402
	Total	75,792	10,024
[3,000 - 3,999]	0	80,616	9,639
	0,5	80,171	7,972
	1,0	77,822	6,256
	2,0	81,523	6,243
	3,0	82,301	10,710
	4,0	80,977	8,589
	10	73,731	12,714
	15	81,794	12,320
Total	80,211	8,277	
[4,000 - 4,999]	1,0	79,614	2,483
	2,0	81,326	2,997
	3,0	86,448	4,672
	4,0	82,418	11,026
	5,0	78,668	7,736
	10	81,905	8,840
	15	78,641	8,503
Total	80,925	7,279	
Total	0	80,616	9,639
	0,5	80,171	7,972
	1,0	78,270	5,434
	2,0	81,474	5,397
	3,0	83,338	9,420
	4,0	81,697	9,182
	5,0	79,605	7,676
	10	76,411	9,779
	15	78,998	10,569
	Total	80,008	8,192

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=0,706$; $gl_1=9$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,700$; $R^2_p=0,119$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=0,344$; $gl_1=8$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,944$; $R^2_{p_2}=0,055$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=0,501$; $gl_1=3$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,683$; $R^2_p=0,031$

$R^2_{aj}=-0,162$

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a distância ao PE e a velocidade do ar para a variável “RA”, no PE Chão Falcão (Tabela 37).

No que concerne ao ruído “RA”, não se observam efeitos combinados entre a “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar” na variação explicada para este tipo de ruído ($p\text{-value}>0,05$). Desta forma, não se verificou um padrão de variação do nível de ruído do tipo “RA” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias ao PE.

Também os efeitos principais isolados não verificaram efeitos estatisticamente significativos na produção do parâmetro de ruído em estudo.

Tabela 37: Relação entre velocidade do ar e distância para a variável “RA”, para o PE de Chão Falcão

Velocidade do ar (m/s)	Distância ao PE (km)	Média [dB(A)]	Desvio padrão
[2,000 - 2,999]	10	40,592	5,967
	15	44,199	0,152
	Total	40,716	5,125
[3,000 - 3,999]	0	46,650	2,883
	0,5	44,469	2,527
	1,0	44,848	7,378
	2,0	43,602	3,628
	3,0	45,009	8,993
	4,0	39,264	4,974
	10	42,915	5,068
	15	45,349	1,545
	Total	44,075	5,231
[4,000 - 4,999]	1,0	38,475	0,286
	2,0	50,077	4,600
	3,0	43,646	0,063
	4,0	46,969	7,688
	5,0	46,112	6,057
	10	44,583	6,217
	15	42,400	7,155
	Total	44,942	5,949
Total	0	46,650	2,883
	0,5	44,469	2,527
	1,0	43,255	6,900
	2,0	45,220	4,627
	3,0	44,669	7,627
	4,0	43,117	7,273
	5,0	44,534	6,285
	10	42,960	5,119
	15	43,402	4,220
	Total	44,064	5,446

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Distância e velocidade do ar): $F=1,248$; $gl_1=9$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,290$; $R^2_p=0,193$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=0,457$; $gl_1=8$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,880$; $R^2_p=0,071$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=0,973$; $gl_1=3$; $gl_2=47$; $p\text{-value}=0,413$; $R^2_p=0,058$

$R^2_{aj}=-0,072$

A Figura 36 reflete a variação dos níveis de ruído em função da distância e da velocidade do ar, para as diferentes classes.

Embora não seja possível afirmar que existe uma tendência negativa na evolução dos níveis de ruído, pode-se verificar que, nas variáveis de ruído que compreendem as baixas frequências, quando a velocidade do ar é de “[3,000 - 3,999]” e “[4,000 - 4,999]” os níveis de pressão sonora tendem a ser mais elevados.

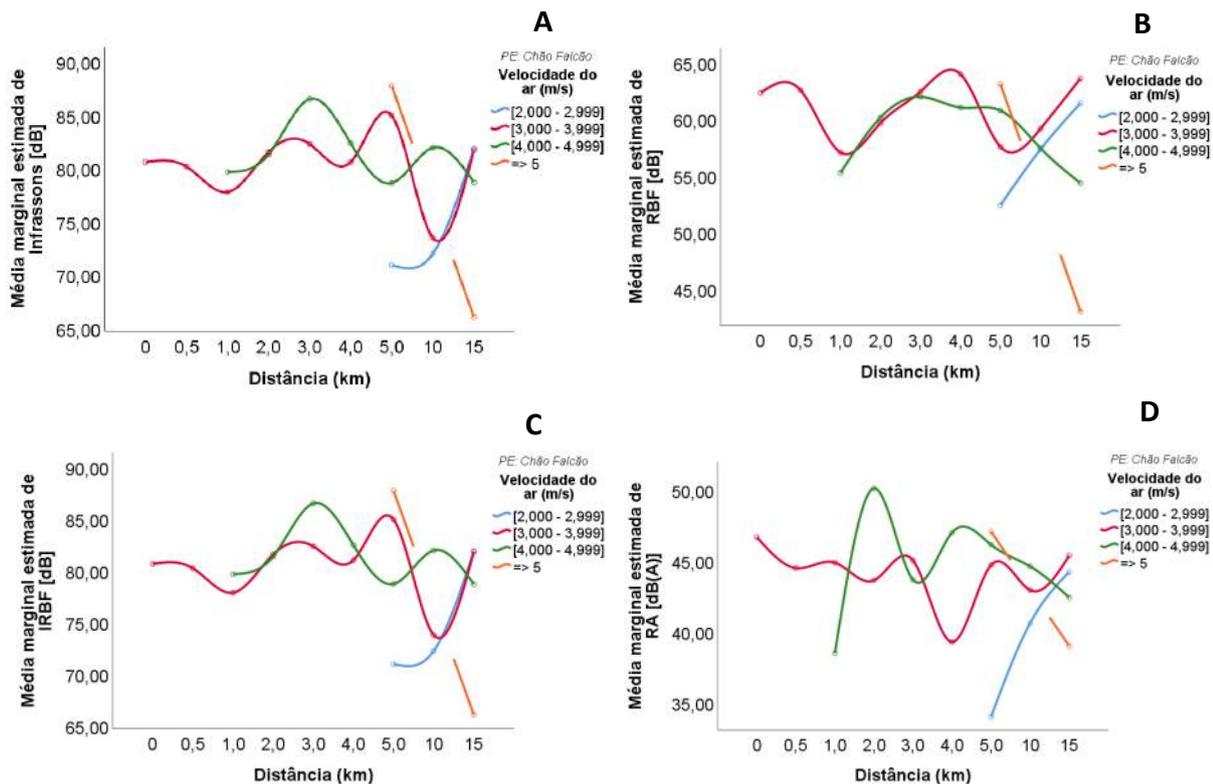


Figura 36: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à velocidade do ar, para o PE de Chão Falcão
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

Tanto na variável de ruído “Infrassons” (Figura 36A), como na variável de ruído “IRBF” (Figura 36C), se verificaram níveis de pressão sonora mais elevados quando comparados com as restantes variáveis de ruído. Nestas, atingiram-se valores de nível médios de ruído de 80 dB. Em ambas, os valores mais elevados do nível de ruído, verificaram-se à velocidade do ar de “≥ 5” (87,7 dB; km “5”), seguida da velocidade do ar de “[4,000 - 4,999]” (86,4 dB; km “3”) e da classe “[3,000 - 3,999]” (84,9 dB; km “5”). No que diz respeito à variável de ruído “RBF” (Figura 36B), verificaram-se níveis de pressão sonora mais elevados quando a velocidade do ar é de “[3,000 - 3,999]” atingindo um valor médio de de 61,1 dB. Os valores mais elevados foram registados nesta classe de velocidade do ar, aos km “4” e “15”, com níveis de intensidade de 63,9 dB e 63,6 dB, respetivamente. Registou-se ainda um valor de 63,1dB quando a velocidade do ar é de “≥ 5” à distância de “5” km. Por fim, para a variável de ruído correspondente ao ruído audível “RA” (Figura 36D), verifica-se um valor médio de nível de pressão sonora de 44,1 dB(A). Relativamente aos níveis de ruído face à distância podem-se verificar, às classes de velocidade do ar de “≥ 5” (47,03 dB(A) ao km “5”) e “[4,000 - 4,999]” (50,08 dB(A) ao km “2”; 46,97 dB(A) ao km “4”).

3.9. Variação do nível de ruído em função da direção do vento

3.9.1. Análise geral da variação do nível do ruído em função da direção do vento

Procurou-se compreender como a variação do nível de ruído do tipo “Infrassons” poderia ser explicado pelos efeitos combinados em função da direção do vento e da velocidade do ar em classes (Tabela 38).

Tabela 38: Relação entre velocidade do ar e direção do vento para a variável “Infrassons”

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	NW	80,711	2,165
	Total	80,711	2,165
[2,000 - 2,999]	N	79,900	8,425
	NW	82,868	9,148
	Total	80,889	8,562
[3,000 - 3,999]	N	82,902	8,852
	NW	78,542	7,350
	Total	81,369	8,572
[4,000 - 4,999]	N	82,631	10,312
	NW	82,275	7,734
	Total	82,362	8,322
≥ 5	N	85,334	9,146
	NW	85,890	8,048
	Total	85,716	8,260
Total	N	82,681	8,975
	NW	81,886	8,053
	Total	82,273	8,502

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e velocidade do ar): $F=1,417$ $g|1=3$; $g|2=186$; $p\text{-value}=0,239$; $R^2_p=0,022$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=0,039$; $g|1=1$; $g|2=186$; $p\text{-value}=0,844$; $R^2_p=0,000$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=1,828$; $g|1=4$; $g|2=186$; $p\text{-value}=0,125$; $R^2_p=0,038$

$R^2_{aj}=0,027$

Como se pode verificar, segundo os resultados apresentados na Tabela 38, não se observou um efeito combinado da “Direção do vento” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “Infrassons” ($p\text{-value}>0,05$). Esses resultados apresentaram ausência de um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes direções do vento.

Quanto aos efeitos principais isolados, também não se verificaram efeitos estatisticamente significativos (“Direção do vento”: $p\text{-value}>0,05$; “Velocidade do ar”: $p\text{-value}>0,05$) na produção do parâmetro de ruído em análise.

Efetou-se a mesma análise para compreender a variação de ruído do tipo “RBF” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados “Velocidade do ar” e “Direção do vento”(Tabela 39).

Tabela 39: Relação entre velocidade do ar e direção do vento para a variável de ruído “RBF”

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	NW	59,532	0,235
	Total	59,532	0,235
[2,000 - 2,999]	N	60,238	6,159
	NW	59,904	7,402
	Total	60,127	6,412
[3,000 - 3,999]	N	61,024	6,481
	NW	59,766	6,085
	Total	60,582	6,339
[4,000 - 4,999]	N	62,114	8,904
	NW	61,777	7,534
	Total	61,859	7,795
≥ 5	N	65,615	6,404
	NW	65,531	8,189
	Total	65,557	7,572
Total	N	61,529	6,826
	NW	61,783	7,387
	Total	61,659	7,102

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e velocidade do ar): $F=0,073$; $g1=3$; $g2=186$; $p\text{-value}=0,974$; $R^2_p=0,001$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=0,160$; $g1=1$; $g2=186$; $p\text{-value}=0,690$; $R^2_p=0,001$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=3,136$; $g1=4$; $g2=186$; $p\text{-value}=0,016$; $R^2_p=0,063$

$R^2_{aj}=0,030$

Como se pode verificar, não se observou um efeito combinado da “Direção do vento” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “RBF” ($p\text{-value}>0,05$). Mais uma vez, verificou-se a ausência de um padrão de variação de ruído do tipo “RBF” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada à direção do vento.

Quanto aos efeitos principais isolados apenas o fator “Velocidade do ar” apresenta um efeito estatisticamente significativo na produção do parâmetro de ruído em estudo ($p\text{-value}<0,05$). Verificou-se um aumento tendencialmente significativo do ruído do tipo “RBF”, quanto maior a velocidade do ar. No entanto, não se verificam diferenças face à direção do vento ($p\text{-value}>0,05$).

Aplicado o teste de Bonferroni para comparações multivariadas (Anexo 1), justificando-se pelo efeito significativo na variação do ruído “RBF” face à “Velocidade do ar” ($p\text{-value}<0,05$), verificaram-se diferenças estatisticamente significativas entre os valores de velocidade do ar “[3,000 - 3,999]” e “≥ 5” ($\bar{d}=-5,430$; $p=0,058$).

À semelhança das análises anteriores procurou-se compreender a variação de ruído do tipo “RBF” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados “Direção do vento” e a “Velocidade do ar” (Tabela 40).

Tabela 40: Relação entre velocidade do ar e direção do vento para a variável “IRBF”

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	NW	80,737	2,153
	Total	80,737	2,153
[2,000 - 2,999]	N	79,976	8,350
	NW	82,889	9,137
	Total	80,947	8,505
	N	82,981	8,728
[3,000 - 3,999]	NW	78,676	7,216
	Total	81,467	8,444
[4,000 - 4,999]	N	82,679	10,282
	NW	82,391	7,651
	Total	82,462	8,255
	N	85,438	9,002
≥ 5	NW	85,934	8,032
	Total	85,779	8,203
Total	N	82,759	8,873
	NW	81,984	7,971
	Total	82,361	8,410

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e velocidade do ar): $F=1,408$; $gl_1=3$; $gl_2=186$; $p\text{-value}=0,242$; $R^2_p=0,022$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=0,039$; $gl_1=8$; $gl_2=186$; $p\text{-value}=0,843$; $R^2_p=0,000$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=1,849$; $gl_1=4$; $gl_2=186$; $p\text{-value}=0,121$; $R^2_p=0,038$

$R^2_{aj}=0,027$

No que concerne à variável de ruído “IRBF”, não se observou um efeito combinado da “Direção do vento” com a “Velocidade do ar” na variação deste tipo de ruído ($p\text{-value}>0,05$). Os resultados apresentaram uma ausência de um padrão de variação do nível do ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada à direção do vento.

No que concerne aos efeitos principais isolados não se verificaram efeitos estatisticamente significativos (“Direção do vento”: $p\text{-value}>0,05$; “Velocidade do ar”: $p\text{-value}>0,05$) na produção de ruído do tipo “IRBF”.

Na Tabela 41, procurou-se compreender a variação de ruído do tipo “RA” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados direção do vento e velocidade do ar.

Como se pode constatar na Tabela 41, não se observou um efeito combinado da “Direção do vento” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “RA” ($p\text{-value}>0,05$). Mais uma vez se verificou uma ausência de um padrão de variação do ruído “RA” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar e a direção do vento.

Quanto aos efeitos principais isolados, só o fator “Velocidade do ar” apresenta um efeito significativo na variação deste ruído ($p\text{-value}<0,001$). Verifica-se um aumento tendencialmente significativo do ruído do tipo “RA”, quanto maior é a velocidade do ar.

Apresentando a variável “RA” um $p\text{-value}<0,001$, aplicou-se o teste de Bonferroni para comparações multivariadas (Anexo 4), tendo-se observado diferenças estatisticamente significativas entre os valores da “Velocidade do ar”, nomeadamente entre a classe “ ≥ 5 ” e as restantes.

Tabela 41: Relação entre velocidade do ar e direção do vento para a variável “RA”

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB(A)]	Desvio padrão
$\leq 1,999$	NW	36,473	2,724
	Total	36,473	2,724
[2,000 - 2,999]	N	43,427	5,585
	NW	48,311	8,499
	Total	45,055	6,893
[3,000 - 3,999]	N	44,046	5,048
	NW	44,329	7,147
	Total	44,145	5,834
[4,000 - 4,999]	N	44,791	5,702
	NW	46,772	6,722
	Total	46,287	6,487
≥ 5	N	49,878	3,965
	NW	50,456	5,970
	Total	50,275	5,365
Total	N	44,663	5,358
	NW	46,702	7,189
	Total	45,709	6,429

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e velocidade do ar): $F=0813$; $gl_1=3$; $gl_2=186$; $p\text{-value}=0,488$; $R^2_p=0,013$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=3,157$; $gl_1=1$; $gl_2=186$; $p\text{-value}=0,077$; $R^2_p=0,017$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=6,613$; $gl_1=4$; $gl_2=186$; $p\text{-value}<0,001$; $R^2_p=0,125$

$R^2_{aj}=0,118$

Considerando as análises multivariadas anteriormente apresentadas, pretendeu-se compreender a distribuição das estimativas médias, de cada um dos tipos de ruído, em função da “Velocidade do ar” e da “Direção do vento” recorrendo a análises gráficas longitudinais (Figura 37).

Ao observar-se as Figuras 37A e 37C, relativas aos ruídos do tipo “Infrassons” e “IRBF”, pode-se verificar que o ruído tende a aumentar à medida que aumenta também a velocidade do ar, apesar do decréscimo acentuado quando a direção do vento é “NW” e a classe de velocidade do ar de “[3,000 - 3,999]”. Para estes tipos de ruído, quando a velocidade do ar é de “ ≥ 5 ”, registam-se níveis de pressão sonora superiores a 85 dB.

Relativamente ao tipo de ruído “RBF” (Figura 37B), constata-se que os níveis de ruído, independentemente da direção do vento, apresentam um comportamento semelhante. Mais uma vez apresenta uma tendência de variação positiva, ou seja, à medida que aumenta a “Velocidade do ar”, aumentam também os níveis de ruído, chegando a atingir os 65,5 dB (Velocidade do ar: “ ≥ 5 ” m/s).

Por fim, o tipo de ruído “RA”, representado na Figura 37D, também apresenta uma tendência positiva na variação do nível de ruído. Nesta variável de ruído registou-se um pico à velocidade do ar de

“[3,000 - 3,999]”, atingindo o valor de 48,31 dB(A). Os valores máximos foram registados quando a velocidade do ar foi de “ ≥ 5 ” m/s (50 dB(A) aproximadamente para ambas as direções de vento).

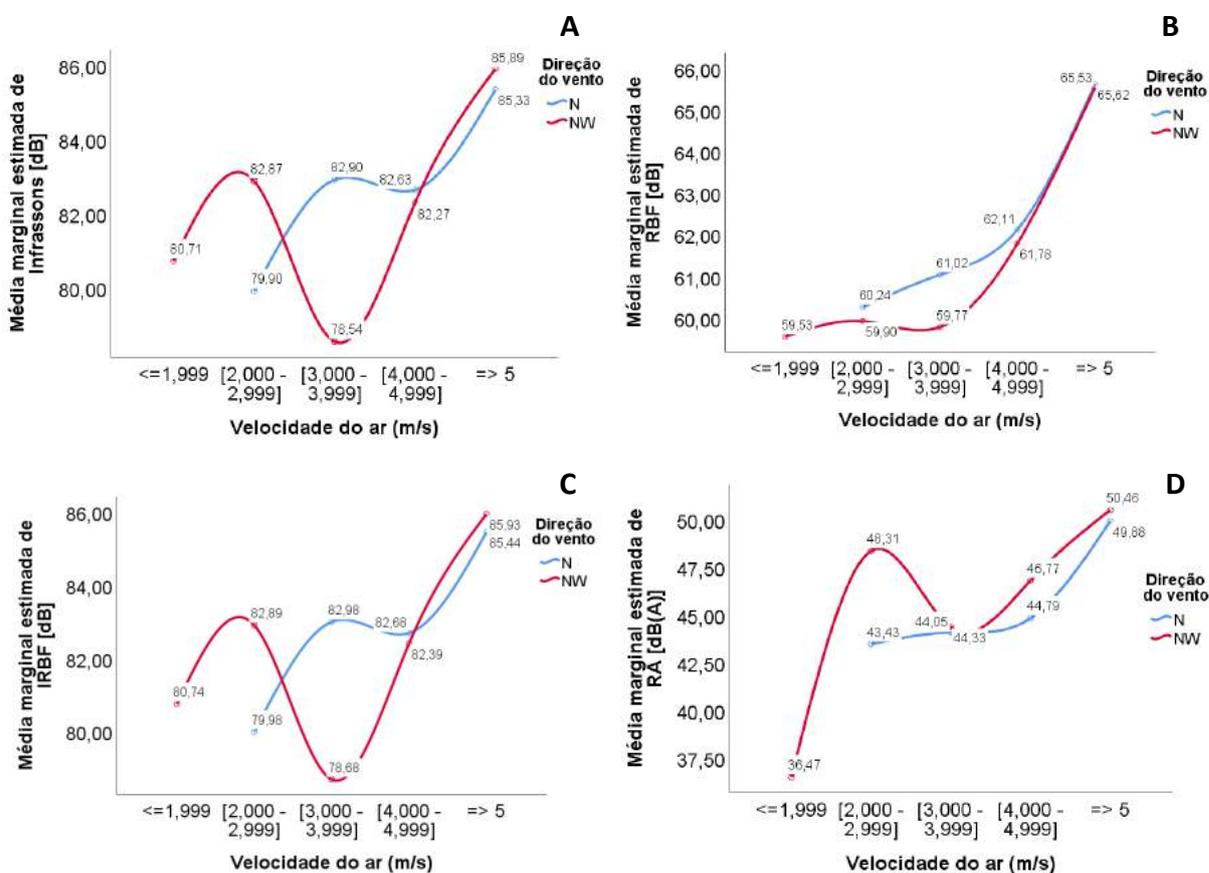


Figura 37: Relação entre velocidade do ar e média marginal estimada das variáveis de ruídos, face à direção do vento

A: Infrassons; B: RBF; C: IRBF; D: RA

Em todas as variáveis é possível verificar uma tendência de variação positiva na medida em que, quando aumenta a velocidade do ar, aumenta também o nível da pressão sonora. No entanto, quando se compara tendo em conta a direção do vento, verifica-se que esta variável não aparenta ter influência nos níveis de ruído registados.

3.9.2. Análise da variação do nível de ruído em função da velocidade do ar e da direção do vento, por parque eólico

3.9.2.1. Parque eólico de Cela

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a direção do vento e a velocidade do ar para a variável “Infrassons”, no PE de Cela (Tabela 42).

Tabela 42: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “Infrassons”, para o PE de Cella

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	NW	80,711	2,165
	Total	80,711	2,165
[2,000 - 2,999]	N	80,362	7,395
	NW	83,516	8,375
	Total	81,489	7,596
[3,000 - 3,999]	N	84,573	8,632
	NW	81,079	7,871
	Total	84,149	8,506
[4,000 - 4,999]	N	83,458	7,390
	NW	87,250	9,071
	Total	84,493	7,604
Total	N	83,252	8,375
	NW	83,219	7,420
	Total	83,245	8,106

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=0,763$; $g1=2$; $g2=53$; $p\text{-value}=0,471$; $R^2_p=0,028$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=0,169$; $g1=1$; $g2=53$; $p\text{-value}=0,683$; $R^2_p=0,003$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=0,939$; $g1=4$; $g2=53$; $p\text{-value}=0,449$; $R^2_p=0,066$

$R^2_{aj}=-0,017$

Não se observou um efeito combinado da “Direção do vento” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “Infrassons” ($p\text{-value}>0,05$). Esses resultados apresentaram ausência de um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes direções do vento.

No que concerne aos efeitos principais isolados não se verificaram efeitos estatisticamente significativos (“Direção do vento”: $p\text{-value}>0,05$; “Velocidade do ar”: $p\text{-value}>0,05$) na produção de ruído do tipo “Infrassons”.

Pretendeu-se compreender a variação de ruído do tipo “RBF” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados direção do vento e velocidade do ar, no PE de Cella (Tabela 43).

Pode-se constatar, segundo os resultados apresentados na Tabela 43, a ausência de um efeito combinado entre a “Direção do vento” e a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “RBF” ($p\text{-value}<0,05$). Desta forma, não se verificou um padrão de variação de ruído do tipo “RBF” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes direções do vento.

Quanto aos efeitos principais isolados, apenas se verificou um efeito estatisticamente significativo na variável “Velocidade do ar” face à produção de ruído. Verifica-se um aumento dos níveis de ruído quando a velocidade do ar aumenta.

Tabela 43: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RBF”, para o PE de Cela

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	NW	59,532	0,235
	Total	59,532	0,235
[2,000 - 2,999]	N	59,903	5,558
	Total	59,740	5,334
[3,000 - 3,999]	N	61,411	6,524
	Total	61,254	6,505
[4,000 - 4,999]	N	62,052	5,112
	Total	64,906	6,542
Total	N	61,123	6,022
	NW	62,448	7,192
	Total	61,427	6,271

ANOVA fatorial:Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=2,973$; $gl_1=2$; $gl_2=53$; $p\text{-value}=0,060$; $R^2_p=0,101$ Efeito isolado (Direção do vento): $F=1,999$; $gl_1=1$; $gl_2=53$; $p\text{-value}=0,163$; $R^2_p=0,036$ Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=2,618$; $gl_1=4$; $gl_2=53$; $p\text{-value}=0,045$; $R^2_p=0,165$ $R^2_{aj}=0,085$

Procurou-se compreender a variação de ruído do tipo “IRBF” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados direção do vento e velocidade do ar, no PE de Cela (Tabela 44).

Também para este tipo de ruído (“IRBF”) não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com a “Velocidade do ar” ($p\text{-value}>0,05$). Esses resultados apresentaram ausência de um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes direções do vento consideradas.

Tabela 44: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “IRBF”, para o PE de Cela

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
≤ 1,999	NW	80,737	2,153
	Total	80,737	2,153
[2,000 - 2,999]	N	80,411	7,359
	Total	81,526	7,567
[3,000 - 3,999]	N	84,639	8,473
	Total	84,211	8,366
[4,000 - 4,999]	N	83,501	7,351
	Total	84,694	7,417
Total	N	83,314	8,262
	NW	83,371	7,314
	Total	83,327	7,995

ANOVA fatorial:Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=0,861$; $gl_1=2$; $gl_2=53$; $p\text{-value}=0,429$; $R^2_p=0,031$ Efeito isolado (Direção do vento): $F=0,231$; $gl_1=1$; $gl_2=53$; $p\text{-value}=0,633$; $R^2_p=0,004$ Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=1,009$; $gl_1=4$; $gl_2=53$; $p\text{-value}=0,411$; $R^2_p=0,071$ $R^2_{aj}=0,010$

Também quanto aos efeitos principais isolados não se verificaram efeitos estatisticamente significativos na produção do parâmetro de ruído em estudo (IRBF).

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a direção do vento e a velocidade do ar para a variável “RA”, no PE de Cella (Tabela 45).

Tabela 45: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RA”, para o PE de Cella

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB(A)]	Desvio padrão
≤ 1,999	NW	36,473	2,724
	Total	36,473	2,724
[2,000 - 2,999]	N	44,859	5,519
	NW	48,576	10,122
	Total	46,186	7,327
[3,000 - 3,999]	N	43,891	4,364
	NW	49,315	10,374
	Total	44,549	5,476
[4,000 - 4,999]	N	44,643	5,326
	NW	56,356	11,669
	Total	47,838	8,776
Total	N	44,305	4,669
	NW	48,725	10,702
	Total	45,320	6,711

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=1,174$; $gl_1=2$; $gl_2=53$; $p\text{-value}=0,317$; $R^2_p=0,042$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=11,001$; $gl_1=1$; $gl_2=53$; $p\text{-value}=0,002$; $R^2_p=0,172$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=3,171$; $gl_1=4$; $gl_2=53$; $p\text{-value}=0,021$; $R^2_p=0,193$

$R^2_{aj}=0,167$

Constatou-se que, a “Direção do vento” e a “Velocidade do ar”, em conjunto, não conseguem predizer a maior ou menor variação do “RA”, de forma estatisticamente significativa. Mais uma vez não se verificou um padrão de variação do nível de ruído na presença de um efeito combinado entre as duas variáveis em análise.

Relativamente aos efeitos principais isolados, ambos os fatores “Velocidade do ar” e “Direção do vento” apresentaram efeitos estatisticamente significativos. De facto, verifica-se um aumento dos níveis de pressão sonora quando a velocidade do ar é maior. Também quando o vento apresenta uma direção de “NW”, se verificam níveis de ruído mais elevados.

A Figura 38 reflete a variação dos níveis de ruído em função da distância e da direção do vento, para as diferentes classes.

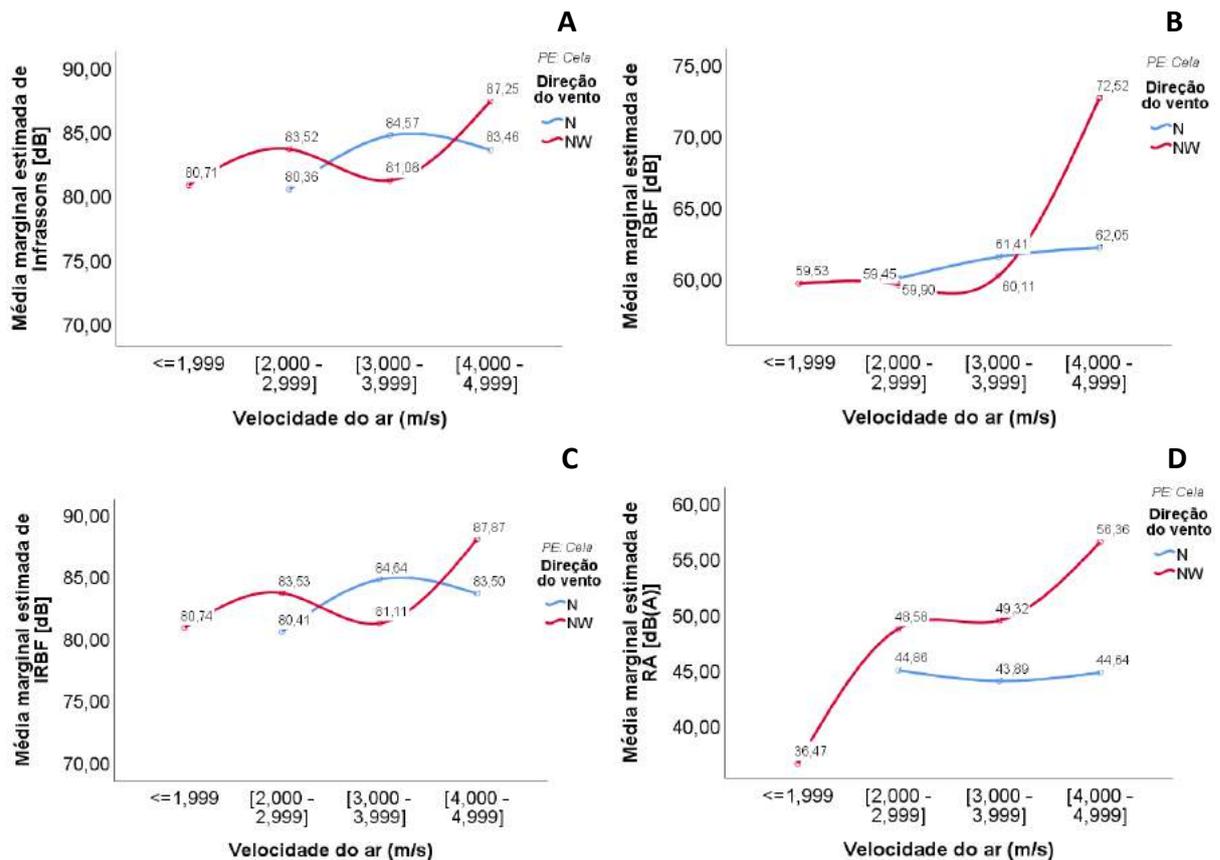


Figura 38: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à direção do vento, para o PE de Cella
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

Verificou-se que, nas diversas variáveis de ruído, os valores dos níveis de ruído mais elevados são registados, maioritariamente, quando o vento apresenta uma direção de “NW” e com uma tendência de variação positiva à medida que aumenta a velocidade do ar.

Nesta análise realça-se a diferença do nível da pressão sonora, sendo mais expressiva nos “Infrassons” (Figura 38A) e no “IRBF” (Figura 38C), atingindo valores de 87,3 dB e 87,9 dB, respetivamente (Velocidade do ar “[4,000 - 4,999]”; Direção do vento “NW”). Nestas variáveis de ruído, apesar de não se encontrarem diferenças estatisticamente significativas entre as direções do vento, podem-se verificar diferenças na ordem dos 3,5 dB (para as classes de velocidade do ar que apresentam valores referentes às duas direções do vento). No que concerne à variável de ruído “RBF” (Figura 38B), o nível de pressão sonora, quando a direção do vento é de “NW”, vai aumentando à medida que aumenta a velocidade do ar, independentemente da direção do vento, atingindo um valor máximo de 72,52 dB à velocidade do ar de “[4,000 - 4,999]”. No que diz respeito à variável de ruído “RA” (Figura 38D), também se verifica uma tendência de variação positiva, ou seja, à medida que aumenta a velocidade do ar, aumentam também os níveis de ruído. O valor máximo é atingido à velocidade do ar “[4,000 - 4,999]” quando a direção do vento é de “NW” (56,36 dB(A)). Nesta variável, analisando os valores

médios totais dos níveis de ruído, é visível uma diferença entre as direções do vento no que diz respeito ao nível de pressão sonora (3,5 dB(A)).

3.9.2.2. Parque eólico de Marvila

Na Tabela 46, procurou-se compreender a variação de ruído do tipo “Infrassons” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados direção do vento e velocidade do ar, no PE de Marvila.

Tabela 46: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “Infrassons”, para o PE de Marvila

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
[3,000 - 3,999]	N	80,495	8,167
	NW	75,601	7,582
	Total	79,136	8,105
[4,000 - 4,999]	N	80,975	16,031
	NW	83,405	8,079
	Total	82,833	9,913
≥ 5	N	87,045	8,168
	NW	86,837	6,877
	Total	86,894	7,104
Total	N	82,870	9,573
	NW	84,436	8,063
	Total	83,819	8,652

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=0,505$; $gl_1=3$; $gl_2=58$; $p\text{-value}=0,680$; $R^2_p=0,025$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=0,005$; $gl_1=1$; $gl_2=58$; $p\text{-value}=0,943$; $R^2_p=0,000$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=3,884$; $gl_1=3$; $gl_2=58$; $p\text{-value}=0,013$; $R^2_p=0,167$

$R^2_{aj}=0,079$

Como se pode verificar, não se observou um efeito combinado da “Direção do vento” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “Infrassons” ($p\text{-value}>0,05$). Verificou-se a ausência de um padrão de variação de ruído do tipo “Infrassons” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes direções do vento.

Quanto aos efeitos principais isolados apenas se verificou um efeito estatisticamente significativo na variável “Velocidade do ar” face à produção de ruído “Infrassons”.

Aplicado o teste de Bonferroni para comparações múltiplas à condição da variável velocidade do ar, verificaram-se diferenças estatisticamente significativas ($p\text{-value}=0,031$) face à variação do ruído “Infrassons”, entre a classe de velocidade do ar “[3,000 - 3,999]” e “≥ 5” ($Z=-2,737$; $p=0,037$).

Pretendeu-se controlar o efeito combinado entre a direção do vento e a velocidade do ar para a variável “RBF”, no PE de Marvila (Tabela 47).

Tabela 47: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RBF”, para o PE de Marvila

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
[3,000 - 3,999]	N	59,533	7,081
	NW	55,037	6,053
	Total	58,284	6,951
[4,000 - 4,999]	N	62,239	15,156
	NW	63,921	6,963
	Total	63,526	8,943
≥ 5	N	67,099	6,072
	NW	66,606	6,609
	Total	66,742	6,361
Total	N	62,508	8,584
	NW	64,401	7,495
	Total	63,655	7,932

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=0,547$; $g1=3$; $g2=58$; $p\text{-value}=0,652$; $R^2_p=0,028$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=0,035$; $g1=1$; $g2=58$; $p\text{-value}=0,853$; $R^2_p=0,001$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=5,314$; $g1=3$; $g2=58$; $p\text{-value}=0,003$; $R^2_p=0,216$

$R^2_{aj}=0,136$

Após análise da Tabela 47, pode-se observar a ausência de um efeito combinado entre a “Direção do vento” e a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “RBF”. Não se observou um padrão de variação de ruído do tipo “RBF” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes direções do vento

Quanto aos efeitos principais isolados, verificou-se um efeito estatisticamente significativo na variável “Velocidade do ar”, face à produção de ruído “RBF”.

Uma vez que o fator velocidade do ar apresenta um valor estatisticamente significativo, aplicou-se o teste de Bonferroni para comparações múltiplas. Verificaram-se diferenças estatisticamente significativas ($p\text{-value}=0,003$) face à variação do ruído “RBF”, entre a classe de velocidade do ar “[3,000 - 3,999]” e “≥ 5” ($Z=-3,561$; $p=0,002$).

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a direção do vento e a velocidade do ar para a variável “IRBF”, no PE de Marvila (Tabela 48).

No que diz respeito à variável de ruído “IRBF”, pode-se constatar a ausência de um efeito combinado entre a “Direção do vento” e a “Velocidade do ar”. Não se observou um padrão de variação de ruído do tipo “IRBF” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes direções do vento.

Tabela 48: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “IRBF”, para o PE de Marvila

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
[3,000 - 3,999]	N	80,595	8,121
	NW	75,668	7,497
	Total	79,227	8,058
[4,000 - 4,999]	N	81,035	16,004
	NW	83,494	7,991
	Total	82,916	9,853
≥ 5	N	87,150	7,990
	NW	86,882	6,854
	Total	86,956	7,038
Total	N	82,962	9,507
	NW	84,498	8,013
	Total	83,893	8,594

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=0,519$; $g1=3$; $g2=58$; $p\text{-value}=0,671$; $R^2_p=0,026$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=0,005$; $g1=1$; $g2=58$; $p\text{-value}=0,946$; $R^2_p=0,000$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=3,930$; $g1=3$; $g2=58$; $p\text{-value}=0,013$; $R^2_p=0,169$

$R^2_{aj}=0,081$

Quanto aos efeitos principais isolados, apenas se verificou um efeito estatisticamente significativo na variável “Velocidade do ar”, face à produção deste tipo de ruído.

Aplicado o teste de Bonferroni para comparações múltiplas ao fator velocidade do ar para a variável de ruído “IRBF”, verificaram-se diferenças estatisticamente significativas ($p\text{-value}=0,029$) face à variação do ruído. Estas diferenças encontram-se entre classes de velocidade do ar “[3,000 - 3,999]” e “≥ 5” ($Z=-2,759$; $p=0,035$).

Na Tabela 49, procurou-se compreender a variação de ruído do tipo “RA” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados direção do vento e velocidade do ar, no PE de Marvila.

Tabela 49: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RA”, para o PE de Marvila

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB(A)]	Desvio padrão
[3,000 - 3,999]	N	44,988	8,160
	NW	39,860	5,719
	Total	43,563	7,764
[4,000 - 4,999]	N	45,087	7,271
	NW	47,515	4,944
	Total	46,944	5,419
≥ 5	N	50,390	4,305
	NW	51,003	5,524
	Total	50,834	5,149
Total	N	46,665	7,064
	NW	48,476	6,321
	Total	47,763	6,630

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=1,199$; $g1=3$; $g2=58$; $p\text{-value}=0,318$; $R^2_p=0,058$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=0,151$; $g1=1$; $g2=58$; $p\text{-value}=0,699$; $R^2_p=0,003$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=5,684$; $g1=3$; $g2=58$; $p\text{-value}=0,002$; $R^2_p=0,227$

$R^2_{aj}=0,168$

Constatou-se que, a “Distância ao PE” e a “Velocidade do ar”, em conjunto, conseguem prever a maior ou menor variação do “RBF”, de forma estatisticamente significativa. Mais uma vez se verificou um padrão de variação do nível do ruído na presença de um efeito combinado entre as duas variáveis em análise.

Relativamente aos efeitos principais isolados, só o fator “Distância ao PE” apresentou um efeito estatisticamente significativo. De facto, verifica-se uma redução deste tipo de ruído quando aumenta a distância ao PE.

Aplicado o teste de Bonferroni para comparações múltiplas ao fator velocidade do ar para a variável de ruído “RA” verificaram-se diferenças estatisticamente significativas ($p\text{-value}=0,001$), face à variação do ruído, entre a classe de velocidade do ar “[3,000 - 3,999]” e “ ≥ 5 ” ($Z=-4,037$; $p<0,001$).

Considerando as análises multivariadas anteriores, pretendeu-se compreender a distribuição das estimativas médias, de cada um dos parâmetros de ruído, em função da velocidade do ar e da direção do vento (Figura 39).

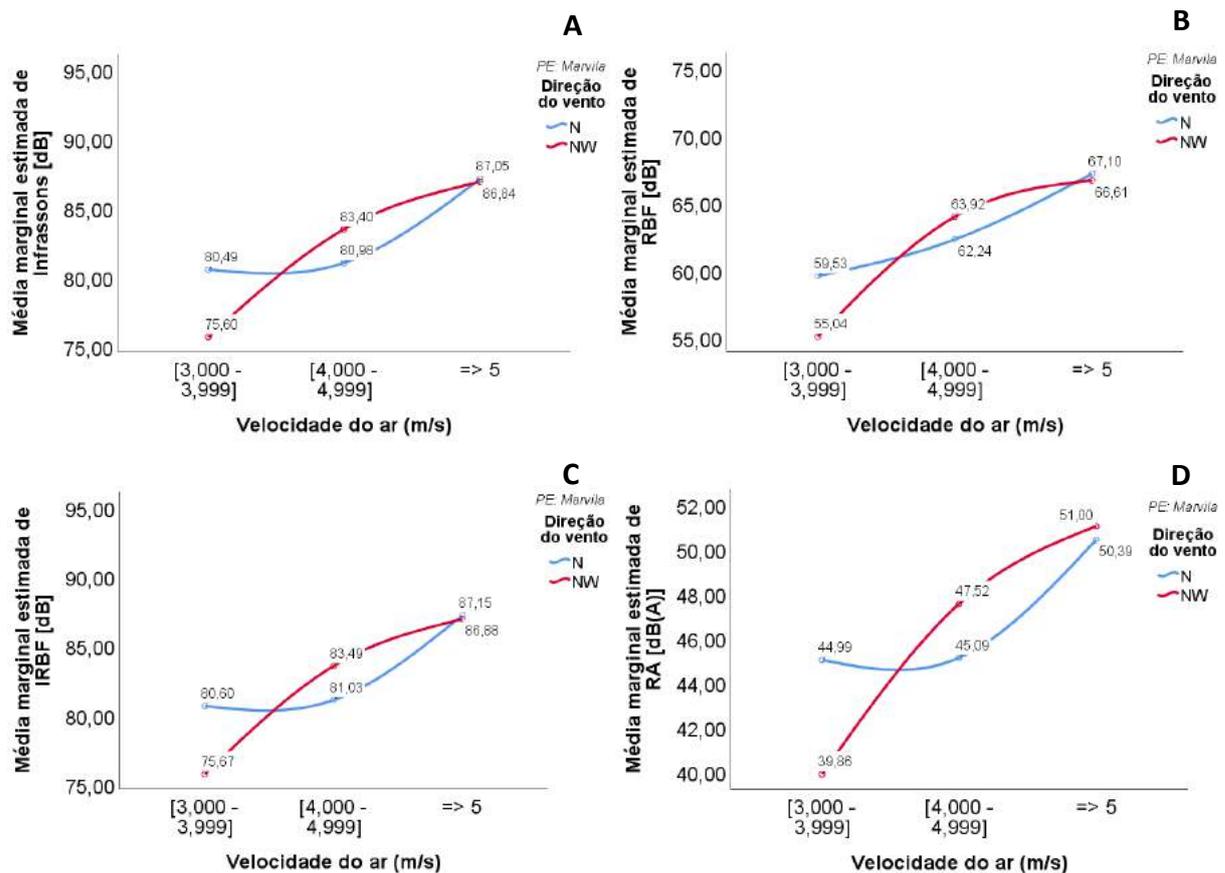


Figura 39: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à direção do vento, para o PE de Marvila
A: Infrasons; B: RBF; C: IRBF; D: RA

Verificou-se que o comportamento dos níveis de ruído é muito semelhante nas diversas variáveis de ruído. Em todas se encontraram diferenças estatisticamente significativas no que diz respeito à velocidade do ar.

No que concerne aos valores registados, na variável de ruído “Infrassons” (Figura 39A), os níveis de ruído mais elevados foram registados quando a direção do vento é “N” e a velocidade do ar de “≥ 5” (87,05 dB), no entanto, não se verificaram diferenças expressivas entre a direção do vento. Relativamente à variável de ruído “RBF” (Figura 39B), o comportamento dos níveis de ruído quando a direção do vento é de “NW” ou “N” é muito semelhante. Os valores dos níveis de ruído mais elevados foram registados à velocidade do ar de “≥ 5” (valores na ordem dos 67 dB), independentemente da direção do vento. No que diz respeito à variável de ruído “IRBF” (Figura 39C), esta apresenta valores muito semelhantes à variável “Infrassons” (Figura 39A). Na variável de ruído “RA” (Figura 39D), verifica-se uma tendência de variação semelhante. No entanto, a diferença entre os níveis de ruído, para a mesma velocidade do ar face à direção do vento, é maior. Esta diferença é mais expressiva à velocidade do ar de “[3,000 - 3,999]” onde a mesma chega a ser de 5 dB(A). Nesta variável de ruído, os níveis de pressão sonora mais elevados são registados quando a velocidade do ar é de “≥ 5” e direção do vento de “NW”, atingindo um valor de 51 dB(A).

3.9.2.3. Parque eólico de Chão Falcão

Pretendeu-se controlar o efeito combinado entre a direção do vento e a velocidade do ar para a variável “Infrassons”, no PE de Chão Falcão (Tabela 50).

Tabela 50: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “Infrassons”, para o PE de Chão Falcão

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
[2,000 - 2,999]	N	76,853	11,282
	NW	70,897	9,168
	Total	75,662	10,127
[3,000 - 3,999]	N	81,892	9,631
	NW	78,741	7,351
	Total	80,080	8,428
[4,000 - 4,999]	NW	80,864	7,324
	Total	80,864	7,324
Total	N	81,239	9,739
	NW	79,263	7,554
	Total	79,902	8,302

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=1,225$; $g|1=2$; $g|2=61$; $p\text{-value}=0,301$; $R^2_p=0,039$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=4,177$; $g|1=1$; $g|2=61$; $p\text{-value}=0,045$; $R^2_p=0,064$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=1,501$; $g|1=3$; $g|2=61$; $p\text{-value}=0,223$; $R^2_p=0,069$

$R^2_{aj}=0,018$

Pode-se constatar, segundo os resultados apresentados na Tabela 51, a não existência de um efeito combinado da “Direção do vento” com a “Velocidade do ar” na variação explicada no tipo de ruído “Infrassons” ($p\text{-value}>0,05$). Estes resultados apresentaram ausência de um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes direções do vento.

Também quanto aos efeitos principais isolados apenas se verificou um efeito estatisticamente significativo na variável “Direção do vento” face à produção de ruído “Infrassons”

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a direção do vento e a velocidade do ar para a variável “RBF”, no PE de Chão Falcão (Tabela 51).

Tabela 51: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RBF”, para o PE de Chão Falcão

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
[2,000 - 2,999]	N	59,671	8,479
	NW	50,975	8,135
	Total	57,932	8,309
[3,000 - 3,999]	N	61,503	6,149
	NW	60,734	5,687
	Total	61,061	5,823
[4,000 - 4,999]	NW	58,915	6,625
	Total	58,915	6,625
Total	N	61,241	6,306
	NW	59,305	6,628
	Total	59,931	6,542

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=2,714$; $gl_1=2$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,074$; $R^2_p=0,082$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=6,612$; $gl_1=1$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,013$; $R^2_p=0,098$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=2,114$; $gl_1=3$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,108$; $R^2_p=0,094$

$R^2_{aj}=0,077$

No que diz respeito à variável de ruído “RBF”, pode-se constatar a ausência de um efeito combinado entre a “Direção do vento” e a “Velocidade do ar”. Não se observou um padrão de variação de ruído do tipo “RBF” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes direções do vento.

Quanto aos efeitos principais isolados, apenas se verificou um efeito estatisticamente significativo na variável “Direção do vento”, face à produção deste tipo de ruído. Verifica-se que, quando o vento apresenta uma direção de “N”, os níveis de ruído tendem a ser mais elevados.

Na Tabela 52, procurou-se compreender a variação de ruído do tipo “IRBF” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados direção do vento e velocidade do ar, no PE de Chão Falcão.

Tabela 52: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “IRBF”, para o PE de Chão Falcão

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
[2,000 - 2,999]	N	77,006	11,142
	NW	70,937	9,657
	Total	75,792	10,024
[3,000 - 3,999]	N	81,976	9,507
	NW	78,908	7,179
	Total	80,211	8,277
[4,000 - 4,999]	NW	80,925	7,279
	Total	80,925	7,279
Total	N	81,332	9,614
	NW	79,375	7,451
	Total	80,008	8,192

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=1,275$; $gl_1=2$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,287$; $R^2_p=0,040$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=4,303$; $gl_1=1$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,042$; $R^2_p=0,066$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=1,537$; $gl_1=3$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,214$; $R^2_p=0,070$

$R^2_{aj}=0,020$

Constatou-se que, a “Direção do vento” e a “Velocidade do ar”, em conjunto, não conseguem predizer a maior ou menor variação do “IRBF”, de forma estatisticamente significativa. Mais uma vez se verificou a ausência de um padrão de variação do nível do ruído na presença de um efeito combinado entre as duas variáveis em análise.

Relativamente aos efeitos principais isolados, só o fator “Direção do vento” apresentou um efeito estatisticamente significativo.

Pretendeu-se controlar o efeito combinado entre a direção do vento e a velocidade do ar para a variável “RA”, no PE de Chão Falcão (Tabela 53).

Também para esta variável de ruído (“RA”) se observou a ausência de um efeito combinado da “Direção do vento” com a “Velocidade do ar” ($p\text{-value}>0,05$). Estes resultados apresentaram ausência de um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada às diferentes distâncias à fonte consideradas.

Quanto aos efeitos principais isolados não se verificaram efeitos estatisticamente significativos na produção do parâmetro de ruído em estudo.

Tabela 53: Relação entre velocidade do ar e a direção do vento para a variável “RA”, para o PE de Chão Falcão

Velocidade do ar (m/s)	Direção do vento	Média [dB]	Desvio padrão
[2,000 - 2,999]	N	39,818	5,446
	NW	44,306	5,028
	Total	40,716	5,125
[3,000 - 3,999]	N	43,590	2,851
	NW	44,433	6,503
	Total	44,075	5,231
[4,000 - 4,999]	NW	44,942	5,949
	Total	44,942	5,949
	Total	N	43,061	3,662
NW		44,544	6,097
Total		44,064	5,446

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Direção do vento e Velocidade do ar): $F=0,822$; $gl_1=2$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,444$; $R^2_p=0,026$

Efeito isolado (Direção do vento): $F=0,073$; $gl_1=1$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,788$; $R^2_p=0,001$

Efeito isolado (Velocidade do ar): $F=0,240$; $gl_1=3$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,868$; $R^2_p=0,012$
 $R^2_{aj}=-0,026$

A Figura 40 reflete a relação entre as variáveis de ruído face à velocidade do ar e direção do vento.

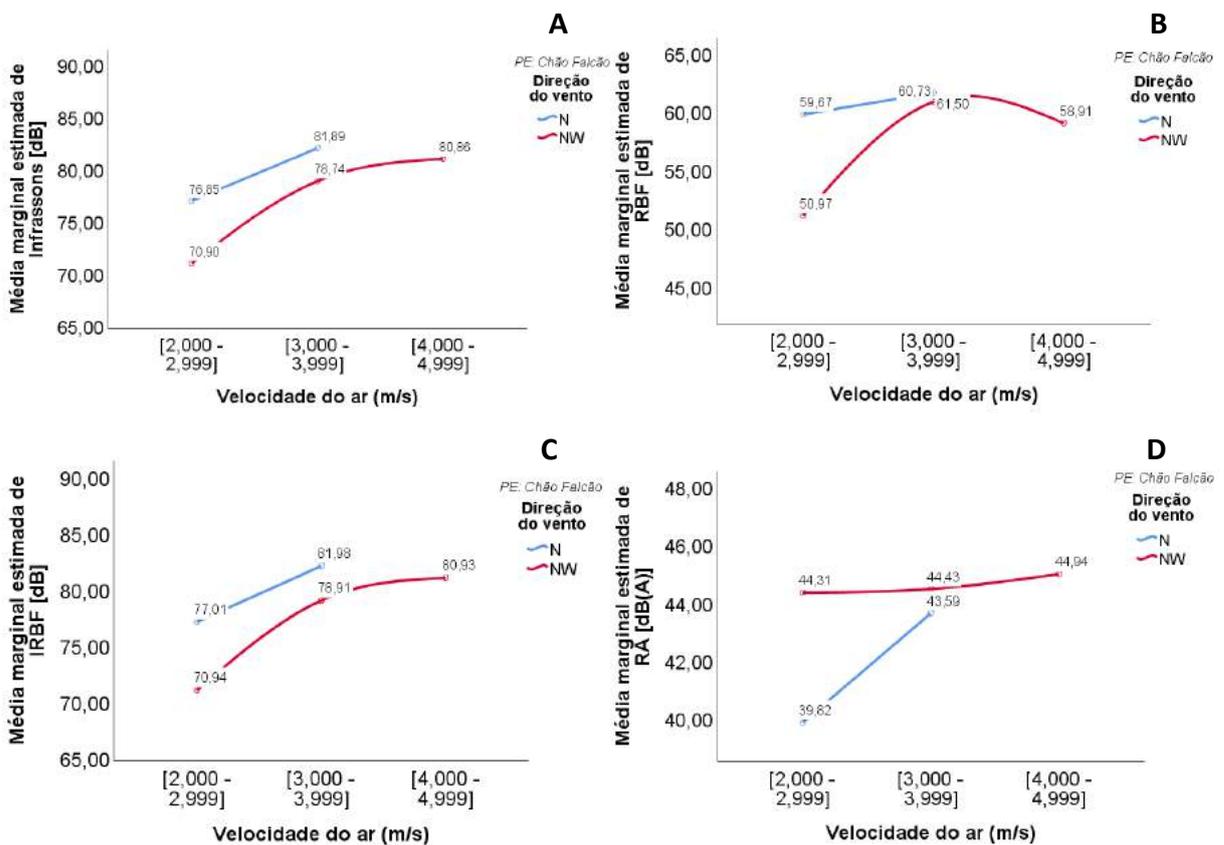


Figura 40: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face à direção do vento, para o PE de Chão Falcão

A: Infrassons; B: RBF; C: IRBF; D: RA

Constatou-se que, nas diversas variáveis de ruído, os valores dos níveis de ruído mais elevados são registados, maioritariamente, quando o vento apresenta uma direção de “N”. É possível verificar, para todas as variáveis de ruído, uma tendência de variação positiva no nível de pressão sonora face à velocidade do ar (com exceção do ruído “RBF” quando a direção de vento é “NW”), ou seja, quando aumenta a velocidade do ar, aumenta também o nível de ruído.

Nesta análise realça-se a diferença do nível da pressão sonora, nos “Infrassons” (Figura 40A) e no “IRBF” (Figura 40C), verificando-se nas classes de velocidade do ar de “[2,000 - 2,999]” e “[3,000 - 3,999]” diferenças entre 3 dB e 6 dB, sensivelmente. No que concerne à variável de ruído “RBF” (Figura 40B), também se verificaram diferenças significativas, sobretudo quando a velocidade do ar é de “[2,000 - 2,999]” (8,7 dB). Os valores dos níveis de ruído mais elevados foram registados com direção do vento “N” e com uma velocidade do ar de “[3,000 - 3,999]” (61,5 dB). No que diz respeito à variável de ruído “RA” (Figura 40D), esta apresenta um padrão de comportamento diferente dos restantes tipos de ruído no que concerne à direção do vento. No “RA” a direção do vento mais expressiva é “NW” registando o valor mais elevado de nível de pressão sonora de 44,94 dB(A) à velocidade do ar de “[4,000 - 4,999]”. Para a velocidade do ar de “[2,000 - 2,999]” registou-se uma diferença de 4,5 dB(A) entre as direções de vento.

3.10. Variação do nível de ruído em função do ponto cardeal onde foi efetuada a medição e da direção do vento

3.10.1. Análise geral da variação do nível de ruído em função do ponto cardeal e da direção do vento

Procurou-se, de forma multivariada, avaliar o efeito combinado dos fatores isolados “Pontos cardeais” e “Distância ao PE” na variação explicada dos níveis médios de ruído do tipo “Infrassons” (Tabela 54)

Da análise à Tabela 54, não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com o “Ponto cardeal” onde foi efetuada a mediação, no que diz respeito à variação do ruído “Infrassons” ($p\text{-value}>0,05$). Os resultados não apresentaram um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre a distância ao PE e o local onde foi efetuada a medição.

Quanto aos efeitos principais isolados, só o fator “Ponto cardeal” apresenta um efeito significativo na variação deste ruído ($p\text{-value}<0,05$). Verifica-se um aumento tendencialmente significativo do nível do ruído, nos pontos cardeais a sul dos PE.

Tabela 54: Relação entre a distância e o ponto cardeal onde foi efetuada a medição, para o tipo de ruído “Infrassons”

Ponto cardeal		Distância ao PE (km)							Total	
		0,5	1	2	3	4	5	10		15
E	Média [dB]	91,757	78,460	82,342	85,759	75,938	74,765	84,048	83,365	82,054
	Desvio padrão	5,894	2,436	7,137	4,351	7,118	16,415	0,683	3,772	8,188
N	Média [dB]	84,234	83,776	82,054	79,491	81,501	73,223	80,844	83,524	81,081
	Desvio padrão	8,958	11,643	8,467	14,602	7,629	3,002	11,646	6,450	8,738
NE	Média [dB]	87,691	87,144	84,886	72,659	74,754	80,124	74,937	71,848	79,255
	Desvio padrão	3,251	5,557	10,153	8,869	6,271	9,998	6,492	2,840	8,685
NW	Média [dB]	89,284	79,093	86,628	80,908	79,206	85,061	73,946	83,593	82,408
	Desvio padrão	6,244	8,299	5,390	2,533	6,091	1,250	9,682	5,400	6,750
S	Média [dB]	80,882	87,840	85,314	87,491	87,656	87,772	84,964	87,943	86,233
	Desvio padrão	5,649	9,589	3,392	6,997	2,765	9,402	9,779	8,645	6,689
SE	Média [dB]	86,892	82,824	85,856	78,775	73,296	77,422	87,942	76,565	81,262
	Desvio padrão	11,616	12,940	1,503	9,793	6,589	10,388	1,424	9,155	9,274
SW	Média [dB]	85,047	83,964	90,661	88,837	79,028	85,541	84,111	83,308	85,213
	Desvio padrão	1,876	5,510	1,921	3,870	5,717	8,801	6,941	12,359	6,513
W	Média [dB]	78,850	76,902	78,818	82,496	85,493	86,695	77,958	69,155	79,615
	Desvio padrão	10,498	6,878	7,278	9,453	14,286	3,833	25,117	4,400	10,325
Total	Média [dB]	85,580	82,514	84,570	82,323	79,609	81,163	81,561	79,753	82,161
	Desvio padrão	7,439	8,326	6,305	8,615	8,042	9,542	9,368	8,851	8,431

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Ponto cardeal e Distância ao PE): $F=0,961$; $gl_1=49$; $gl_2=126$; $p\text{-value}=0,553$; $R^2_p=0,272$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,555$; $gl_1=7$; $gl_2=126$; $p\text{-value}=0,155$; $R^2_p=0,080$

Efeito isolado (Ponto cardeal): $F=2,152$; $gl_1=7$; $gl_2=126$; $p\text{-value}=0,043$; $R^2_p=0,107$

$R^2_{aj}=0,053$

Quando aplicado o teste de Bonferroni para comparações múltiplas, à condição da variável “Ponto cardeal” ($p\text{-value}<0,05$), verificaram-se diferenças estatisticamente significativas ($p=0,027$), face à variação do ruído “Infrassons”, para a seguinte relação de pontos cardiais: NE-SW ($B=-41,653$; $p=0,01$); NE-S ($B=-45,542$; $p=0,005$); W-SW ($B=36,449$; $p=0,025$); W-S ($B=40,338$; $p=0,014$); e N-S ($B=-32,771$; $p=0,044$).

No seguimento da análise anterior, procurou-se relacionar o “Ponto cardeal” onde foi efetuada a medição, com a “Direção do vento”, face à “Distância ao PE”, no sentido de perceber a variação do ruído do tipo “Infrassons” (Tabela 55).

Da análise descritiva constante na Tabela 55 é possível constatar que quando a direção do vento é “N”, o valor mais elevado encontra-se no ponto cardeal de medição “S”. Quando a direção do vento é “NW”, os valores mais elevados registam-se a “S” e “SE”.

Tabela 55: Relação entre a distância, o ponto cardeal onde foi efetuada a medição e direção do vento, para o tipo de ruído “Infrassons”

Ponto cardeal		Distância ao PE (km)								Total	
		0,5	1	2	3	4	5	10	15		
Direção vento - N	E	Média [dB]	95,650	78,773	80,896	.	84,007	58,120	.	.	79,724
		Desvio padrão	.	.	9,451	.	.	.	.	.	12,897
	N	Média [dB]	91,855	73,280	91,647	73,959	79,905	73,223	.	89,599	79,434
		Desvio padrão	.	.	.	15,582	10,055	3,002	.	.	9,913
	NE	Média [dB]	89,312	87,629	78,978	81,856	77,897	.	.	.	83,269
		Desvio padrão	2,321	.	.	.	4,404	.	.	.	5,700
	NW	Média [dB]	93,559	71,489	86,628	80,234	85,768	84,177	73,946	87,412	82,765
		Desvio padrão	.	.	5,390	.	.	.	9,682	.	7,968
	S	Média [dB]	78,057	85,464	85,941	87,491	87,460	91,582	86,073	92,569	86,918
		Desvio padrão	3,993	12,249	4,544	6,997	3,881	9,470	.	4,589	6,749
	SE	Média [dB]	92,070	78,123	85,626	69,328	70,554	77,422	.	.	78,366
		Desvio padrão	.	10,888	2,049	.	6,460	10,388	.	.	9,528
	SW	Média [dB]	85,047	84,090	90,661	88,534	74,623	90,607	83,649	83,308	85,742
		Desvio padrão	1,876	7,786	1,921	4,681	.	.	9,751	12,359	6,843
	W	Média [dB]	83,553	76,902	76,508	91,616	79,888	86,404	60,197	.	79,633
		Desvio padrão	9,365	6,878	8,597	.	14,821	5,374	.	.	9,961
	Total	Média [dB]	86,932	79,668	85,027	83,252	79,677	80,063	76,910	87,439	82,501
		Desvio padrão	6,383	8,089	6,422	9,389	8,023	11,065	11,493	8,515	8,848
Direção vento - NW	E	Média [dB]	89,810	78,304	85,235	85,759	71,903	83,088	84,048	83,365	82,831
		Desvio padrão	6,836	3,424	.	4,351	1,910	11,104	0,683	3,772	6,263
	N	Média [dB]	80,424	89,024	77,258	90,555	84,694	.	80,844	80,486	82,474
		Desvio padrão	8,566	10,289	2,314	.	.	.	11,646	5,276	7,738
	NE	Média [dB]	84,450	86,901	87,839	68,060	68,469	80,124	74,937	71,848	77,603
		Desvio padrão	.	7,836	12,402	5,517	.	9,998	6,492	2,840	9,289
	NW	Média [dB]	87,146	82,896	.	81,245	75,925	85,945	.	79,775	82,014
		Desvio padrão	7,110	7,142	.	3,486	3,099	.	.	.	5,511
	S	Média [dB]	86,532	92,592	84,059	.	88,050	80,152	84,410	78,691	84,862
		Desvio padrão	.	.	.	.	.	.	13,763	.	6,797
	SE	Média [dB]	84,303	96,928	86,318	83,498	78,780	.	87,942	76,565	83,934
		Desvio padrão	15,155	.	.	7,611	.	.	1,424	9,155	8,525
SW	Média [dB]	.	83,713	.	89,744	81,231	83,007	85,034	.	83,852	
	Desvio padrão	.	.	.	.	6,022	10,789	.	.	5,830	
W	Média [dB]	69,445	.	83,439	77,937	96,704	87,275	95,719	69,155	79,592	
	Desvio padrão	.	.	.	7,346	.	.	.	4,400	11,327	
Total	Média [dB]	83,981	86,135	83,656	81,466	79,528	82,593	83,305	76,390	81,828	
	Desvio padrão	8,555	7,454	6,390	8,121	8,454	7,438	8,181	6,802	8,033	

Efetuuou-se a mesma análise para avaliar o efeito combinado dos fatores isolados “Pontos cardeais” e “Distância ao PE” na variação explicada dos níveis médios de ruído do tipo “RBF” (Tabela 56).

Conforme se pode verificar na Tabela 56, não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com o “Ponto cardeal” onde foi efetuada a medição, no que diz respeito à variação do ruído “RBF” ($p\text{-value}>0,05$). Isto é, os resultados não apresentaram um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre a distância ao PE e o local onde foi efetuada a medição.

Tabela 56: Relação entre a distância e o ponto cardeal onde foi efetuada a medição, para o tipo de ruído “RBF”

Ponto cardeal		Distância ao PE (km)								
		0,5	1	2	3	4	5	10	15	Total
E	Média [dB]	68,525	56,688	60,576	63,399	60,848	62,835	58,184	59,791	61,356
	Desvio padrão	5,326	3,109	4,494	4,781	2,820	8,227	4,219	2,971	5,297
N	Média [dB]	63,929	63,930	60,100	60,554	61,751	56,887	63,930	60,706	61,473
	Desvio padrão	7,816	13,388	7,652	10,628	8,818	12,257	2,447	4,305	7,957
NE	Média [dB]	66,377	63,183	66,506	58,075	60,120	58,538	53,563	50,282	59,580
	Desvio padrão	3,395	6,963	8,418	3,427	5,269	5,134	4,796	3,261	7,105
NW	Média [dB]	69,068	58,148	64,243	58,647	56,659	63,687	60,018	57,141	61,047
	Desvio padrão	7,190	5,329	3,688	3,145	6,973	0,880	1,792	5,504	5,955
S	Média [dB]	61,715	64,847	61,299	62,734	66,128	65,911	64,728	68,379	64,468
	Desvio padrão	1,426	8,260	2,915	8,761	1,255	13,024	7,105	3,601	6,267
SE	Média [dB]	62,482	63,909	64,463	59,423	54,300	53,591	65,991	53,662	59,895
	Desvio padrão	10,943	10,259	2,027	7,117	2,709	8,662	2,413	9,309	8,174
SW	Média [dB]	63,971	59,137	66,223	66,264	62,057	63,096	61,689	64,529	63,487
	Desvio padrão	0,839	6,620	2,778	4,737	11,048	7,431	5,226	7,787	5,890
W	Média [dB]	62,424	58,087	61,362	58,538	61,358	63,282	65,812	55,303	60,552
	Desvio padrão	5,793	6,184	5,033	11,626	10,957	5,984	20,817	6,212	8,235
Total	Média [dB]	64,811	61,108	63,097	61,167	60,403	60,861	61,633	58,793	61,496
	Desvio padrão	5,850	7,588	4,918	6,808	6,902	8,311	7,139	7,479	7,012

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Ponto cardeal e Distância ao PE): $F=0,812$; $gl_1=49$; $gl_2=126$; $p\text{-value}=0,795$; $R^2_p=0,240$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,572$; $gl_1=7$; $gl_2=126$; $p\text{-value}=0,150$; $R^2_p=0,080$

Efeito isolado (Ponto cardeal): $F=1,384$; $gl_1=7$; $gl_2=126$; $p\text{-value}=0,218$; $R^2_p=0,071$

$R^2_{aj}=0,014$

Quanto aos efeitos principais isolados, também não se verificaram efeitos estatisticamente significativos (“Ponto cardeal”: $p\text{-value}>0,05$; “Distância ao PE”: $p\text{-value}>0,05$) na produção do parâmetro de ruído em análise.

Pretendeu-se analisar a relação entre “Ponto cardeal” com a “Direção do vento”, face à “Distância ao PE”. O resultado consta na Tabela 57.

Considerando as variáveis “Direção do vento” e “Ponto cardeal”, pode-se verificar que a direção do vento é influenciadora nos valores dos pontos de medição. Quando a direção do vento “N”, o nível de ruído mais elevado é registado a “S”. Quando a direção do vento é “NW”, os valores de ruído mais elevados são registados nos pontos cardeais a sul (“S”, “SE” e “SW”).

Tabela 57: Relação entre a distância, o ponto cardeal onde foi efetuada a medição e direção do vento, para o tipo de ruído “RBF”

Ponto cardeal		Distância ao PE (km)								Total	
		0,5	1	2	3	4	5	10	15		
Direção vento - N	E	Média [dB]	69,625	54,018	59,603	.	58,419	54,038	.	.	59,218
		Desvio padrão	.	.	5,892	.	.	.	.	.	6,290
	N	Média [dB]	70,267	51,238	68,838	56,868	59,356	56,887	.	63,271	59,702
		Desvio padrão	.	.	.	12,016	11,006	12,257	.	.	9,410
	NE	Média [dB]	68,266	62,037	59,330	58,369	57,252	.	.	.	61,539
		Desvio padrão	1,288	.	.	.	2,488	.	.	.	5,005
	NW	Média [dB]	66,374	56,895	64,243	57,339	63,674	63,065	60,018	61,033	61,922
		Desvio padrão	.	.	3,688	.	.	.	1,792	.	3,537
	S	Média [dB]	60,899	60,782	61,080	62,734	65,835	69,215	62,363	.	64,033
		Desvio padrão	0,265	6,107	4,087	8,761	1,623	16,546	.	4,707	6,759
	SE	Média [dB]	61,278	58,921	63,301	54,170	53,266	53,591	.	.	57,176
		Desvio padrão	.	2,928	0,335	.	2,874	8,662	.	.	5,679
	SW	Média [dB]	63,971	60,686	66,223	66,781	52,519	62,805	60,810	64,529	63,490
		Desvio padrão	0,839	8,560	2,778	5,662	.	.	7,069	7,787	5,611
	W	Média [dB]	63,218	58,088	64,142	69,847	56,636	61,680	51,093	.	60,504
		Desvio padrão	7,960	6,185	2,083	.	10,309	7,498	.	.	6,916
	Total	Média [dB]	64,940	58,439	63,489	61,834	58,408	59,472	59,185	65,177	61,319
		Desvio padrão	4,040	4,908	3,753	7,642	6,330	9,821	5,204	5,736	6,546
Direção vento - NW	E	Média [dB]	67,975	58,024	62,522	63,399	62,062	67,233	58,184	59,791	62,068
		Desvio padrão	7,410	2,939	.	4,781	2,656	4,394	4,219	2,971	4,917
	N	Média [dB]	60,759	70,276	55,732	67,927	66,540	.	63,930	59,424	62,972
		Desvio padrão	7,868	10,809	1,610	.	.	.	2,447	5,214	6,500
	NE	Média [dB]	62,601	63,756	70,093	57,928	65,854	58,538	53,563	50,282	58,774
		Desvio padrão	.	9,747	8,032	4,833	.	5,134	4,796	3,261	7,798
	NW	Média [dB]	70,415	58,774	.	59,301	53,152	64,309	.	53,249	60,084
		Desvio padrão	9,619	7,379	.	4,149	4,842	.	.	.	7,933
	S	Média [dB]	63,347	72,978	61,737	.	66,715	59,304	65,910	66,792	65,337
		Desvio padrão	.	.	.	.	.	.	9,622	.	5,463
	SE	Média [dB]	63,084	78,873	66,788	62,049	56,368	.	65,991	53,662	62,404
		Desvio padrão	15,406	.	.	7,740	.	.	2,413	9,309	9,479
SW	Média [dB]	.	56,039	.	64,714	66,826	63,242	63,449	.	63,477	
	Desvio padrão	.	.	.	.	10,376	10,503	.	.	7,040	
W	Média [dB]	60,837	.	55,805	52,885	70,805	66,488	80,532	55,304	60,615	
	Desvio padrão	.	.	.	8,862	.	.	.	6,213	10,100	
Total	Média [dB]	64,659	64,505	62,313	60,551	62,760	62,666	62,550	56,000	61,670	
	Desvio padrão	7,687	9,177	6,944	6,189	7,085	5,816	7,682	6,446	7,470	

À semelhança das análises anteriores procurou-se compreender a variação de ruído do tipo “IRBF” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados “Ponto cardeal” e a “Distância ao PE” (Tabela 58).

Como se pode verificar, não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com o “Ponto cardeal” na variação explicada no tipo de ruído “IRBF” ($p\text{-value}>0,05$). Mais uma vez, se verificou a ausência de um padrão de variação de ruído do tipo “IRBF” na presença do efeito de interação entre as características da distância ao PE associada ao ponto cardeal.

Tabela 58: Relação entre a distância e o ponto cardeal onde foi efetuada a medição, para o tipo de ruído “IRBF”

Ponto cardeal		Distância ao PE (km)								
		0,5	1	2	3	4	5	10	15	Total
E	Média [dB]	91,774	78,495	82,370	85,778	76,219	75,340	84,058	83,384	82,177
	Desvio padrão	5,891	2,399	7,114	4,350	6,895	15,729	0,676	3,759	7,958
N	Média [dB]	84,269	83,816	82,075	79,552	81,536	73,572	81,038	83,546	81,176
	Desvio padrão	8,947	11,656	8,463	14,542	7,635	3,534	11,482	6,440	8,690
NE	Média [dB]	87,715	87,156	84,955	72,900	75,353	80,163	74,965	71,876	79,385
	Desvio padrão	3,249	5,561	10,117	8,674	5,448	9,951	6,480	2,840	8,553
NW	Média [dB]	89,337	79,149	86,651	80,929	79,224	85,084	74,216	83,601	82,461
	Desvio padrão	6,240	8,240	5,377	2,540	6,094	1,246	9,356	5,399	6,690
S	Média [dB]	80,940	87,864	85,329	87,502	87,679	87,804	85,016	88,041	86,272
	Desvio padrão	5,595	9,580	3,389	7,001	2,756	9,424	9,730	8,511	6,664
SE	Média [dB]	86,909	82,966	85,882	78,831	73,360	77,438	87,963	76,582	81,310
	Desvio padrão	11,610	12,741	1,499	9,747	6,526	10,381	1,431	9,154	9,229
SW	Média [dB]	85,073	83,978	90,673	88,855	79,642	85,569	84,133	83,390	85,312
	Desvio padrão	1,867	5,512	1,922	3,872	5,477	8,789	6,932	12,262	6,407
W	Média [dB]	78,963	76,972	79,064	82,509	85,509	86,709	78,255	69,371	79,731
	Desvio padrão	10,386	6,828	6,928	9,457	14,272	3,836	24,844	4,395	10,221
Total	Média [dB]	85,623	82,566	84,625	82,377	79,815	81,302	81,657	79,816	82,249
	Desvio padrão	7,406	8,274	6,234	8,551	7,883	9,363	9,261	8,806	8,337

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Ponto cardeal e Distância ao PE): $F=0,950$; $gl_1=49$; $gl_2=126$; $p\text{-value}=0,570$; $R^2_p=0,270$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,530$; $gl_1=7$; $gl_2=126$; $p\text{-value}=0,163$; $R^2_p=0,078$

Efeito isolado (Ponto cardeal): $F=2,159$; $gl_1=7$; $gl_2=126$; $p\text{-value}=0,042$; $R^2_p=0,107$

$R^2_{aj}=0,050$

Quanto aos efeitos principais isolados apenas o fator “Ponto cardeal” apresenta um efeito estatisticamente significativo na produção do parâmetro de ruído em estudo ($p\text{-value} < 0,05$). Verifica-se uma variação significativa do ruído “IRBF”, face ao ponto onde foi efetuada a medição.

Aplicado o teste de Bonferroni para comparações múltiplas, à condição da variável “Ponto cardeal” ($p\text{-value} < 0,05$), verificaram-se diferenças estatisticamente significativas, face à variação do ruído “IRBF” ($p=0,026$), para a seguinte relação de pontos cardeais: NE-SW ($B=-41,684$; $p=0,01$); NE-S ($B=-45,417$; $p=0,005$); W-SW ($B=36,776$; $p=0,024$); W-S ($B=40,508$; $p=0,014$); e N-S ($B=-32,896$; $p=0,043$).

Na sequência da análise anterior, procurou-se relacionar o “Ponto cardeal” onde foi efetuada a medição, com a “Direção do vento”, face à “Distância ao PE”, no sentido de perceber a variação do ruído do tipo “IRBF” (Tabela 59).

À semelhança das outras variáveis de ruído, também para o “IRBF” se verificou que, quando a direção do vento é “N” ou “NW” os valores de ruído mais elevados se registam a “S” e nos pontos cardeais a sul (“S”, “SE” e “SW”), respetivamente.

Tabela 59: Relação entre a distância, o ponto cardeal onde foi efetuada a medição e direção do vento, para o tipo de ruído “IRBF”

Ponto cardeal		Distância ao PE (km)								Total	
		0,5	1	2	3	4	5	10	15		
Direção vento - N	E	Média [dB]	95,657	78,786	80,929	.	84,016	59,510	.	.	79,971
		Desvio padrão	.	.	9,422	.	.	.	.	.	12,434
	N	Média [dB]	91,879	73,303	91,663	74,043	79,936	73,572	.	89,606	79,557
		Desvio padrão	.	.	.	15,519	10,060	3,534	.	.	9,870
	NE	Média [dB]	89,334	87,639	79,022	81,873	77,952	.	.	.	83,301
		Desvio padrão	2,317	.	.	.	4,341	.	.	.	5,677
	NW	Média [dB]	93,565	71,631	86,651	80,252	85,788	84,203	74,216	87,418	82,840
		Desvio padrão	.	.	5,377	.	.	.	9,356	.	7,852
	S	Média [dB]	78,136	85,483	85,953	87,502	87,481	91,616	86,088	92,584	86,944
		Desvio padrão	3,929	12,228	4,543	7,001	3,868	9,509	.	4,589	6,738
	SE	Média [dB]	92,072	78,296	85,645	69,449	70,641	77,438	.	.	78,441
		Desvio padrão	.	10,613	2,039	.	6,390	10,381	.	.	9,444
	SW	Média [dB]	85,073	84,107	90,673	88,556	74,644	90,612	83,669	83,390	85,771
		Desvio padrão	1,867	7,789	1,922	4,686	.	.	9,738	12,262	6,817
	W	Média [dB]	83,587	76,972	76,874	91,633	79,908	86,414	60,688	.	79,754
		Desvio padrão	9,353	6,828	8,198	.	14,803	5,376	.	.	9,826
	Total	Média [dB]	86,962	79,739	85,091	83,289	79,714	80,263	77,091	87,480	82,579
		Desvio padrão	6,359	8,003	6,317	9,355	7,999	10,820	11,273	8,452	8,744
Direção vento - NW	E	Média [dB]	89,832	78,349	85,253	85,778	72,321	83,255	84,058	83,384	82,913
		Desvio padrão	6,840	3,375	.	4,350	1,973	10,903	0,676	3,759	6,158
	N	Média [dB]	80,464	89,073	77,281	90,570	84,737	.	81,038	80,516	82,545
		Desvio padrão	8,558	10,293	2,312	.	.	.	11,482	5,279	7,690
	NE	Média [dB]	84,475	86,915	87,922	68,413	70,156	80,163	74,965	71,876	77,773
		Desvio padrão	.	7,842	12,324	5,449	.	9,951	6,480	2,840	9,143
	NW	Média [dB]	87,224	82,908	.	81,268	75,942	85,965	.	79,783	82,043
		Desvio padrão	7,146	7,142	.	3,494	3,104	.	.	.	5,530
	S	Média [dB]	86,547	92,627	84,082	.	88,074	80,180	84,480	78,955	84,928
		Desvio padrão	.	.	.	.	.	.	13,698	.	6,748
	SE	Média [dB]	84,328	96,978	86,356	83,521	78,797	.	87,963	76,582	83,959
		Desvio padrão	15,153	.	.	7,616	.	.	1,431	9,154	8,530
	SW	Média [dB]	.	83,718	.	89,752	82,141	83,048	85,060	.	84,130
		Desvio padrão	.	.	.	.	4,747	10,786	.	.	5,504
	W	Média [dB]	69,716	.	83,445	77,948	96,712	87,299	95,823	69,371	79,700
		Desvio padrão	.	.	.	7,350	.	.	.	4,395	11,253
	Total	Média [dB]	84,039	86,165	83,693	81,535	79,935	82,654	83,370	76,463	81,926
		Desvio padrão	8,517	7,456	6,380	8,026	8,132	7,391	8,139	6,764	7,951

Procurou-se compreender como a variação de ruído do tipo “RA” poderia ser explicado pelos efeitos combinados em função dos efeitos principais “Distância ao PE” e do “Ponto cardeal” (Tabela 60).

Conforme se pode verificar na Tabela 60, não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com o “Ponto cardeal” onde foi efetuada a medição, no que diz respeito à variação do ruído “RA” ($p\text{-value}>0,05$). Os resultados não apresentaram um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre a distância ao PE e o local onde foi efetuada a medição.

Quanto aos efeitos principais isolados, também não se verificaram efeitos estatisticamente significativos (“Ponto cardeal”: $p\text{-value}>0,05$; “Distância ao PE”: $p\text{-value}>0,05$) na produção do parâmetro de ruído em análise.

Tabela 60: Relação entre a distância e o ponto cardinal onde foi efetuada a medição, para o tipo de ruído “RA”

Ponto cardinal		Distância ao PE (km)								
		0,5	1	2	3	4	5	10	15	Total
E	Média [dB(A)]	47,853	46,441	44,399	46,479	46,638	49,669	42,420	43,107	45,876
	Desvio padrão	3,548	6,082	4,106	5,247	9,610	4,079	3,213	7,684	5,392
N	Média [dB(A)]	46,818	50,918	44,157	42,298	39,930	44,959	54,336	46,455	46,234
	Desvio padrão	3,568	8,919	3,790	3,661	5,260	18,968	10,069	2,956	8,553
NE	Média [dB(A)]	50,204	45,580	50,168	45,273	42,642	47,019	39,699	40,271	45,107
	Desvio padrão	5,411	8,483	8,786	8,311	2,796	1,797	3,830	4,704	6,370
NW	Média [dB(A)]	47,435	46,544	45,774	45,989	37,744	46,028	43,709	45,382	44,795
	Desvio padrão	3,354	7,143	2,763	14,171	2,059	6,402	1,559	3,811	6,326
S	Média [dB(A)]	48,031	47,760	48,903	41,619	44,420	45,892	44,351	51,628	46,575
	Desvio padrão	4,412	6,372	4,714	2,195	3,165	8,647	0,800	9,548	5,652
SE	Média [dB(A)]	46,024	47,654	49,595	43,954	43,560	38,996	48,697	39,494	44,863
	Desvio padrão	6,529	5,992	2,610	8,146	6,945	7,240	10,110	1,427	6,748
SW	Média [dB(A)]	47,171	43,622	48,329	42,645	48,347	54,686	46,060	45,901	46,917
	Desvio padrão	7,299	1,278	6,569	4,329	9,474	10,963	11,781	2,403	7,262
W	Média [dB(A)]	45,470	46,181	49,477	42,180	45,825	39,055	43,726	43,253	44,425
	Desvio padrão	2,558	4,970	3,771	3,365	8,271	3,661	8,902	2,982	5,117
Total	Média [dB(A)]	47,376	46,870	47,600	43,758	43,638	45,778	45,525	44,395	45,618
	Desvio padrão	4,268	5,822	4,801	6,190	6,444	9,258	7,652	5,723	6,270

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Ponto cardinal e Distância ao PE): $F=0,802$; $gl_1=49$; $gl_2=127$; $p\text{-value}=0,809$; $R^2_p=0,236$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,343$; $gl_1=7$; $gl_2=127$; $p\text{-value}=0,235$; $R^2_p=0,069$

Efeito isolado (Ponto cardinal): $F=0,494$; $gl_1=10$; $gl_2=127$; $p\text{-value}=0,891$; $R^2_p=0,037$

$R^2_{aj}=-0,666$

Mais uma vez, pretendeu-se analisar a relação entre o “Ponto cardinal” onde foi efetuada a medição e a “Direção do vento”, face à “distância ao PE” (Tabela 61).

Este tipo de ruído (“RA”) apresentou uma variação diferente dos outros tipos de ruído. Aqui, verificou-se que, quando a direção do vento é “N”, os valores totais dos níveis de ruído são muito homogêneos, sendo os valores mais elevados registados a “NW” e a “S”. Quando a direção do vento é “NW”, os valores de ruído mais elevados registam-se a “SW” e a “S”.

Tabela 61: Relação entre a distância, o ponto cardeal onde foi efetuada a medição e direção do vento, para o tipo de ruído “RA”

Ponto cardeal		Distância ao PE (km)								Total	
		0,5	1	2	3	4	5	10	15		
Direção vento - N	E	Média [dB(A)]	49,518	45,724	42,030	.	37,798	45,477	.	.	43,763
		Desvio padrão	.	.	0,215	.	.	.	.	.	4,038
	N	Média [dB(A)]	44,709	41,810	47,425	42,022	42,847	44,959	.	46,073	44,058
		Desvio padrão	.	.	.	5,133	2,075	18,968	.	.	8,859
	NE	Média [dB(A)]	47,601	43,585	40,238	37,781	41,745	.	.	.	42,899
		Desvio padrão	4,233	.	.	.	3,289	.	.	.	4,270
	NW	Média [dB(A)]	44,467	52,623	45,774	39,716	39,475	50,554	43,709	48,077	45,423
		Desvio padrão	.	.	2,763	.	.	.	1,559	.	4,219
	S	Média [dB(A)]	45,519	44,643	46,905	41,619	42,594	49,881	43,885	46,128	45,005
		Desvio padrão	1,044	4,786	4,526	2,195	0,150	7,353	.	0,914	3,781
	SE	Média [dB(A)]	48,309	44,933	48,597	44,687	47,322	38,996	.	.	44,718
		Desvio padrão	.	3,071	2,767	.	3,402	7,240	.	.	5,204
	SW	Média [dB(A)]	47,171	43,118	48,329	42,327	39,244	46,056	39,503	45,901	44,540
		Desvio padrão	7,299	1,321	6,569	5,245	.	.	4,426	2,403	5,145
	W	Média [dB(A)]	45,462	46,181	50,804	44,524	46,199	38,845	37,431	.	44,855
		Desvio padrão	3,617	4,970	4,229	.	11,661	5,152	.	.	6,129
	Total	Média [dB(A)]	46,591	45,186	46,665	41,883	42,918	43,954	41,290	46,301	44,663
		Desvio padrão	3,721	3,667	4,359	3,414	4,809	9,809	3,514	1,639	5,358
Direção vento - NW	E	Média [dB(A)]	47,020	46,800	49,136	46,479	51,058	51,766	42,420	43,107	46,580
		Desvio padrão	4,585	8,557	.	5,247	8,213	2,630	3,213	7,684	5,695
	N	Média [dB(A)]	47,872	55,471	42,523	42,850	34,098	.	54,336	46,645	48,075
		Desvio padrão	4,334	5,891	3,566	.	.	.	10,069	4,155	8,174
	NE	Média [dB(A)]	55,409	46,578	55,132	49,019	44,434	47,019	39,699	40,271	46,016
		Desvio padrão	.	11,745	2,550	7,344	.	1,797	3,830	4,704	6,963
	NW	Média [dB(A)]	48,919	43,504	.	49,126	36,879	41,501	.	42,688	44,104
		Desvio padrão	3,047	6,827	.	18,509	1,996	.	.	.	8,254
	S	Média [dB(A)]	53,054	53,995	52,898	.	48,073	37,913	44,583	62,628	49,716
		Desvio padrão	.	.	.	.	.	.	0,977	.	7,578
	SE	Média [dB(A)]	44,882	55,816	51,589	43,588	36,038	.	48,697	39,494	44,997
		Desvio padrão	8,799	.	.	11,485	.	.	10,110	1,427	8,137
	SW	Média [dB(A)]	.	44,630	.	43,602	52,899	59,001	59,175	.	53,029
		Desvio padrão	.	.	.	.	7,429	11,343	.	.	8,684
	W	Média [dB(A)]	45,487	.	46,824	41,008	45,076	39,474	50,021	43,253	43,865
		Desvio padrão	.	.	.	3,795	.	.	.	2,982	3,646
	Total	Média [dB(A)]	48,303	49,013	49,470	45,490	44,490	48,148	47,113	43,561	46,702
		Desvio padrão	4,851	7,406	5,388	7,693	8,141	8,378	8,246	6,672	7,189

A Figura 41 reflete a relação entre as variáveis de ruído face à “Distância ao PE” e ao “Ponto cardeal” onde foram efetuadas as medições.

Ao observar-se as Figuras 41A e 41C, relativos aos ruídos do tipo “Infrassons” e “IRBF”, pode-se verificar que o nível de ruído tende a diminuir à medida que aumenta “Distância ao PE”. Apesar deste comportamento, registado na generalidade dos “Pontos cardeais”, verifica-se que o ponto cardeal “S” não segue esse padrão de comportamento registando um tendência de variação positiva. Foi neste ponto cardeal onde se registaram valores médios dos níveis de ruído mais elevados (86,3 dB), sendo que também os pontos cardeais “SE” e “SW” apresentam alguma expressividade a algumas distâncias.

No que concerne ao tipo de ruído “RBF” (Figura 41B), apesar da heterogeneidade, constata-se que os níveis de ruído de alguns pontos cardeais, nomeadamente “S” e “SW” registaram uma tendência de

variação positiva (à semelhança dos tipos de ruído anteriormente analisados). Nestes pontos cardeais foram registados níveis médios de ruído 64,47 dB e 63,49 dB, respetivamente.

Por fim, o tipo de ruído “RA”, representado na Figura 41D, também apresenta uma tendência negativa na variação do ruído em praticamente todos os pontos cardeais. Não se pode deixar de realçar alguns valores, nomeadamente os pontos cardeais “SW” e “N”, com picos nos níveis de ruído quando a distância à fonte é de “5” km (54,87 dB(A)) e “10” km (54,34 dB(A)), respetivamente. Em termos médios, os níveis de pressão sonora mais elevados foram registados nos pontos cardeais “S” e “SW” (46,6 dB(A) e 46,9 dB(A), respetivamente).

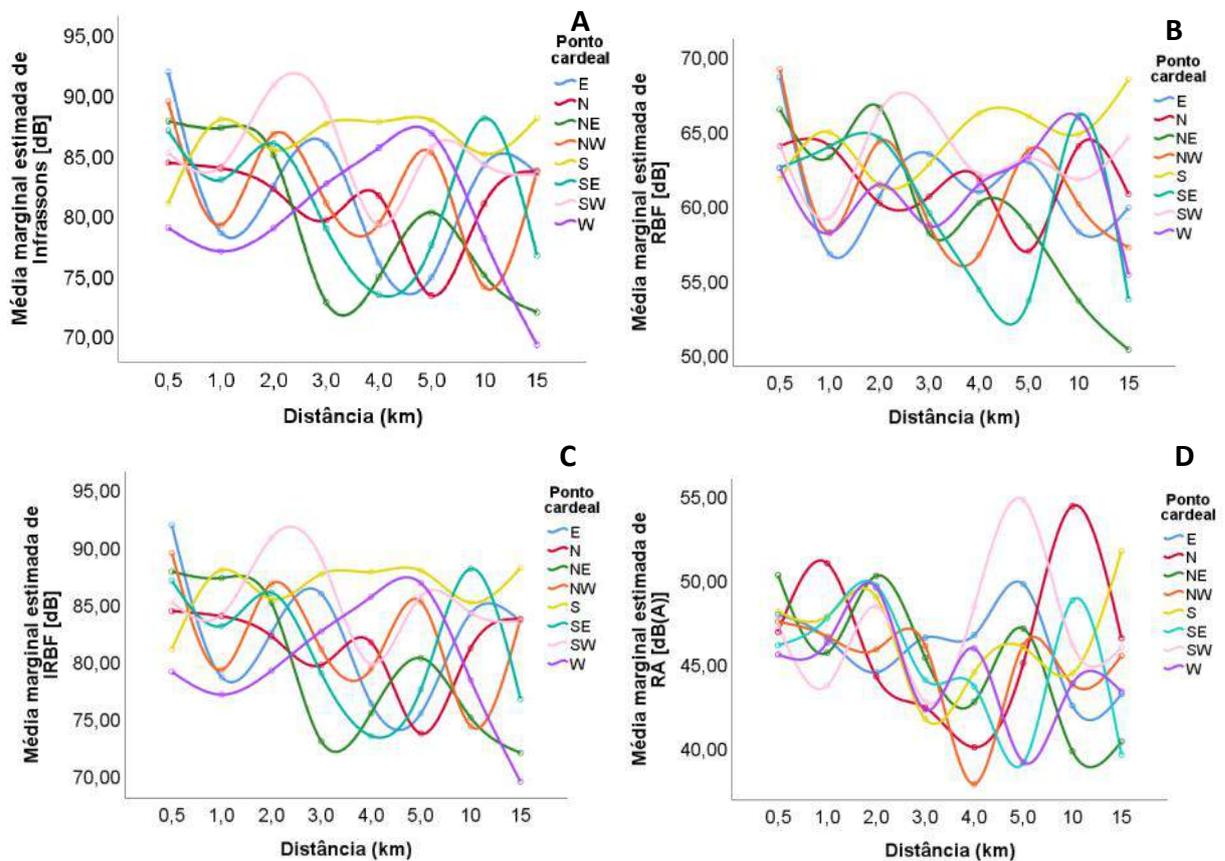


Figura 41: Relação entre as variáveis de ruído, a distância e o ponto cardeal de medição
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

A Figura 42 descreve o comportamento dos diferentes tipos de ruído em função da “Distância ao PE” e ao “Ponto Cardeal” onde foram efetuadas as medições, face à “Direção do vento”.

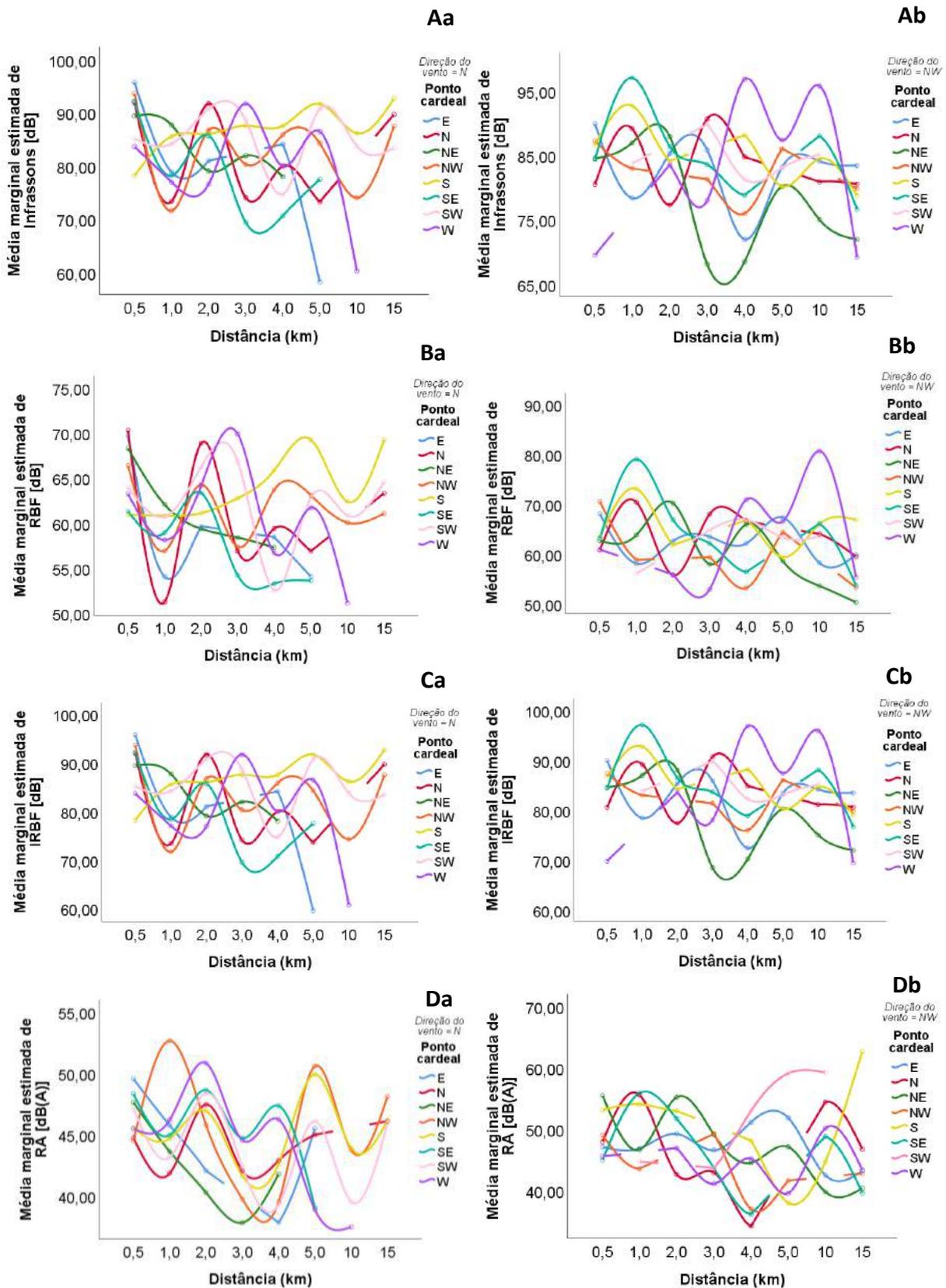


Figura 42: Relação entre as variáveis de ruído, a distância e o ponto cardinal de medição, face à direção do vento
Aa: Infrassons (Direção do vento: N); **Ab:** Infrassons (Direção do vento: NW); **Ba:** RBF (Direção do vento: N);
Bb: RBF (Direção do vento: NW); **Ca:** IRBF (Direção do vento: N); **Cb:** IRBF (Direção do vento: NW);
Da: RA (Direção do vento: N); **Db:** RA (Direção do vento: NW)

Analisando as variáveis de ruído “Infrassons” e “IRBF” em simultâneo, constata-se que o nível de pressão sonora diminui à medida que aumenta a “Distância ao PE”, embora não haja uma expressividade evidente já que a perda não é acentuada e, em alguns pontos de medição, nem se verifica. Constata-se, também, que consoante a direção do vento, o ponto cardinal oposto ao sentido do vento, apresenta um nível de pressão sonora mais elevado. Quando a direção do vento é “N” (Figuras 42Aa e 42Ca), apesar de se registarem alguns pontos de medição com níveis de ruído elevados, o ponto cardinal “S” não segue o padrão de comportamento encontrado nos restantes pontos, registando um nível médio de ruído mais elevado (86,9 dB). Para esta direção do vento, os valores mais elevados dos níveis de ruído encontraram-se à distância de “0,5” km (Ponto cardinal “E”: 95,7 dB; Ponto cardinal “NW”: 93,6 dB) e ao km “15” (Ponto cardinal “S”: 92,6 dB). Não se pode deixar de salientar as situações dos pontos cardinais “E” e “W”, à distância de “5” km e “10” km respetivamente, que registaram níveis de ruído bastante abaixo da tendência verificada. Já no caso da direção do vento “NW” (Figuras 42Ab e 42Cb), a tendência de variação destes tipos de ruído foi mais regular. Aqui os pontos cardinais onde se registaram níveis de ruído mais elevados foram, para os “Infrassons”, os pontos “S” e “SE” com valores de 84,9 dB e 83,9 dB, respetivamente e para o “IRBF”, os pontos “S” e “SW” com valores de 84,9 dB e 84,1 dB, respetivamente. Ao longo da distância à fonte destacam-se, para esta direção de vento, as distâncias de “1” km (Ponto cardinal “SE”: “Infrassons” = 96,93 dB; “IRBF” = 96,98 dB), km “4” (Ponto cardinal “W”: “Infrassons” = 96,70 dB; “IRBF” = 96,71 dB) e km “10” (Ponto cardinal “W”: “Infrassons” = 95,72 dB; “IRBF” = 95,82 dB).

Relativamente ao tipo de ruído “RBF”, verifica-se uma heterogeneidade na variação dos níveis de ruído, não obstante da tendência de variação negativa registada. Esta tendência não se verificou em todos os pontos cardinais já que o ponto “S” (independentemente da “Direção do vento”) verificou um aumento dos níveis de ruído à medida que aumentava a “Distância ao PE”. Analisando a Figura 42Ba, relativo à direção do vento “N”, os pontos de medição onde se verificam níveis de pressão sonora mais elevados foram os pontos “S” com 64,03 dB e o ponto “SW” com 63,49 dB. Os locais onde os valores foram mais elevados, face à distância, foram ao “0,5” km (Ponto cardinal “N”: 70,26 dB; Ponto cardinal “E”: 69,63 dB) e ao “15” km (Ponto cardinal “S”: 69,17 dB). Quando o vento é proveniente de “NW” (Figura 42Bb), os valores dos níveis de ruído mais elevados registam-se nos pontos cardinais “S” e “SW” com níveis de pressão sonora de 65,34 dB e 63,47 dB, respetivamente. Foram registados vários valores acima dos 70 dB, em vários pontos cardinais e a várias distâncias. Ainda assim, realçam-se o ponto “1” km (Ponto cardinal “SE”: 78,87 dB; Ponto cardinal “S”: 72,98 dB). O valor mais elevado foi registado ao km “10”, no ponto cardinal “W”, com um nível de ruído de 80,53 dB.

No que concerne à variável de ruído “RA”, esta segue a tendência já registada nas variáveis de ruído anteriores. Quando a direção do vento é “N” (Figura 42Da) a diferença de níveis de ruído (totais) não é

acentuada relativamente aos pontos cardeais, variando entre 42,9 dB(A) e 45,4 dB(A). Os pontos onde o ruído é mais elevado são “NW” e “S” com níveis de ruído de 45,42 dB(A) e 45,01 dB(A), repetivamente. É também nestes pontos que se encontram níveis de pressão sonora mais elevados, no que diz respeito à distância: “NW” (Distância ao PE “1” km: 52,62 dB(A); Distância ao PE “5” km: 50,56 dB(A)); “S” (Distância ao PE “5” km: 49,88 dB(A)); e “W” (Distância ao PE “2” km: 50,80 dB(A)). Quando a direção do vento é “NW” (Figura 42Db), os valores dos níveis de ruído mais elevados também se registam a “S” e a “SW” com níveis de pressão sonora de 53,03 dB(A) e 49,72 dB(A), respetivamente. Os valores mais elevados face à distância foram registados nos pontos: “S” (Distância ao PE “15” km: 62,63 dB(A)); e “SW” (Distância ao PE “5” km: 59,0 dB(A); Distância ao PE “10” km: 59,18 dB(A)).

Comparando as diferentes variáveis de ruído face às diferentes direções do vento, é notório o padrão de comportamento à medida que a distância aumenta, verificando-se uma tendência de variação negativa em praticamente todos os pontos de medição. Mais uma vez se constata não haver diferenças significativas entre a direção do vento e os níveis de RA medidos. No entanto, verifica-se que os pontos de medição a sul dos PE, apresentam níveis de pressão sonora superiores aos restantes.

3.10.2. Análise da variação do nível de ruído em função do ponto cardinal, por parque eólico

3.10.2.1. Parque eólico de Cela

Procurou-se compreender a variação dos diferentes tipos de ruído segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados distância ao PE e ponto cardinal (Tabela 62).

Verificaram-se níveis de pressão sonora elevados, quer para a variável “Infrassons”, quer para a variável “IRBF”, no ponto cardinal “S” e “N” com valores totais de 86,8 dB e 85,6 dB, respetivamente. No que diz respeito ao ruído “RBF” os valores mais elevados foram registados a “SW” (64,89 dB) e “S” (63,55 dB). Relativamente à variável de ruído “RA”, observando os valores totais e os pontos cardeais, verificou-se que os níveis de ruído mais elevados foram registados a “SW” e a “N” atingindo valores de 49,34 dB(A) e 46,24 dB(A), respetivamente.

Tabela 62: Relação entre a distância e o ponto de medição, para os diferentes tipos de ruído, para o PE de Cela

Ponto cardeal	Variável de ruído [dB]	Distância ao PE (km)								
		0,5	1	2	3	4	5	10	15	Total
E	Infrassons	95,650	78,773	87,579	85,721	84,007	58,120	83,717	79,180	81,593
	RBF	69,625	54,018	63,769	60,694	58,419	54,038	59,254	59,366	59,898
	IRBF	95,657	78,786	87,591	85,731	84,016	59,510	83,728	79,215	81,779
	RA	49,518	45,724	42,182	45,384	37,798	45,477	39,578	34,547	42,526
N	Infrassons	91,855	73,280	91,647	84,977	87,014	72,200	94,292	89,599	85,608
	RBF	70,267	51,238	68,838	65,364	67,138	47,542	66,411	63,271	62,509
	IRBF	91,879	73,303	91,663	85,017	87,049	72,212	94,297	89,606	85,628
	RA	44,709	41,810	47,425	45,651	44,314	34,021	65,889	46,073	46,237
NE	Infrassons	90,953	87,629	78,978	81,856	81,011	82,953	70,488	70,897	80,596
	RBF	69,177	62,037	59,330	58,369	55,493	59,896	50,445	50,975	58,215
	IRBF	90,973	87,639	79,022	81,873	81,021	82,967	70,523	70,937	80,619
	RA	50,595	43,585	40,238	37,781	39,420	47,722	43,214	44,306	43,358
NW	Infrassons	93,559	71,489	91,418	80,234	85,768	.	.	.	84,494
	RBF	66,374	56,895	68,375	57,339	63,674	.	.	.	62,531
	IRBF	93,565	71,631	91,435	80,252	85,788	.	.	.	84,534
	RA	44,467	52,623	47,683	39,716	39,475	.	.	.	44,793
S	Infrassons	80,881	94,125	89,155	81,885	84,715	80,152	94,142	89,324	86,797
	RBF	61,087	65,101	63,970	55,720	64,687	59,304	72,714	65,844	63,553
	IRBF	80,915	94,129	89,165	81,893	84,746	80,180	94,166	89,338	86,817
	RA	44,781	48,027	50,105	39,444	42,700	37,913	43,893	45,482	44,043
SE	Infrassons	92,070	84,344	87,074	69,328	65,986	77,688	88,642	82,242	81,302
	RBF	61,278	59,837	63,538	54,170	51,233	51,623	67,241	59,698	58,717
	IRBF	92,072	84,356	87,087	69,449	66,123	77,697	88,666	82,260	81,341
	RA	48,309	46,577	46,641	44,687	44,916	36,966	56,959	38,399	45,559
SW	Infrassons	84,875	78,585	92,068	87,858	76,973	90,636	85,034	69,305	83,688
	RBF	63,168	54,633	69,379	66,123	74,163	70,669	63,449	56,291	64,889
	IRBF	84,898	78,599	92,086	87,880	78,784	90,675	85,060	69,502	83,929
	RA	40,926	42,184	46,502	40,742	58,152	67,022	59,175	48,627	49,341
W	Infrassons	76,931	69,678	82,587	91,616	90,368	82,605	.	.	82,297
	RBF	57,589	55,172	65,615	69,847	63,926	56,378	.	.	61,421
	IRBF	76,974	69,820	82,671	91,633	90,376	82,613	.	.	82,348
	RA	42,904	46,263	53,794	44,524	54,445	35,202	.	.	46,189

Os gráficos seguintes (Figura 43) apresentam o comportamento do ruído face à distância ao PE e ao ponto cardeal.

No que diz respeito aos “Infrassons” (Figura 43A) e “IRBF” (Figura 43C), variáveis de ruído que apresentam um comportamento e níveis de pressão sonora semelhantes, verificou-se que nos pontos cardeais “N” e “S” (pontos onde os valores dos níveis de ruído são mais elevados, tal como já referido anteriormente), os níveis de ruído são mais elevados à distância de “10” km. Observou-se ainda alguns valores relevantes, sobretudo no ponto de medição mais próximos do PE (km “0,5”), nomeadamente nos pontos cardeais “E”, “NW”, “SE” e “S” com valores a variar entre 95,7 dB e 91,9 dB. De forma geral, verificou-se que o fator distância não aparenta ser relevante na diminuição nos níveis de pressão sonora. No que concerne ao ruído “RBF”, o comportamento é ligeiramente diferente (Figura 43B). Nesta variável de ruído, os valores mais elevados são registados nos pontos cardeais “SW” e “S” com os valores mais elevados aos km “4” (74,16dB) e km “10” (72,71dB), respetivamente. Também neste tipo de ruído se conseguem observar alguns valores acima dos 70 dB, nomeadamente a “N” (70,27 dB ao

km “0,5”) e “SW” (70,67 dB ao km “5”). Na variável de ruído “RA” (Figura 43D), os valores mais elevados foram registados ao km “5” (67,02 dB(A) a “SW”) e ao km “10” (65,89 dB(A) a “N”). Registaram-se ainda valores elevados nos pontos “SW” (59,18 dB(A) ao km “10”); e 58,15 dB(A) ao km “4”) e “SE” (56,96 dB(A) ao km “10”).

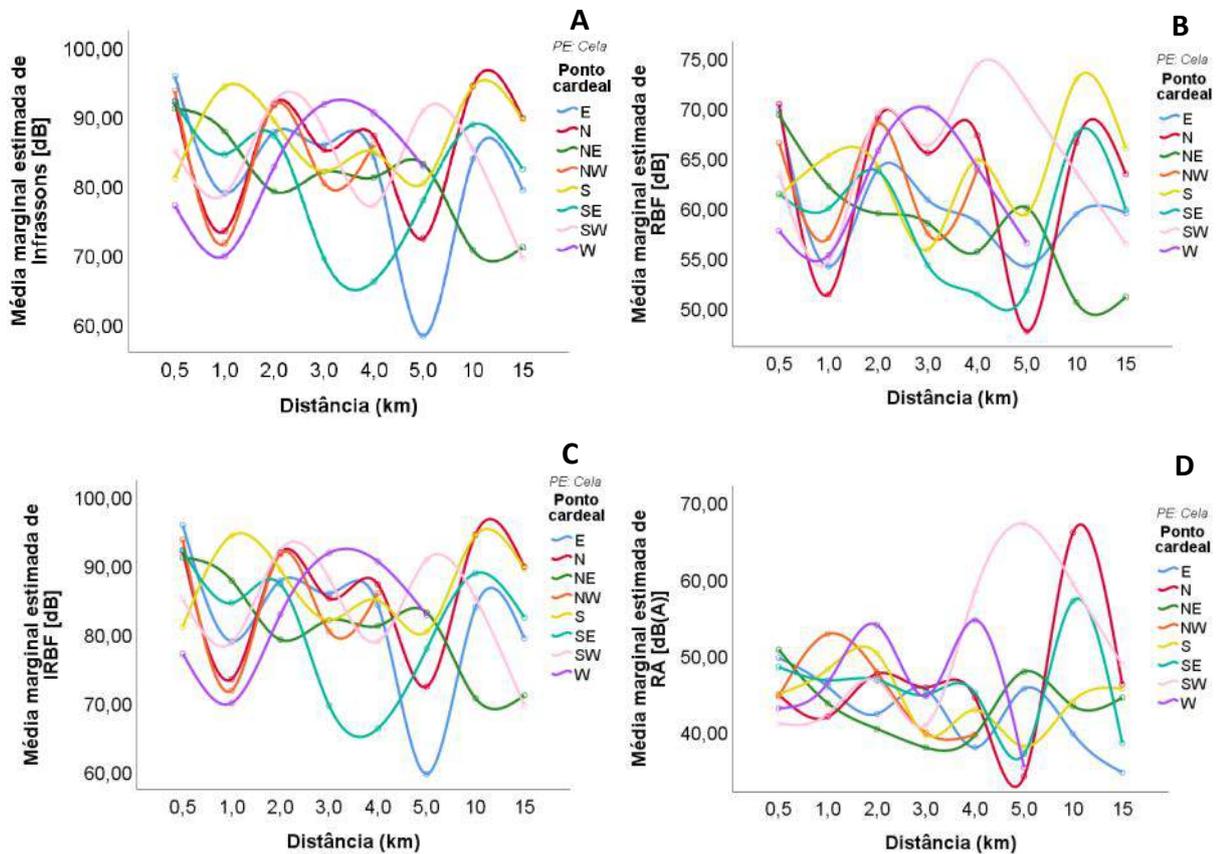


Figura 43: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face ao ponto cardeal, para o PE de Cela
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

3.10.2.2. Parque eólico de Marvila

Procurou-se compreender o comportamento das variáveis de ruído “Infrassons”, “RBF”, “IRBF” e “RA” segundo os efeitos combinados dos fatores principais isolados distância ao PE e ponto cardeal (Tabela 63).

Tabela 63: Relação entre a distância e o ponto de medição, para os diferentes tipos de ruído, para o PE de Marvila

Ponto cardeal	Variável de ruído [dB]	Distância									
		0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	Total
E	Infrassons	.	94,644	75,883	85,235	90,129	70,552	90,940	83,593	84,414	84,424
	RBF	.	73,215	60,102	62,522	68,919	60,184	70,340	61,765	57,055	64,263
	IRBF	.	94,668	75,963	85,253	90,151	70,926	90,965	83,611	84,420	84,495
	RA	.	50,262	52,850	49,136	52,187	45,251	49,906	45,906	45,367	48,858
N	Infrassons	.	86,481	96,299	78,894	62,940	72,795	76,602	74,193	84,217	79,053
	RBF	.	66,323	77,920	56,870	48,371	51,574	70,765	61,518	63,111	62,057
	IRBF	.	86,515	96,351	78,915	63,070	72,822	77,584	74,403	84,248	79,239
	RA	.	50,937	51,306	45,045	38,393	41,380	66,862	49,690	49,583	49,149
NE	Infrassons	.	84,450	92,443	96,609	71,961	74,783	88,402	82,387	75,042	83,260
	RBF	.	62,601	70,648	75,773	61,345	59,012	62,856	59,086	53,141	63,058
	IRBF	.	84,475	92,460	96,636	72,266	74,883	88,411	82,401	75,066	83,325
	RA	.	55,409	54,883	56,935	54,212	44,071	48,359	35,617	41,403	48,861
NW	Infrassons	.	82,118	87,946	87,675	78,780	78,116	84,177	80,792	87,412	83,377
	RBF	.	63,613	63,992	63,067	56,368	56,576	63,065	61,285	61,033	61,125
	IRBF	.	82,171	87,958	87,687	78,797	78,136	84,203	80,832	87,418	83,400
	RA	.	51,073	48,332	47,034	36,038	35,467	50,554	42,606	48,077	44,898
S	Infrassons	.	86,532	92,592	84,059	85,256	88,050	98,279	74,679	78,691	86,017
	RBF	.	63,347	72,978	61,737	59,926	66,715	80,914	59,107	66,792	66,439
	IRBF	.	86,547	92,627	84,082	85,265	88,074	98,340	74,794	78,955	86,086
	RA	.	53,054	53,995	52,898	41,581	48,073	55,080	45,274	62,628	51,573
SE	Infrassons	.	95,019	96,928	86,318	88,880	75,122	66,904	86,303	81,449	84,615
	RBF	.	73,977	78,873	66,788	67,522	55,298	46,083	63,210	58,347	63,762
	IRBF	.	95,042	96,978	86,356	88,906	75,159	66,929	86,316	81,464	84,644
	RA	.	51,104	55,816	51,589	51,709	49,727	32,987	37,424	41,108	46,433
SW	Infrassons	.	87,003	89,595	88,472	89,887	74,623	90,607	90,544	87,926	87,332
	RBF	.	64,842	66,738	64,143	68,096	52,519	62,805	65,808	65,526	63,810
	IRBF	.	87,022	89,615	88,485	89,908	74,644	90,612	90,555	87,949	87,349
	RA	.	55,195	44,052	55,618	45,497	39,244	46,056	42,632	44,985	46,660
W	Infrassons	.	90,175	83,371	70,429	72,742	69,407	90,204	95,719	64,151	79,525
	RBF	.	68,846	65,191	62,669	46,618	49,346	66,983	80,532	52,514	61,588
	IRBF	.	90,200	83,423	71,077	72,751	69,441	90,215	95,823	64,407	79,667
	RA	.	48,020	51,110	47,814	38,324	37,954	42,487	50,021	39,887	44,452
O	Infrassons	95,619	.	.	.	.	.	.	.	.	95,619
	RBF	76,210	.	.	.	.	.	.	.	.	76,210
	IRBF	95,656	.	.	.	.	.	.	.	.	95,656
	RA	52,633	.	.	.	.	.	.	.	.	52,633

Ao relacionar a “Distância ao PE” e o “Ponto cardeal”, verificaram-se níveis de pressão sonora elevados, quer para a variável “Infrassons”, quer para a variável “IRBF”, no ponto cardeal “SW” e “S” com valores totais de 87 dB e 86 dB, respetivamente. O nível de ruído mais elevado foi registado no ponto “0” (dentro do polígono do PE), com um nível de intensidade de 95,6 dB. No que diz respeito ao ruído “RBF” o valor mais elevado foi também registado no ponto “0” (76,2 dB). Realçam-se ainda os valores registados a “S” (66,4 dB) e “E” (64,3 dB). Também para a variável “RA” se registaram valores totais mais elevados no ponto “0” (56,6 dB(A)). Registou-se ainda um valor de 51,6 dB(A) no ponto cardeal “S”.

No seguimento das tabelas anteriores, apresenta-se a Figura 44 onde se pode observar o comportamento dos níveis de ruído face à distância ao PE e ao ponto cardeal.

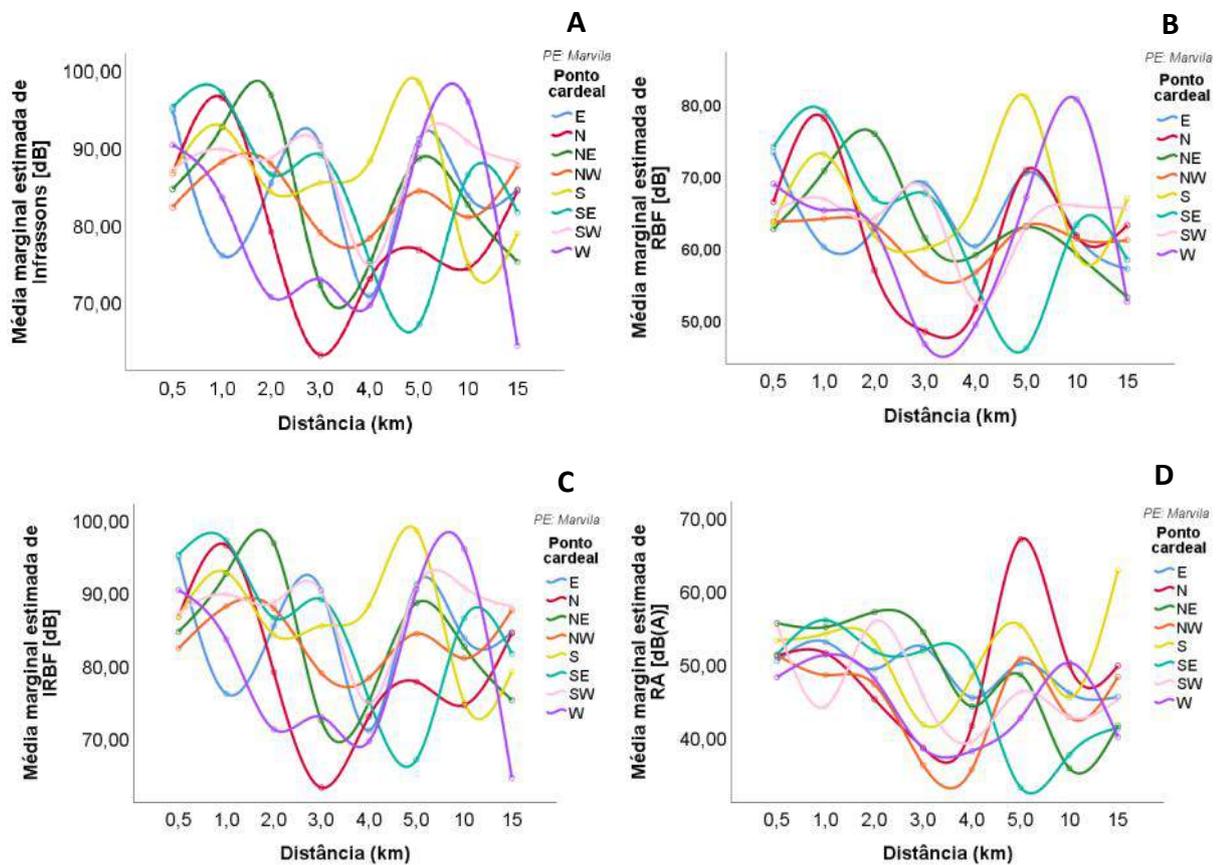


Figura 44: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face ao ponto cardeal, para o PE de Marvila
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

No que diz respeito aos “Infrassons” (Figura 44A) e “IRBF” (Figura 44C), variáveis de ruído que apresentam um comportamento e níveis de pressão sonora semelhantes, verificou-se que, nos pontos cardeais “SW” e “S”, os níveis de ruído são mais elevados à distância de “5” km com valores de 98,3 dB e 90,6 dB, respetivamente. Pode-se observar ainda alguns valores relevantes, sobretudo nos pontos mais próximos do PE (entre o km “0,5” e km “2”), nomeadamente nos pontos cardeais “E”, “N”, “NE”, “S” e “SE” onde se registam alguns valores compreendidos entre 92 dB e 97 dB. No centro do polígono do PE, registou-se um valor na ordem dos 96 dB para ambas as variáveis de ruído. No que concerne ao ruído “RBF”, o comportamento é ligeiramente diferente (Figura 44B). Nesta variável de ruído, os valores mais elevados são registados nos pontos cardeais “S” e “W” com os valores mais elevados aos km “5” (80,9dB) e km “10” (80,5dB), respetivamente. Também neste tipo de ruído se conseguem observar muitos valores acima dos 70 dB em vários pontos cardeais, e alguns com valores acima dos

75 dB, nomeadamente os seguintes: “N” (77,9 dB ao km “1”), “SE” (78,9 dB ao km “1”), “NE” (75,8 dB ao km “2”). No ponto “0” registou-se um valor de 76,21 dB. Na variável de ruído “RA” (Figura 44D), os valores mais elevados foram registados ao km “5” (66,86 dB(A) a “N”) e ao km “15” (62,63 dB(A) a “S”). Realçam-se ainda os seguintes valores, pelo nível de pressão sonora elevado: “NE” (55,41 dB(A) ao km “0,5” e 56,94 dB(A) ao km “2”) e “SW” (55,19 dB(A) ao km “0,5”; e 55,62 dB(A) ao km “2”).

3.10.2.3. Parque eólico de Chão Falcão

Procurou-se relacionar a distância ao PE e o ponto cardeal onde foi efetuada a medição com a variação dos níveis de ruído (Tabela 64).

Tabela 64: Relação entre a distância e o ponto de medição, para os diferentes tipos de ruído, para o PE de Chão Falcão

Ponto cardeal	Variável de ruído [dB]	Distância									
		0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	Total
E	Infrassons	.	84,976	80,725	74,214	81,427	73,253	75,236	84,833	86,501	80,146
	RBF	.	62,735	55,946	55,436	60,584	63,940	64,126	53,533	62,951	59,906
	IRBF	.	84,996	80,735	74,267	81,452	73,716	75,546	84,836	86,516	80,258
	RA	.	43,778	40,749	41,878	41,865	56,866	53,625	41,775	49,407	46,243
N	Infrassons	.	74,366	81,748	75,622	90,555	84,694	70,866	74,048	76,755	78,582
	RBF	.	55,196	62,633	54,593	67,927	66,540	52,353	63,862	55,737	59,855
	IRBF	.	74,413	81,794	75,646	90,570	84,737	70,920	74,416	76,783	78,660
	RA	.	44,808	59,636	40,001	42,850	34,098	33,995	47,428	43,707	43,315
NE	Infrassons	.	87,671	81,360	79,070	64,159	68,469	69,015	71,937	69,606	73,911
	RBF	.	67,355	56,864	64,413	54,510	65,854	52,861	51,158	46,730	57,468
	IRBF	.	87,696	81,370	79,207	64,560	70,156	69,111	71,972	69,625	74,212
	RA	.	44,608	38,272	53,330	43,826	44,434	44,977	40,265	35,105	43,102
NW	Infrassons	.	92,174	77,845	80,792	83,710	73,733	85,945	67,100	79,775	80,134
	RBF	.	77,216	53,556	61,285	62,235	49,728	64,309	58,750	53,249	60,041
	IRBF	.	92,277	77,858	80,832	83,739	73,747	85,965	67,601	79,783	80,225
	RA	.	46,765	38,677	42,606	62,214	38,290	41,501	44,811	42,688	44,694
S	Infrassons	.	75,233	76,803	82,728	95,332	90,204	84,886	86,073	95,814	85,884
	RBF	.	60,712	56,464	58,189	72,554	66,983	57,515	62,363	72,501	63,410
	IRBF	.	75,358	76,836	82,740	95,348	90,215	84,892	86,088	95,829	85,913
	RA	.	46,257	41,259	43,704	43,834	42,487	44,682	43,885	46,775	44,110
SE	Infrassons	.	73,587	65,681	84,177	78,116	78,780	87,675	88,880	66,003	77,862
	RBF	.	52,190	57,088	63,065	56,576	56,368	63,067	67,522	42,940	57,352
	IRBF	.	73,614	66,175	84,203	78,136	78,797	87,687	88,906	66,022	77,943
	RA	.	38,660	41,646	50,554	35,467	36,038	47,034	51,709	38,975	42,510
SW	Infrassons	.	83,262	83,713	91,443	89,744	85,489	75,378	76,755	92,692	84,810
	RBF	.	63,902	56,039	65,149	64,714	59,489	55,815	55,811	71,770	61,586
	IRBF	.	83,300	83,718	91,449	89,752	85,498	75,421	76,783	92,719	84,830
	RA	.	45,391	44,630	42,867	43,602	47,645	50,981	36,373	44,092	44,448
W	Infrassons	.	69,445	77,657	83,439	83,131	96,704	87,275	60,197	71,657	77,907
	RBF	.	60,837	53,900	55,805	59,151	70,805	66,488	51,093	56,698	59,053
	IRBF	.	69,716	77,671	83,445	83,145	96,712	87,299	60,688	71,853	78,042
	RA	.	45,487	41,170	46,824	43,691	45,076	39,474	37,431	44,935	43,225
0	Infrassons	80,516	.	.	.	.	.	.	.	.	80,516
	RBF	62,296	.	.	.	.	.	.	.	.	62,296
	IRBF	80,616	.	.	.	.	.	.	.	.	80,616
	RA	46,650	.	.	.	.	.	.	.	.	46,650

Desta forma, verificam-se níveis de pressão sonora elevados, quer para a variável “Infrassons”, quer para a variável “IRBF”, no ponto cardinal “S” e “SW” com valores totais de 85,9 dB e 84,8 dB, respetivamente. No interior do PE, registou-se um valor de, sensivelmente, 80,5 dB. No que diz respeito ao ruído “RBF” os valores mais elevados foram registados a “S” (63,4 dB) e no ponto “0” (62,3 dB). Para a variável “RA”, observando os valores totais e os pontos cardiais, verificou-se que os níveis de ruído mais elevados foram registados no centro do polígono do PE, ou seja, no ponto “0” com um nível de pressão sonora de 46,7 dB(A). Também a “E” se registou um valor elevado com um nível de pressão sonora de 46,2 dB(A).

Na Figura 45 encontram-se representados os gráficos que demonstram o comportamento dos níveis de ruído face à distância ao PE e ao ponto cardinal.

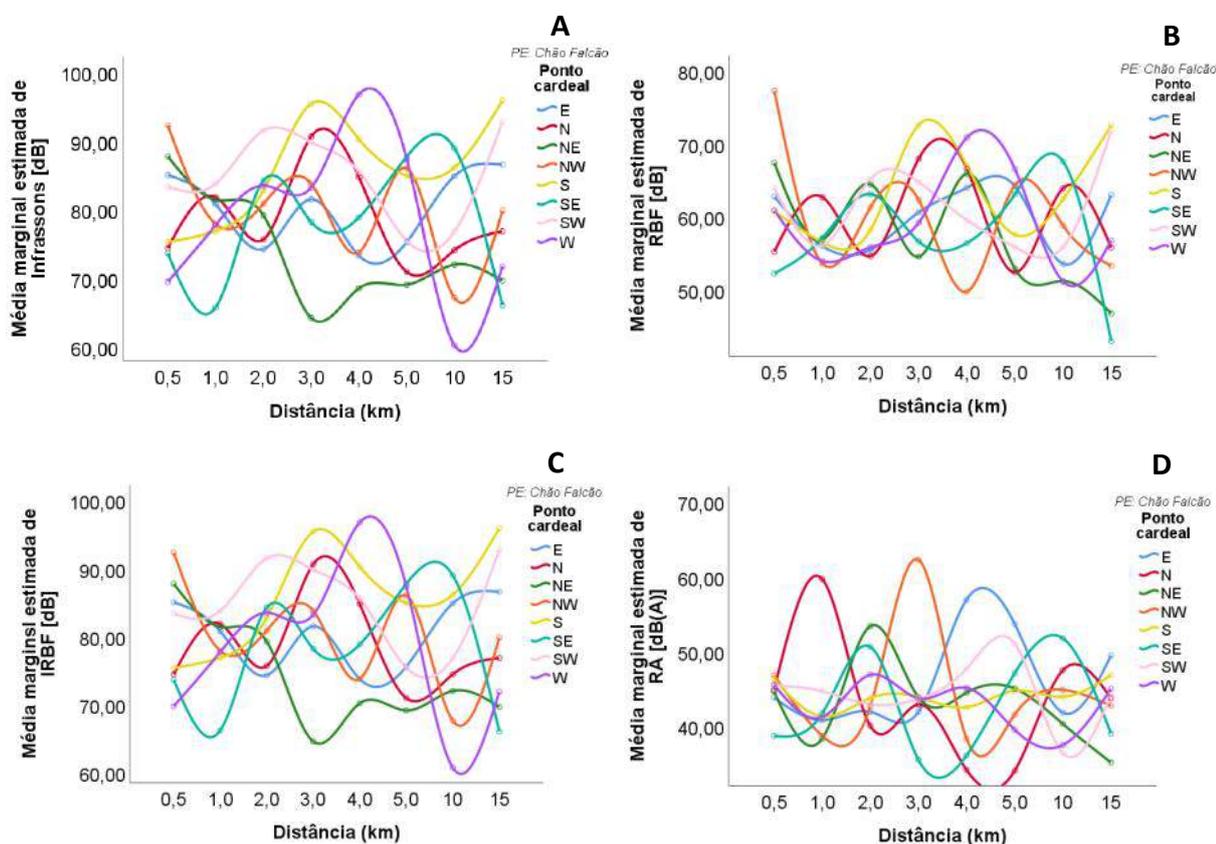


Figura 45: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face ao ponto cardinal, para o PE de Chão Falcão
A: Infrassons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

No que diz respeito aos “Infrassons” (Figura 45A) e “IRBF” (Figura 45C), variáveis de ruído que apresentam um comportamento e níveis de pressão sonora semelhantes, verifica-se que nos pontos

cardeais “S” e “SW” (pontos onde os valores dos níveis de ruído são mais elevados, tal como já referido), os níveis de ruído são mais elevados à distância de “15” km. O valor máximo registado encontra-se ao km “4” do ponto cardeal “W” com um nível de pressão sonora de 96,7 dB. Pode-se observar ainda alguns valores relevantes, também nos pontos “S” e “SW” com níveis de 95,3 dB (km “3”) e 91,4 dB (km “2”), respetivamente. Mais uma vez se verifica que o fator distância não aparenta ser relevante na diminuição nos níveis de pressão sonora. No que concerne ao ruído “RBF” (Figura 45B), o valor mais elevado foi registado no ponto cardeal “NW”, ao km “0,5” com um nível de intensidade sonora de 77,22 dB. Realçam-se ainda os valores registados no ponto cardeal “S” com níveis de 72,5 dB (km “3” e km “15”) e no ponto cardeal “SW” com níveis de ruído de 71,8 dB (km “15”). Na variável de ruído “RA” (Figura 45D), os valores mais elevados foram registados ao km “3” (62,21 dB(A) a “NW”) e ao km “1” (59,64 dB(A) a “N”). Registaram-se vários valores acima dos 50 dB(A) a várias distâncias e em vários pontos cardeais.

3.11. Variação do nível de ruído em função do estado de funcionamento e da distância ao parque eólico de Cela

Procurou-se controlar o efeito combinado entre a distância ao PE e o estado de funcionamento da turbina eólica do PE de Cela (Tabela 65).

Tabela 65: Comparação entre o nível de pressão sonora na variável de ruído de “Infrassons”, face ao estado de funcionamento e à distância ao PE de Cela

Distância ao PE (km)	Estado	Média [dB]	Desvio padrão
1	Parada	68,359	6,464
	Rotação	80,250	8,120
	Total	76,591	9,329
2	Parada	76,446	4,501
	Rotação	87,563	4,676
	Total	83,857	7,028
3	Parada	79,346	4,609
	Rotação	83,481	6,790
	Total	82,730	6,466
4	Parada	77,518	.
	Rotação	81,980	7,592
	Total	81,485	7,256
5	Parada	69,173	4,437
	Rotação	77,765	10,317
	Total	75,855	9,831
Total	Parada	73,367	6,385
	Rotação	83,245	8,106
	Total	81,509	8,662

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Estado e Distância ao PE): $F=0,414$; $gl_1=4$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,798$; $R^2_p=0,026$

Efeito isolado (Estado): $F=9,304$; $gl_1=1$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,003$; $R^2_p=0,132$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=2,291$; $gl_1=1$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,039$; $R^2_p=0,208$

$R^2_{aj}=0,257$

Não se observou um efeito combinado da “Distância ao PE” com o “Estado” na variação explicada no tipo de ruído “Infrassons” ($p\text{-value}>0,05$). Esses resultados apresentaram ausência de um padrão de variação dos níveis de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre o estado de funcionamento da turbina eólica e a distância à mesma.

Relativamente aos efeitos principais isolados, ambos os fatores “Distância ao PE” e “Estado” apresentaram efeitos estatisticamente significativos. De facto, verifica-se um aumento dos níveis de pressão sonora quando a turbina eólica se encontra em rotação. Também se verifica uma redução tendencialmente significativa deste tipo de ruído, quanto mais afastados os pontos de medições face ao PE.

Quando aplicado o teste de comparações múltiplas Bonferroni à condição da variável “Estado”, verificou-se que quando a eólica se encontrava em rotação, produziu uma maior variação de nível de infrassons comparativamente aquando do estado parado ($p\text{-value}=0,001$) (Anexo 5). No que concerne à variável distância ao PE, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas comparando os estados “Parada” e “Rotação”.

Na Tabela 66, pretendeu-se compreender o comportamento da variável de ruído “RBF” segundo os efeitos combinados entre a distância ao PE e estado de funcionamento do mesmo.

Tabela 66: Comparação entre o nível de pressão sonora na variável de ruído “RBF”, face ao estado de funcionamento e à distância ao PE de Cela

Distância ao PE (km)	Estado	Média [dB]	Desvio padrão
1	Parada	56,137	5,178
	Rotação	57,641	4,563
	Total	57,178	4,594
2	Parada	51,494	4,101
	Rotação	65,352	3,413
	Total	60,732	7,652
3	Parada	60,817	4,745
	Rotação	61,528	6,162
	Total	61,399	5,719
4	Parada	52,427	.
	Rotação	62,342	7,154
	Total	61,240	7,463
5	Parada	52,495	10,580
	Rotação	57,064	7,394
	Total	56,049	7,685
Total	Parada	54,583	5,804
	Rotação	61,427	6,271
	Total	60,224	6,688

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Estado e Distância ao PE): $F=2,064$; $gl_1=4$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,097$; $R^2_p=0,119$

Efeito isolado (Estado): $F=8,741$; $gl_1=1$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,004$; $R^2_p=0,125$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,250$; $gl_1=1$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,290$; $R^2_p=0,125$

$R^2_{aj}=0,233$

Pode-se constatar, segundo os resultados apresentados na Tabela 66, a não existência de um efeito combinado da “Distância ao PE” com o “Estado” na variação explicada no tipo de ruído “RBF” ($p\text{-value}>0,05$). Esses resultados apresentaram ausência de um padrão de variação do nível de ruído quando se procurou testar o efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada ao estado de funcionamento do PE.

Quanto aos efeitos principais isolados apenas se verificou a existência de efeitos estatisticamente significativos na variável “Estado” ($p\text{-value}<0,05$).

Uma vez que o fator “Estado” apresenta um $p\text{-value}<0,05$, aplicou-se o teste de comparações múltiplas Bonferroni, tendo-se verificado que quando a eólica se encontrava em rotação, houve uma maior variação de ruído “RBF” comparativamente a quando do estado parado ($p\text{-value}=0,001$). (Anexo 3).

Pretendeu-se controlar o efeito combinado entre o “Estado” com a “Distância ao PE” para a variável de ruído “IRBF” (Tabela 67).

Tabela 67: Comparação entre o nível de pressão sonora na variável de ruído “IRBF”, face ao estado de funcionamento e à distância ao PE de Cella

Distância ao PE (km)	Estado	Média [dB]	Desvio padrão
1	Parada	68,664	6,343
	Rotação	80,291	8,078
	Total	76,714	9,206
2	Parada	76,458	4,499
	Rotação	87,590	4,659
	Total	83,879	7,027
3	Parada	79,403	4,609
	Rotação	83,512	6,765
	Total	82,765	6,442
4	Parada	77,528	.
	Rotação	82,238	7,412
	Total	81,715	7,109
5	Parada	69,309	4,588
	Rotação	77,979	9,890
	Total	76,052	9,518
Total	Parada	73,495	6,280
	Rotação	83,327	7,995
	Total	81,600	8,556

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Estado e Distância ao PE): $F=0,400$; $gl_1=4$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,808$; $R^2_p=0,026$

Efeito isolado (Estado): $F=9,580$; $gl_1=1$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,003$; $R^2_p=0,136$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=2,280$; $gl_1=1$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,039$; $R^2_p=0,207$

$R^2_{aj}=0,259$

No que concerne ao ruído “IRBF”, à semelhança das variáveis de ruído anteriores, não se observam efeitos combinados entre a “Distância ao PE” e o “Estado” na variação explicada para este tipo de ruído ($p\text{-value}>0,05$). Desta forma, não se verificou um padrão de variação de ruído do tipo “IRBF” na

presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associadas ao estado de funcionamento da turbina eólica.

Relativamente aos efeitos principais isolados, ambos os fatores “Distância ao PE” e “Estado” apresentaram efeitos estatisticamente significativos.

Aplicado o teste de comparações múltiplas Bonferroni à variável “Estado”, verificou-se uma diferença estatisticamente significativa ($p\text{-value}=0,001$) entre a turbina eólica parada ou em rotação, sendo que aqui, produz uma maior variação nos níveis de ruído (Anexo 3). Relativamente à variável distância ao PE, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas.

Na Tabela 68, procurou-se controlar o efeito combinado entre o “Estado” da turbina eólica e a “Distância ao PE” para a variável “RA”.

Tabela 68: Comparação entre o nível de pressão sonora na variável de ruído “RA”, face ao estado de funcionamento e à distância ao PE de Cela

Distância ao PE (km)	Estado	Média [dB(A)]	Desvio padrão
1	Parada	39,062	6,058
	Rotação	45,930	3,342
	Total	43,817	5,245
2	Parada	36,811	3,472
	Rotação	46,821	4,234
	Total	43,485	6,244
3	Parada	42,872	1,027
	Rotação	42,074	3,725
	Total	42,219	3,363
4	Parada	39,736	.
	Rotação	45,152	7,380
	Total	44,551	7,136
5	Parada	51,445	17,083
	Rotação	43,475	11,602
	Total	45,246	12,239
Total	Parada	40,913	7,911
	Rotação	45,320	6,711
	Total	44,545	7,082

ANOVA fatorial:

Efeito combinado (Estado e Distância ao PE): $F=2,123$; $gl_1=4$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,089$; $R^2_p=0,122$

Efeito isolado (Estado): $F=1,308$; $gl_1=1$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,257$; $R^2_p=0,021$

Efeito isolado (Distância ao PE): $F=1,354$; $gl_1=7$; $gl_2=61$; $p\text{-value}=0,241$; $R^2_p=0,134$

$R^2_{aj}=0,105$

Após análise da Tabela 68, pode-se observar que não existe um efeito combinado entre a “Distância ao PE” e o “Estado” na variação explicada no tipo de ruído “RA”. Não se verificou, portanto, um padrão de variação de ruído do tipo “RA” na presença do efeito de interação entre as características da velocidade do ar associada aos diferentes estados de funcionamento.

Quanto aos efeitos principais isolados não se verificaram efeitos estatisticamente significativos na variável “Distância ao PE” face ao estado de funcionamento do PE.

Na Figura 46 pode-se observar a relação entre a distância e a média marginal estimada das várias variáveis de ruído face ao estado da turbina eólica (“Parada” ou “Rotação”).

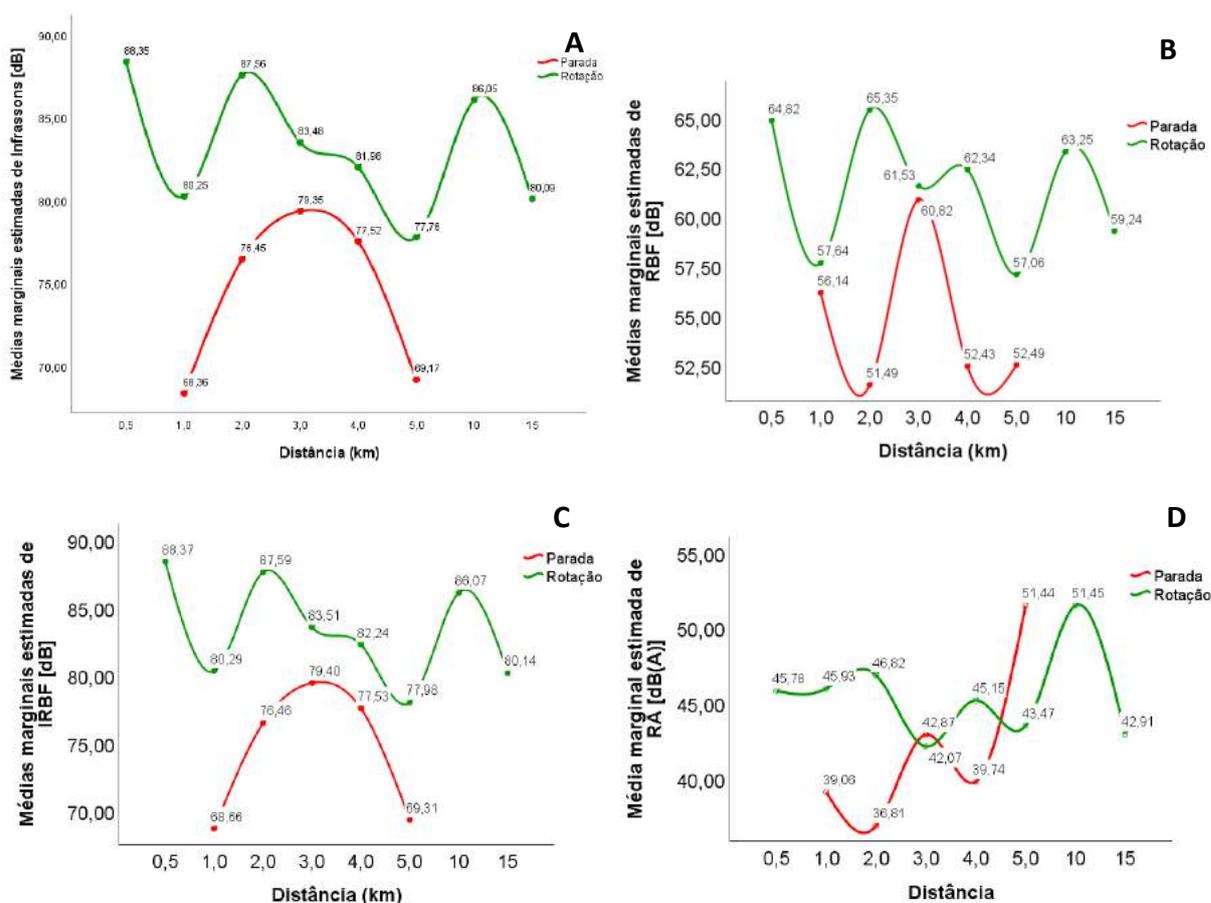


Figura 46: Relação entre a distância e a média marginal estimada das variáveis de ruído face ao estado (parada ou rotação), para o PE de Cela
A: Infrasons; **B:** RBF; **C:** IRBF; **D:** RA

Observou-se as diferenças de nível de pressão sonora entre as variáveis de ruído em estudo, sendo visível uma maior intensidade nas variáveis “Infrasons” (Figura 46A) e “IRBF” (Figura 46C). Para as variáveis em que está mais patente o ruído audível (“RBF” e “RA”), representadas nas Figuras 46B e 46D, respetivamente, os níveis de ruído tendem a ser mais baixos, em particular a variável de ruído “RA” apresentando valores “Parada” ou em “Rotação” que se vão interceptando entre si.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo pretende discutir os resultados, numa perspetiva do investigador e comparando com a literatura, particularmente com estudos que retratem a temática dos infrassons e do ruído de baixa frequência e a sua propagação. No sentido de facilitar a leitura, a discussão dos resultados apresenta-se dividida pelos parques eólicos em estudo (Cela, Marvila e Chão Falcão) sendo efetuada, para cada um deles, uma análise às diversas variáveis estudadas, nomeadamente: velocidade do ar, distância e direção do vento. Após esta análise, apresenta-se uma análise global dos parques eólicos. Por fim, expõe-se outros potenciais condicionadores geográficos que poderão ser causa de variações dos níveis de ruído e apresentam-se alguns potenciais efeitos na saúde humana decorrentes da exposição a estes tipos de ruído.

4.1. Capacidade dos parques eólicos em Portugal

Face à temática em questão, é sabido através de diversos estudos científicos, que a exposição ao ruído é altamente prejudicial às populações humanas. A OMS defende que a poluição sonora, sobretudo a resultante do tráfego rodoviário, é um dos principais fatores com maior impacto na saúde das populações (WHO, 2012). Segundo a Federação Europeia para os Transportes e Ambiente, na União Europeia, 200000 pessoas/ano desenvolvem problemas cardíacos resultantes da exposição a elevados e prolongados níveis de ruído rodoviário e ferroviário (EFTE, 2008). Estas fontes também têm sido identificadas como produtoras de ruído de baixa frequência (Pardal, 2013; Rogers *et al.*, 2006; Yamamoto *et al.*, 2013). Para estes autores, entre outros, também as turbinas eólicas são produtoras de infrassons e ruído de baixa frequência.

O objetivo do presente estudo foi delineado no sentido de contribuir para o aumento do conhecimento científico relacionado com a produção e impacto dos infrassons e o ruído de baixa frequência proveniente de parques eólicos. Este objetivo reveste-se de maior importância quando se verifica, ao longo dos anos, um crescimento acentuado na capacidade instalada, geradora de energia, ao longo dos anos, com maior expressão a partir de 2004 (Figura 47). Na figura pode-se observar que,

no final de 2017, a capacidade instalada, correspondente a 2728 turbinas eólicas, com capacidade de produção de 5322,5 MW, estando em construção mais 31 turbinas eólicas (e2p, 2018).

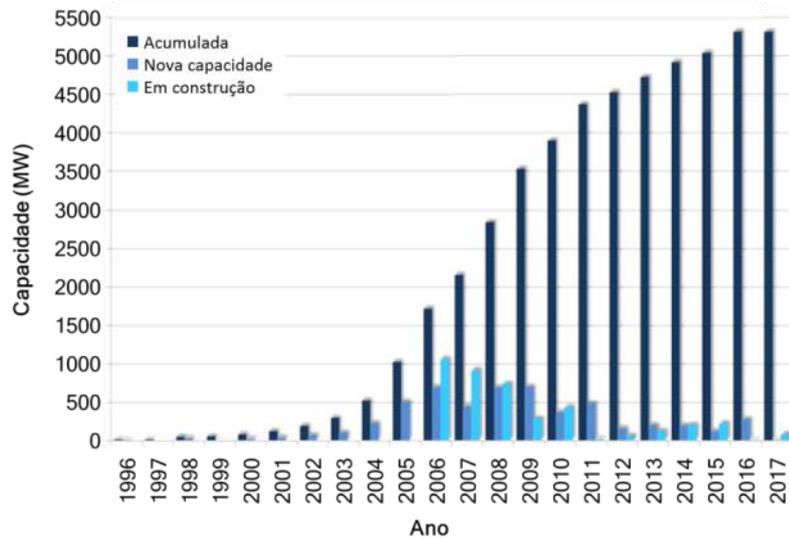


Figura 47: Capacidade geradora instalada acumulada em Portugal
Fonte: e2p (2018)

O distrito de Leiria contava, no final de 2017, com uma capacidade instalada de 289,8 MW (147 turbinas eólicas), estando ainda previstas a instalação de mais turbina eólicas que irá aumentar em 20,5 MW a potência total (Figura 48).

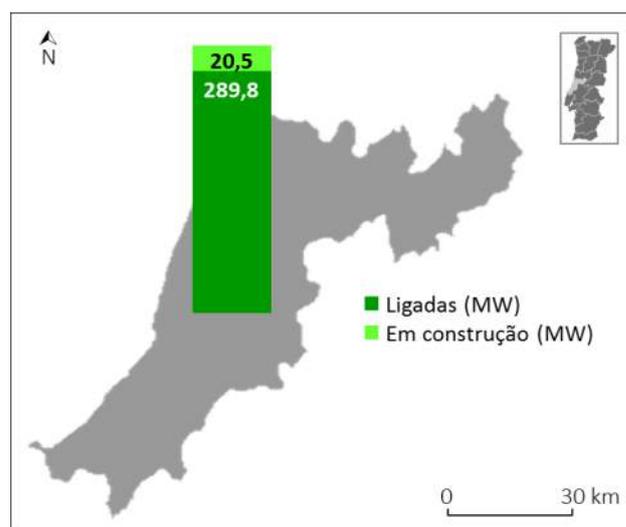


Figura 48: Capacidade eólica instalada no distrito de Leiria, no final de dezembro de 2017
Fonte: e2p (2018)

Com o aumento verificado, sobretudo ao nível do número de turbinas eólicas, é notória a importância de se perceber o impacto potencial que estas instalações poderão ter na saúde das populações.

4.2. Relação entre os tipos de ruído, a velocidade do ar e a distância ao parque eólico

Quando analisada a relação entre os diversos tipos de ruído, a distância ao ponto de medição/registo e a velocidade do ar, pode-se verificar que, apesar do aumento da distância e/ou diminuição da velocidade do ar, verificam-se valores mais elevados de níveis de ruído. Desta forma, foram traçados perfis transversais, por ponto cardeal e colateral no sentido de perceber o comportamento do ruído face à velocidade do ar e à distância ao PE.

Nestes perfis (analisados de seguida por PE), para além da informação relativa à velocidade do ar e distância ao PE, é também indicada a altitude onde foram realizadas as medições, bem como outras variáveis potenciadoras de emissão de infrassons e ruído de baixa frequência, assim como ruído ambiental. Desta forma, aparecem indicadas indústrias, autoestradas e vias rápidas, estradas nacionais ou outras de tráfego automóvel elevado, e ainda, turbinas eólicas de outros parques eólicos (até uma distância de 5km da linha definida para os pontos de medição).

Para ajudar a perceber algumas das variações, foram elaborados mapas onde constam os PE instalados num raio de 30 km. Esta distância foi definida tendo em consideração os 15 km padronizados no presente estudo e, como tal, outros PE poderão ter também uma influência cumulativa aos 15 km.

4.2.1. Parque eólico de Cela

Na Figura 49, é possível perceber, não apenas a localização do PE de Cela, mas também outros PE que se encontram na proximidade.

Como se pode verificar na Figura 49, são muitos os PE que se localizam na proximidade do PE de Cela. Três desses PE (Senhora da Vitória, Portela do Pereiro e Serra dos Candeeiros) encontram-se ainda dentro dos 15 km em que foram efetuadas as medições. O PE Senhora da Vitória, com localização aproximada de 15 Km do PE de Cela, é composto por 8 turbinas eólicas. Os PE da Portela do Pereiro e Serra dos Candeeiros são compostos por 4 e 42 turbinas eólicas, respetivamente. Estes localizam-se a “SE” do PE de Cela. Mais a “S” aparecem os PE das Caldas (5 turbinas eólicas), Serra de Todo-o-Mundo (6 turbinas eólicas) e Pó (7 turbinas eólicas). Já a “NE” localiza-se o PE Chão Falcão com as suas 26

turbinas eólicas. Junto a este PE encontra-se em fase de construção o PE de Maunça com 10 turbinas eólicas.

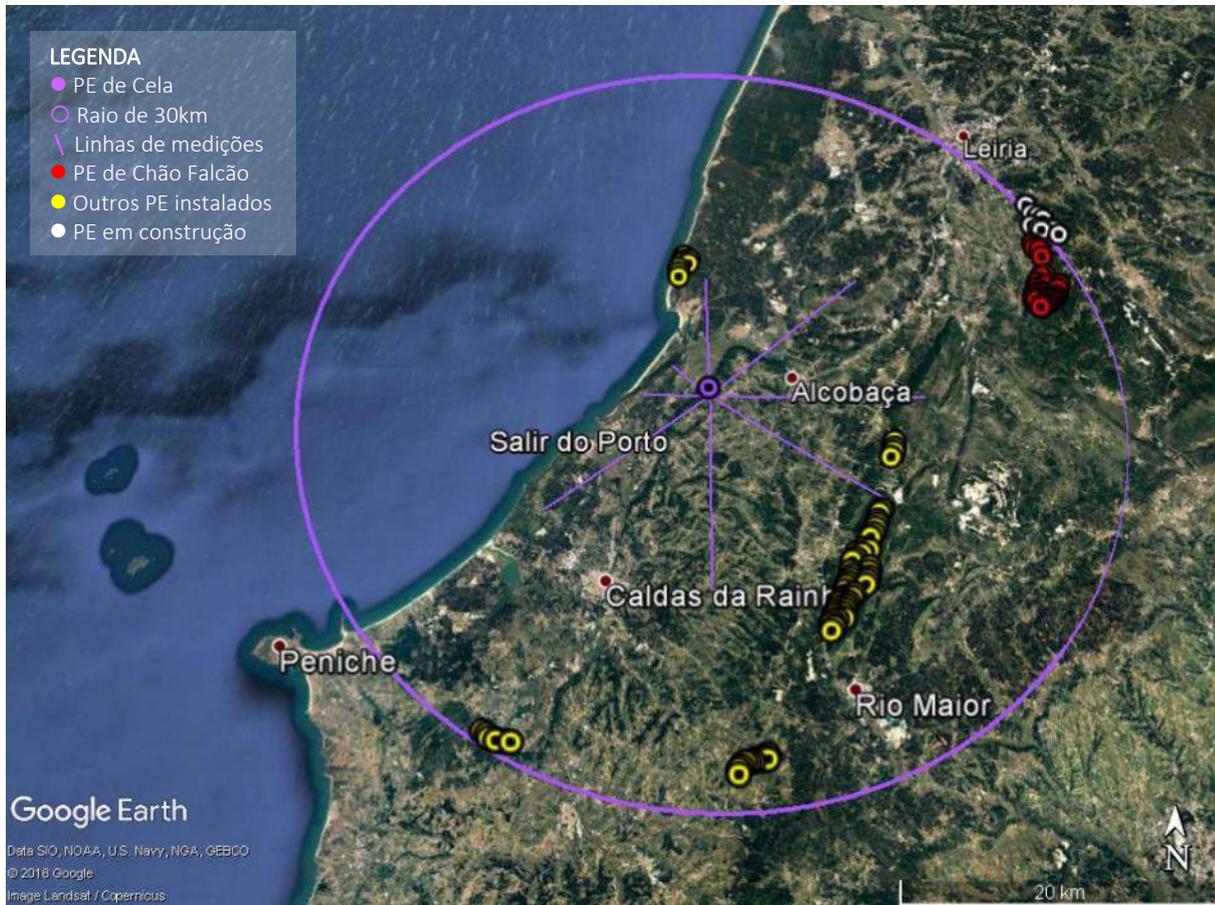


Figura 49: Localização da turbina eólica do PE de Cela e outros PE, num raio de 30 km

Fonte: *Google Earth Pro*, versão 7.1.8.3036

Os perfis transversais (Figura 50 e 51), relativos ao PE de Cela, descrevem as diferentes variáveis em estudo para os diferentes tipos de ruído e que, cruzadas com a informação constante na figura anterior, se torna mais fácil de perceber a variação dos níveis de ruído, sobretudo em alguns pontos de medição que se encontram a distâncias mais afastadas do PE de Cela.

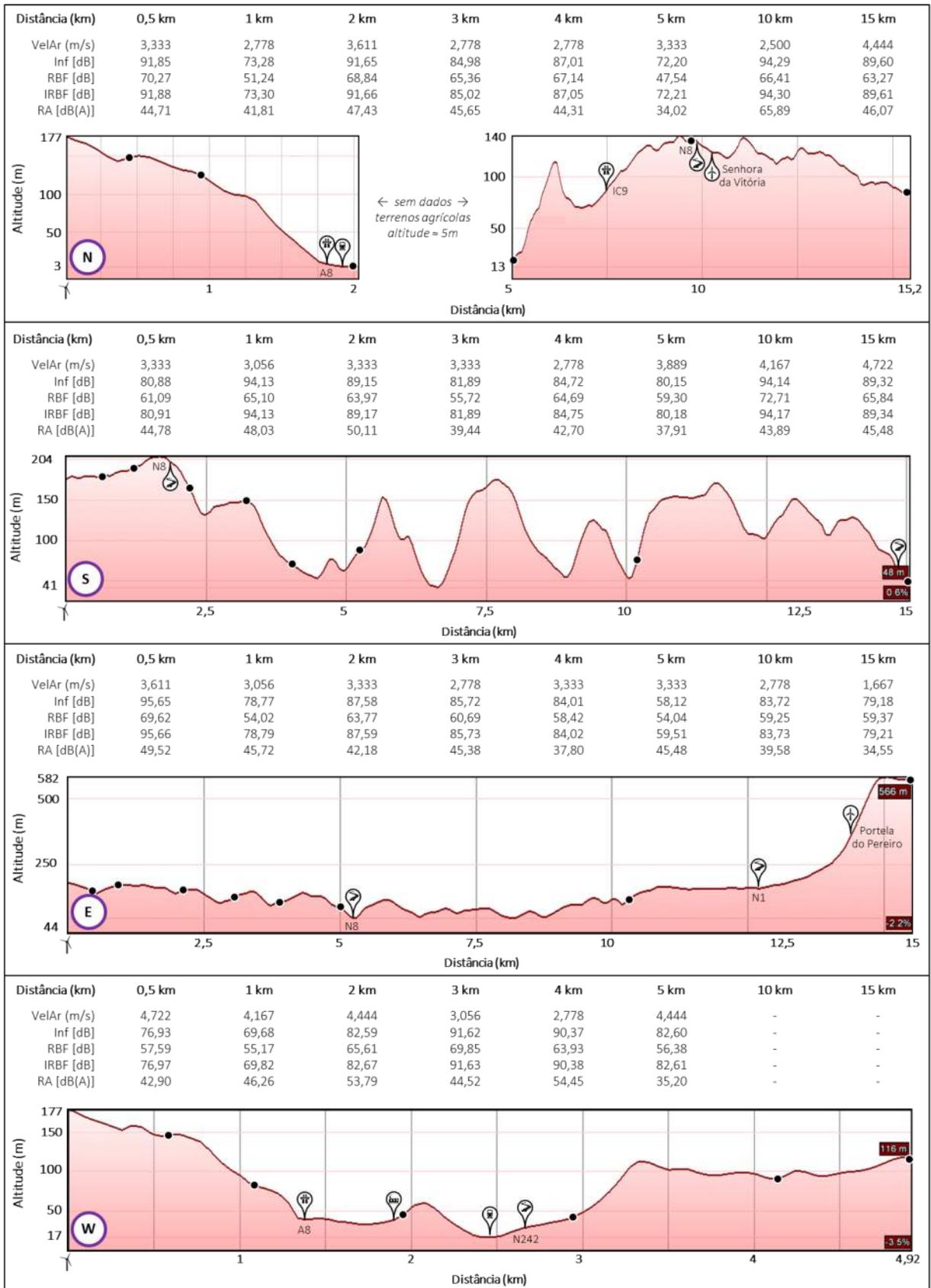


Figura 50: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos cardeais “N”, “S”, “E” e “W”, do PE de Cella

- LEGENDA**
- ↑ Parque eólico
 - Ponto de medição
 - ⚙ Indústria
 - ⚡ Autoestrada / Via rápida
 - ➡ Estrada nacional / elevado tráfego
 - 🚂 Linha de caminho de ferro
 - ⬆ Turbinas eólicas de outros PE

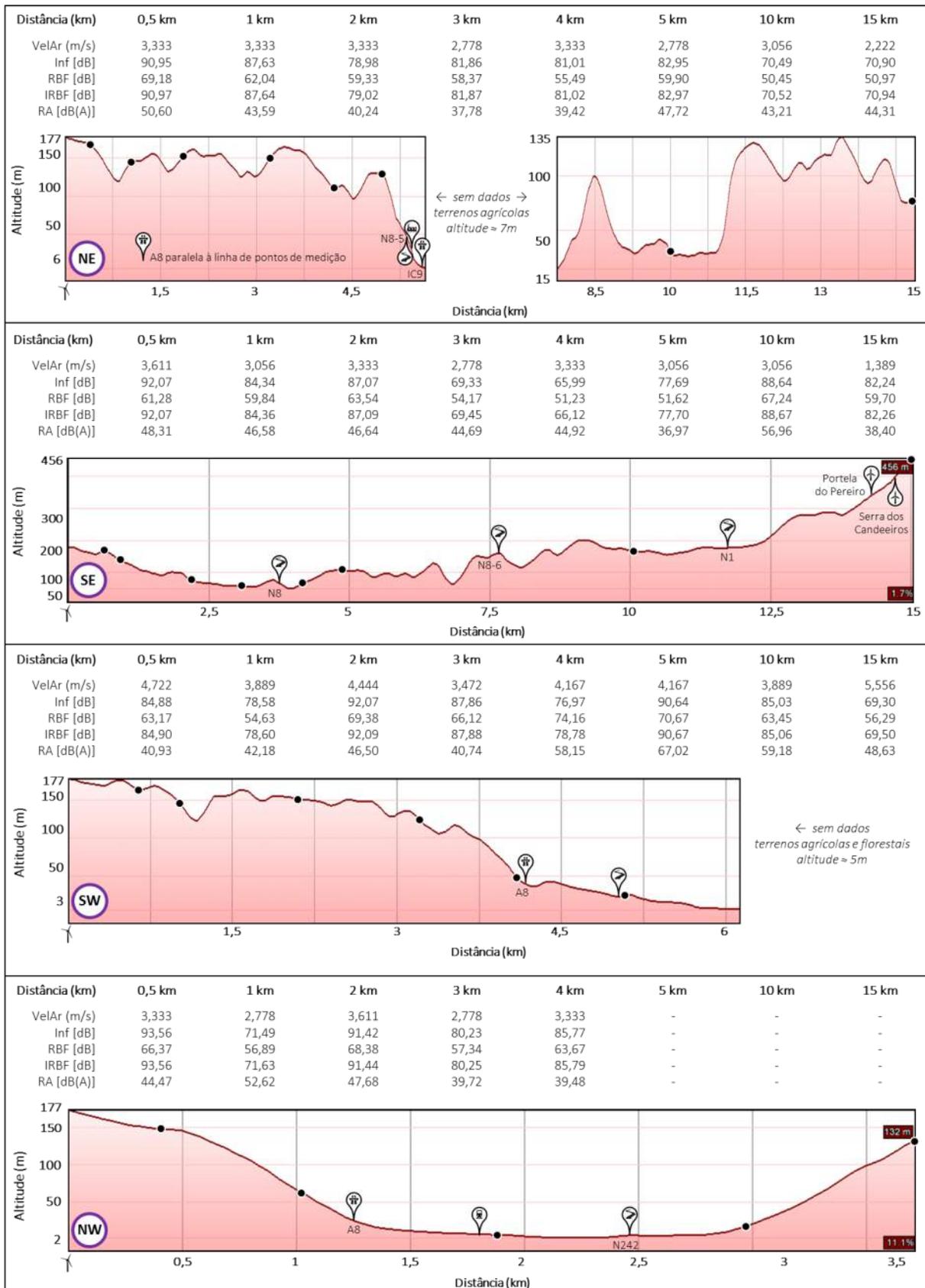
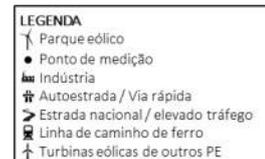


Figura 51: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos colaterais “NE”, “NW”, “SE” e “SW”, do PE de Cella



Observando os perfis transversais relativos ao PE de Cela, podem-se constatar alguns padrões de comportamento e variação dos diversos tipos de ruído. Analisando do ponto de vista da distância, no ponto cardinal “N”, constatam-se valores elevados, para além do km “0,5”, ao km “2”, “10” e “15”. Para este aumento de níveis de ruído, poderão contribuir o traçado da A8 e o IC9, estradas de tráfego rodoviário de alta velocidade. Apesar de ao km “2” cruzar com a linha de medição uma linha de caminho de ferro, todas as medições foram realizadas sem que se verificasse circulação de comboios. Nos km finais do traçado, encontra-se ainda, para além de uma estrada nacional de elevado movimento, o PE Senhora da Vitória.

A “S” verifica-se uma tendência semelhante, constatando-se um aumento dos níveis de ruído a distâncias mais afastadas do PE de Cela. Este facto pode-se também dever à proximidade de outros PE, nomeadamente do PE da Serra dos Candeeiros que se localiza a uma distância de cerca de 8 km do km “15”, ficando mais próximo deste PE. O PE da Serra dos Candeeiros, assim como o PE de Portela do Pereiro vão também influenciar as medições efetuadas a “E” e “SE” às distâncias de “10” e “15” km já que também ficam sob influência do ruído produzido pelos PE referidos. Aliado a estes PE, encontra-se também, no trajeto, uma via de circulação rodoviária de elevado tráfego (N1).

A “NE”, onde o relevo é bastante irregular, sendo que esta pode ser uma das possíveis causas para uma diminuição tão acentuada dos níveis de ruído das variáveis “Infrassons”, “RBF” e “IRBF”. Salienta-se o facto da variável de ruído “RA” não apresentar uma variação significativa. No entanto, ao km “5”, regista-se o valor mais elevado (excetua-se o km “0,5”), consequência das fontes de ruído audível aí existentes, nomeadamente, uma via rápida, uma estrada nacional e uma indústria. De salientar, que neste ponto cardinal, a linha de medições coincidiu, de forma paralela com o traçado da A8, facto que pode contribuir para um aumento dos vários tipos de ruído.

A “W” e “NW” verificam-se níveis de pressão sonora elevados aos km mais afastados do PE. Tal facto pode dever-se à proximidade da linha de costa e ter como possível contribuição a som proveniente do oceano. Outra das possíveis causas para este aumento é a tipologia de relevo. Para ambos os pontos, a partir do km “2”, sensivelmente, a turbina eólica fica em linha reta com o local onde foi efetuada a medição, não apresentando qualquer obstáculo de cariz orográfico. Para o ponto cardinal “W”, também o km “3” fica em linha reta com o PE, podendo ser uma causa para um nível de ruído mais elevado.

No ponto “SW” verifica-se uma diminuição dos níveis de ruído à medida que aumenta a distância, com um aumento ao km “5” e depois uma nova diminuição. Este aumento pode dever-se à proximidade a vias de circulação automóvel de alguma intensidade.

De uma forma geral, é possível constatar que quando existe, nas proximidades, uma fonte de ruído (autoestrada, estradas nacionais ou outras), os níveis de “RA” aumentam consideravelmente. No entanto, o mesmo não se verifica para as restantes variáveis de ruído (“Infrassons”, “RBF” e “IRBF”). Vejam-se os casos dos pontos “NW” do km “1”, “SW” ao km “4” e “W” ao km “1”. Em todos estes pontos, se verifica uma diminuição das variáveis de ruído que têm em consideração as frequências mais baixas e um aumento da variável de ruído “RA”.

4.2.2. Parque eólico de Marvila

Na Figura 52 constam os PE que se localizam próximo do PE de Marvila. Também aqui é importante analisar o cenário envolvente ao PE em questão para perceber a variação dos níveis de pressão sonora ao longo dos diferentes pontos de medição.

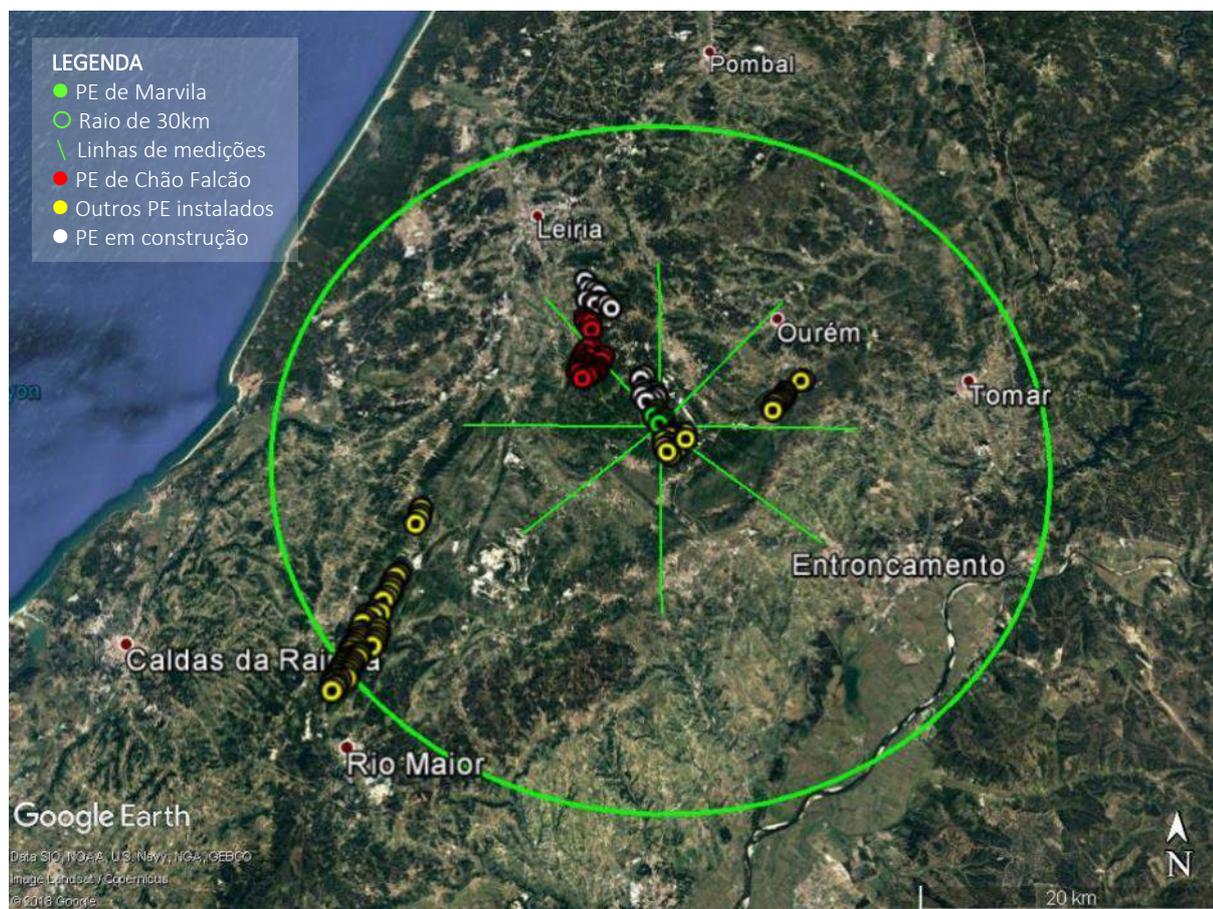


Figura 52: Localização da turbina eólica do PE de Marvila e outros PE, num raio de 30km

Fonte: Google Earth Pro, versão 7.1.8.3036

Neste PE também se verifica a instalação de vários PE na proximidade do PE de Marvila. No raio de ação de 15 km, em que foram efetuadas as medições, encontram-se os PE de Chão Falcão (I e II), Chão

Falcão III e Bairro. Este último, localizado a “E” do PE de Marvila é composto por 11 turbinas eólicas. O PE de Chão Falcão III, a “S” do PE em estudo, com 14 turbinas eólicas. Por fim, O PE de Chão Falcão (I e II), também alvo de estudo que, tal como já referido, conta com 26 turbinas eólicas e localiza-se a “NW”. A sensivelmente 20 km a “SW” do PE de Marvila localizam-se ainda os PE da Portela do Pereiro e Serra dos Candeeiros e são compostos por 4 e 42 turbinas eólicas, respetivamente. Podem ainda ver-se algumas turbinas eólicas que ainda não estão em funcionamento. Estas dizem respeito ao PE de Maunça e Marvila II, com um total de 20 turbinas eólicas.

Os perfis transversais relativos ao PE de Marvila apresentam-se nas Figuras 53 e 54. Também estes perfis descrevem as variáveis velocidades do ar, distância e altitude, assim como os valores registados nos diferentes tipos de ruído. Relativamente a estes perfis transversais, é possível constatar um padrão de comportamento semelhante ao observado no PE anterior, corroborando os dados analisados nos resultados.

No ponto cardinal “N”, os níveis de ruído tendem a diminuir à medida que a distância à fonte emissora aumenta. Algo que seria de esperar, sobretudo porque o vento dominante no local é de “NW”. No entanto, verifica-se uma tendência inversa em alguns pontos de medição, nomeadamente aos km “5” e “10”. Estes níveis de ruído poderão ser influenciados pela presença de vias rápidas e autoestrada.

A “S”, ao contrário do ponto cardinal “N”, os valores tendem a manter-se elevados (em todos os tipos de ruído), perdendo algum nível de pressão sonora a partir do km “10”. Tal pode dever-se ao facto de, entre este e o km “5” se encontrar o sistema montanhoso Montejunto-Estrela provocando uma barreira natural na propagação do ruído. A distâncias mais próximas do PE de Marvila, encontram-se níveis de ruído bastante elevados, por atravessar o PE de Chão Falcão III.

É importante realçar que, na Serra de Montejunto, se está perante um anticlinal que se eleva até 500 m acima da bacia do Tejo, sendo constituído fundamentalmente por material calcário o que, em alguns casos e em territórios geomorfologicamente semelhantes, pode ampliar a capacidade de dissipação de ruído através da presença de estruturas cársicas típicas (Crispim, 2008), que Cunha (1993) identifica como lapiás cavernosas, de maior ou menor dimensão (1m a 5m de altura), dolinas, depressões cársicas, canhões fluviocársicos com ou sem “buracas”, e ainda lapas e algares dentro das formas cársicas de profundidade.

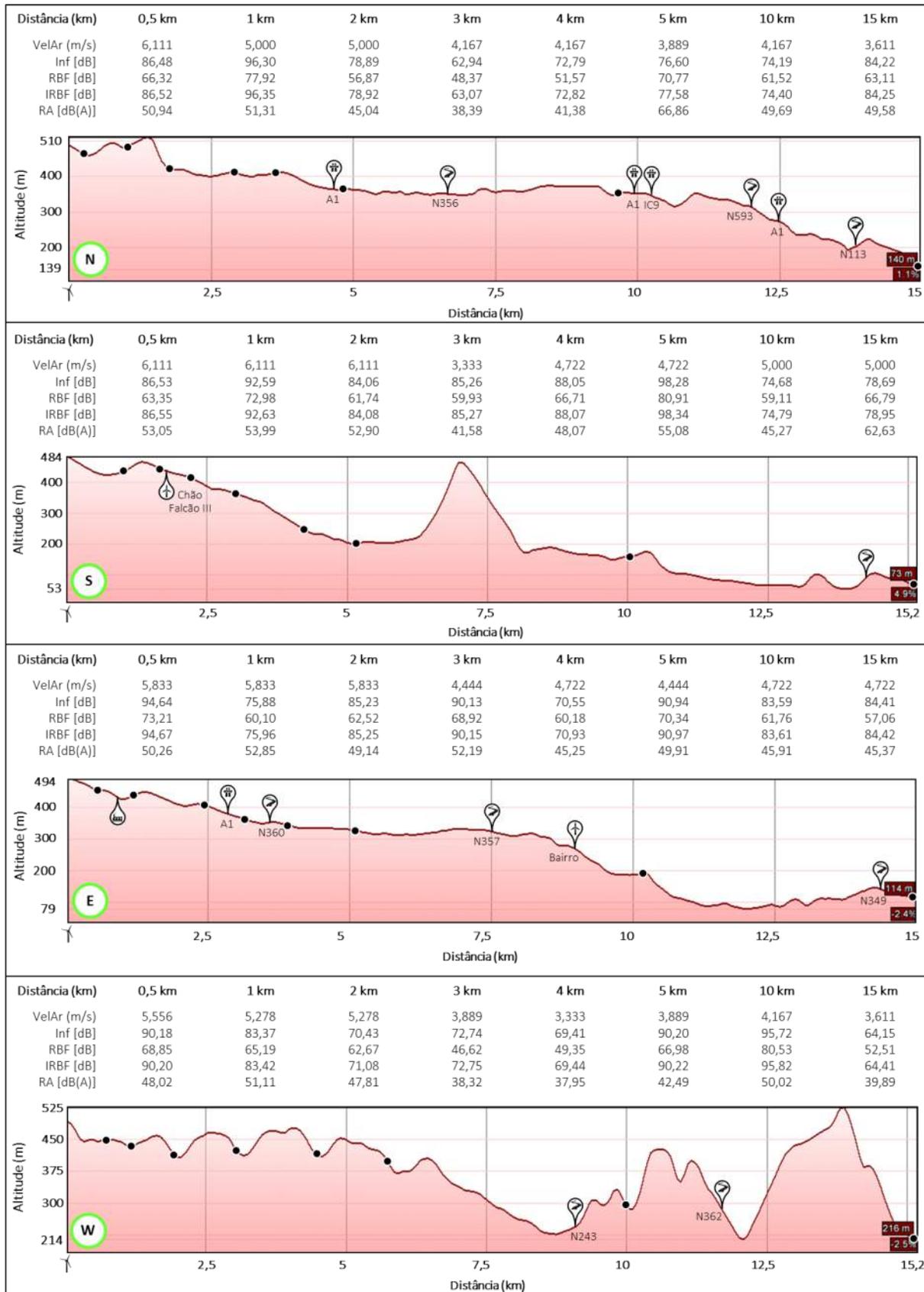


Figura 53: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos cardeais “N”, “S”, “E” e “W”, do PE de Marvila

LEGENDA

- ┆ Limite do polígono do parque eólico
- Ponto de medição
- ☒ Indústria
- ⚡ Autoestrada / Via rápida
- Estrada nacional / elevado tráfego
- ⬆ Turbinas eólicas de outros PE

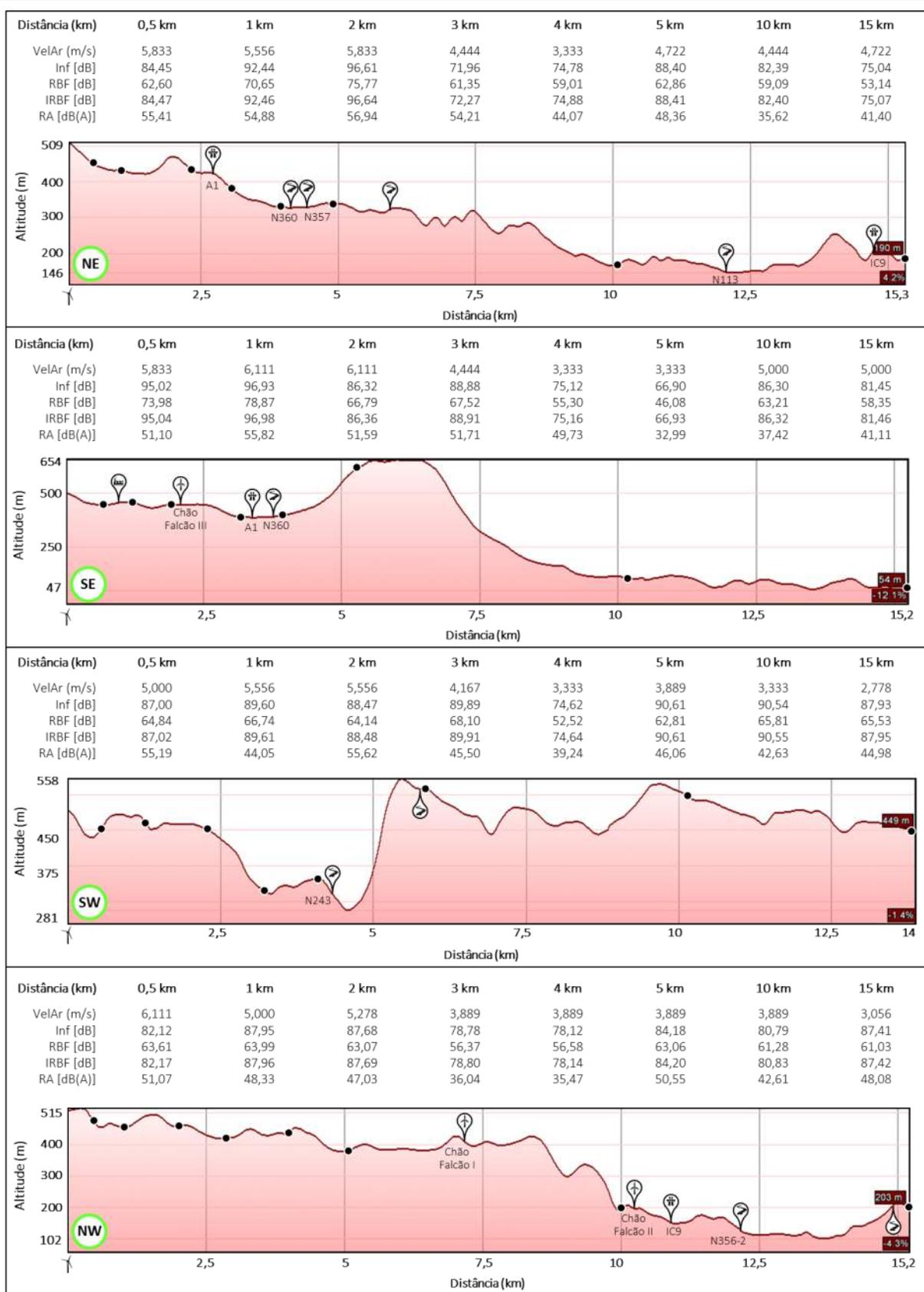
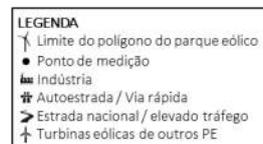


Figura 54: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos colaterais “NE”, “NW”, “SE” e “SW”, do PE de Marvila



A “W”, apesar do relevo ser bastante irregular, a diminuição dos níveis de ruído não é muito acentuada, verificando inclusive um aumento aos km “5” e “10”. Nestes pontos de medição a velocidade do ar foi de “3,889” e “4,167” (m/s), respetivamente. A justificação para estes valores serem tão elevados pode dever-se ao facto de estes pontos se encontrarem a “S” do PE de Chão Falcão, a uma distância de sensivelmente 4 km. Esta situação também se verificou a “E” do PE de Marvila, em que a partir do km “5” se verificaram valores elevados dos diferentes tipos de ruído. Esta linha de medições também confronta com outro PE (PE de Bairro). Também ao km “3” se registam níveis de ruído elevados, potencial resultado da proximidade à autoestrada A1.

No que concerne ao ponto colateral “SW” verifica-se um aumento considerável dos níveis de ruído a partir do “5” km. Tal situação pode dever-se à proximidade, que se vai verificando, ao PE da Serra dos Candeeiros que, como já foi possível verificar, tem instalado uma quantidade substancial (42) de turbinas eólicas.

A “SE”, e apesar da localização da Serra de Montejunto, continuam a registar-se níveis de pressão sonora elevados depois de ultrapassado este obstáculo natural. Apesar da distância ao PE de Marvila aumentar e das condicionantes geográficas, a proximidade ao PE do Bairro (a “E” do PE de Marvila e a “8” km do ponto de medição “10” km) influencia os valores registados. Aliado a esta exposição de ruído está o facto de a velocidade do ar, aquando das medições, ser de 5 m/s.

No ponto “NW”, à semelhança do que se tem verificado noutros pontos, há uma diminuição dos níveis de ruído, à medida que aumenta a distância à fonte, voltando a aumentar à medida que se aproxima de outro PE (Chão Falcão), ou seja, a partir do km “5”. O ponto de medição “SE” segue a mesma tendência, verificando-se um aumento dos níveis de ruído do tipo “RA” (mesmo diminuindo os tipos de ruído que contemplam as baixas frequências) ao km “1” face ao km “0,5” e ao km “15” relativamente ao km “10”.

4.2.3. Parque eólico de Chão Falcão

Por fim, a localização do PE de Chão Falcão (Figura 55) e os diversos PE instalados num raio de 30 km. É possível constatar que são muitos os PE instalados nas proximidades do PE de Chão Falcão. A “SE” localiza-se o PE de Marvila e Chão Falcão III (2ª ampliação do PE de Chão Falcão) com 6 e 14 turbinas eólicas respetivamente. A És-sudeste localiza-se ainda o PE de Bairro (11 turbinas eólicas). Dentro do raio de 30 km definido encontram-se ainda, a “W”, o PE da Senhora da Vitória (8 turbinas eólicas), a “SW” os PE de Portela do Pereiro (4 turbinas eólicas) e Serra dos Candeeiros (42 turbinas eólicas) e ainda Cela com apenas uma turbina eólica a Oés-sudoeste. Conforme já analisado no PE de Marvila, podem ainda encontrar-se turbinas eólicas que ainda não estão em funcionamento. O PE de Maunça,

localizado a “N” do PE de Chão Falcão e o PE de Marvila II, localizado a “SE”, ambos com 10 turbinas eólicas.

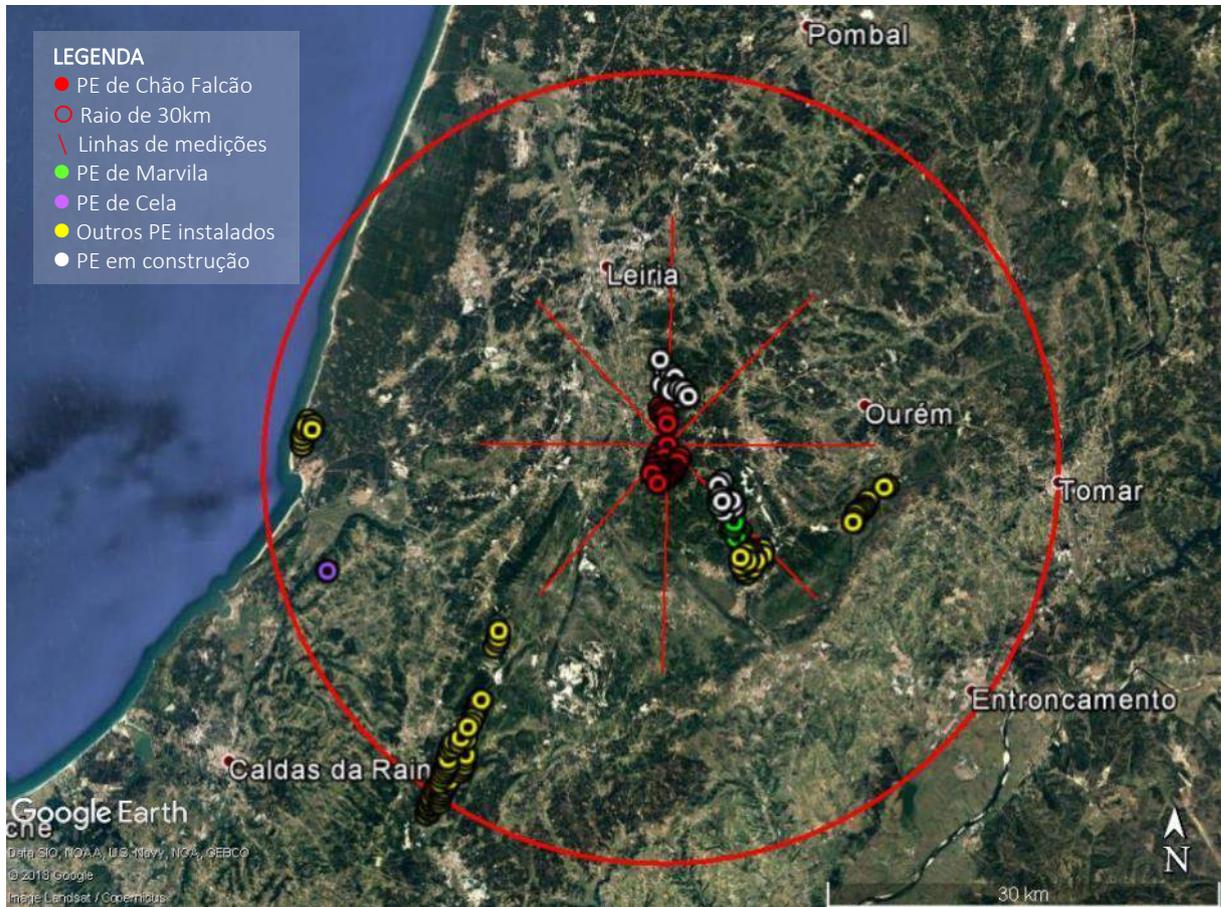


Figura 55: Localização da turbina eólica do PE de Chão Falcão e outros PE, num raio de 30km

Fonte: *Google Earth Pro*, versão 7.1.8.3036

Os perfis transversais relativos ao PE de Chão Falcão encontram-se nas Figuras 56 e 57. Estes descrevem as diferentes variáveis em estudo para os diferentes tipos de ruído e que, cruzadas com a informação constante na Figura 55, se torna mais fácil de perceber a variação dos níveis de ruído obtida, sobretudo em alguns pontos de medição que se encontram a distâncias mais afastadas do PE de Chão Falcão.

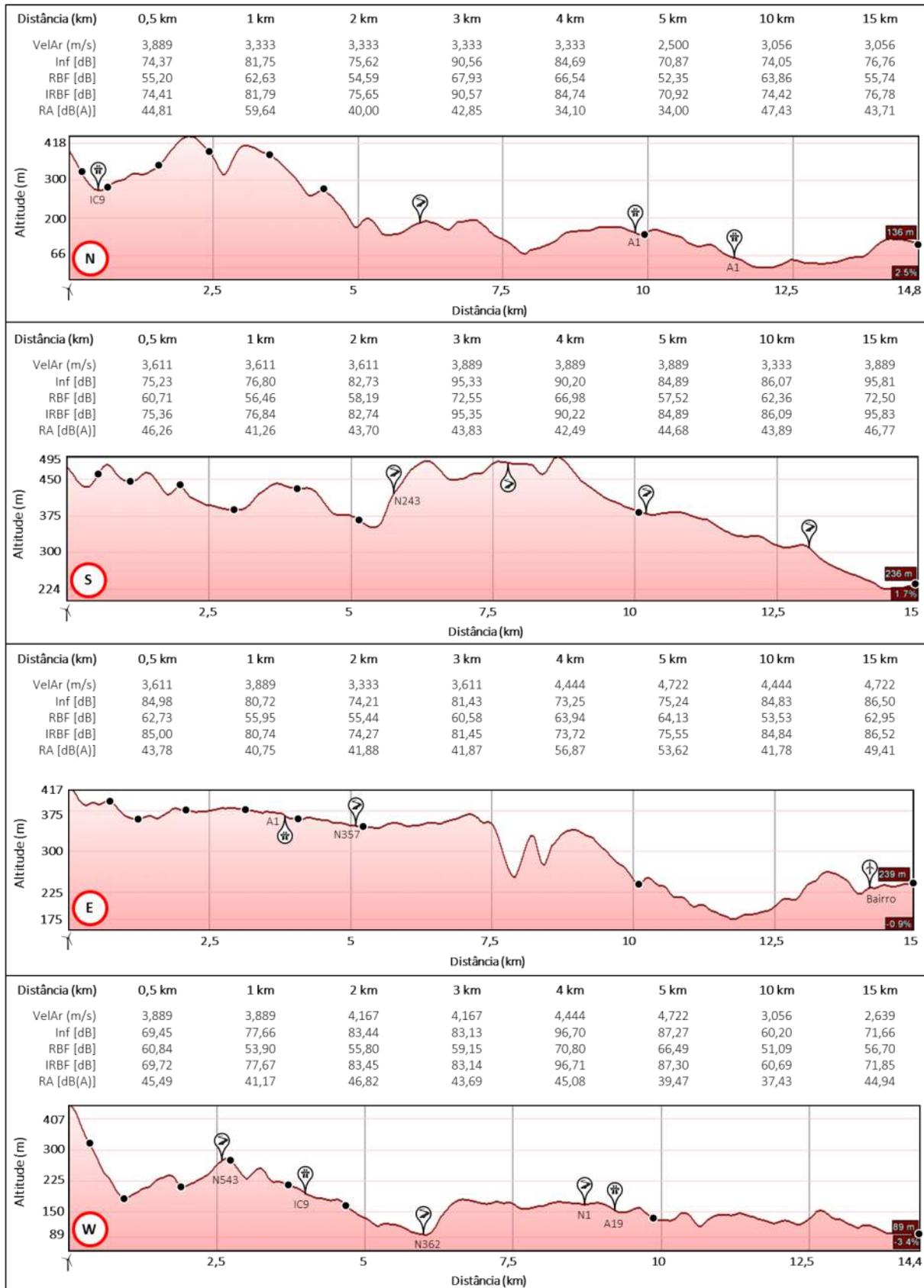


Figura 56: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos cardeais “N”, “S”, “E” e “W”, do PE de Chão Falcão

LEGENDA

- ↑ Limite do polígono do parque eólico
- Ponto de medição
- ⚡ Autoestrada / Via rápida
- Estrada nacional / elevado tráfego
- ⚡ Turbinas eólicas de outros PE

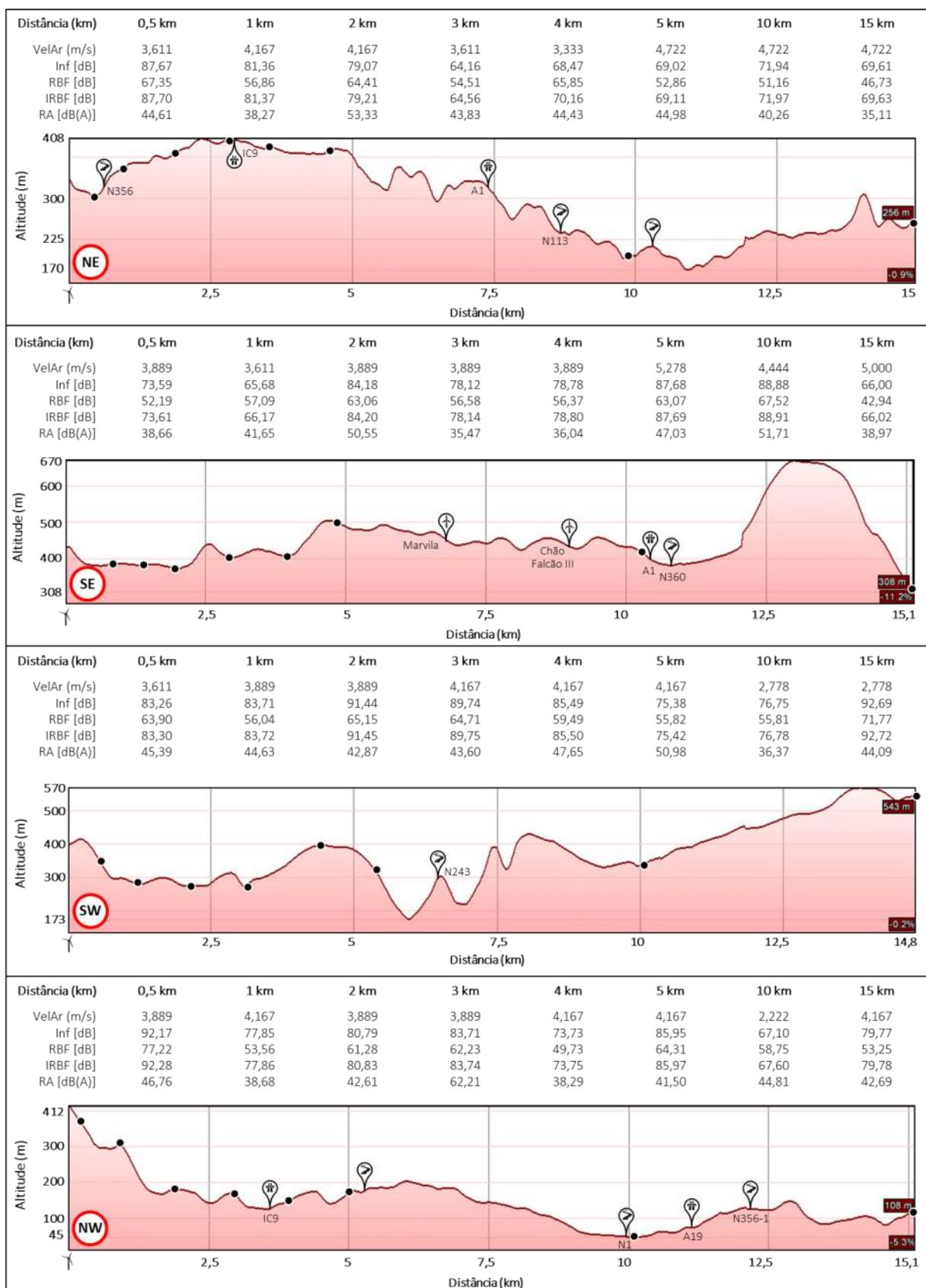


Figura 57: Perfis transversais com indicação dos níveis de ruído e potenciais fontes para os pontos colaterais “NE”, “NW”, “SE” e “SW”, do PE de Chão Falcão

LEGENDA

- ↙ Limite do polígono do parque eólico
- Ponto de medição
- ⚡ Autoestrada / Via rápida
- Estrada nacional / elevado tráfego
- ↑ Turbinas eólicas de outros PE

Analisando o PE de Chão Falcão, também aqui foi possível encontrar algumas relações de causa-efeito para os valores registados.

No ponto cardeal “N”, registou-se uma diminuição dos níveis de ruído à medida que aumenta a distância ao PE. A variação a partir do km “5” foi bastante reduzida. A esta distância verificou-se uma diminuição da altitude, ou seja, entre o ponto de medição e o PE, ficou uma elevação.

A “S” do PE de Chão Falcão, os níveis de pressão sonora foram, comparativamente com “N” substancialmente superiores. Tal, pode dever-se ao facto de se encontrar próximo do PE de Marvila e Chão Falcão III, da velocidade do ar ser mais elevada (“[3,000 - 3,999]”) e da direção do vento na região ser “N” e “NW”. Neste ponto cardeal foi possível verificar em diversos pontos variações contrárias dos diversos tipos de ruído, face à distância ao PE. Ou seja, nos tipos de ruído que compreendem as baixas frequências (“Infrassons”, “RBF” e “IRBF”) há uma diminuição do ruído enquanto que a variável de ruído “RA” aumenta, ou vice-versa.

Comportamento semelhante verificou-se no ponto de medição “E” em que se registou um aumento/diminuição no tipo de ruído “RA” e uma diminuição/aumento nos restantes tipos de ruído. Neste ponto foi possível observar uma diminuição ao longo da distância, verificando-se um aumento gradual à medida que a distância ao PE do Bairro diminuía.

A “W” e a “NW”, os níveis de ruído apresentam o mesmo padrão de comportamento, isto é, uma variação negativa face à distância ao PE. Ambos os pontos de medição, ao km “10”, são interceptados pela autoestrada A19 e pela estrada nacional N1. No entanto, pode-se verificar que os níveis de ruído “Infrassons”, “RBF” e “IRBF” sofrem uma diminuição enquanto que “RA”, caracterizado por ser um tipo de ruído audível, aumenta de valor.

No ponto colateral “NE” e “SE” o padrão de variação foi semelhante aos pontos já anteriormente analisados. Neste último (“SE”) verificou-se, no entanto uma diminuição bastante acentuada ao km “15”, apesar da velocidade do ar de 5m/s. Ao interpretar o perfil de elevação correspondente, constata-se que a causa para essa diminuição é o local de medição. A mesma foi efetuada num vale, logo depois do sistema montanhoso Montejunto-Estrela.

Por fim, o ponto “SW” caracterizou-se pela diferença de padrões de variação relativamente aos diferentes tipos de ruído. Neste local de medição registou-se um aumento significativo ao km “15”, situação que pode dever-se essencialmente à proximidade do PE da Serra dos Candeeiros.

4.2.4. Discussão global

Observando os diversos perfis transversais, assim como a localização dos PE em estudo relativamente a toda a envolvente, podem-se tirar algumas relações e considerações. Foi possível verificar que o padrão de comportamento dos vários tipos de ruído foi muito semelhante entre os PE em estudo. Para todos, a tendência de variação foi negativa, ou seja, à medida que aumenta a distância ao PE, o nível de pressão sonora tende a diminuir, apesar da pequena diminuição, em alguns casos. Berglund *et al.* (1996) referem que esta pouca diminuição dos níveis do ruído (em particular do ruído de baixa frequência), face à distância, se deve a uma característica muito particular deste tipo de ruído: comprimentos de onda extremamente longos. Esta característica faz com que a transmissão de ruído se faça por longas distâncias sem perda de energia.

Tornou-se evidente que, para além das turbinas eólicas, existem outras variáveis que podem influenciar a propagação do ruído e, conseqüentemente, os valores que foram registados nos diversos pontos de medição. São exemplo desta constatação, as vias de circulação automóvel, a proximidade à linha de costa, a proximidade a outros PE, a velocidade e direção do vento e a geografia do terreno (Almeida *et al.*, 2016; Bolin *et al.*, 2011; Carvalho *et al.*, 2012; Millet *et al.* 2007; Rubin *et al.*, 2014).

No que diz respeito à circulação automóvel, foi possível verificar que, nos pontos de medição mais próximos destas vias, foram registados valores mais elevados. No entanto, foi também possível constatar que esta fonte de ruído teve maior expressão no ruído audível (“RA”), e menor nos restantes tipos de ruído. Chegou mesmo a verificar-se, em vários pontos e em vários PE em estudo, uma diminuição das variáveis “Infrassons” e “IRBF” (em alguns casos também no tipo de ruído “RBF”) e um aumento do ruído “RA”. Situação que se deve às frequências que compõe estes tipos de ruído e respetivas características nomeadamente comprimentos de onda (Berglund *et al.*, 1996; Murphy & King, 2014). Desta forma, é possível registar-se comportamentos diferentes associados a frequências diferentes.

Uma estrada pode ser considerada uma fonte sonora linear, se nela circular um grande número de veículos em fila contínua (caso que se verifica em algumas vias rodoviárias do estudo). Neste caso, o ruído propaga-se em superfícies hemi-cilíndricas que envolvem a estrada e que se caracterizam por um igual nível de pressão sonora (IA, 2004). Apesar do volume de tráfego ser importante, pelo tipo de onda de propagação que produzem é também relevante, segundo Specht *et al.* (2009), a velocidade a que os veículos circulam, assim como, o tipo de pavimento.

Apesar de, em alguns pontos de medição, haver uma linha de caminho de ferro na proximidade, ou entre o ponto e o PE, facto que podia aumentar os níveis de ruído (Carvalho *et al.*, 2016), para não influenciar os resultados, não foram efetuadas medições à hora de passagem de comboios.

A influência do vento na propagação do som é significativa, particularmente para o ruído emitido pelas turbinas eólicas, que geralmente são posicionadas em locais com elevados níveis de velocidade do ar (Gronberg, 2015). De facto, foi possível verificar que quanto maior a velocidade do ar, mais tendência há para que os níveis de ruído sejam também mais elevados. É notória a diferença entre velocidade do ar mais reduzida e mais elevada nos níveis de ruído. De facto, quanto maior a velocidade, mais roda o rotor da turbina eólica, mais vezes passa a pá pela torre e conseqüentemente, mais ruído de baixa frequência (incluindo os infrassons) produz (van den Berg, 2005). Mesmo com velocidades do ar mais reduzidas, não se pode afirmar que não exista produção de ruído. O mesmo pode suceder com a turbina eólica parada (para manutenção, por exemplo). Também nestas situações se podem verificar níveis de “Infrassons”, “RBF” ou “IRBF” elevados, decorrentes do efeito eólico. Estes tipos de ruído são proveniente da passagem do fluxo de ar nas pás, i.e., mesmo que a turbina não esteja em funcionamento, continuará a existir essa passagem, e naturalmente, irá existir sempre a produção de efeitos acústicos, provocando um silvo de fricção (Lazzarini, 1998; Rogers *et al.*, 2006).

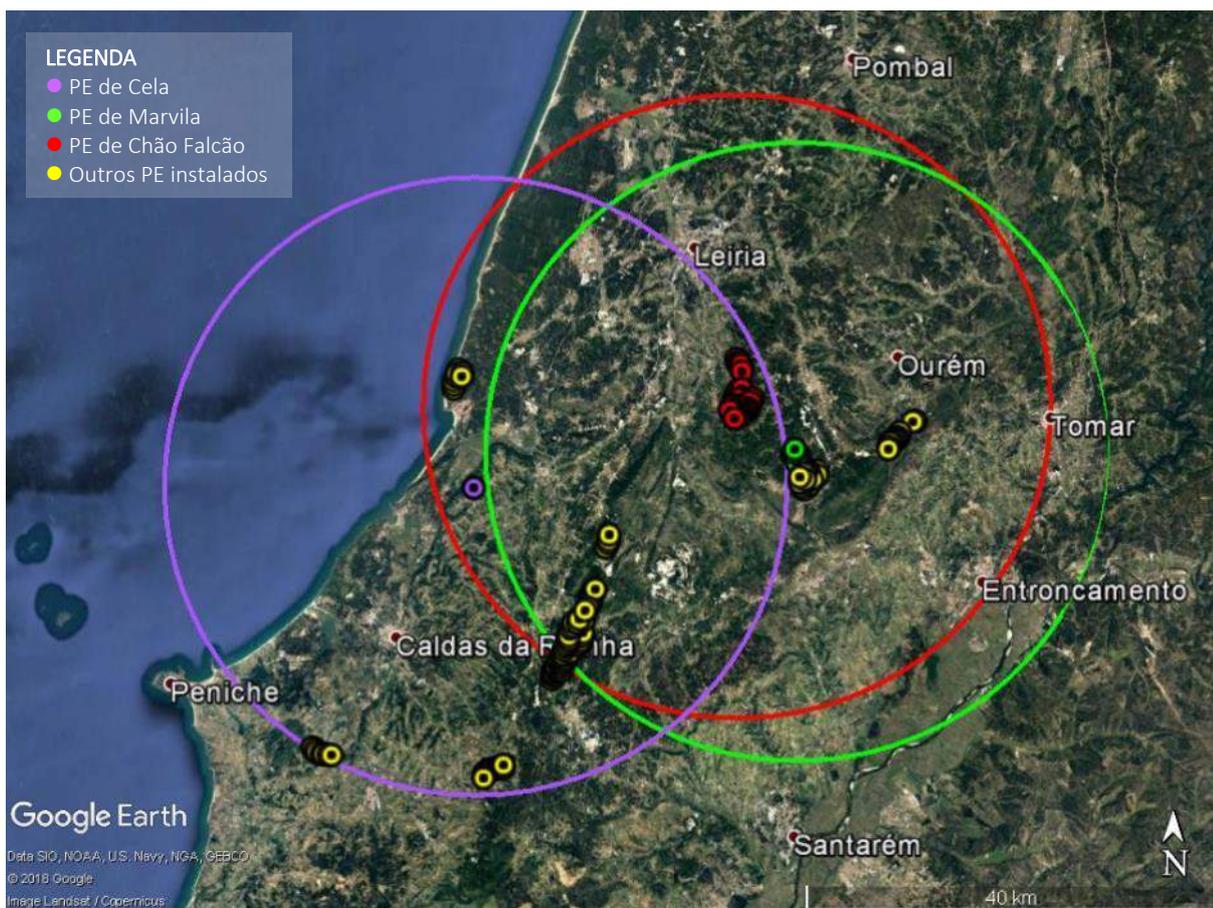


Figura 58: Localização das turbinas eólicas dos PE em estudo e outros PE instalados, num raio de 30km

Fonte: *Google Earth Pro*, versão 7.1.8.3036

A proximidade a outros PE evidentemente que tem influência nas medições obtidas. Dificilmente se consegue atribuir um valor a um único PE. Para tal, seria necessário que todos os outros estivessem parados. Na Figura 58, é possível ter uma visão global da área em estudo e o enquadramento geográfico dos diversos PE instalados.

Como se pode ver, no geral, a quantidade de PE é grande e todos eles têm influência nos níveis de pressão sonora sentidos na região. Como ficou expresso nos perfis transversais apresentados, os níveis de ruído do tipo “Infrassons” e “IRBF” são altamente inflacionados devido a este tipo de fontes. Embora o ruído “RBF” também seja elevado, o facto de contar com apenas frequências audíveis (entre 20 Hz e 500 Hz) tem como resultado um nível de ruído mais baixo. Obviamente que o ruído audível (“RBF” e “RA”) não deve ser descurado. Estes tipos de ruído também têm consequências na saúde, nomeadamente ao nível da incomodidade (Ruiter, 2009; WHO, 2011).

Apesar dos valores registados ao nível dos “Infrassons” e das “baixas frequências”, apenas são caracterizadas, para efeito de aprovação da instalação, as frequências constantes no “RA”. A legislação existente em Portugal apenas contempla este tipo de ruído e, como tal, os estudos de ruído efetuados para efeitos de aprovação de projetos de instalação de PE apenas recai sobre o “RA”. Almeida *et al.*, (2016) realça a diferença assentuada verificada entre as medições dos vários tipos de ruído, nomeadamente ao nível dos “Infrassons”, do “IRBF” e do “RA”. Vercammen (1990) refere a insuficiente proteção ao nível da exposição a “IRBF”, enfatizando a necessidade de definir limites para a exposição a este tipo de ruído.

Da análise efetuada a vários documentos necessários em fase de projeto para aprovação do mesmo, constata-se que os “Infrassons”, largamente identificado na literatura, não é tido em consideração na legislação nacional. Apenas o ruído “RA” é considerado, como é possível verificar no texto seguinte (semelhante a todos os PE) que consta de relatórios de conformidade ambiental e estudos de incidências ambientais:

“O estudo de ruído apresentado no presente Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE) conclui que:

- (...)*
- No que diz respeito aos Valores Limite de Exposição, os níveis sonoros do ruído ambiente (com os aerogeradores em funcionamento), nos recetores sensíveis selecionados para análise (PH04 e PH07), caracterizam-se por valores abaixo dos limites máximos admissíveis para zonas não classificadas, satisfazendo os Valores Limite de Exposição para velocidades do vento medidas nos*

aerogeradores não superiores a 21 m/s, para o ponto de análise PH04 e não superiores a 20 m/s, para o ponto de análise PH07 (...);

- *O Crítério de Incomodidade é satisfeito para todas as velocidades de vento, à cota dos aerogeradores, pertencentes à gama de velocidades de vento que permite o funcionamento do Parque Eólico.* (STRIX, 2017).

Como se pode verificar neste exemplo, os níveis de ruído são satisfeitos e não apresentam critério de incomodida para os recetores. De facto, em termos de ruído ambiental (“RA”), mesmo na proximidade do PE, a maior dos níveis de ruído registados encontram-se abaixo dos limites legais. O nível médio de ruído registado até uma distância de “2” km foi 46,35 dB(A) (Cela: 44,17 dB(A); Marvila: 51,40 dB(A); Chão Falcão: 44,32 dB(A)).

Tendo em consideração que a legislação, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro (Regulamento Geral do Ruído), tem como valor limite de exposição (para zonas sensíveis) 55 dB(A), considera-se que todos os PE cumprem com este pressuposto (salvaguardando que os valores registados no estudo não refletem um estudo de ruído ambiental em que são considerados os vários indicadores legislados).

Outros documentos, como por exemplo estudos de impacte ambiental (EIA), referem não existir recetores sensíveis na envolvente:

“(...) também em termos do ruído, não existem recetores sensíveis na envolvente próxima da área destinada ao Parque.” (PROCESL, 2005).

O Regulamento Geral do Ruído considera que “recetor sensível” pode ser um edifício habitacional, escolar, hospitalar ou similar ou espaço de lazer, com utilização humana. Torna-se então evidente, que é importante que os EIA e demais documentos necessários para aprovação dos projetos de instalação de PE, contemplem outras variáveis de ruído como os “Infrassons”.

Na Figura 59, está representada a localização geográfica dos PE de Marvila e Chão Falcão, assim como outros PE já discutidos (PE de Chão Falcão III a “S” do PE de Marvila e o PE do Bairro a “E” de Marvila).

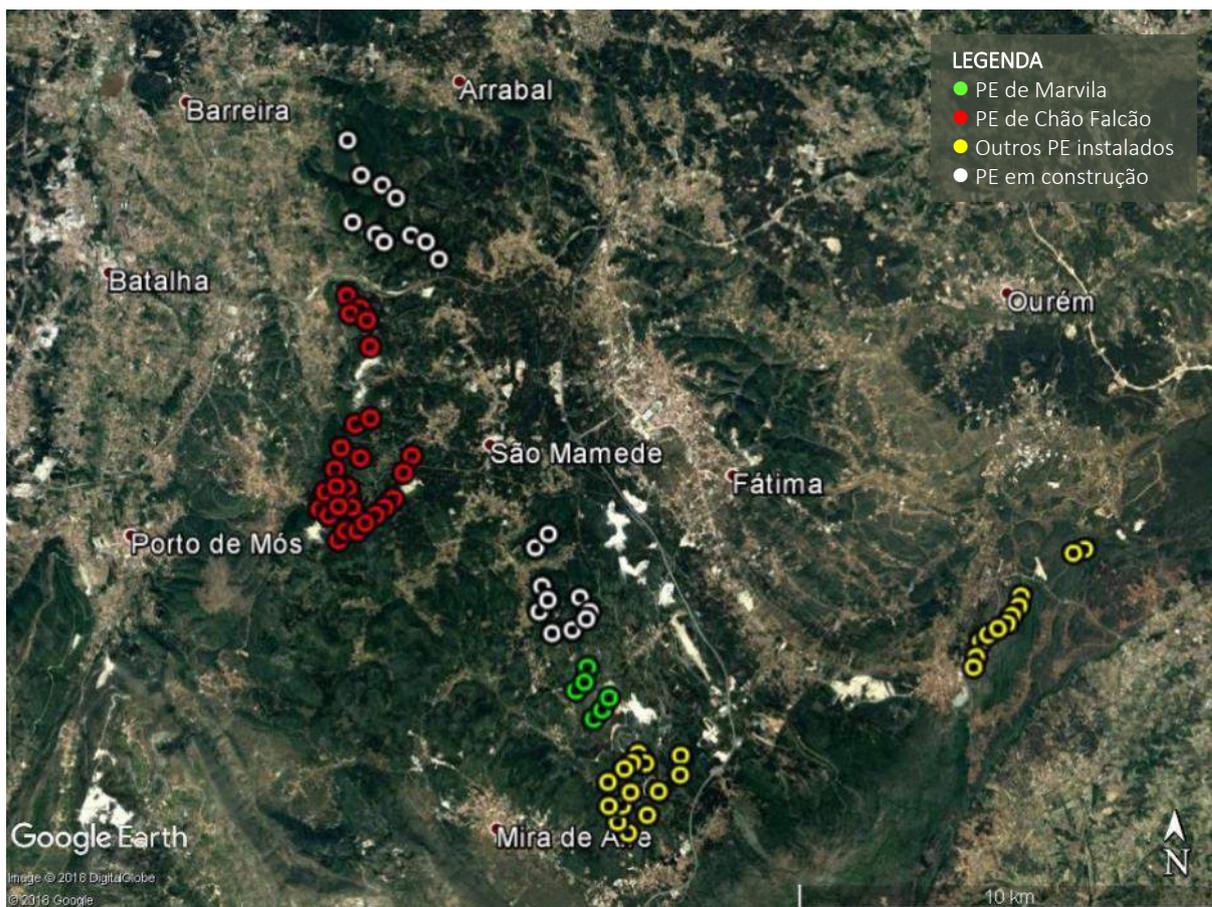


Figura 59: Localização das turbinas eólicas dos PE de Chão Falcão, Marvila e outros PE próximos, já instalados e em construção

Fonte: Google Earth Pro, versão 7.1.8.3036

Como se pode constatar, a proximidade destes PE às populações é grande. No entanto, está prevista a construção de mais dois PE nas proximidades. A “N” do PE de Marvila, está prevista a instalação de 10 turbinas eólicas respeitantes ao PE de Marvila II e a “N” do PE de Chão Falcão, a instalação de 10 turbinas eólicas do PE e Maunça. Neste último, apesar de o EIA caracterizar o ambiente sonoro nos recetores sensíveis existentes como “ambiente rural e apresentando um ambiente sonoro atual pouco perturbado, sendo as principais fontes sonoras o tráfego rodoviário a laboração de uma pedreira e os parques eólicos existentes” (APA, 2011). Para o PE de Marvila II, é considerado que:

“(..) na zona envolvente à implantação do projeto, existem fontes de ruído provenientes de atividades humanas, nomeadamente tráfego rodoviário proveniente da A1 – Autoestrada do Norte. Os recetores mais próximos encontram-se nas localidades envolventes à área de implantação do parque eólico, dispostas ao longo da rede viária existente (de pressão de utilização reduzida), pelo que o ambiente acústico na sua envolvente apresentava-se pouco perturbado” (STRIX, 2015).

É evidente que, do ponto de vista do ruído e dos recetores (populações), pouco é tido em consideração remetendo para infraestruturas já existentes e fonte de ruído ambiental.

Torna-se portanto evidente que urge alterações à legislação, no sentido de desenvolver legislação que promova este tipo de preocupações ao nível da saúde pública. A promoção da saúde e prevenção de patologias nas populações, com origem neste tipo de ruído, deve ser uma prioridade.

É importante, como medida preventiva, instalar os PE a distâncias que sejam consideradas seguras no que concerne à saúde pública. As distâncias são uma forma de proteger a vizinhança dos parques eólicos no que diz respeito a, principalmente, quatro possíveis problemas de segurança ou incómodos: projeção de gelo, cisalhamento do vento, efeito sombra e níveis de ruído (Seryak, 2014).

Tabela 69: Distâncias de referência em vários países

Fontes: (Colreavy *et al.*, 2014; SE DD, 2007; Gillespies LLP, 2014; Kæmpevindmøller, 2017; PEPG - UK DE, 2009)

País	Distância
Dinamarca	- Legislação: 4x a altura total da turbina eólica - Observações: Se inferior a 6x a altura total da turbina eólica é estimado um valor relativo à depreciação da propriedade exposta para pagamento de indemnização
Bélgica	- Legislação: 350 m (indicado em projeto de lei apesar de não ter sido aprovado) - Prática: 500 m
República Checa	- Legislação: inexistente - Prática: 400 a 800 m
Inglaterra / Gales	- Legislação: inexistente - Observações: Já se verificaram casos de pagamentos de compensações a proprietários por danos relacionados com impacte visual, poluição sonora e efeito sombra (550 m)
Irlanda do Norte	- Legislação: 10x o diâmetro do rotor (não inferior a 500 m)
Escócia	- Legislação: Caso a caso, no entanto considera a distância de 2 km de populações, em caso de campo aberto - Observações: PE já instalados e casas de campo isoladas excluídos
Irlanda	- Legislação: 10x a altura da turbina para turbinas eólicas superiores a 25m
França	- Legislação: Caso a caso, limitado apenas pela legislação sobre ruído ambiental - Recomendações: 1500 m - Prática: 500 m
Alemanha	- Legislação: Diferentes distâncias face ao nível de ruído área: 35 dB(A) - 1000 a 1500 m; 40 dB(A) - 600 a 1000 m; 45 dB(A) - 300 a 600 m - Observações: Alguns estados possuem distâncias próprias
Itália	- Legislação: Distâncias determinadas pelas autoridades regionais (ex: 5x a altura da turbina; 10x a altura da turbina; 20x a altura da turbina; ou 2 km de áreas urbanizadas) - Observações: algumas regiões não definiram distâncias mínimas
Holanda	- Legislação: Ruído ambiental (nível de ruído máximo de 40 dB(A)) - Prática: 4 x a altura da torre
Roménia	- Legislação: 3 x a altura da torre, podendo reduzir com aprovação da comunidade local (mas não menor que a altura total da turbina eólica mais 3 m)
Suécia	- Legislação: O único limite é o nível de ruído de 40 dB(A) - Prática: 500 m (havendo casos de 350 m)
Suíça	- Legislação: Em desenvolvimento por região - Prática: 300 m da ponta das pás (para turbinas de 70 m)
USA	- Legislação: Distâncias definidas em alguns estados (ex: 1,5 km)

De alguma forma, a distância serve para cumprir com o pressuposto definido na documentação pertencente ao projeto de instalação dos PE (embora esta apenas faça referência ao “RA”). Alguns estudos e recomendações apontam para distâncias a respeitar, entre as turbinas eólicas e as populações (Tabela 69).

Em Portugal não existe legislação específica para as distâncias de segurança a serem respeitadas aquando da instalação de PE. De facto, verifica-se que algumas turbinas eólicas se encontram instaladas a, sensivelmente, 300 m de distância de habitações, como é o caso do PE de Marvila. Relativamente ao PE de Chão Falcão e de Cela registam-se distâncias de 400 m entre turbinas eólicas e habitações.

Antes da instalação dos PE, deveria ser avaliada a distância até às populações e avaliado o nível de IRBF, antes da instalação e após instalação, para perceber as alterações efetivas ao nível da exposição das populações ao ruído. Só após estas avaliações é possível perceber o verdadeiro impacte daqueles PE em específico e tomar medidas concretas.

Alguns estudos de incidência ambientais (como o exemplo seguinte) salvaguardam uma distância a habitações, mas numa perspetiva de RA. Mais uma vez, apenas este tipo de ruído é tido em consideração no cálculo das distâncias, apesar de não haver legislação que refira a metodologia a dotar para este cálculo:

“(...) As distâncias necessárias em relação às habitações individuais e áreas povoadas são calculadas como uma estimativa das emissões de ruído, que toma em consideração a produção de ressonância de todas as turbinas eólicas do parque eólico, para além dos fatores ambientais envolvidos. De qualquer forma é absolutamente garantido que os valores de emissão de ruído fixados por lei, não serão ultrapassados (...)” (STRIX, 2011).

Outra questão pertinente, já abordada na literatura e que definiu a metodologia utilizada no presente estudo, é a avaliação dos níveis de ruído em dB e não em dB(A). Avaliar nesta unidade deve ser considerada apenas quando existe risco de surdez, já que a malha de ponderação “A” tem o objetivo de representar a sensação auditiva e não apenas a realidade física (IA, 2004). Desta forma, medir em dB(A) não tem em consideração informação suficiente para caracterizar o efeito biológico (Alves-Pereira & Branco, 2009). Na Figura 60, pode-se observar a diferença entre medir-se em dB ou em dB(A), para o tipo de ruído “Infrassons” e “IRBF”.

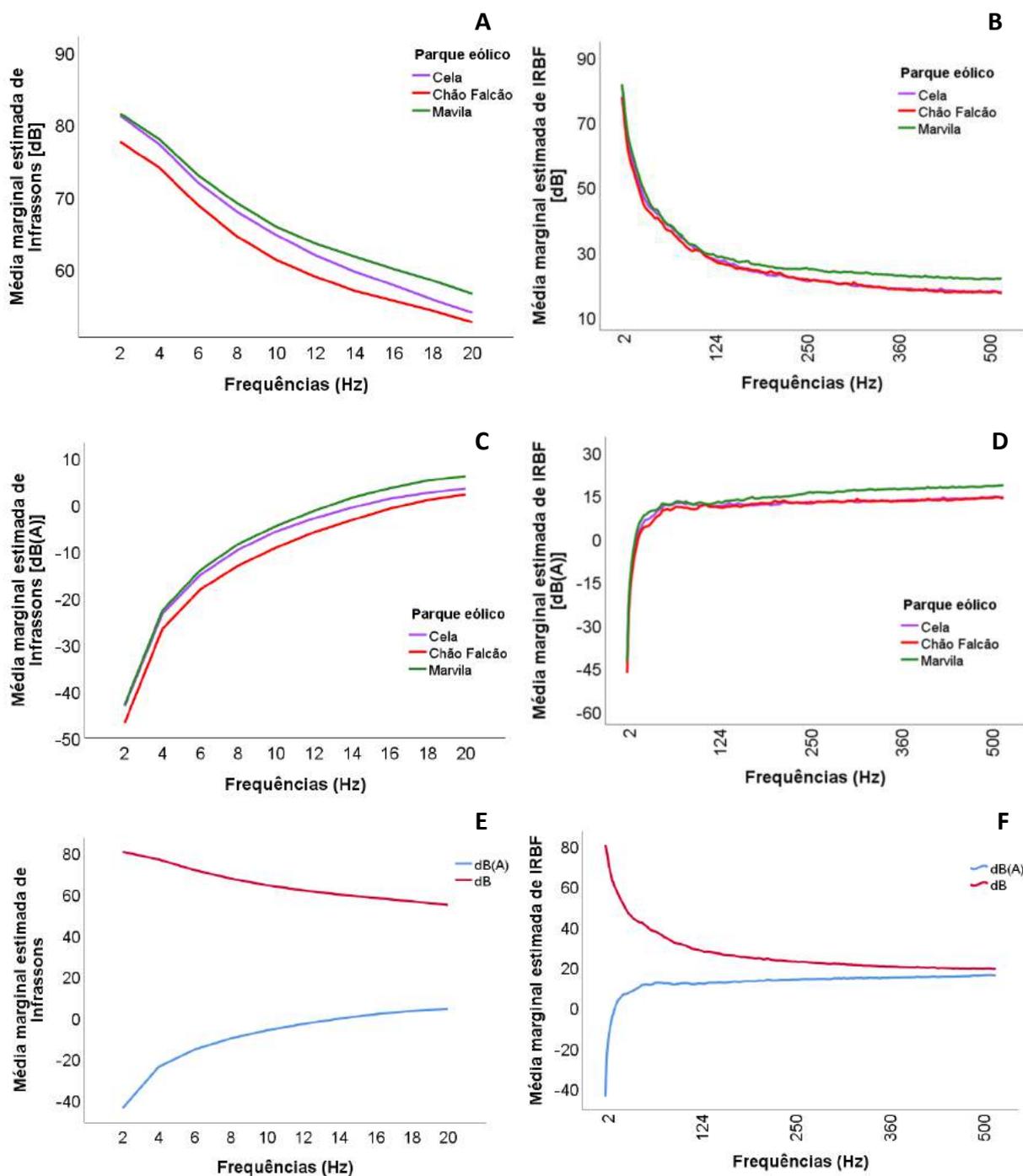


Figura 60: Diferença entre medições realizadas em dB e em dB(A), para os tipos de ruído “Infrassons” e “IRBF”, tendo em consideração os PE em estudo
A: Infrassons, medidos em dB, por PE ; **B:** IRBF medido em dB, por PE; **C:** Infrassons, medidos em dB(A), por PE ; **D:** IRBF medido em dB(A), por PE; **E:** Infrassons medidos em dB e dB(A), tendo em consideração os PE em estudo; **F:** IRBF medidos em dB e dB(A), tendo em consideração os PE em estudo;

Constata-se haver uma diferença bastante significativa quando comparadas as medições em dB ou dB(A). Reforça-se a necessidade de o ruído ser avaliado como um agente que pode ter impactes biológicos para além da surdez.

Efetuada as medições em dB, tem-se em consideração que, para a saúde humana, a informação rigorosa do conteúdo das frequências de um determinado ambiente acústico é fundamental para o estabelecimento de dose-resposta no que diz respeito à exposição a IRBF (Alves-Pereira & Branco, 2007a, 2007b). Os autores referem ainda que os efeitos de pressão acústica sobre o tecido biológico estão intimamente relacionados com as frequências (em Hz) e não com as amplitudes (em dB).

Caniato *et al.* (2016) menciona que o ruído ambiental, em habitações, é avaliado principalmente usando o nível de pressão sonora ponderada A (L_{Aeq}) como o único parâmetro para determinar a perturbação percebida. No entanto, se o ruído é produzido por fontes caracterizadas por produzirem ruído de baixa frequência, a medida do L_{Aeq} subestima a perturbação real.

As curvas representadas na Figura 61 associam uma ponderação a cada gama de frequências. Desta forma, medindo com a ponderação A (Figura 61A), na frequência a 10Hz, o valor numérico obtido pelo equipamento será reduzido em 70 dB. Este facto tem levado a estudos que defendam que o IRBF é um agente de doença que está a ser incorretamente quantificado (Alves-Pereira, 1999; Alves-Pereira & Bakker, 2017; Alves-Pereira & Branco, 2007b; Branco *et al.*, 2007). Os autores consideram que, em termos de Saúde Pública, a utilização da ponderação A (em dB(A)) deverá ser abolida, com exceção nos casos onde se avalia o risco de surdez e, que os ambientes acústicos só podem ser comparados com rigor científico se forem considerados, simultaneamente, a amplitude (em dB Linear) e o conteúdo das frequências.

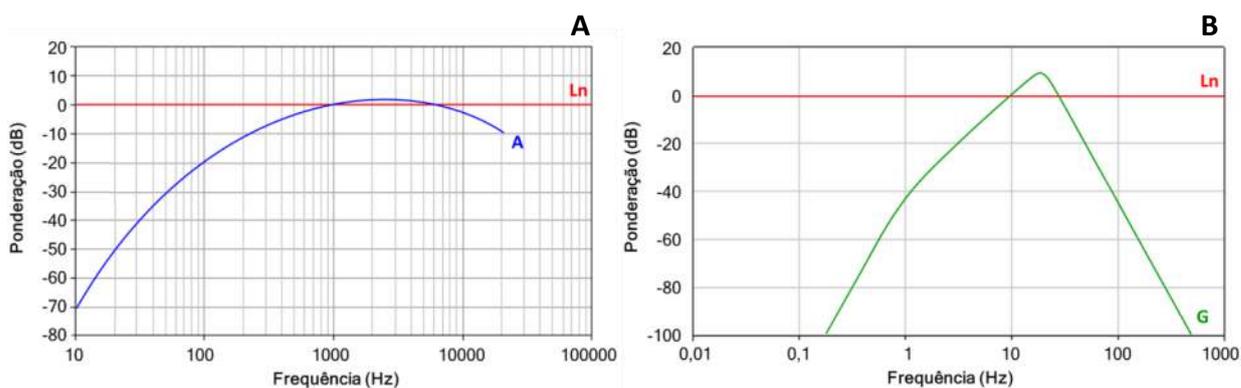


Figura 61: Curva de ponderação relativo ao dB(A).

A: dB(A); **B:** dB(G)

Fonte: adaptado de DiracDelta (2017a, 2017b)

Outros estudos apontam ainda para a ponderação G (Figura 61B) em detrimento do dB Linear (Ambrose & Rand, 2011; Feder *et al.*, 2015; Møller & Pedersen, 2011). No entanto, como se pode observar na figura, a curva de resposta das frequências em dB(G) mostra a razão pela qual não deve

ser utilizada esta ponderação para quantificar o agente de doença IRBF. À exceção de apenas dois pontos (10 Hz e 45 Hz), toda a restante curva de ponderação se encontra bastante abaixo do dB Linear.

4.3. Outros fatores geomorfológicos com potencial significativo na propagação do ruído

No sentido de entender outras variáveis que podem influenciar os níveis de ruído obtidos, apresenta-se a Figura 62 relativa às massas de água subterrâneas.

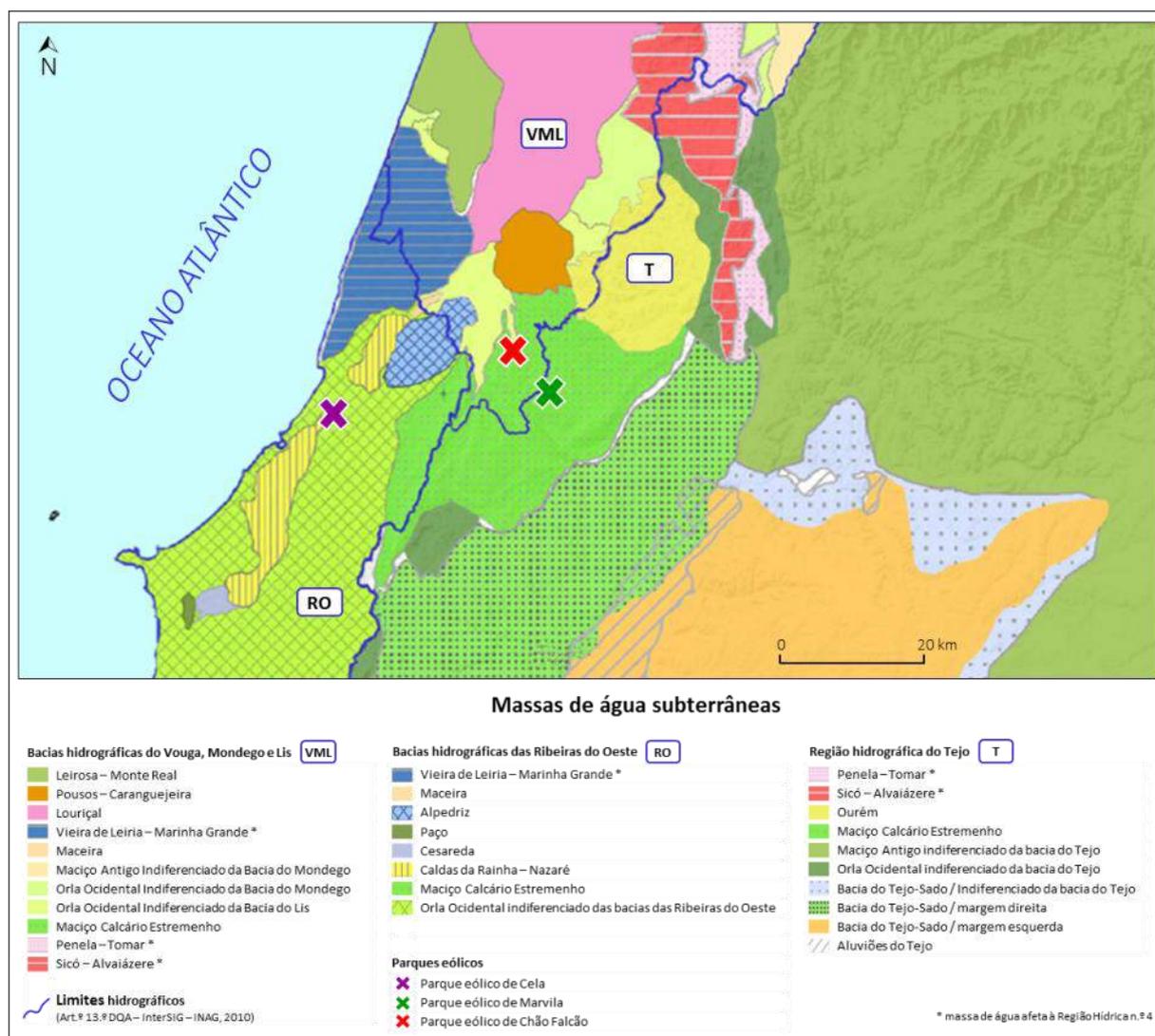


Figura 62: Massas de água subterrânea da bacia hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis, da bacia hidrográfica das Ribeiras do Oeste e da região hidrográfica do Tejo

Fonte: adaptado de APA & ARHT (2012a, 2012b) e APA & ARHC (2012)

Na Figura 62, é possível constatar que os PE em estudo se encontram distribuídos em três bacias hidrográficas (BH) distintas: O PE de Cela na BH das Ribeiras do Oeste; o PE de Chão Falcão na BH do Vouga, Mondego e Lis; e o PE de Marvila na BH do Tejo. Estes últimos PE localizam-se no Maciço Calcário Estremenho (MCE) e o PE de Cela na Orla Ocidental Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste (OOIBRO). A OOIBRO agrega todas as formações geológicas que não foram consideradas como sistemas aquíferos (APA & ARHT, 2012b). O MCE corresponde a uma unidade morfoestrutural do território português que se individualiza das regiões circundantes pelas suas peculiaridades geológicas e geomorfológicas (Carvalho *et al.*, 2011).

Estudos apontam para uma relação entre vibrações do fenómeno de ressonância (existente em estruturas geomorfológicas como grutas) e a saúde (Debertolis *et al.*, 2017). Os autores referem que os infrassons têm um efeito direto no corpo humano, sem que se tenha consciência das vibrações mecânicas associadas.

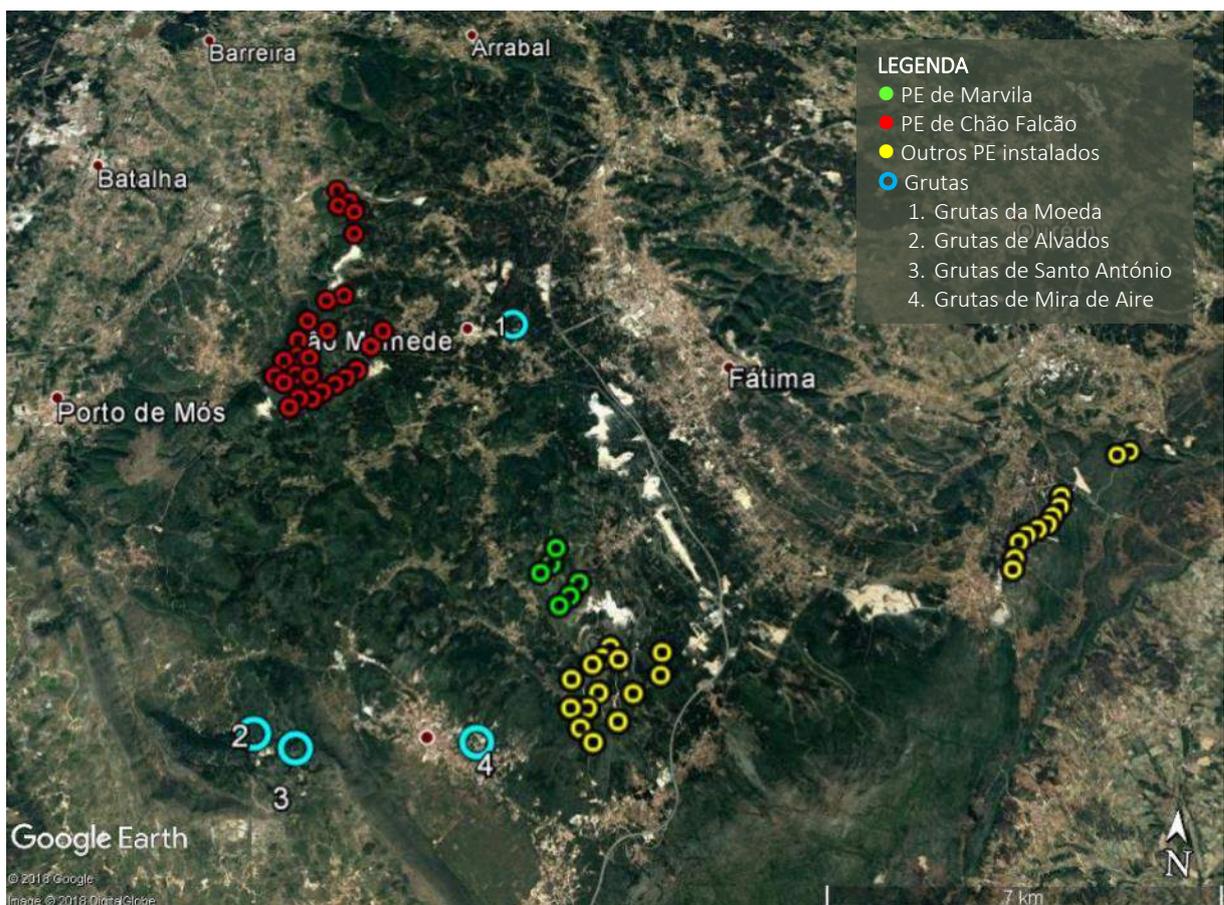


Figura 63: Localização de grutas na área geográfica dos PE de Marvila e de Chão Falcão
Fonte: *Google Earth Pro*, versão 7.1.8.3036

Desta forma, identificaram-se algumas grutas localizadas nas proximidades dos pontos de medição definidos para os PE de Marvila e de Chão Falcão (Figura 63). Não foram identificadas grutas relevantes nas proximidades do PE de Cela, assim como também não estão identificados, na imagem, algares nas áreas em estudo.

Face à localização das grutas, onde também se verifica a existência de aquíferos subterrâneos, constata-se haver um aumento em todos os pontos de medição. No entanto, alguns, nomeadamente os mais próximos das Grutas da Moeda, também se encontram próximos da autoestrada A1, o que pode justificar esse aumento dos vários tipos de ruído.

O mesmo já não se verificou nos pontos de medição a “S” do PE de Chão Falcão e a “SW” do PE de Marvila. Nestes pontos, encontram-se as grutas de Santo António, Alvados e Mira de Aire, tendo-se registado aumentos significativos dos níveis de ruído, nas proximidades a estas grutas. Obviamente que deve ser tido em consideração o vento dominante e a topografia. No entanto, também a geologia é importante na perspetiva que as grutas, enquanto cavidades ocas no interior de estruturas rochosas (White & Culver, 2012), são potenciadoras da propagação de infrassons.

Também os oceanos têm sido identificados como produtores e propagadores de ruído (Garcés *et al.*, 2008; Matoza *et al.*, 2007). Ainslie *et al.* (2009) referem que esta situação se deve ao facto do som se propagar através de vibrações das partículas de água. Foi possível observar, no PE de Cela (o único com proximidade ao Oceano Atlântico), que nos pontos de medição mais próximos à linha de costa, se verifica uma tendência para os valores de ruído serem mais elevados. Desta forma, torna-se importante que a instalação de PE próximos da costa, sejam previamente planeados para que os valores de ruído, nomeadamente IRBF, não sejam inflacionados. Adicionalmente será também importante iniciar estudos que analisem o impacte de PE nas populações piscatórias (Boffey, 2018).

Grande parte dos locais onde foram efetuadas as medições foi em florestas e, como tal, é importante perceber qual o efeito da mesma na propagação do ruído, já que as florestas, no percurso de propagação também alteram as características do vento (Gronberg, 2015). Como já vimos anteriormente, o facto de o IRBF ser composto por frequências baixas a que correspondem longos comprimentos de onda, faz com que os pequenos obstáculos e estruturas no percurso de propagação do ruído não tenha uma interferência significativa (Berglund *et al.*, 1996).

A atenuação sonora por parte do coberto florestal, no que concerne propagação acústica de baixa frequência não é afetada pela vegetação, mas depende apenas do efeito “solo”, nomeadamente ao nível da impedância do som (Gronberg, 2015). O autor refere ainda que a transmissão das ondas sonoras de baixa frequência são menos susceptíveis à absorção pelos elementos de intersecção, como por exemplo, troncos de árvores e folhas.

4.4. Potenciais efeitos na saúde

São evidentes os elevados níveis de IRBF provenientes das turbinas eólicas. Na literatura já foi identificada uma panóplia de efeitos negativos quando se verifica uma exposição a elevados níveis de ruído com origem em turbinas eólicas.

Algumas pessoas que vivem perto de parques eólicos relatam uma variedade de sintomas negativos. Entre eles, perturbações do sono, dores de cabeça, dificuldade de concentração, irritabilidade, cansaço e problemas relacionados ao sistema auditivo (Bolin *et al.*, 2011; Leventhall *et al.*, 2003; Nissenbaum *et al.*, 2012; Salt & Hullar, 2010; Seltenrich, 2014). Outros autores revelam ainda outros sintomas relacionados com uma vertente mais biológica como por exemplo intolerabilidade e incapacidade ao ruído, espasmos intestinais e ressonâncias em órgãos internos, falta de equilíbrio como resultado de alterações ao nível vestibular (Bolin *et al.*, 2011; Leventhall *et al.*, 2003; Pierpont, 2009).

Apesar de, até à data, ainda não ter sido estabelecida uma relação dose-resposta relativamente à exposição a IRBF em humanos, alguns efeitos já foram testados e comprovados em animais, como por exemplo: ratos expostos a ruído de baixa frequência durante 48 horas apresentaram uma alteração no epitélio da traqueia só retomando as características normais após 7 dias em silêncio (Branco *et al.*, 2003a); Ratos concebidos e nascidos num ambiente exposto a ruído de baixa frequência ainda apresentavam lesões do epitélio respiratório passado um ano em silêncio (Branco *et al.*, 2003b); Cavalos expostos a ambientes com infrassons e ruído de baixa frequência desenvolveram deformações assimétricas do membro flexural (Branco *et al.*, 2015).

Em humanos, apesar dos estudos serem limitados, verificam-se alguns exemplos em que se estabelece uma relação dose-resposta: Aparecimento de tumores pulmonares em pilotos de helicópteros, também expostos a IRBF (Ferreira *et al.*, 2006); Espessamento do pericárdio e fibrose pulmonar revelado em autópsia a um técnico de aeronáutica (Branco, 1999a).

Alguns estudos revelam testemunhos de populações residentes nas proximidades de fontes de IRBF, mais especificamente de turbinas eólicas:

- Contração muscular e articular, dificuldade em respirar, tensão baixa, pressão na cabeça, zumbidos insuportáveis e dolorosos (Pardal, 2013);
- Vômitos, pressão na cabeça e ouvidos (Pardal, 2013);
- Irritabilidade e forte vontade de parar o ruído (Ambrose & Rand, 2011);
- Falta de concentração e irritação geral (Alves-Pereira & Branco, 2007a);

-
- Insónias, dores de cabeça frequentes, falta de memória, maior irritabilidade, intolerância progressiva ao ruído, cansaço permanente, enjoos, tonturas, perda de equilíbrio e ainda queixas relativas ao ruído provocado pela rotação das hélices (Pardal, 2013);
 - Sensibilidade ao ruído (Alves-Pereira & Branco, 2007b);
 - Perturbações do sono e acordar cansado, apesar de dormir horas suficientes (Alves-Pereira & Branco, 2007b);
 - Palpitações cardíacas (Alves-Pereira & Branco, 2007b);
 - Muita tosse (apesar de ser não fumador), garganta constantemente irritada, rouquidão (Alves-Pereira & Branco, 2007b);
 - Espessamento do pericárdio de 1,7 mm para 4,5 mm (por imagem ecocardiográfica); Diminuição do *drive* respiratório de 46% para 16%; Aumento do potencial cognitivo (P300) de 316 m/s para 346 m/s (valor de referência é 300 m/s) a que corresponde uma quebra rápida da capacidade cognitiva (Ferreira *et al.*, 2006; Pardal, 2013).

Como já referido no presente estudo (1.7.2. Efeitos dos infrassons e do ruído de baixa frequência) e como se tornou evidente na informação retirada de alguns testemunhos de indivíduos que residem nas proximidades de turbinas eólicas, há algumas consequências na saúde que se revelam: A Doença Vibroacústica (DVA) e a Síndrome da Turbina Eólica (STE). O ruído originado pela turbina eólica é composto por dois conjuntos de frequências diferentes. O chamado ruído “*whooshing*” (audível) e os infrassons (não audível). A STE parece ser essencialmente causada pelo primeiro e segundo tipo de ruído, enquanto que a DVA é causada maioritariamente pelo último (Jones, 2011).

A DVA não é obrigatoriamente uma patologia causada pela exposição ao ruído proveniente de turbinas eólicas, mas sim pela exposição a IRBF, que podem, ou não, ter origem em turbinas eólicas. Este tipo de ruído pode ter outro tipo de fontes, para além das turbinas eólicas, como por exemplo, silos industriais, linhas de caminho de ferro, vias rápidas, aeroportos e indústrias (Alves-Pereira & Branco, 2007a; Leventhall *et al.*, 2003).

Esta patologia apresenta uma sintomatologia que vai de encontro ao que foi sendo testemunhado e referenciado na literatura. Alves-Pereira & Branco (2007a, 2007b) referem, para além dos sintomas já identificados, outros quesitos que podem ser considerados como co-patologias da DVA: Distúrbios do equilíbrio; Enxaqueca; Tumor do trato respiratório (não fumador); Doença autoimune, particularmente lúpus eritematoso sistémico e vitiligo; Epilepsia tardia que, segundo Harding *et al.*, (2008) é potencialmente agravada pelo efeito sombra provocado pelas turbinas eólicas. Outro sintoma também já muito identificado é o aparecimento de anomalias cardíacas, nomeadamente ao nível do espessamento do pericárdio e da válvula mitral (Alves-Pereira & Branco, 2007b; Alves-Pereira

& Castelo Branco, 2007; Araújo *et al.*, 2001; Marciniak *et al.*, 1999; Torres *et al.*, 2001). No contexto da DVA as lesões respiratórias apresentam características próprias. Inicialmente, esta patologia respiratória não foi tida como uma consequência da exposição ao ruído. No entanto, hoje, o IRBF é considerado um agente muito importante de doenças pneumológicas, como asma e infecções respiratórias (Branco *et al.*, 2007; Pierpont, 2009).

Por outro lado, também a STE é responsável pelo aparecimento de alguns sintomas e doenças. Nesta síndrome, o culpado mais comumente declarado são os infrassons (Alves-Pereira & Branco, 2007; Harry, 2007; Pierpont, 2009). Pierpont (2009), refere que têm sido relatados sintomas otológicos como vertigens, zumbidos e dor de ouvidos tendo por causa a exposição prolongada do sistema vestibulococlear, ao IRBF. Outros sintomas relatados incluem distúrbios do sono, dores de cabeça e problemas de concentração (Farboud *et al.*, 2013; Salt & Hullar, 2010).

Outra das consequências desta exposição ao ruído produzido pelas turbinas eólicas é, para além do *stress* e alterações à qualidade do sono, é a diminuição da qualidade de vida (Michaud *et al.*, 2016b). Shepherd *et al.* (2011) esclarece o papel dos fatores moderadores pessoais mostrando que, a qualidade de vida relacionada com saúde, diminui para pessoas que vivem a menos de 2 km de turbinas eólicas. Também Botelho *et al.* (2017), Pedersen (2009) e Pedersen & Waye (2007) referem que a proximidade a parques eólicos está associada à incomodidade, distúrbios de sono e má qualidade de vida.

Caiaffa *et al.* (2008) e Dahlgren & Whitehead (2007), nos seus modelos de interação das condicionantes de saúde, referem as condições ambientais e de habitação como influenciadores na qualidade de vida das populações. Desta forma, a proximidade de turbinas eólicas, com o ruído que é produzido e respetivas consequências, influencia negativamente a qualidade de vida, assim como a condição de saúde.

De realçar que, nos lugares onde se encontram instalados os PE, reside uma população em que (em média) 22,9% dos habitantes apresentam uma idade superior a 65 anos. Esta é uma população que, na sua maioria já não trabalha, passando grande parte do seu tempo nas suas habitações e consequentemente mais tempo expostos a estes tipos de ruído e potenciais consequências.

Estudos de incidência ambientais referem ainda outros efeitos que não associados ao ruído produzido:

“Uma outra possível emissão seria a sombra causada pelas torres eólicas (...)”

(STRIX, 2011).

Este documento refere um efeito produzido pelas turbinas eólicas e que provoca incómodo nas populações expostas: Efeito sombra (Pawlaczyk-Łuszczynska *et al.*, 2014). Para além do ruído produzido e do efeito sombra, já foram identificados na literatura mais impactes que provocam incómodo, nomeadamente o impacte visual (Pawlaczyk-Łuszczynska *et al.*, 2014), vibrações e luzes intermitentes (Michaud *et al.*, 2016a; Voicescu *et al.*, 2016).

O efeito sombra é, segundo Seryak (2014) o termo utilizado para descrever as sombras intermitentes geradas pelas pás rotativas da turbina eólica interrompendo a luz solar (Figura 64). Para áreas cuja linha direta ao sol está na área varrida pelas pás da turbina, há uma oscilação resultante da luz solar incidente. Esta sombra móvel, com uma frequência de três vezes a velocidade do rotor (correspondendo às três pás que constituem a turbina eólica), pode levar a um nível de luz pulsante, especialmente em ambientes que são naturalmente iluminados (Saidur *et al.*, 2011).

Em geral, o efeito sombra é produzido de duas maneiras: tremulação da sombra causada pela pá da turbina eólica em movimento e o reflexo dos raios de sol no corpo da turbina eólica ou o chamado "efeito disco" ou "efeito *strobe*". A cintilação de sombras causada pela turbina eólica é alterada com a intensidade da luz causada pela pá em movimento, lançando sombras no chão e objetos estacionários, como habitações. Isso causará perturbação para a população que moram ou trabalham na área ao redor da turbina (Seryak, 2014; Saidur *et al.*, 2011).

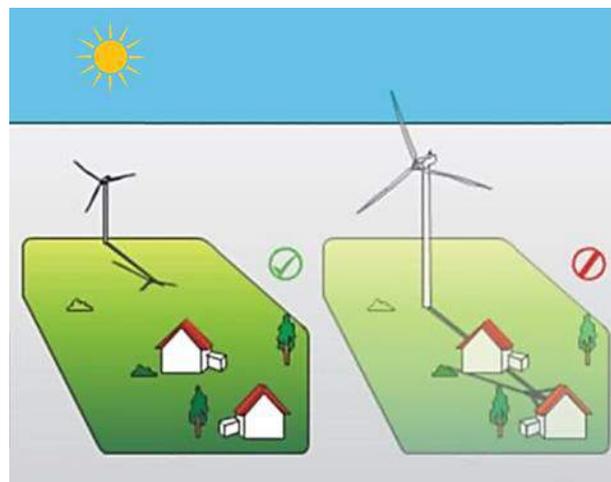


Figura 64: Efeito sombra
Fonte: adaptado de Dimitriadou (2016)

Apesar de não ser um objetivo do presente estudo, não se pode deixar de referir este risco provocado pelas turbinas eólicas. De facto, este efeito sombra pode ser altamente nocivo para a saúde das

populações, podendo ser precipitante de convulsões fotossensíveis originadas por luz solar tremeluzente (Harding *et al.*, 2008).

4.5. Limitações ao estudo

Ao longo de qualquer investigação surgem algumas limitações que, apesar de não colocarem em causa os resultados encontrados, poderiam melhorar o contributo científico que se pretende com uma investigação. Desta forma, foram identificadas algumas limitações nomeadamente ao nível do equipamento de medição de ruído utilizado, ao nível da corroboração clínica de sintomas e queixas, e ao nível da caracterização da geomorfologia envolvente.

Quanto ao equipamento utilizado, pelas suas especificações técnicas, não foi possível identificar a assinatura acústica das turbinas eólicas. Alguns estudos recentes começam já a apontar para esta questão como um factor importante na determinação do agente causador de patologias, ou seja, para começar a estabelecer uma relação possível de dose-resposta. Hoje, já se consegue distinguir o ruído das turbinas eólicas do ruído provocado por outras fontes (como por exemplo, vento, oceano, indústria ou autoestradas), através de uma metodologia de avaliação de ruído cientificamente mais relevante para o futuro estudo de efeitos na saúde (Alves-Pereira & Bakker, 2017; Alves-Pereira *et al.*, 2018; Cooper, 2014). Apesar de reconhecer a importância na identificação desta técnica, a metodologia adoptada não permitiu efetuar a identificação da assinatura acústica dos PE em estudo, já que para tal, teriam de ser efetuadas medições com uma resolução de 1/36 de oitava, em vez da resolução de 1/3 oitava. Os referidos autores, fundamentam-se nas características acústicas, nomeadamente no facto de, cada tipo de som produzir um movimento harmónico específico (Halliday *et al.*, 2015).

Para se estabelecer uma relação dose-resposta é necessária uma avaliação do estado de saúde das populações expostas, com exames clinicamente validados, ou seja, com base numa evidência. Face à dificuldade de acesso a equipamentos médicos e à logística de efetuar exames à população, esta foi uma situação que, de alguma forma, limitou o estudo na perspetiva da definição da dose-resposta. Por outro lado, tentou-se aplicar um questionário de avaliação da perceção da condição de saúde. No entanto, não só não seria possível estabelecer a relação dose-resposta, como não passaria de uma consciência do indivíduo relativamente à sua própria condição de saúde podendo conter vários vieses, nomeadamente, ser influenciada pela sua incomodidade face à existência de turbinas eólicas. Ainda houve tentativas de entrevistar a população e obter respostas ao questionário, mas a maioria dos indivíduos recusou-se a responder às questões com medo de represálias por parte das entidades gestoras dos PE. Adicionalmente, não se pode esquecer que algumas destas populações também

beneficiam marginalmente de rendas pagas pela instalação destes equipamentos, nomeadamente em baldios, onde os proventos são repartidos pelos compartes.

Do ponto de vista geográfico, deve notar-se que, estando a maior parte dos PE instalados em territórios de geomorfologia cársica, com um conjunto de estruturas típicas mais ou menos evoluídas, estudos futuros devem ser desenhados no sentido de verificar o potencial efeito dissipador que estas estruturas podem ter na absorção dos níveis de níveis de “Infrassons”, “RBF” ou “IRBF” o que poderá obrigar a um desenho de uma metodologia de medição diferente do presente estudo, com pontos de medição que têm como foco a presença, ausência e orientação destas estruturas.

CONCLUSÕES

Após a apresentação do estudo empírico e discussão dos resultados numéricos, impõe-se a reflexão sobre um conjunto de conclusões que, de um modo sumário e objetivo, definam um comportamento genérico da propagação do ruído produzido por turbinas eólicas. Desta forma, serão elencados alguns fatores a ter em consideração aquando da aprovação e instalação de turbinas eólicas, sobretudo quando esta situação se verificar próxima de populações.

Antes de mais é importante referir que o presente estudo não pretende ser uma figura anti-tecnologia, sendo que a equipa de investigação considera que formas de energia renovável, como turbinas eólicas industriais, são consideradas bem-vindas à nossa moderna sociedade tecnológica.

Este estudo desenvolveu-se tendo por base uma preocupação relacionada com a expansão de parques eólicos já existentes e a construção de novos, assim como os consequentes impactes negativos que daí advém. Entre estes impactes negativos surge o ruído de baixa frequência, incluindo os infrassons que, infelizmente, não tem tido a atenção que urge. Seria de esperar uma atenção significativa a esta temática por parte das entidades públicas com atribuições no domínio do ordenamento e planeamento do território bem como, e talvez sobretudo, no domínio da saúde pública. No entanto, verifica-se que, atualmente, ainda é uma área escassamente trabalhada nos instrumentos de planeamento em vigor (planos municipais e planos especiais de OT) não salvaguardando quer os impactes ambientais, quer os impactes negativos na saúde das populações expostas.

Apesar do *novelty* do presente estudo, os resultados permitem chegar a algumas conclusões, nomeadamente ao nível do comportamento dos Infrassons, IRBF, RBF e RA, sobretudo no que concerne à sua propagação face às variáveis analisadas.

Conclui-se que, quanto maior a velocidade do ar, menor é a perda dos níveis de pressão sonora, com maior expressão nos infrassons e IRBF. Também os ruídos audíveis (RBF e RA) tiveram uma tendência de variação positiva, ou seja, maior velocidade do ar, maiores níveis de ruído.

No que diz respeito à distância, foi possível concluir que não se verifica uma diminuição significativa dos níveis de ruído que comportam os infrassons. Esta reduzida variação negativa é mais representativa no PE de Chão Falcão, devendo-se ao facto de este PE ser de maior dimensão, no que diz respeito ao número de turbinas eólicas, e de se encontrar próximo de outros PE.

Quando analisadas estas duas variáveis em conjunto (distância ao PE e velocidade do ar), de uma forma geral, estas variáveis apresentam uma tendência para afetar a propagação dos diversos tipos de ruído em estudo. Os níveis de ruído são mais elevados quanto mais próximos do PE e quanto maior a velocidade do ar.

Relativamente à direção do vento, face à velocidade do ar, não se registaram grandes variações dos níveis de ruído, pelo que se pode concluir não ser uma variável com influência na propagação do ruído. No entanto, nos PE de Cela e Chão Falcão, para alguns tipos de ruído, registaram-se variações estatisticamente significativas face à direção do vento.

No que concerne ao ponto cardeal onde foi efetuada a medição face à direção do vento e velocidade do ar, pode-se concluir que alguns pontos apresentam, tendencialmente níveis de ruído mais elevados. Facto que se pode dever à direção do vento mais característico em Portugal Continental, ou seja, vento de Norte. Assim, os pontos de medição com níveis de ruído mais elevados são, de uma forma geral, “S” e “SW”.

Efetuiu-se, no PE de Cela, uma comparação entre a turbina eólica parada e em funcionamento. Foi claro e evidente a diferença dos níveis dos vários tipos de ruído, em particular dos infrassons, RBF e IRBF, onde se verificaram diferenças estatisticamente significativas. Por outro lado, no que concerne ao tipo de ruído RA não se verificaram diferenças significativas, uma vez que este tipo de ruído está presente em muitas outras fontes e não é o ruído predominantemente emitido por turbinas eólicas.

Conclui-se então que os níveis de ruído são influenciados pela distância ao PE, pela velocidade do ar e pela posição do ponto de medição face à localização do PE. Verificou-se existirem outras fontes potenciadoras ou atenuadoras no que diz respeito à propagação do ruído, como por exemplo, a existência de vias rápidas, indústrias, proximidade ao oceano, florestas, estruturas geomorfológicas e topografia do terreno. No entanto, e como amplamente discutido, algumas delas não contribuem como esperado, já que a influência recai mais sobre o ruído audível e não nos infrassons e IRBF.

As vias rápidas têm um contributo maior no que diz respeito ao ruído audível, assim como as indústrias. Por sua vez, a proximidade ao oceano, tal como já identificado na bibliografia parece contribuir para os níveis de ruído registados, ressalvando que, a assinatura acústica dos oceanos e das turbinas eólicas não é igual. As florestas não se manifestam como forte influenciador na atenuação dos infrassons e IRBF já que este tipo de ruído é composto por comprimentos de onda longos e, como

tal, estes obstáculos têm pouca interferência, sobretudo quando aliados às características do solo e respetiva impedância do som. No que concerne à topografia do terreno e estruturas cársticas, estas parecem influenciar a propagação e os níveis de ruído, quer pela ressonância produzida nas grutas quer pela diminuição do ruído face às montanhas e vales existentes no percurso entre o PE e o ponto de medição.

Tornou-se evidente que os tipos de ruído a definir quando se pretende analisar o ruído produzido por PE são os infrassons e o IRBF. A semelhança de valores, entre estes tipos de ruído, deve-se ao facto de os níveis de pressão sonora do RBF serem manifestamente inferior aos registados dos Infrassons (diferença superior a 10 dB). Sendo o IRBF uma soma, dos Infrassons e do RBF, pode-se concluir que os valores de IRBF calculados são os mesmos dos registados para os Infrassons.

Não é menos importante, definir a unidade em que o ruído vai ser medido: dB ou dB(A). De facto, pode-se verificar que a diferença entre medir ruído em dB ou em dB(A) é bastante expressiva. No que diz respeito a estes tipos de ruído (Infrassons e IRBF), o mesmo deve ser medido em dB, uma vez que a ponderação “A” pretende ser um filtro que protege os indivíduos do ruído audível. Como tal, no sentido de melhor proteger a população contra o agente nocivo, o ruído deve ser medido em dB.

Face aos resultados encontrados e respetiva análise, torna-se imperativo a adoção de medidas no sentido de minimizar o impacte que estes agentes de doença (em especial os infrassons e RBF) podem ter nas populações que residem mais próximas dos PE. Considerando a densidade populacional e estruturas que podem influenciar os níveis de ruído percecionados dentro das habitações, torna-se importante a definição de distâncias de segurança entre o PE a instalar e a população. Outros países já apresentam algumas diretrizes no sentido de estabelecer regras para a instalação de PE. Não está, no entanto em causa, se as mesmas são adequadas ou suficientes. O importante é definir uma política que imponha regras, quer no que diz respeito à distância (delimitando a zona do território mais propícia à produção de energia, deslocando as populações para zonas seguras, tal como se faz, por exemplo, aquando da instalação de novos aeroportos), mas também às exigências de estudos de impacte ambiental passando a considerar os infrassons e o ruído de baixa frequência ao invés de apenas o ruído ambiental.

Apesar de já estarem largamente identificados alguns sintomas relacionados com a exposição a infrassons e RBF, nomeadamente a STE e a DVA, é importante e necessário prosseguir com a investigação no sentido de melhor entender a relação dose-resposta, evidenciando as consequências resultantes da instalação de PE junto a populações. Mais uma vez se conclui que a legislação existente,

quer a nível nacional, quer a nível internacional, é parca no que se refere à definição de medidas que proteja a saúde das populações residentes junto a PE.

BIBLIOGRAFIA

- Ainslie, M., de Jong, C., Dol, H., Blacquièrre, G., & Marasini, C. (2009). *Assessment of natural and anthropogenic sound sources and acoustic propagation in the North Sea*. TNO Defence, Security and Safety. The Hague.
- Alarcão, D., & Coelho, J. (2008). Modelação de ruído de tráfego ferroviário. In *Congresso Ibero-Americano - Acústica 2008*. Coimbra (Portugal), 20 - 22 Outubro. 1–11.
- Almeida, J., Alves-Pereira, M., & Nossa, P. (2016). The infrasound and low frequency noise and its impact on health. *Atención Primaria*, 48(Espec Cong 1), 52.
- Almeida, J., Simões, B., Simões, H., Figueiredo, J., & Ferreira, A. (2016). Ruído ambiental versus infrassom e ruído baixa frequência - Caso de estudo de população próxima de turbinas eólicas. *Millenium*, 2(1), 397–405.
- Alves-Pereira, M. (1999). Noise-induced extra-aural pathology: A review and commentary. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 7(March Suppl.), A7–21.
- Alves-Pereira, M., & Bakker, H. (2017). Occupational and residential exposures to infrasound and low frequency noise in aerospace professionals: Flawed assumptions, inappropriate quantification of acoustic environments, and the inability to determine dose-response values. *The Scientific Journal of Aerospace Engineering and Mechanics*, 1(2), 83–98.
- Alves-Pereira, M., Bakker, H., Rapley, B., & Summers, R. (2018). Infrasound and low-frequency noise: Does it affect human health? *Engineers Journal*. Retrieved: 4/7/2018, from: <http://www.engineersjournal.ie/2018/01/23/ilfn-infrasound-low-frequency-noise-turbine-health/>
- Alves-Pereira, M., & Branco, N. C. (2007a). Sobre o impacto de infrasons e ruído de baixa frequência na saúde pública - Dois casos de exposição residencial. *Revista Lusófona de Ciências e Tecnologias da Saúde*, 2(4), 186–200.
- Alves-Pereira, M., & Branco, N. C. (2007b). Vibroacoustic disease: Biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93(1–3), 256–279.
- Alves-Pereira, M., & Branco, N. C. (2009). Contribuição para o conceito dose-resposta em exposições a infrasons e ruído de baixa frequência. *Revista Lusófona de Ciências e Tecnologias da Saúde*, 6(1), 31–44.
- Alves-Pereira, M., & Branco, N. C. (2007). In-home wind turbine noise is conducive to vibroacoustic disease. In *2nd International Meeting on Wind Turbine Noise*. Lyon, 20-21 September. 32–42.
- Alves, A. (2003). *Qualidade de vida e processos sócio-ambientais em Indaiatuba (SP): Estudo de caso o Bairro Jardim Morada do Sol*. Tese de Mestrado em Geografia (Organização do Espaço). Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. 130 pp.
- Ambrose, S., & Rand, R. (2011). *The Bruce McPherson ILFN study report - Adverse health effects produced by large industrial wind turbines confirmed*. Institute of Noise Control Engineering. Reston.

Antunes, M. (2009). *Exposição ao ruído de baixas frequências em meio ocupacional vs repercussões na qualidade do sono*. Tese de Mestrado em Ciências do Sono II, Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa. 80 pp.

APA. (2009). *Nota técnica para avaliação do factor ambiental ruído em AIA de pedreiras e minas a céu aberto*. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa.

APA. (2011). *Parque eólico de Maúncia - Estudo prévio*. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa.

APA, & ARHC. (2012). *Plano de gestão das bacias hidrográficas do Vouga, Mondego e Lis integradas na Região Hidrográfica 4* Agência Portuguesa do Ambiente e Administração da Região Hidrográfica do Centro. Lisboa.

APA, & ARHT. (2012a). *Plano das bacias hidrográficas das Ribeiras do Oeste*. Agência Portuguesa do Ambiente e Administração da Região Hidrográfica do Tejo. Lisboa.

APA, & ARHT. (2012b). *Plano de gestão da região hidrográfica do Tejo*. Agência Portuguesa do Ambiente e Administração da Região Hidrográfica do Tejo. Lisboa.

Araújo, A., Pais, F., Tuna, J., Alves-Pereira, M., & Branco, N. C. (2001). Echocardiography in noise-exposed flight crew. In *The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*. The Hague, 27-30 August. 1–11.

Babisch, W. (2002). The noise/stress concept, risk assessment and research needs. *Noise & Health*, 4(16), 1–11.

Babisch, W., Houthuijs, D., Pershagen, G., Cadum, E., Katsouyanni, K., Velonakis, M., Dudley, M.-L., Marohn H.-D., Swart, W., Breugelmans, O., Bluhm, G., Selander, J., Vigna-Taglianti, F., Pisani, S., Haralabidis, A., Dimakopoulou, K., Zachos, I., Järup, L., HYENA Consortium (2009). Annoyance due to aircraft noise has increased over the years - results of the HYENA study. *Environment International*, 35(8), 1169–1176.

Belo, H. (2013). *O ruído e o ordenamento do território - caso de estudo: O concelho de Cascais*. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente (Ordenamento do Território e Impactes Ambientais), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. 117 pp.

Bengtsson, J., Wayne, K., & Kjellberg, A. (2004). Evaluations of effects due to low-frequency noise in a low demanding work situation. *Journal of Sound and Vibration*, 278(1–2), 83–99.

Bento, E. (2011). *A incomodidade do ruído: Relações com o nível de exposição sonoro e identidade de lugar*. Tese de Mestrado em Psicologia (Cognição Social Aplicada), Faculdade de Psicologia da Universidade de Lisboa. 86 pp.

Berglund, B., Hassmén, P., & Job, R. (1996). Sources and effects of low-frequency noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 99(5), 2985–3002.

Berglund, B., & Lindvall, T. (1995). *Community noise*. Archives of the Center for Sensory Research. Center for Sensory Research. Stockholm.

Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D. (1999). *Guidelines for community noise*. World Health Organization. Geneva.

Bly, S., Goddard, M., & McLean, J. (1993). A review of the effects of noise on the immune system. In Vallet, M. (eds). *Proceedings 6th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Vol. 2. Paris. 509–512.

Boer, L., & Schroten, A. (2007). *Traffic noise reduction in Europe - Health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise*. CE Delft publications. Delf.

-
- Boffey, D. (2018). Dutch fishermen to sail fleet into Amsterdam in wind turbine protest. *The Guardian*. Retrieved: 13/6/2018, from: <https://www.theguardian.com/environment/2018/jun/01/dutch-fishermen-to-sail-fleet-into-amsterdam-in-wind-turbine-protest>
- Bolin, K., Bluhm, G., Eriksson, G., & Nilsson, M. (2011). Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects. *Environmental Research Letters*, 6(035103), 1–6.
- Botelho, A., Arezes, P., & Pinto, M. (2017). Effect of wind farm noise on local residents' decision to adopt mitigation measures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(753), 1–20.
- Boudin, J. (1843). Essai de géographie médicale, ou étude des lois que président à la distribution géographique des maladies ainsi qu'à leurs rapports topographiques entre les lois de coincidence et d'antagonisme. In A. Ballesteros (Ed.), *Teoría y práctica de la geografía*. Editorial Alhambra. Madrid.
- Bousquat, A., & Cohn, A. (2004). A dimensão espacial nos estudos sobre saúde: uma trajetória histórica. *História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, 11(3), 549–568.
- Braga, J., & Morgado, E. (2007). *Guia do ambiente - Empresas, competitividade e desenvolvimento sustentável*. Monitor. Lisboa.
- Branco, N. C. (1999a). A unique case of vibroacoustic disease: A tribute to an extraordinary patient. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 70(Suppl 3), A27–31.
- Branco, N. C. (1999b). The clinical stages of vibroacoustic disease. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 70(3), 32–39.
- Branco, N. C., & Alves-Pereira, M. (2006). Doença vibroacústica. *Revista Segurança*, 161(Suplemento Especial).
- Branco, N. C., Alves-Pereira, M., Pimenta, A., & Ferreira, J. (2015). Low frequency noise-induced pathology: Contributions provided by the Portuguese wind turbine case. In *EuroNoise* (pp. 2659–2663). Maastricht (Netherlands), 31 May - 1 June. 2659-2663.
- Branco, N. C., Ferreira, J., & Alves-Pereira, M. (2007). Respiratory pathology in vibroacoustic disease: 25 years of research. *Revista Portuguesa de Pneumologia*, XIII(1), 129–135.
- Branco, N. C., Gomes-Ferreira, P., Monteiro, E., Silva, A., Ferreira, J., & Alves-Pereira, M. (2003). Respiratory epithelia in Wistar rats after 48 hours of continuous exposure to low frequency noise. *Revista Portuguesa de Pneumologia*, 9(6), 473–479.
- Branco, N. C., Monteiro, E., Silva, A., Ferreira, J., & Alves-Pereira, M. (2003). Respiratory epithelia in Wistar rats born in low frequency noise plus varying amounts of additional exposure. *Revista Portuguesa de Pneumologia*, 9(6), 481–492.
- Branco, N. C., & Rodriguez, E. (1999). The vibroacoustic disease - An emerging pathology. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 70(3 pt 2), A1-6.
- Breilh, J. (1999). La iniquidad y la perspectiva de los sin poder: Construcción de lo social y del género. In M. Vigoya & G. Ariza (Eds.), *Cuerpo, diferencias y desigualdades*. Centro de Estudios Sociales. Bogotá.
- Brink, M. (2011). Parameters of well-being and subjective health and their relationship with residential traffic noise exposure - A representative evaluation in Switzerland. *Environment International*, 37(4), 723–733.
- Burley, T. (1961). Land use or land utilization? *Professional Geographer*, 13(6), 18–20.
- Buss, P. (2000). Promoção da saúde e qualidade de vida. *Ciência & Saúde Coletiva*, 5(1), 163–177.
- Buss, P., & Filho, A. (2007). A saúde e seus determinantes sociais. *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, 17(1), 77–93.
-

-
- Caiaffa, W., Ferreira, F., Ferreira, A., Oliveira, C., Camargos, V., & Proietti, F. (2008). Saúde urbana: “A cidade é uma estranha senhora, que hoje sorri e amanhã te devora.” *Ciência & Saúde Coletiva*, 13, 1785–1796.
- Campanella, A. (2001). What you can't hear won't hurt you. *The Kokomo Perspective*, 17 October, 1–3.
- Caniato, M., Bettarello, F., Patrizio, F., Marsich, L., Ferluga, A., & Schmid, C. (2016). Low frequency noise and disturbance assessment methods: A brief literature overview and a new proposal. In *22nd International Congress on Acoustic*, 28(032001). Buenos Aires, 5-9 September. 1-9.
- Cao, K., Huang, B., Wang, S., & Lin, H. (2012). Sustainable land use optimization using boundary-based fast genetic algorithm. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(3), 257–269.
- Carvalho, A., & Rocha, C. (2008). *Manual técnico para elaboração de planos municipais de redução de ruído*. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa.
- Carvalho, J., Midões, C., Machado, S., Sampaio, J., Costa, A., & Lisboa, V. (2011). *Maciço Calcário Estremenho - Caracterização da situação de referência*. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Amadora.
- Carvalho, T., Almeida, J., Simões, H., Alves-Pereira, M., Figueiredo, J., & Ferreira, A. (2012). Production of low frequency noise in highways and railways. In *International Symposium on Occupational Safety and Hygiene*. Guimarães, 9-10 February . 135–141.
- Carvalho, T., Almeida, J., Simões, H., Alves-Pereira, M., Figueiredo, J., & Ferreira, A. (2016). Production of infrasound and low frequency noise in roadways and railways. *Atención Primaria*, 48(Espec Cong 1), 52.
- Cassou, B. (2001). Medir a qualidade de vida numa idade avançada. *Servir*, 49(5), 237–238.
- Cavalum. (2017). Parque eólico de Cela. Acedido a: 4/8/2017, em: http://www.cavalum.com/wp-content/uploads/2017/04/Orçamento-Produção-2017_Cela.pdf
- CDSS-OMS. (2010). *Redução das desigualdades no período de uma geração - Igualdade na saúde através da acção sobre os seus determinantes sociais. Relatório Final da Comissão para os Determinantes Sociais da Saúde*. Organização Mundial da Saúde. Portugal.
- CE. (1983). *European regional/spatial planning charter*. Council of Europe. Strasbourg.
- CE. (2003). *Síntese do documento para adopção de uma posição sobre estratégias e prioridades europeias com vista à redução do ruído ferroviário*. Comissão Europeia. Bruxelas.
- CE. (2007). *Guia indicativo de boas práticas para a aplicação da Directiva 2003/10/CE “Ruído no trabalho”*. Comissão Europeia. Luxemburgo.
- Chadwick, E. (1842). *Report from the poor law commissioners on an inquiry into the sanitary conditions of the labouring population of Great Britain*. W. Clowes and sons for H. M. Stationery off. London.
- Clark, W. (1991). Noise exposure from leisure activities: A review. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 90(1), 175.
- Coelho, J., & Ferreira, A. (2009). *Critérios para a análise de relações exposição-impacte do ruído de infra-estruturas de transporte*. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Colreavy, M., Stanley, B., & Ferris, M. (2014). *Wind turbine regulation bill 2014* (Vol. 19). The Stationery Office. Dublin.
- Cooper, S. (2014). *The results of an acoustic testing program - Cape Bridgewater Wind Farm*. The Acoustic Group Report. Melbourne.
- Costa, S., Cruz, O., & Oliveira, J. (1994). *Otorrinolaringologia: princípios e prática*. Artes Médicas. Porto Alegre.

-
- Crispim, J. (2008). *Património geológico da Serra de Montejunto*. Sociedade Portuguesa de Espeleologia. Lisboa.
- Cunha, L. (1993). A paisagem cársica das Serras de Condeixa - Sicó - Alvaiázere: Alguns argumentos a favor da sua proteção. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Espeleologia*, 4, 3–12.
- Dahlgren, G., & Whitehead, M. (2007). *The concepts and principles of equity in health: Levelling up Part 2*. World Health Organization. Copenhagen.
- SE DD. (2007). *Scottish Planning Policy 6 - Renewable Energy*. Scottish Executive, Development Department. Edimburgh.
- de Hollander, A., & Staatsen, B. (2003). Health, environment and quality of life: An epidemiological perspective on urban development. *Landscape and Urban Planning*, 65(1–2), 53–62.
- Debertolis, P., Gullà, D., & Savolainen, H. (2017). Archaeoacoustic analysis in enclosure D at Göbekli Tepe in South Anatolia, Turkey. In *The 5th Human and Social Sciences at the Common Conference*. Zilina, 25-29 September. 107-114.
- Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro. *Diário da República*, n.º 12 - 1.ª Série-A. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.
- Dimitriadou, L. (2016). *What are the reasons behind the society's objections to wind farm development? Are they justified and what do we need to do in order to change this attitude?* Master thesis in Energy Systems, School of Science & Technology of International Hellenic University. 78 pp.
- DiracDelta. (2017a). A Weighting. Retrieved 3/7/2018, from: <http://www.diracdelta.co.uk/science/source/a/w/awweighting/source.html#.Wz1FjNVKjIW>
- DiracDelta. (2017b). G Weighting. Retrieved 3/7/2018, from: [http://www.diracdelta.co.uk/science/source/g/w/gweighted overall level/source.html](http://www.diracdelta.co.uk/science/source/g/w/gweighted%20overall%20level/source.html)
- e2p. (2018). *Parques eólicos em Portugal - Dezembro de 2017 (versão b)*. Energias Endógenas de Portugal. Acedido a: 15/5/2018, em: <http://e2p.inegi.up.pt>
- EC. (1996). *Green paper on future noise policy* (COM(96) 540 final). European Commission. Brussels.
- EEA. (2010). *Good practice guide on noise exposure and potential health effects*. EEA Technical report (Vol. 11). European Environment Agency. Copenhagen.
- EEA. (2014). *Noise in Europe 2014*. European Environment Agency. Copenhagen.
- EFTE. (2008). 50,000 heart deaths a year caused by traffic noise. European Federation for Transport & Environment. Retrieved: 12/11/2015, from: <http://www.transportenvironment.org/press/50000-heart-deaths-year-caused-traffic-noise>
- Eneólica. (2017). Estudos e projectos - Parque Eólico de Marvila I. Acedido a: 4/8/2017, em: <http://www.eneolica.pt/quem-somos-estudos-e-projetos>
- EURO-HEALTHY. (2017). *Atlas of population health in European Union regions*. (P. Santana, Ed.). Imprensa da Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Farboud, A., Crunkhorn, R., & Trindade, A. (2013). Wind turbine syndrome: Fact or fiction? *The Journal of Laryngology & Otology*, 127(3), 222–226.
- Feder, K., Michaud, D., Keith, S., Voicescu, S., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., Bower, T., Lavigne, E., Whelanf, C., van den Berg, F. (2015). An assessment of quality of life using the WHOQOL-BREF among participants living in the vicinity of wind turbines. *Environmental Research*, 142, 227–238.
- Ferreira, J., Mendes, C., Alves-Pereira, M., & Branco, N. C. (2006). Respiratory squamous cell carcinomas in vibroacoustic disease. *Revista Portuguesa de Pneumologia*, 12(5), 539–544.

-
- Ferreira, J., Sousa, J., Foreid, P., Antunes, M., Cardoso, S., Alves-Pereira, M., & Branco, N. C. (2006). Abnormal respiratory drive in vibroacoustic disease. *Revista Portuguesa de Pneumologia*, 12(4), 369–374.
- Ferreira, M., Carvalho, M., & Barretto, D. (2011). Utilização da planilha Isotrafe 1.0 para análise de edificações marginais a uma via de tráfego. In *European Symposium on Environmental Acoustics and on Buildings Acoustically Sustainable*. Cáceres, 26-28 Outubro. 1–9.
- FIEF. (2011). Efeito do ruído na saúde do ser humano. Federação Internacional de Educação Física. Acedido a: 10/11/2014, em: <http://www.fiepbrasil.org/colunas/ergonomia-e-ginastica-laboral/652/efeito-ruído-na-saude-ser-humano/>
- Filho, O., & Rigotti, J. (2002). Os limiares demográficos na caracterização das cidades médias. In *XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais*. Minas Gerais, 4-8 Novembro. 1–22.
- Filho, W., & Azevedo, A. (2013). Impactos ambientais em usinas eólicas. In *AGRENER GD 2013*. Itajubá, 15-17 Maio. 1–17.
- Freitas, A. (2013). *Fontes de ruído urbano - Caracterização e modelação de lombas*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil (Construções), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 85 pp.
- Freitas, L., & Cordeiro, T. (2013). *Segurança e saúde do trabalho - Guia para micro, pequenas e médias empresas*. Autoridade para as Condições do Trabalho. Lisboa.
- Ganhão, A. (2012). O ruído provocado pelo Homem também afeta as plantas. Acedido a: 5/12/2014 , em: <http://naturlink.sapo.pt/Noticias/Noticias/content/O-ruído-provocado-pelo-homem-tambem-afeta-as-plantas?bl=1>
- Garcés, M., Fee, D., Steffke, A., McCormack, D., Servranckx, R., Bass, H., Hetzer, C., Hedlin, M., Matoza, R., Yepes, H., Ramon, P. (2008). Capturing the acoustic fingerprint of stratospheric ash injection. *Eos*, 89(40), 377–378.
- Gillespies LLP. (2014). *Wind turbines & pylons - Guidance on the application of separation distances from residential properties*. Gillespies LLP. London.
- Goelzer, B., Hansen, C., & Sehrndt, G. (2001). *Occupational exposure to noise: Evaluation, prevention and control. Federal Institute for Occupational Safety and Health (Germany) - Special report*. World Health Organization. Dortmund.
- Gonçalves, A. (2001). Migrações internas: Evoluções e desafios. *Estudos Avançados*, 15(43), 173–184.
- Gould, P. (1993). *The slow plague: A geography of the AIDS pandemic*. Blackwell Publishers. Oxford; Cambridge.
- Graham, H. (2009). Health inequalities, social determinants and public health policy. *Policy & Politics*, 37(4), 463–479.
- Gravier, J. (1964). *L'aménagement du territoire et l'avenir des régions françaises*. Flammarion. Paris.
- Gronberg, A. (2015). *Sound propagation through Australian forest land with special regards to noise generated by wind turbines*. Master thesis in Technology and Engineering. Faculty of Engineering LTH of Lund University. 199 pp.
- Grossman, L. (1977). Man-Environment relationships in anthropology and geography. *Annals of the Association of American Geographers*, 67(1), 126–144.
- Guarinoni, M., Ganzleben, C., Murphy, E., & Jurkiewicz, K. (2012). *Towards a comprehensive noise strategy*. Brussels, Belgium.
- Guedes, M., & Leite, M. (2011). *Directrizes para elaboração de mapas de ruído*. 3ª edição, Agência Portuguesa do Ambiente. Amadora.
-

-
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2015). *Fundamentals of physics*. 10th edition, Wiley. Hoboken.
- Hancock, T. (1986). Lalonde and beyond: Looking back at “A new perspective on the health of Canadians.” *Health Promotion International*, 1(1), 93–100.
- Hänninen, O., & Knol, A. (2011). *European perspectives on environmental burden of disease - Estimates for nine stressors in six European countries*. National Institute for Health and Welfare. Helsinki.
- Harden, C. (2012). Framing and reframing questions of human-environment interactions. *Annals of the Association of American Geographers*, 102(4), 737–747.
- Harding, G., Harding, P., & Wilkins, A. (2008). Wind turbines, flicker, and photosensitive epilepsy: Characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them. *Epilepsia*, 49(6), 1095–1098.
- Harry, A. (2007). *Wind turbines, noise and health*. Retrieved: 31/5/18, from: <https://www.wind-watch.org/documents/wind-turbines-noise-and-health/>
- Herculano, S. (2000). A qualidade de vida e seus indicadores. In S. Herculano, M. Porto, & C. Freitas (Eds.), *Qualidade de vida e riscos ambientais*. Editora da Universidade Federal Fluminense. Niterói.
- Hippocrates (480 a.C.) On airs, waters, and places. Tradução: Adams, F. (2006). On airs, waters, and places (Classics revisited - 400 BCE). *HYGEIA, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, 2(3), 1–12.
- Hubbard, H., & Shepherd, K. (1990). *Wind turbine acoustics*. NASA Technical Paper 3057 DOE/NASA/20320-77. National Aeronautics and Space Administration. Hampton.
- IA. (2002). *Técnicas de prevenção e controlo de ruído*. Instituto do Ambiente. Lisboa.
- IA. (2004). *O ruído e a cidade*. Instituto do Ambiente. Lisboa.
- Iberwind. (2017). Chão Falcão. Acedido a: 3/7/2017, em: http://www.iberwind.pt/media/uploads/parque/ficha/AF_Iberwind_ChaoFalcao_iBx8pNQ.pdf
- INE (2012a). Censos 2011 - Alojamentos familiares de residência habitual e cujos residentes são apenas pessoas com 65 ou mais anos de idade, segundo o número de residentes. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa.
- INE (2012b). Censos 2011 - Edifícios, segundo a época de construção, por estado de conservação. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa.
- INE (2012c). Censos 2011 - População residente, população presente, famílias, núcleos familiares, alojamentos e edifícios. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa.
- IPMA. (2017). Previsão localidade horária. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Acedido a: 3/8/2017, em: <https://www.ipma.pt/pt/otempo/prev.localidade.hora/#Leiria&Porto de Mós>
- ISO 1996-2 (2017). Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of sound pressure levels. International Organization for Standardization. Geneva.
- Jacobi, P. (2003). Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. *Caderno de Pesquisa*, 118(Março), 189–205.
- Jones, T. (2011). Wind turbine syndrome and vibroacoustic disease. Retrieved: 17/2/2016, from: <http://windwisema.org/about/noise/wind-turbine-syndrome-and-vibroacoustic-disease/>
- Kæmpevindmøller. (2017). Borgere i Norddjurs – Viden om kæmpevindmøller. Retrieved: 15/12/2017, from: <http://kaempevindmoeller.dk/2017/01/european-setbacks-minimum-distance-between-wind-turbines-and-habitations/#>
- Kihlman, T. (1993). Sweden’s action plan against noise. *Noise News International*, 1(4), 194–208.

-
- Kotzen, B., & English, C. (2009). *Environmental noise barriers: A guide to their acoustic and visual design*. 2nd edition, Taylor & Francis. New York.
- Kuhnen, A., Felippe, M., Luft, C., & Faria, J. (2010). A importância da organização dos ambientes para a saúde humana. *Psicologia & Sociedade*, 22(3), 538–547.
- Lacerda, A., Gonçalves, C., Zocoli, A., Diaz, C., & Paula, K. (2011). Hábitos auditivos e comportamento de adolescentes diante das atividades de lazer ruidosas. *Revista CEFAC*, 13(2), 322–329.
- Lalonde, M. (1974). *A new perspective on the health of Canadians*. Minister of Supply and Services. Ottawa.
- Lazzarini, V. (1998). *Elementos de acústica*. National University of Ireland. Maynooth.
- Lei Constitucional n.º 1/2005, de 12 de Agosto. *Diário da República n.º 155 - 1.ª Série-A*. Assembleia da República. Lisboa.
- Lei n.º 11/87, de 7 de Abril. *Diário da República n.º 81/87 - 1.ª Série-A*. Assembleia da República. Lisboa.
- Lei n.º 31/2014, de 30 de Maio. *Diário da República n.º 104 - 1.ª Série-A*. Assembleia da República. Lisboa.
- Leitão, N. (2010). Espécies de peixe são afetadas por poluição sonora. Acedido a: 5/12/2014, em: <http://naturlink.sapo.pt/Noticias/Noticias/content/20125?bl=1>
- Leventhall, G., Pelmear, P., & Benton, S. (2003). *A review of published research on low frequency noise and its effects*. Department for Environment, Food and Rural Affairs. London.
- Liu, W. (2017). A review on wind turbine noise mechanism and de-noising techniques. *Renewable Energy*, 108, 311–320.
- Marciniak, W., Rodriguez, E., Olszowska, K., Atkov, O., Botvin, I., Araujo, A., Pais, F., Ribeiro, C., Bordalo, A., Loureiro, J., Sá, E., Ferreira, D., Branco, M. S., Branco, N. C. (1999). Echocardiographic evaluation in 485 aeronautical workers exposed to different noise environments. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 70(3 Pt 2), A46-53.
- Marmot, M. (2005). Social determinants of health inequalities. *The Lancet*, 365(March 19), 1099–1104.
- Matos, M., Baptista, J., & Diogo, M. (2011). Relação entre o ruído e as variáveis do processo produtivo na indústria extractiva a céu aberto. In Gomes, J., António, C., Afonso, C. & Matos, A. (eds). *Proceedings 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia*. Maputo, 29 Agosto - 2 Setembro.
- Matoza, R., Hedlin, M., & Garcés, M. (2007). An infrasound array study of Mount St. Helens. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 160(3–4), 249–262.
- Mendes, B., & Silva, L. (2017). Impacto do ruído na saúde e qualidade de vida das pessoas - O caso da cidade de Guimarães (Portugal). In *Construção saudável - Saúde no ambiente construído*. Guimarães, 4 Outubro. 1–14.
- Michaud, D., Feder, K., Keith, S., Voicescu, S., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., Murray, B., Weiss, S., Villeneuve, P., van den Berg, F., Bower, T. (2016a). Effects of wind turbine noise on self-reported and objective measures of sleep. *Sleep*, 39(01), 97–109.
- Michaud, D., Keith, S., Feder, K., Voicescu, S., Marro, L., Than, J., Guay, M., Bower, T., Denning, A., Lavigne, E., Whelan, C., Janssen, S., Leroux, T., van den Berg, F. (2016b). Personal and situational variables associated with wind turbine noise annoyance. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(3), 1455–1466.
- Millet, C., Robinet, J., & Roblin, C. (2007). On using computational aeroacoustics for long-range propagation of infrasounds in realistic atmospheres. *Geophysical Research Letters*, 34(14), 1–5.
-

-
- Minayo, M., Hartz, Z., & Buss, P. (2000). Qualidade de vida e saúde: um debate necessário. *Ciência & Saúde Coletiva*, 5(1), 7–18.
- Møller, H., & Pedersen, C. (2011). Low-frequency noise from large wind turbines. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(6), 3727–3744.
- Murphy, A. (2006). Enhancing geography's role in public debate. *Annals of the Association of American Geographers*, 96(1), 1–13.
- Murphy, E., & King, E. (2014). *Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy*. Elsevier. USA.
- Neto, E., & Bógus, C. (2003). *Saúde nos grandes aglomerados urbanos: uma visão integrada*. Organização Mundial da Saúde; Organização Pan-Americana de Saúde. Brasília.
- Nettleton, S. (2006). *The sociology of health and illness*. 2nd edition, Polity Press. Cambridge.
- Nissenbaum, M., Aramini, J., & Hanning, C. (2012). Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. *Noise & Health*, 14(60), 237–243.
- Nogueira, H. (2006). *Os lugares e a saúde - Uma abordagem da geografia às variações em saúde na área metropolitana de Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. 485 pp.
- Nogueira, H. (2008). *Os lugares e a saúde*. Imprensa da Universidade de Coimbra. Coimbra
- Nogueira, H., & Remoaldo, P. (2010). *Olhares geográficos sobre a saúde*. Edições Colibri. Lisboa
- NORDEX. (2009). *N80/2500 N90/2300*. Retrieved: 2/7/2017, from: http://www.nordex-online.com/fileadmin/MEDIA/Produktinfos/EN/Nordex_N90_2300_GB.pdf
- Nossa, P. (2001). *Geografia da saúde: O caso da SIDA*. Celta Editora. Oeiras
- Nossa, P. (2012a). Determinantes sociais da saúde: A educação e o papel da mediação em saúde. In A. Matos & M. Schouten (Eds.), *Saúde: Sistemas, mediações e comportamentos*. Ed. Húmus. CICS/Universidade do Minho. Vila Nova de Famalicão.
- Nossa, P. (2012b). *Saúde e espaço: Abordagem teórico-metodológica em geografia da saúde*. Afrontamento. Porto
- Oliveira, F. (2002). *Sistemas e instrumentos de execução dos planos*. Edições Almedina, SA. Coimbra.
- Omran, A. (1971). The epidemiologic transition: a theory of the epidemiology of population change. *The Milbank Memorial Fund Quarterly*, 49(4), 509–538.
- Orea, D., & Vilarino, A. (2013). *Ordenación territorial*. 3^a Edición, Mundi-Presa. Madrid.
- Papudo, R. (2007). *Indicadores de ordenamento do território: uma proposta metodológica*. Tese de Mestrado em Geografia, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. 317 pp.
- Pardal, T. (2013). *Ruído ocupacional - Baixa frequência: Doença vibroacústica vs. Síndrome da turbina eólica*. Tese de Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho, Escola Superior de Ciências Empresariais e Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal. 46 pp.
- Parrot, J., Petiot, J., Lobreau, J., & Smolik, H. (1992). Cardio-vascular effects of impulse noise, road traffic noise, and intermittent pink noise at Leq=75 dB, as a function of sex, age and level of anxiety - A comparative study. I - Heart rate data. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 63(7), 485–493.
- Paul, B. (1985). Approaches to medical geography: An historical perspective. *Social Science & Medicine*, 20(4), 399–404.

-
- Pawlaczyk-Łuszczynska, M., Dudarewicz, A., Zaborowski, K., Zamojska-Daniszewska, M., & Waszkowska, M. (2014). Evaluation of annoyance from the wind turbine noise: A pilot study. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 27(3), 364–388.
- Pedersen, E. (2009). Effects of wind turbine noise on humans. In *3rd International Meeting on Wind Turbine Noise*. Aalborg, 17-19 June. 1–11.
- Pedersen, E., & Halmstad, H. (2003). *Noise annoyance from wind turbines - a review*. Swedish Environmental Protection Agency. Stockholm.
- Pedersen, E., & Persson Waye, K. (2007). Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occupational and Environmental Medicine*, 64, 480–486.
- Pedrosa, E. (2011). *Uma contribuição da geografia da saúde para o estudo da dengue no município de Anchieta*. Tese de Mestrado em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo. 79 pp.
- Pelicioni, M. (1998). Educação ambiental, qualide de vida e sustentabilidade. *Saúde e Sociedade*, 7(2), 19–31.
- PEPG - UK DE. (2009). *Best practice guidance to planning policy statement 18 'Renewable Energy'*. Planning an Environmental Policy Group, UK Department of Environment. Belfast.
- Pierpont, N. (2009). *Wind turbine syndrome: A report on a natural experiment*. K-Selected Books. Santa Fé.
- PROCESL. (2005). *Parque eólico de Chão Falcão II - Estudo de Impacte Ambiental (Resumo Não Técnico)*. PEOCESL - Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda. Amadora.
- Ramos, C., Lopes, J., & Silva, M. (2010). *Levantamento de informação sobre os efeitos na saúde humana associados à exposição a ruído ambiente*. Agência Portuguesa do Ambiente, Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa. Lisboa.
- Rasmussen, G. (1983). Human body vibration exposure and its measurement. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 73(6).
- Reginatto, R. (2009). *Um ensaio teórico sobre a geografia da saúde e a questão do ar como agentes de influência na soberania nacional*. Tese de Mestrado (Organização do Espaço), Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (Brasil). 112 pp.
- Remoaldo, P. (2005). A geografia da saúde portuguesa - Sonhos e realidades. *Territoris*, 5, 33–48.
- Ribas, Â., Schmid, A., & Ronconi, E. (2010). A percepção do ruído urbano e seus efeitos sobre a qualidade de vida de moradores dos setores especiais estruturais de Curitiba. *Geografias*, 06(1), 70–86.
- Roberts, M., & Roberts, J. (2009). *Evaluation of the scientific literature on the health effects associated with wind turbines and low frequency sound*. Exponent, Inc. Wood Dale.
- Rogers, A., & Manwell, J. (2004). *Wind turbine noise issues*. University of Massachusetts at Amherst. Amherst.
- Rogers, A., Manwell, J., & Wright, S. (2006). *Wind turbine acoustic noise*. University of Massachusetts at Amherst. Amherst.
- Rubin, G., Burns, M., & Wessely, S. (2014). Possible psychological mechanisms for “wind turbine syndrome”. On the windmills of your mind. *Noise & Health*, 16(69), 116–122.
- Ruiter, E. (2009). A tool for environmental noise control in urban planning: The population annoyance index. In *NAG/DAGA International Conference on Acoustics*. Rotterdam, 23-26 March. 1404–1407
- Rylander, R. (2004). Physiological aspects of noise-induced stress and annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 277(3), 471–478.

-
- Saidur, R., Rahim, N., Islam, M., & Solangi, K. (2011). Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2423–2430.
- Salt, A., & Hullar, T. (2010). Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hearing Research*, 268, 12–21.
- Santana, P. (1993). *Acessibilidade e utilização dos serviços de saúde: Ensaio metodológico em geografia da saúde*. Dissertação de Doutorado em Geografia Humana, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.
- Santana, P. (2007). *A cidade e a saúde*. (P. Santana, Ed.). Edições Almedina, SA. Coimbra.
- Santana, P. (2014). *Introdução à geografia da saúde: Território, saúde e bem-estar*. Imprensa da Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Santos, A., Freitas, E., & Picado-Santos, L. (2006). Estudo da eficácia dos pavimentos drenantes na redução do ruído rodoviário para as condições seco e molhado. In *IV Congresso Rodoviário Português*. Estoril, 5-7 Abril.
- Santos, M. (2006). *A natureza do espaço: Técnica e tempo, razão e emoção*. 4ª Edição, Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Santos, S., Pina, M., & Carvalho, M. (2000). Os sistemas de informações geográficas. In M. Carvalho, M. Pina, & S. Santos (Eds.), *Conceitos básicos de sistema de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde*. Organização Pan-Americana de Saúde. Brasília.
- Scariot, É., Filho, A., Torres, T., & Victório, A. (2012). O uso de geotecnologias na elaboração de mapas de ruído. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 17(1), 51–60.
- Schafer, R. (1994). *The soundscape: Our sonic environment and the tuning of the world*. Destiny Books. Rochester.
- Seltenrich, N. (2014). Wind turbines: A different breed of noise. *Environmental Health Perspectives*, 122(1), 20–25.
- Sen, A. (1993). Capability and well-being. In M. Nussbaum & A. Sen (Eds.), *The quality of life*. Oxford University Press. New York.
- Senvion. (2017a). MM82. Acedido a: 4/8/2017, em: <https://www.senvion.com/global/en/products-services/wind-turbines/mm/mm82/>
- Senvion. (2017b). MM92. Acedido a: 4/8/2017, em: <https://www.senvion.com/global/en/products-services/wind-turbines/mm/mm92/>
- Serra, M., Biassoni, E., Hinalaf, M., Pavlik, M., Villalobo, J., Curet, C., Minoldo, G., Abraham, S., Barral, J., Reynoso, R., Barteik, M., Joekes, S., Yacci, M. (2007). Program for the conservation and promotion of hearing among adolescents. *American Journal of Audiology*, 16(December), 158–165.
- Seryak, J. (2014). *Wind turbine setbacks. Policy Brief*. Runnerstone. Columbus.
- Shen, L., Ochoa, J., Shah, M., & Zhang, X. (2011). The application of urban sustainability indicators - A comparison between various practices. *Habitat International*, 35(1), 17–29.
- Shepherd, D., McBride, D., Welch, D., Dirks, K., & Hill, E. (2011). Evaluating the impact of wind turbine noise on health - related quality of life. *Noise & Health*, 13(54), 333–339.
- Siebert, C. (2008). Arborização urbana - Conforto ambiental e sustentabilidade: O caso de Blumenau - SC. In 7º Seminário Internacional NUTAU. São Paulo, 30 Novembro - 1 Dezembro
- Siljak, H., & Subasi, A. (2014). Fourier spectrum related properties of vibration signals in accelerated motor aging applicable for age determination. *Eksplotacja / Niezawodność - Maintenance and Reliability*, 16(4), 616–621.

Silva, Â., Silva, L., & Souza, L. (2010). Avaliação do ruído num bairro residencial em Bauru: SP - Situação de pico de tráfego. In *4º Congresso Luso Brasileiro para o Planeamento Urbano Regional Integrado e Sustentável*. Faro, 5-8 Outubro.

Silva, A., Souza, L., & Mendes, J. (2005). *Planejamento urbano, regional, integrado e sustentável - Desenvolvimentos recentes no Brasil e em Portugal*. Universidade de S. Paulo. São Paulo.

Silva, L. (2013). *Análise da integração da qualidade do ambiente no planeamento municipal do ordenamento do território*. Tese de Mestrado em Qualidade e Gestão do Ambiente (Ecologia e Gestão Ambiental), Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora. 138 pp.

Silva, M. (2012). *Medição e avaliação do ruído ambiente - Estudo dos fatores que condicionam a determinação dos níveis de pressão sonora*. Mestrado em Tecnologias Ambientais, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viseu. 58 pp.

Soeiro, N., Melo, G., & Ohana, G. (2011). Vibrações e o corpo humano: Uma avaliação ocupacional. *Acústica e Vibrações*, 43(Dezembro), 53–62.

Sorre, M. (1943). *Les fondements de la géographie humaine, vol. I - Les fondements biologiques: Essai d'une écologie de l' Homme*. Librairie. Paris.

Sousa, A. (1993). *O clima urbano do Porto: Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*. Dissertação de Doutoramento em Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 436 pp.

Specht, L., Kohler, R., Pozzobon, C., & Callai, S. (2009). Causas, formas de medição e métodos para mitigação do ruído decorrente do tráfego de veículos. *Revista Tecnologia Fortaleza*, 30(1), 12–26.

Stansfeld, S., & Matheson, M. (2003). Noise pollution: Non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, 68, 243–257.

Stewart, J. (2006). *Location, location, location - An investigation into wind farms and noise*. Retrieved: 20/10/2015, from: <http://isbm.smeal.psu.edu/library/working-paper-articles/2004-working-papers/08-2004-how-structural-embeddedness-affects.pdf>

Stone, D., Armstrong, R., Macrina, D., & Pankau, J. (1999). *Introdução à epidemiologia*. McGraw-Hill.

STRIX. (2011). *Estudo de incidências ambientais do sobreequipamento do parque eólico de Chão Falcão III*. Acedido a 21/3/2017, em: http://www.ccdr-lvt.pt/uploader/index.php?action=download&field=http://www.ccdr-lvt.pt/files/20e2387bd2a77b34d5544b15f5beaae81f7befef.pdf&fileDesc=Estudo_Parque-Eolico-de-Chao-Falcao-III_ElncA-84-2011----

STRIX. (2015). *Resumo Não Técnico do Estudo de Impacte Ambiental do parque eólico de Marvila II - São Mamede*. Acedido a 5/5/2018, em: <https://www.ourem.pt/index.php/component/joomdoc/portal-cmo/t2014.2084.2.2%20RNT%20EIA%20PE%20Marvila%20II.pdf/download?Itemid=41>

STRIX. (2017). *Relatório de conformidade ambiental do projeto de execução do parque eólico de Marvila II*. Acedido a: 5/5/2018, em: <http://participa.pt/downloadp.jsp?pFile=158559>

Suertegaray, D. (2003). Geografia e interdisciplinaridade. Espaço geográfico: Interface natureza e sociedade. *Geosul*, 18(35), 43–53.

Tang, U., & Wang, Z. (2007). Influences of urban forms on traffic-induced noise and air pollution - Results from a modelling system. *Environmental Modelling & Software*, 22, 1750–1764.

The WHOQOL Group. (1995). The World Health Organization Quality of Life assessment (WHOQOL): position paper from the World Health Organization. *Social Science & Medicine*, 41(10), 1403–1409.

-
- Torres, R., Tirado, G., Roman, A., Colon, R., Araujo, A., Pais, F., Marciniak, W., Nóbrega, J., Sá, A., Tuna, J., Branco, M. S., Alves-Pereira, M., Branco, N. C. (2001). Vibroacoustic disease induced by long-term exposure to sonic booms. In *The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*. The Hague, 27-30 August.
- Tuan, Y.-F. (1976). Humanistic geography. *Annals of the Association of American Geographers*, 66(2), 266–276.
- Ullah, K., & Mansourian, A. (2016). Evaluation of land suitability for urban land-use planning: Case study Dhaka City. *Transactions in GIS*, 20(1), 20–37.
- UN. (2014). *World urbanization prospects: The 2014 revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. New York.
- van den Berg, G. (2004a). Do wind turbines produce significant low frequency sound levels? In *11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control*. Maastricht, 20 August - 1 September. 1–8.
- van den Berg, G. (2004b). Effects of the wind profile at night on wind turbine sound. *Journal of Sound and Vibration*, 277(4–5), 955–970.
- van den Berg, G. (2005). The beat is getting stronger: The effect of atmospheric stability on low frequency modulated sound of wind turbines. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 24(1), 1–24.
- van den Berg, G. (2006). *The sounds of high winds: The effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise*. PhD thesis in Mathematics and Natural Sciences. University of Groningen. 179 pp.
- Vaz, A. (2009). Poluição sonora, um inimigo invisível. Acedido a: 5/12/2014, em: <http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Gestao-Ambiental/content/Poluicao-sonora-um-inimigo-invisivel?bl=1&viewall=true>
- Vaz, D., & Remoaldo, P. (2011). A geografia da saúde Brasileira e Portuguesa: Algumas considerações conceptuais. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, 30, 173–192.
- Vercammen, M. (1990). Setting limits for low frequency noise. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration*, 8(4), 105–109.
- Victório, J. (2008). *Uma visão interdisciplinar e conceitual do ruído e sua repercussão no ambiente - O caso do ruído ocupacional indústria metalúrgica*. Tese de Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté. 80 pp.
- Vieira-da-Silva, L., & Filho, N. (2009). Equidade em saúde: uma análise crítica de conceitos. *Cadernos de Saúde Pública*, 25(Supl 2), 217–226.
- Vieira, C. (2012). *Biodiversidade marinha e costeira*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.
- Voicescu, S., Michaud, D., Feder, K., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., Bower, T., van den Berg, F., Broner, N., Lavigne, E. (2016). Estimating annoyance to calculated wind turbine shadow flicker is improved when variables associated with wind turbine noise exposure are considered. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(3), 1480–1492.
- von Gierke, H., & Mohler, S. (2002). Letter to the editor: Vibroacoustic disease. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 73(8), 828–830.
- Wang, X., & vom Hofe, R. (2007). *Research methods in urban and regional planning*. Springer. Berlin.
- Weihs, M., & Mertens, F. (2013). Os desafios da geração do conhecimento em saúde ambiental: uma perspectiva ecossistêmica. *Ciência & Saúde Coletiva*, 18(5), 1501–1510.
-

White, W., & Culver, D. (2012). Cave, definition of. In W. White & D. Culver (Eds.), *Encyclopedia of Caves*. 2nd edition, Elsevier.

WHO. (1946). Constitution of the World Health Organization. *Official Records of the World Health Organization, no. 2, p.100*. World Health Organization. New York.

WHO. (1980). *Environmental health criteria for noise*. World Health Organization. Geneva.

WHO. (2008). *Our cities, our health, our future: Acting on social determinants for health equity in urban settings*. World Health Organization. Kobe.

WHO. (2011). *Burden of disease from environmental noise*. World Health Organization. Copenhagen.

WHO. (2012). *Environmental health inequalities in Europe*. World Health Organization. Copenhagen.

Yamamoto, M.-Y., Ishihara, Y., & Kanao, M. (2013). Infrasonic waves in Antarctica: A new proxy for monitoring polar environment. *International Journal of Geosciences, 4*, 797–802.

ANEXOS

ANEXO 1

Comparação multivariada para a variável dependente “RBF” face à velocidade do ar

(I) Velocidade do ar (m/s)	(J) Velocidade do ar (m/s)	Diferença média (I-J)	Desvio padrão	<i>p-value</i>	95% Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
≤ 1,999	[2,000 - 2,999]	-0,595	5,131	1,000	-15,167	13,977
	[3,000 - 3,999]	-1,050	4,956	1,000	-15,126	13,026
	[4,000 - 4,999]	-2,327	5,002	1,000	-16,533	11,878
	≥ 5	-6,025	5,053	1,000	-20,378	8,327
[2,000 - 2,999]	≤ 1,999	0,595	5,131	1,000	-13,977	15,167
	[3,000 - 3,999]	-0,455	1,678	1,000	-5,222	4,312
	[4,000 - 4,999]	-1,732	1,808	1,000	-6,868	3,403
	≥ 5	-5,430	1,947	0,058	-10,960	0,100
[3,000 - 3,999]	≤ 1,999	1,050	4,956	1,000	-13,026	15,126
	[2,000 - 2,999]	0,455	1,678	1,000	-4,312	5,222
	[4,000 - 4,999]	-1,278	1,228	1,000	-4,767	2,211
	≥ 5	-4,975*	1,425	0,006	-9,022	-0,928
[4,000 - 4,999]	≤ 1,999	2,327	5,002	1,000	-11,878	16,533
	[2,000 - 2,999]	1,732	1,808	1,000	-3,403	6,868
	[3,000 - 3,999]	1,278	1,228	1,000	-2,211	4,767
	≥ 5	-3,698	1,576	0,200	-8,173	0,778
≥ 5	≤ 1,999	6,025	5,053	1,000	-8,327	20,378
	[2,000 - 2,999]	5,430	1,947	0,058	-0,100	10,960
	[3,000 - 3,999]	4,975*	1,425	0,006	0,928	9,022
	[4,000 - 4,999]	3,698	1,576	0,200	-0,778	8,173

* *p-value* < 0,05

ANEXO 2

Quartis das diversas variáveis de ruído, face à velocidade do ar

Variável de ruído		≤ 1,999	[2,000 - 2,999]	[3,000 - 3,999]	[4,000 - 4,999]	≥ 5	Total
Infrassons [dB]	Mediana	80,711	82,953	81,885	83,439	86,506	83,439
	Minimo	79,180	67,100	58,120	62,940	66,003	58,120
	Maximo	82,242	94,292	95,814	98,279	99,643	99,643
	Percentil 25	79,180	71,489	75,233	75,236	81,784	75,622
	Percentil 75	82,242	87,014	87,671	88,880	91,309	88,880
RBF [dB]	Mediana	59,532	59,254	61,087	62,856	64,067	62,235
	Minimo	59,366	50,975	46,083	46,730	42,940	42,940
	Maximo	59,698	71,770	77,216	80,914	81,295	81,295
	Percentil 25	59,366	55,811	55,737	55,815	62,561	56,378
	Percentil 75	59,698	65,364	64,970	66,715	69,747	66,323
IRBF [dB]	Mediana	80,737	82,967	81,893	83,445	86,531	83,445
	Minimo	79,215	67,601	59,510	63,070	66,022	59,510
	Maximo	82,260	94,297	95,829	98,340	99,687	99,687
	Percentil 25	79,215	71,631	75,358	75,421	81,817	75,646
	Percentil 75	82,260	87,049	87,696	88,906	91,330	88,906
RA [dB(A)]	Mediana	36,473	44,314	43,885	45,497	51,088	44,985
	Minimo	34,547	33,995	32,987	35,105	37,424	32,987
	Maximo	38,399	65,889	66,862	67,022	62,628	67,022
	Percentil 25	34,547	41,810	40,749	41,501	47,424	41,581
	Percentil 75	38,399	45,651	46,641	50,021	54,136	49,690

ANEXO 3

Quartis das diversas variáveis de ruído, face à distância

Variável de ruído		0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	Total
Infrassons [dB]	Mediana	91,549	86,506	81,748	84,706	83,326	78,448	82,953	83,655	79,775	83,439
	Mínimo	73,191	69,445	65,681	70,429	62,940	65,986	58,120	60,197	64,151	58,120
	Máximo	99,643	95,650	96,928	96,609	95,332	96,704	98,279	95,719	95,814	99,643
	Percentil 25	76,808	81,500	77,657	79,931	78,780	73,493	75,236	74,193	70,897	75,622
	Percentil 75	91,596	91,962	87,946	88,813	89,744	85,628	88,402	88,642	87,412	88,880
RBF [dB]	Mediana	64,970	63,758	57,377	63,303	60,584	59,837	62,805	61,641	59,366	62,235
	Mínimo	60,216	52,190	51,238	54,593	46,618	49,346	46,083	50,445	42,940	42,940
	Máximo	81,295	77,216	78,873	75,773	72,554	74,163	80,914	80,532	72,501	81,295
	Percentil 25	61,701	61,182	55,946	60,308	56,576	55,396	54,038	58,750	53,141	56,378
	Percentil 75	71,125	69,011	65,101	65,382	67,522	66,197	66,488	65,808	63,271	66,323
IRBF [dB]	Mediana	91,556	86,531	81,794	84,728	83,343	78,791	82,967	83,669	79,783	83,445
	Mínimo	73,370	69,716	66,175	71,077	63,070	66,123	59,510	60,688	64,407	59,510
	Máximo	99,687	95,657	96,978	96,636	95,348	96,712	98,340	95,823	95,829	99,687
	Percentil 25	76,921	81,543	77,671	80,019	78,797	73,732	75,421	74,416	70,937	75,646
	Percentil 75	91,625	91,976	87,958	88,825	89,752	85,643	88,411	88,666	87,418	88,906
RA [dB(A)]	Mediana	49,692	46,511	45,724	47,229	43,691	43,386	45,477	43,889	44,306	44,985
	Mínimo	43,960	38,660	38,272	40,001	35,467	34,098	32,987	35,617	34,547	32,987
	Máximo	54,277	55,409	59,636	56,935	62,214	58,152	67,022	65,889	62,628	67,022
	Percentil 25	46,297	44,659	41,810	43,285	39,444	38,767	37,913	40,265	41,108	41,581
	Percentil 75	50,990	50,766	51,306	51,072	45,384	46,448	50,554	49,690	46,775	49,690

ANEXO 4

Comparação multivariada para a variável dependente “RA” face à velocidade do ar

(I) Velocidade do ar (m/s)	(J) Velocidade do ar (m/s)	Diferença média (I-J)	Desvio padrão	<i>p-value</i>	95% Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
≤ 1,999	[2,000 - 2,999]	-8,582	4,470	0,564	-21,278	4,113
	[3,000 - 3,999]	-7,673	4,318	0,772	-19,937	4,591
	[4,000 - 4,999]	-9,814	4,358	0,255	-22,190	2,563
	≥ 5	-13,803*	4,403	0,020	-26,308	-1,298
[2,000 - 2,999]	≤ 1,999	8,582	4,470	0,564	-4,113	21,278
	[3,000 - 3,999]	0,910	1,462	1,000	-3,244	5,063
	[4,000 - 4,999]	-1,231	1,576	1,000	-5,706	3,243
	≥ 5	-5,220*	1,696	0,024	-10,038	-0,402
[3,000 - 3,999]	≤ 1,999	7,673	4,318	0,772	-4,591	19,937
	[2,000 - 2,999]	-0,910	1,462	1,000	-5,063	3,244
	[4,000 - 4,999]	-2,141	1,070	0,469	-5,181	0,899
	≥ 5	-6,130*	1,241	<0,001	-9,656	-2,604
[4,000 - 4,999]	≤ 1,999	9,814	4,358	0,255	-2,563	22,190
	[2,000 - 2,999]	1,231	1,576	1,000	-3,243	5,706
	[3,000 - 3,999]	2,141	1,070	0,469	-0,899	5,181
	≥ 5	-3,989*	1,373	0,041	-7,888	-0,090
≥ 5	≤ 1,999	13,803*	4,403	0,020	1,298	26,308
	[2,000 - 2,999]	5,220*	1,696	0,024	0,402	10,038
	[3,000 - 3,999]	6,130*	1,241	<0,001	2,604	9,656
	[4,000 - 4,999]	3,989*	1,373	0,041	0,090	7,888

* *p-value* < 0,05

ANEXO 5

Teste de comparações múltiplas Bonferroni para as variáveis de ruído “Infrassons”, “RBF” e “IRBF” face ao estado de funcionamento, para o PE de Cella

Variável de ruído	(I) Estado	(J) Estado	Diferença média (I-J)	Desvio padrão	p-value	95% Intervalo de confiança	
						Inferior	Superior
Infrassons	Parada	Rotação	-9,023 ^{*b}	2,552	0,001	-14,125	-3,921
	Rotação	Parada	9,023 ^{*c}	2,552	0,001	3,921	14,125
RBF	Parada	Rotação	-6,731 ^{*b}	2,001	0,001	-10,732	-2,730
	Rotação	Parada	6,731 ^{*c}	2,001	0,001	2,730	10,732
IRBF	Parada	Rotação	-9,002 ^{*b}	2,518	0,001	-14,036	-3,967
	Rotação	Parada	9,002 ^{*c}	2,518	0,001	3,967	14,036

* $p\text{-value} < 0,05$

b. Estimativa da média marginal da população modificada (I)

c. Estimativa da média marginal da população modificada (J)

