

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Interferência dos Parques Eólicos sobre a Transmissão de
TV**

Pedro Manuel Almeida Carvalhais

Dissertação de Projecto realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Telecomunicações

Orientador: Professor Doutor Mário Jorge Moreira Leitão

Julho de 2008

A Dissertação intitulada

“Interferências de Parques Eólicos sobre a Transmissão de TV”

foi aprovada em provas realizadas 16/Julho/2008

o júri

Presidente Professor Doutor Diamantino Rui da Silva Freitas
Professor Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho
Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da
Universidade de Aveiro



Professor Doutor Mário Jorge Moreira Leitão
Professor Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados.

Autor - Pedro Manuel Almeida Carvalhais



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

O objectivo principal desta dissertação é a avaliação dos métodos de previsão de interferências no sinal de televisão, causadas pelos Parques Eólicos. Com principal ênfase para o modelo Spera-Sengupta. Para tal, apresenta-se a teoria que suporta a difusão de televisão e o funcionamento dos aerogeradores.

A avaliação do método foi feita através da comparação dos resultados obtidos pelo modelo, com os resultados práticos alcançados no local em estudo.

Foi também realizado um projecto para teste de difusão de televisão digital. No entanto, devido à complexidade do material envolvido, não foi possível efectuar os testes propostos.

Abstract

This dissertation's main objective is to evaluate the forecast methods of television signal interferences, caused by the wind farms, with main emphasis on the Spera-Sengupta model. For such, it is presented a theory that supports the broadcast television and wind turbines function.

The method's evaluation was made through the comparison of the model results with the practical results.

It was also realized a test to broadcast digital television. However, due to complexity of the involved material, it was not possible to execute the considered tests.

Agradecimentos

Queria exprimir o meu agradecimento a todos os que contribuíram, directa ou indirectamente, para a realização desta dissertação. Em particular desejo agradecer:

- ao Professor Mário Jorge Leitão, pela orientação e o apoio dados ao longo deste trabalho, tentando emprestar-lhe o maior rigor possível;
- ao Instituto de Energia, Sistemas e Computadores do Porto (INESC-Porto), onde encontrei excelentes condições de trabalho;
- aos meus colegas, pela amizade, o apoio prestado e a troca de conhecimentos proporcionada;
- a toda a minha Família, em particular à minha Mãe e aos meus Avós, que sempre me apoiaram e incentivaram durante toda a minha vida escolar.

Índice

Capítulo 1	1
1- Introdução	1
1.1- Motivação	1
1.2- Objectivos.....	2
1.3- Estrutura da Tese	2
Capítulo 2	5
2- Caracterização do Problema.....	5
2.1 - Os Parques Eólicos	5
2.2 - Sistema de Difusão Terrestre de TV em Portugal	7
2.2.1 - Televisão Analógica	7
2.2.2 - Televisão Digital	8
2.2.3 - Conclusão	11
2.3 - Difraccção pela Torre.....	11
2.4 - Reflexão Pás	13
2.5 - Estudos sobre Casos de Interferência	16
2.6 - Conclusões	17
Capítulo 3	19
3 - Modelo Teórico e Ferramentas	19
3.1 - Modelos da ITU	19
3.1.1 - ITU-R Recomendação BT.417-5.....	20
3.1.2 - ITU-R Recomendação BT.805	20
3.1.3 - ITU-R Recomendação BT.654	21
3.2 - Modelo de Spera-Sengupta.....	22
3.2.1 - Caracterização do Modelo	23
3.2.1.1 - Princípios do Modelo.....	23
3.2.1.2 - Dados de Entrada.....	23
3.2.1.3 - Cálculo do Nível de Interferência.....	24
3.3 - Radio Mobile	26
3.4 - Conclusões	27

Capítulo 4	29
4 - Casos de Interferência	29
4.1 - Caso 1: Parque Eólico entre o emissor e o receptor de TV	29
4.1.1 - Alterações dos Parâmetros Originais.....	30
4.2 - Caso 2: Aeroeradores em linha com Emissor.....	32
4.2.1 - Alterações dos Parâmetros Originais.....	33
4.3 - Caso 3: Aeroeradores em linha com o receptor	34
4.3.1 - Alterações dos Parâmetros Originais.....	35
4.4 - Conclusões	35
Capítulo 5	37
5 - Estudo de um Caso Real.....	37
5.1 - Local.....	37
5.2 - Coberturas das Redes	39
5.2.1 - Mapas de Cobertura	40
5.3 - Interferência do Parque Eólico	41
5.4 - Projecto para teste de Televisão Digital.....	42
5.4.1 - Sistema de Emissão	43
5.5 - Conclusões	45
Capítulo 6	47
6 - Resultados Práticos	47
6.1 - Validação do Modelo Spera-Sengupta	47
6.2 - Conclusões	48
Capítulo 7	49
7 - Conclusões	49
7.1 - Modelo em estudo	49
7.2 - Tendências Futuras.....	50
Referências e Bibliografia	51
Anexo	53
A	53
Caso 1: parque Eólico entre o emissor e o receptor.....	54
Aeroeradores à distância z do sinal directo	54
Aeroeradores à distância $2z$ do sinal directo.....	55
Aeroeradores à distância $3z$ do sinal directo.....	56
Caso 2: Emissor em linha com Aeroeradores	58
Aeroeradores à distância z do sinal directo	58
Aeroeradores à distância $2z$ do emissor.....	59
Aeroeradores à distância $3z$ do emissor.....	60
Caso 3: Receptor em linha com Aeroeradores	62
Aeroeradores à distância z do receptor	62
Aeroeradores à distância $2z$ do receptor	63

Aerogeradores à distância 3z do receptor	64
Anexo	67
B	67
1 - Mapas de Cobertura	68
1.1 - Cobertura R1	68
1.2 - Cobertura R2	72
2 - Mapas de Interferência	76
2.1 - Interferência na rede R1	76
2.2 - Interferência na rede R2	78
2.3 - Histogramas de População	80

Lista de figuras

Figura 2.1 - HAWT.....	7
Figura 2.2 - VAWT.....	7
Figura 2.3 - Esquema representativo de um sistema DVB-T.....	9
Figura 2.4 - Modelação COFDM.....	10
Figura 2.5 - Geometria da difracção de uma onda na Torre	11
Figura 2.6 - Geometria da interferência das pás de um aerogerador	13
Figura 2.7 - Esboço da zona de Interferência na TV de um aerogerador.....	15
Figura 2.8 - Cenário de Interferência.....	17
Figura 3.1- Esboço da região dispersada por um Aerogerador	21
Figura 3.2 - Esquema representativo das Interferências.....	22
Figura 3.3 - Esquema do modelo de interferência.....	23
Figura 4.1 - Esquema Parque Eólico entre Emissor e o Receptor.....	30
Figura 4.2 - Esquema Aerogeradores em linha com Emissor	32
Figura 4.3 - Esquema Aerogeradores em linha com o receptor.....	34
Figura 5.1- Perspectiva do parque Eólico	38
Figura 5.2 - Perspectiva 3D do Parque Eólico	39
Figura 5.3 - Local dos Teste de TV Digital	42
Figura 5.4 - Local dos Teste de TV Digital, visão 3D	43
Figura 5.5 - Imagem do local de estudo de recepção	43
Figura 5.6 - Mapa de Cobertura do emissor de Teste	44
Figura B.1 - Cobertura da RTP1 na área do Parque, pelo emissor do Marão	68
Figura B.2 - Cobertura da RTP1 na área do Parque, pelo emissor de Muro.....	69
Figura B.3 - Cobertura da RTP1 na área do Parque de Terras Altas de Fafe	70
Figura B.4 - Melhor Emissor na cobertura da RTP1 na área do Parque	71
Figura B.5 - Cobertura da RTP2 na área do Parque, pelo emissor do Marão	72
Figura B.6 - Cobertura da RTP2 na área do Parque, pelo emissor de Muro.....	73
Figura B.7 - Cobertura da RTP2 na área do Parque de Terras Altas de Fafe	74
Figura B.8 - Melhor Emissor na cobertura da RTP2 na área do Parque	75
Figura B.9 - Interferência Global do Parque sobre a rede da RTP1, classe S1	76
Figura B.10 - Interferência Global do Parque sobre a rede da RTP1, classe S1	77
Figura B.11 - Interferência Global do Parque sobre a rede da RTP2, classe S1	78
Figura B.12 - Interferência Global do Parque sobre a rede da RTP2, classe S1	79

Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Valores médios do campo eléctrico mínimo das diferentes bandas de TV ...	20
Tabela 4.1 - Variação da interferência com a alteração da distância entre aerogeradores	31
Tabela 4.2 - Variação da interferência com a alteração da posição relativa do P.E.	31
Tabela 4.3 - Variação da interferência com a alteração da distância dos aerogeradores.	33
Tabela 4.4 - Variação da interferência com a alteração da potência radiada	34
Tabela 4.5 - Variação da interferência com a alteração da distância dos aerogeradores.	35
Tabela 5.1 - Dados dos emissores para R1	39
Tabela 5.2 - Dados dos emissores para R2	40
Tabela 5.3 - Potências em diversos pontos do local em estudo	44
Tabela 5.4 - Informações sobre o Sistema de Emissão	45
Tabela A.1 - Resultados obtidos para o Caso 1 com distância z	54
Tabela A.2 - Resultados obtidos para o Caso 1 com distância $2z$	55
Tabela A.3 - Resultados obtidos para o Caso 1 com distância $3z$	56
Tabela A.4 - Constantes do caso 1	57
Tabela A.5 - Resultados obtidos para o Caso 1	57
Tabela A.6 - Resultados obtidos para o Caso 2 com distância z	58
Tabela A.7 - Resultados obtidos para o Caso 2 com distancia $2z$	59
Tabela A.8 - Resultados obtidos para o Caso 2 com distancia $3z$	60
Tabela A.9 - Constantes usadas no caso 2	61
Tabela A.10 - Resultados obtidos para o Caso 2	61
Tabela A.11 - Resultados obtidos para o Caso 3 com distancia z	62
Tabela A.12 - Resultados obtidos para o Caso 3 com distância $2z$	63
Tabela A.13 - Resultados obtidos para o Caso 3 com distância $3z$	64
Tabela A.14 - Constantes no caso 3	65
Tabela A.15 - Resultados obtidos para o Caso 3	65
Tabela B.1 - População afectada R1	80
Tabela B.2 - População afectada R2	80
Tabela B.3 - População afectada R1	80
Tabela B.4 - População afectada R2	80

Abreviaturas e Símbolo

TDT - Televisão Digital Terrestre
GWEC - Global Wind Energy Council
ITU - International Telecommunication Unit
HAWT - Horizontal Axis Wind Turbine
VAWT - Vertical Axis Wind Turbine
VHF - Very High Frequency
UHF - Ultra High Frequency
PAL - Phase Alternating Line
NTSC - National Television System Committee
SECAM - Séquentiel Couleur avec Mémoire
DVB - Digital Video Broadcasting
DVB-T - Digital Video Broadcasting - Terrestrial
DVB-S - Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-C - Digital Video Broadcasting - Cable
SFN - Single Frequency Network
OFDM - orthogonal frequency division multiplexing
COFDM - coded orthogonal frequency division multiplexing
FEC - Forward Error Correction
GSM - Global System for Mobile Communications

Capítulo 1

1 - Introdução

Perturbações na difusão de televisão analógica, devido a presença de Parques Eólicos, estão em constante crescimento no nosso País. Por isso, o estudo desses fenómenos tornou-se essencial.

Para a realização da previsão teórica dessas interferências, é necessário recorrer a modelos realizados com o intuito de estudar este tipo de problemas. Esse é o tema principal deste projecto: estudo e verificação da validade de modelos de interferência.

Contudo, a difusão terrestre de televisão analógica está a ser gradualmente substituída pela televisão digital em todo o mundo. Em Portugal, o processo está a iniciar-se, e dentro de poucos anos já não haverá transmissão de televisão terrestre analógica, por isso, é necessário começar a prever possíveis problemas que os Parques Eólicos possam trazer sobre a difusão da TDT (Televisão Digital Terrestre). Este estudo centra-se nas interferências causadas na transmissão de TV analógica e digital, sendo nestes meios de comunicação onde há uma maior interferência originada pelos Parques Eólicos, pois, o provável atraso é demasiado curto para ser uma fonte de interferência na transmissão som analógica ou em sinais digitais de velocidade baixa, como o GSM (Global System for Mobile Communications).

1.1 - Motivação

Devido ao grande aumento do número de Parques Eólicos em Portugal, o estudo de interferências causadas, por estes, nas telecomunicações ganhou um novo ímpeto, tendo-se tornado uma necessidade básica para previsão de possíveis interferências ou para a detecção da origem de interferências.

Por isso, na altura que o País está no início da transição da televisão analógica para a televisão digital, é extremamente compensador realizar um projecto que alie o estudo dos problemas causados pelos Parques Eólicos na TV analógica, e planeie um teste para estudar possíveis interferências na nova TDT.

Ambas as partes do projecto são bastante auspiciosas, principalmente a parte relativa à difusão digital de TV, embora, a parte do estudo que permite avaliar modelos de previsão de interferência na teledifusão analógica terrestre, seja bastante enriquecedora, pois trata-se

do estudo de um problema actual e que está em grande crescendo, devido ao aumento do número de Parques Eólicos.

Trata-se então de um projecto actual, que reúne estudos de interferências, na difusão analógica e na difusão digital.

1.2 - Objectivos

Este projecto possui dois objectivos principais:

- Verificação da validade de modelos teóricos para a previsão de interferências, causadas por Parques Eólicos, na transmissão de TV analógica;
- Estudo da possibilidade de interferências na difusão de televisão digital, por Parques Eólicos.

O primeiro, e principal, objectivo deste projecto de dissertação possui duas orientações que se encontram conjugados de forma intrínseca. A principal orientação é o estudo dos modelos de previsão de interferências no sinal de TV analógico, que implica, obrigatoriamente, um estudo aprofundado do tipo e causas dessas interferências. A principal função é então, estudar os modelos existentes de previsão de interferências, em casos reais onde tenham sido detectados este tipo de problemas, para posteriormente, se ir ao terreno e com material adequado poder-se, ou não, validar os resultados obtidos pelos modelos em estudo. Para isso é necessário de forma exaustiva, estudar os modelos em causa, identificando as suas potencialidades, e também os seus pontos negativos, de modo a adequa-los a cada situação real.

A segunda orientação, tipo e causas de interferências, necessita de um estudo extensivo dos aerogeradores e do sinal de televisão, para se poder estimar os problemas que os aerogeradores possam causar, bem como que acção ou a parte deles que os causa.

O segundo objectivo vai permitir efectuar um projecto para realização de testes com televisão digital, para se poder concluir a robustez do sinal na presença de Parques Eólicos, bastante útil numa altura de transição dos sistemas analógicos para os digitais.

1.3 - Estrutura da Tese

A tese está dividida em sete capítulos e possui dois anexos. O capítulo seguinte tem como objectivo descrever o problema em estudo, por isso, começa-se por fazer uma descrição sobre os Parques Eólicos e as características dos aerogeradores. Em seguida, fala-se dos sistemas de difusão de TV em Portugal. Estas duas primeiras secções permitem ter uma ideia geral do funcionamento dos componentes indexados ao problema em estudo. As duas secções seguintes são uma caracterização efectiva da interferência dos Parques Eólicos sobre o sinal de TV, as suas causas e os seus efeitos, provocados pela torre dos aerogeradores e pelo movimento das pás. Para finalizar este capítulo há a referência a estudos realizados para estimar as interferências causadas pela instalação de Parques Eólicos na difusão terrestre de televisão.

O terceiro capítulo fornece uma explicação extensiva do modelo de Spera-Sengupta, o modelo usado neste projecto para estimação das interferências dos Parques Eólicos sobre a teledifusão analógica terrestre. Neste capítulo fala-se ainda de ferramentas necessárias para a execução do modelo. Na primeira parte deste capítulo, há uma secção referente as recomendações da ITU, que, além de estimarem valores mínimos para a recepção do sinal de TV, fornecem também modelos para estimação de interferências.

O capítulo quatro possui estudos sobre configurações entre emissores e receptores e Parques Eólicos que produzem interferências, o anexo A serve de apoio a este capítulo contendo os cálculos efectuados. O capítulo cinco é sobre o estudo de um caso real, sendo os resultados práticos obtidos tema do capítulo seis. O Anexo B contém os mapas de cobertura e interferência, obtidos na análise realizada no capítulo cinco. As conclusões deste projecto são o tema do capítulo sete.

Capítulo 2

2 - Caracterização do Problema

Este capítulo tem como principal função descrever de forma pormenorizada os problemas de difracção e de reflexão provocados pelos aerogeradores. É necessário então, descrever primeiramente o funcionamento do sistema de difusão de TV, aliado a uma breve explicação sobre os Parques Eólicos e as principais características dos aerogeradores.

A presença de aerogeradores perto dos transmissores causa dois efeitos na transmissão de sinal de TV. Difracção e reflexão. É nestes dois efeitos que o estudo se vai centrar, tentando prever por meio de modelos de interferência os efeitos no sinal. Estes dois efeitos são provocados por os aerogeradores, mas podem ser facilmente diferenciados, pois são causados por partes diferentes da máquina.

A difracção tem como principal origem a torre dos aerogeradores, que tem como função suportar o eixo do rotor. E a reflexão tem como principal origem as pás do aerogerador, produzindo-se nos dois casos oscilações nos campos radiados. O problema também pode ser considerado de uma outra maneira. O sinal recebido, na ausência da turbina de vento pode ser considerado como derivado de um único raio (directo) entre o transmissor e o receptor, sendo agora a soma de um raio directo mais a de um raio reflectido/dispersado com um desfasamento de tempo potencialmente significativo.

2.1 - Os Parques Eólicos

Os Parques Eólicos são parte integrante deste projecto, pois representam a fonte de interferência em estudo.

Para isso é necessário conhecer os diversos tipos de aerogeradores existentes e o porquê da sua cada vez maior presença nas paisagens portuguesas.

Os Parques Eólicos têm tido um aumento exponencial como fonte de energia não poluente, tratando-se de uma energia renovável em expansão. Esse aumento é intensamente visível em Portugal, que era o nono produtor mundial de energia eólica em termos absolutos, e o quarto em termos relativos, tendo em conta a sua área e população, segundo o relatório de 2006 do *Global Wind Energy Council* (GWEC).

A energia eólica é a energia cinética causada por deslocamentos de massas de ar, gerados pelas diferenças de temperatura na superfície do planeta. Resultado da associação da

radiação solar incidente no planeta com o movimento de rotação da terra e fenómenos naturais que se repetem.

Os parques eólicos são constituídos por um aglomerado de aerogeradores. Considera-se um parque eólico a um aglomerado de pelo menos três aerogeradores, não distanciados mais de 2 Km entre si. Um aerogerador é um gerador eléctrico integrado ao eixo de um conjunto de pás cuja missão é converter energia eólica em energia eléctrica.

Uma das principais vantagens de um aerogerador é que este ocupa uma reduzida superfície de solo, o que constitui uma vantagem para a sua instalação uma vez que pouco perturba as actividades industriais e agrícolas das proximidades.

Contudo o uso de aerogeradores acarreta alguns problemas:

- Nas proximidades dos parques eólicos é detectada poluição sonora, devido ao ruído produzido;
- Há também quem considere que a sua presença afecta a paisagem;
- Os lugares mais apropriados para sua instalação coincidem com as rotas das aves migratórias, o que faz com que centenas de pássaros possam morrer ao chocar contra as suas hélices.

Por isso, embora normalmente estas instalações encontrem-se em terra, é cada vez mais frequente instalá-las no mar (offshores) onde a presença do vento é mais regular e permite a redução dos inconvenientes provocados pelo ruído e pela poluição da paisagem.

Mas há mais problemas, sendo que o que nos interessa para este projecto, seja correspondente a que em muitos casos a melhor localização dos parques eólicos é também coincidente, ou próxima, com as antenas para emissão de TV e rádio, serviços fixos e de comunicações móveis. Causando interferência nesses sinais.

Para o nosso estudo é necessário identificar a existência de diversos tipos de aerogeradores, pois como será verificado em capítulos seguintes, os modelos existentes para previsão de interferências fazem uma separação entre dois grandes grupos: os aerogeradores de eixo horizontal (*HAWT - Horizontal Axis Wind Turbine*) e os aerogeradores de eixo vertical (*VAWT - Vertical Axis Wind Turbine*).

HAWT

Os aerogeradores de eixo horizontal (HAWT) baseiam-se no princípio de funcionamento dos moinhos de vento. São constituídos por turbinas de uma a três pás com um perfil aerodinâmico. A turbina de 3 pás é a mais comum pois constitui um bom compromisso entre coeficiente de potência, custo, velocidade de rotação bem como uma melhor estética relativamente às turbinas de 2 pás. Esta disposição necessita de mecanismos que permitam o posicionamento do eixo do rotor em relação a direcção do vento, para um melhor aproveitamento global, principalmente onde se tenha muita mudança na direcção do vento.

VAWT

A principal vantagem das turbinas de eixo vertical (VAWT) é de não necessitar de mecanismos de direccionamento, sendo bastante evidenciada nos aeromotores por simplificar bastante os mecanismos de transmissão de potência. Como principal desvantagem

apresentam o facto das pás, devido ao movimento de rotação, terem constantemente alterações dos ângulos de ataque e de deslocamento em relação a direcção do vento, gerando forças resultantes alternadas, o que além de limitar o seu rendimento, causa vibrações acentuadas em toda a sua estrutura.



Figura 2.1 - HAWT



Figura 2.2 - VAWT

2.1.1 - Conclusão

Os aerogeradores de eixo horizontal são os mais utilizados, porque o seu rendimento aerodinâmico é superior aos de eixo vertical, pois estão menos expostos aos esforços mecânicos e o seu custo é mais baixo.

Nas primeiras gerações, este tipo de aerogerador, era constituído por pás metálicas, que funcionavam como reflectores perfeitos. Embora hoje em dia sejam utilizadas fibras no fabrico das pás, estas possuem um fio metálico no seu revestimento, ligado à terra, com a função de proteger a máquina de descargas eléctricas ambientais, continuando assim, a fazer dos aerogeradores reflectores dos sinais de TV.

2.2 - Sistema de Difusão Terrestre de TV em Portugal

Este capítulo pretende descrever os sistemas de difusão terrestre de TV em Portugal. A difusão analógica, que está em funcionamento desde 1957, sendo que as emissões regulares a cores começaram em 1980. E a difusão digital de televisão, que entrará em actividade brevemente.

Por ser, a televisão digital, o futuro da difusão terrestre de televisão, terá uma descrição mais detalhada e pormenorizada, neste capítulo, do que a difusão analógica.

2.2.1 - Televisão Analógica

A difusão analógica de TV é realizada nas faixas de radiofrequências VHF (Very High Frequency) e UHF (*Ultra High Frequency*). Nas bandas I, III, IV e V [2].

VHF designa a faixa de radiofrequências de 30 MHz até 300 MHz. É uma frequência comum para propagações de sinais de televisão (canais 2 ao 13).

As características da propagação das frequências de VHF são ideais para uma comunicação terrestre a curta-distância, com uma escala geralmente um tanto mais distante do que o *line-of-sight* do transmissor. Ao contrário das altas frequências (HF), a ionosfera não reflecte geralmente o sinal VHF e as transmissões são restringidas assim, à área local (não havendo interferência entre milhares de transmissões que ocorrem com alguns quilómetros de afastamento).

UHF designa a faixa de radiofrequências de 300 MHz até 3 GHz. É uma frequência comum para propagações de sinais de televisão (canais 14 ao 69). As ondas electromagnéticas com frequências nesta faixa têm mais atenuação atmosférica e menor reflexão na ionosfera que as ondas VHF. Por isso são mais susceptíveis a interferências.

A forma de codificação da cor usada nos sistemas de transmissão televisiva analógica em Portugal é o PAL (*Phase Alternating Line*). O PAL é também usado em grande parte da Europa e noutras áreas do globo. Existem também outras formas de codificação. Em grande parte das Américas e alguns países Asiáticos usam NTSC (*National Television System Committee*) e partes do Médio Oriente, Europa de Leste e França usam SECAM (*Séquentiel Couleur avec Mémoire*).

2.2.2 - Televisão Digital

No final de 2012, em Portugal, deixará de ser efectuada emissão analógica de televisão e passará apenas a haver emissão digital, estimando-se que entre em actividade no próximo ano. Por isso, o maior ênfase aos requisitos e especificações da televisão digital em relação à televisão analógica.

As normas europeias de difusão digital de televisão foram especificadas a partir da estrutura do projecto europeu DVB [3], para os diversos meios de difusão: terrestre (ETS 300 744), satélite (ETS 300 421) e cabo (ETS 300 429). Estas normas são trivialmente denominadas por DVB-T [4], DVB-S [5] e DVB-C [6].

A DVB-T é a sigla que representa o standard Europeu para a difusão de televisão terrestre digital. Em virtude das dificuldades impostas pelo meio de propagação do sinal, o aparecimento final desta norma só foi possível dois anos mais tarde da normalização dos sistemas de difusão por satélite e cabo.

Os requisitos comerciais e técnicos que levaram ao aparecimento e especificação desta norma definiam, como objectivo principal, a criação de um sistema que permitisse uma recepção estacionária, recorrendo a antenas no telhado. Contudo, estes requisitos pretendiam também que o novo sistema permitisse [7]:

- Similaridade ao DVB-S e ao DVB-C;
- Uso de redes facilmente configuráveis utilizando uma única frequência, que coexistisse com os sistemas analógicos em vigor sem interferir com estes;
- Receptores de baixo custo;
- Estudo da possibilidade de recepção móvel.

A arquitectura de um sistema DVB-T está representada na figura seguinte:

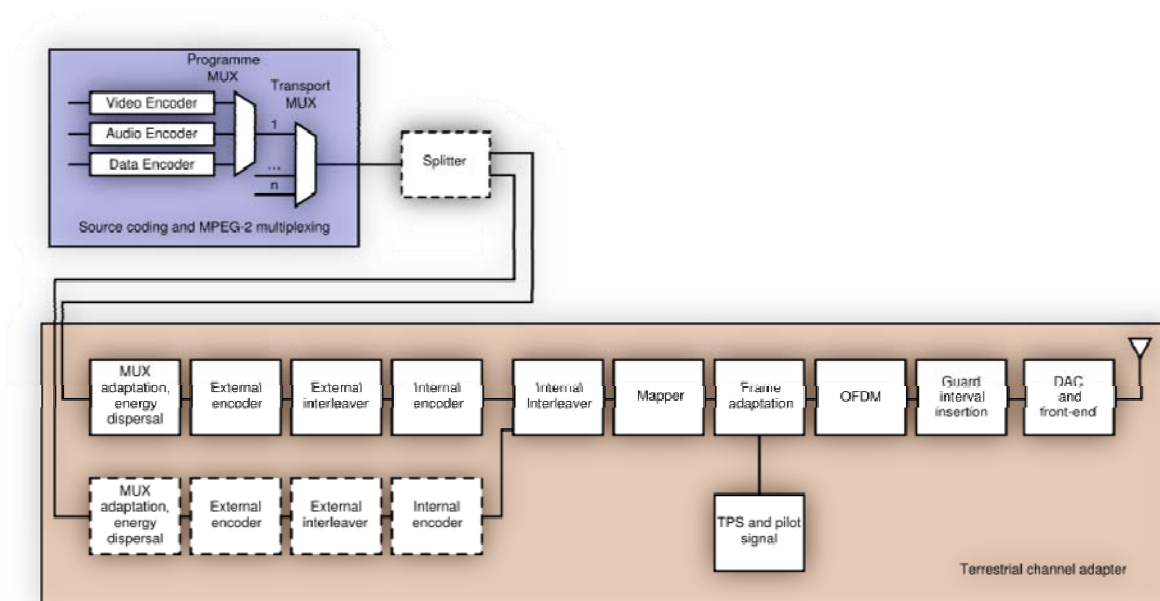


Figura 2.3 - Esquema representativo de um sistema DVB-T [7]

O estabelecimento de uma rede de difusão nacional de frequência única SFN (*single-frequency network*), uma vez que todos os emissores da rede devem emitir exactamente o mesmo fluxo binário ao mesmo tempo, implica a sincronização de diversos transmissores que operam à mesma frequência e difundem o mesmo conteúdo. Esta é uma das especificações mais difíceis de consumir, como foi possível de constatar em países que já tem emissões de DVB-T, que tiveram grandes problemas na sincronização dos emissores. Caso da Áustria e Alemanha.

O projecto DVB-T apresenta, actualmente, um conjunto de técnicas que permitem realizar não a recepção em terminais fixos, como também portáteis ou móveis, como receptores em veículos automóveis.

Esta norma foi definida procurando fornecer uma transmissão robusta do sinal desde os transmissores até aos receptores, algo que não é tarefa simples devido ao meio de propagação utilizado apresentar várias contrariedades à transmissão, como é o caso da propagação multi-percurso e desvanecimento. Nesse sentido, as especificações são muito exigentes quanto à utilização de mecanismos de codificação de canal e modulação.

Para além dos blocos comuns para codificação de canal utilizados nas normas anteriores, o DVB-T impõe também a utilização de um *Interleaver* para ultrapassar eventuais canais selectivos em frequência devido ao aparecimento de ecos. Este *interleaver* adicional realiza em frequência algo semelhante ao que um *Interleaver* normal realiza no tempo. Os símbolos resultantes modulam várias portadoras, podendo ser utilizados vários tipos de modulação (QPSK, 16-QAM ou 64-QAM), de um esquema OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexer*). O sistema DVB-T possibilita uma modulação hierárquica, ou seja, a transmissão de dois conteúdos multimédia independente no mesmo sinal através do uso de modulações distintas consoante a prioridade da informação enviada. Obviamente, a robustez face a erros de transmissão é diferente para os dois casos. Se as condições de recepção forem degradadas, uma constelação pode reduzir a sua dimensão de modo a receber os bits mais significativos [15].

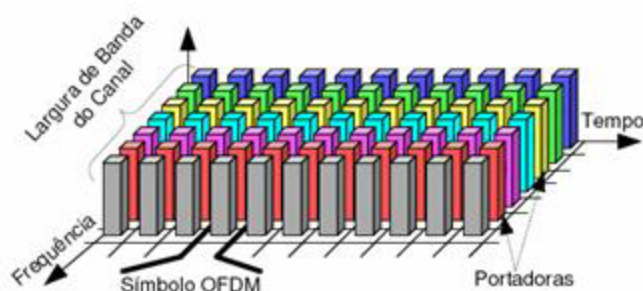


Figura 2.4 - Modelação COFDM [7]

A modulação que apresenta melhores performances num canal caracterizado por variações temporais devido à mobilidade de objectos e características do meio, é a COFDM (*coded orthogonal frequency division multiplexing*). A modulação OFDM consiste na divisão do sinal por um número elevado de portadoras que são ortogonais entre si, ou seja, estão uniformemente espaçadas na frequência de modo a que, na posição central de uma portadora, as restantes sejam nulas, espaçamento equivalente ao inverso do tempo de símbolo por elas transmitido. Em cada tempo de símbolo é então enviado um símbolo OFDM, que é definido como o conjunto de símbolos elementares nas várias portadoras. Este esquema está representado na figura 2.4. A CODFM consiste na modulação OFDM aliada a um código de correcção de erros do tipo FEC.

Para conferir uma certa flexibilidade, a transmissão de dados pode ser realizada de dois modos: modo 2K e 8K. Utilizando uma banda de 6Mhz, a variante 2K tem 1705 subportadoras de sinal (1512 subportadoras de sinal e 193 de sinalização) espaçadas de 4464 Hz, enquanto que, a variante 8K tem 6817 subportadoras de sinal (6048 subportadoras de sinal e 769 de sinalização) espaçadas de 1116 Hz.

Cada símbolo COFDM é precedido por um intervalo de guarda, que consiste numa continuação cíclica do símbolo a transmitir com o objectivo de imunizar o sistema face aos efeitos indesejados dos sinais interferentes recebidos através de múltiplos percursos. Quanto maior for o intervalo de guarda, mais tolerável será o sistema às réplicas do sinal que chegam atrasadas, no entanto, menor será o aproveitamento da banda disponível devido ao aumento do tempo de símbolo. Tipicamente, o intervalo de guarda tem uma duração, relativamente à duração de símbolo, de 1/4, 1/8, 1/16 ou 1/32. O intervalo de guarda influencia o distanciamento entre os emissores, uma vez que o aumento da distância provoca um aumento no intervalo de tempo entre a recepção do sinal proveniente do transmissor primário e do eco proveniente de um secundário. Normalmente é imposto um tempo de guarda superior ao tempo de propagação de um sinal entre dois transmissores. Desta forma, o modo 2K, com maior espaçamento entre portadoras, é o mais aconselhado à cobertura de áreas pequenas sendo menos exigente em termos de ruído multipercurso, apresentando, no entanto, um melhor desempenho devido ao menor tempo de símbolo, enquanto que, o modo 8K, é o mais aconselhado para a cobertura de vastas áreas.

A qualidade do serviço prestado pelo DVB-T é avaliada através do débito de transmissão disponível, da relação portadora-ruído C/N necessária a uma recepção com probabilidades de erro muito baixas e a sensibilidade dos diversos modos de recepção.

Embora em Portugal o serviço de TDT, baseado na norma DVB-T, ainda não esteja em funcionamento, a publicação da especificação do esboço da norma DVB-T2 é já esperada para o final de Junho 2008. O principal objectivo desta nova norma é aumentar a eficiência do espectro usado em cerca de 30% a 50% em comparação com a norma DVB-T [8].

2.2.3 - Conclusão

Os sinais de entrada e de saída de sistemas de televisão são intrinsecamente analógicos, portanto é bastante pertinente questionar-se as razões da digitalização dos sistemas. Mas elas existem e algumas são bastante evidentes. Enquanto as degradações dos sinais analógicos são acumulativas, num sistema digital é possível regenerar os sinais sem perdas aparentes, o que, teoricamente, torna o sistema mais imune a interferências externas.

Neste capítulo ficaram bem vincadas as diferenças entre os dois meios de difusão de TV. Tentaremos, como é objectivo deste projecto, verificar se o aumento de robustez do sinal, característico da difusão digital, permite, mesmo em cenários bastante adversos do ponto de vista de interferências, obter uma recepção minimamente aceitável [16] da transmissão.

Contudo o objectivo deste capítulo era simplesmente caracterizar os dois tipos de difusão terrestre de televisão. Estudos de interferências causados por Parques Eólicos, bem como resultados práticos de testes, são desenvolvidos em capítulos posteriores.

2.3 - Difracção pela Torre

Como já foi referido esta secção e a próxima descrevem os problemas causados pelos Parques Eólicos. Todas as descrições presentes nestas secções são baseados em diversos estudos realizados [9][10][11][12][13][14][15].

O problema da difracção causada pela torre pode ser tratado como o problema canónico de uma onda plana difractada por um cilindro infinito.

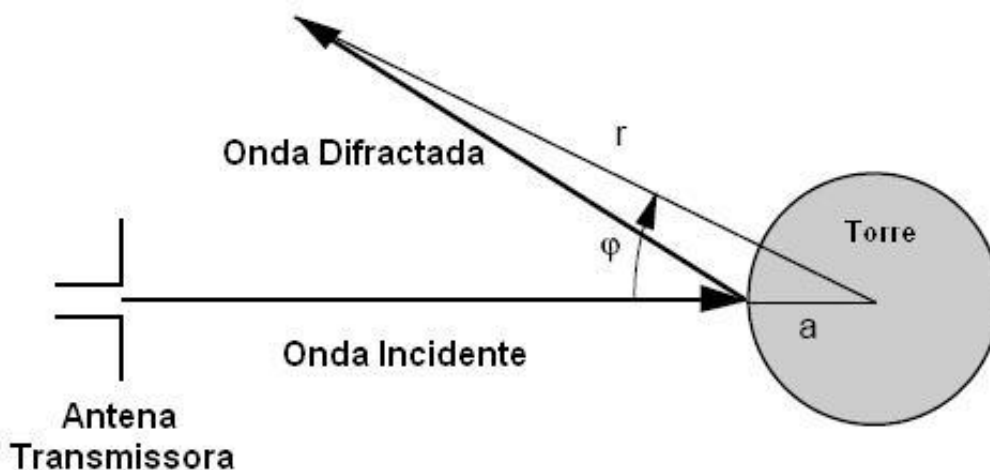


Figura 2.5 - Geometria da difracção de uma onda na Torre [11]

A torre é um cilindro metálico com cerca de 40 a 60 metros, possuindo, regra geral, uma largura da ordem dos 3 metros. Regularmente a sua secção cilíndrica diminui com a aproximação ao rotor, contudo essa diminuição, do raio do cilindro, pode ser desprezada para o cálculo do efeito de difracção causado pela torre nos sinais de TV, sem afectar

significativamente os resultados obtidos. Consequentemente, na análise teórica, um cilindro metálico com secção constante e comprimento infinito pode substituir a torre do aerogerador. O seu comprimento infinito permite calcular exactamente o campo eléctrico dispersado.

Para continuar a descrição deste problema vai-se fazer um pequeno parêntesis e explicar o fenómeno de difracção.

O fenómeno da difracção está relacionado com as propriedades das ondas ao transportarem energia de um ponto para outro do espaço. Como as ondas são caracterizadas por uma variação periódica de uma qualquer propriedade, podem interagir entre si quando duas ou mais ondas atravessam a mesma região do espaço. Pode acontecer também que uma onda tenha a sua velocidade e/ou direcção alteradas, ao interagir com um objecto ou meio material interposto no seu caminho.

A difracção está relacionada com a interacção de uma onda com um obstáculo ou então quando encontra um orifício através do qual possa atravessar um obstáculo. No caso em estudo a difracção é provocada pela existência de um obstáculo, a torre. A onda, então, ao contornar o obstáculo, adquire diferentes caminhos (diferentes trajectórias), cujos comprimentos de onda totais podem variar. Da variação dos comprimentos totais atravessados, diversas ondas oriundas da original (princípio de *Huygens*) acabam por se recombinar ao passar por um dado ponto do espaço. Ao passarem por esse ponto do espaço, ondas difractadas com a mesma origem tem a mesma fase e por isso podem interagir umas com as outras naquele ponto. A recombinação acontece porque as ondas, exibindo propriedades periódicas ao longo do espaço e ao longo do tempo combinam os seus máximos e os seus mínimos de amplitude de uma maneira que depende do total das ondas interagentes e das distâncias totais percorridas. O resultado disso varia entre dois extremos: num caso, num dado ponto, um máximo de amplitude se combina com um mínimo, produzindo uma anulação parcial ou total da energia da onda. Por outro lado, quando dois ou mais máximos ou mínimos se encontram, a energia observada é maior.

Sendo assim, e assumindo que se está na presença de uma onda incidente com polarização vertical, como o caso da transmissão analógica de TV na Europa, na torre do aerogerador (Figura 2.4), o campo eléctrico dispersado, a uma distância r do centro do cilindro, é dado pela equação 2.1.

$$E_s = E_0 \left[\frac{J_0(ka)}{H_0^{(2)}(ka)} H_0^{(2)}(kr) + 2 \sum_{n=1}^{n=\infty} (-j)^n \frac{J_n(ka)}{H_n^{(2)}(ka)} H_n^{(2)}(kr) \cos(n\varphi) \right] \quad (2.1)$$

Onde a é o raio do cilindro, considerado constante e expresso em radianos, $k = 2\pi/\lambda$ é o número de onda em espaço livre, $J_n(x)$ é a função de *Bessel* de primeira espécie em ordem n e com argumento x e por fim $H_n^{(2)}(x)$ é a função de *Hankel* em ordem n e argumento x . O campo total E é obtido através da adição do campo incidente, $E_0 e^{(-jkr \cos \varphi)}$, e do campo dispersado.

Em relação à reflexão, causada pelas pás do aerogerador, a difracção provoca muito menos interferência. Portanto a reflexão é a principal interferência, num sinal de TV, que pode ter origem nos aerogeradores. Por isso o nosso estudo irá centrar-se principalmente nesse problema e nos modelos que o descrevem.

2.4 - Reflexão Pás

Para um receptor de sinais de TV na vizinhança de um parque eólico, a rotação das pás do aerogerador age como uma fonte de multipercursos com variações no tempo. Em resultado da dispersão provocada pelas pás, o sinal total recebido é geralmente modulado em amplitude e fase (ou frequência). Esta modulação aliada ao sinal desejado, se for suficientemente forte, pode afectar de forma bastante adversa o desempenho de um sistema de recepção ou emissão de TV.

Quando nos referimos aos efeitos das pás do aerogerador, principalmente devido a sua rotação, indicamos que provoca reflexão e em outras ocasiões dizemos que provoca dispersão. De facto, neste caso, a usar as duas denominações estamos a caracterizar o mesmo efeito. A única distinção existente entre a "reflexão" e "dispersão" é entre uma reflexão coerente e dispersão difusa. Essencialmente são o mesmo mecanismo. Quando uma onda de rádio ilumina uma fracção de um objecto, possivelmente uma fracção grande, a energia incidente é radiada em vários sentidos. Na reflexão coerente pura, uma onda rádio incidente, é somente radiada no sentido da reflexão óptica e só ocorre se estivermos na presença de superfícies planas. Na prática, nas frequências de rádio muitas superfícies são curvadas ou ásperas em comparação com o seu comprimento de onda. No caso em estudo a energia radiada pode ser concentrada no sentido de reflexão coerente, embora uma proporção significativa seja radiada frequentemente noutros sentidos.

A reflexão consiste na mudança de direcção de propagação da energia da onda incidente nas pás. Ou seja, consiste no retorno da energia incidente de uma direcção à região de onde ela é oriunda, após entrar em contacto com a superfície reflectora plana, constituída pelas pás do aerogerador.

Vamos descrever em mais detalhe o efeito das interferências causadas pelas pás dos aerogeradores. Como o tipo mais comum de aerogerador é o HAWT, a descrição feita em seguida vai limitar-se aos efeitos causados por este tipo de aerogeradores.

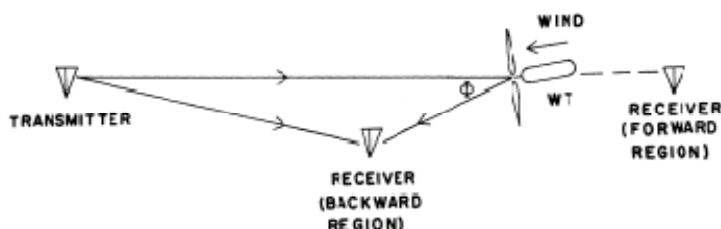


Figura 2.6 - Geometria da interferência das pás de um aerogerador [14]

Na vizinhança de um aerogerador o sinal dispersado pelas pás combinado com o sinal original pode provocar uma modulação em amplitude do sinal total recebido, como pode ser observado na figura 2.6. A forma de onda da modulação consiste geralmente em impulsos *sinc-like* cuja largura é inversamente proporcional ao comprimento eléctrico das pás e com uma amplitude directamente proporcional à área equivalente da dispersão, sendo três

(número de pás) vezes a frequência de rotação do aerogerador. Se forem suficientemente fortes, estes impulsos adversos ao sinal original, podem distorcer a imagem recebida. Uma vez que a informação áudio é transmitida com uma modulação em frequência, esta não é afectada por interferências. Geralmente, a uma dada distância do aerogerador, a interferência aumenta com o aumento de A ou com o aumento da envergadura dos aerogeradores e com o crescimento da frequência. É assim, naturalmente pior, para os canais de TV da banda superiores do UHF do que para canais em bandas de frequência mais baixas. A representa a área equivalente de dispersão, que depende directamente do tamanho das pás do aerogerador, sendo directamente proporcional ao seu aumento.

A interferência diminui com o aumento da distância do receptor ao aerogerador, mas mesmo assim no pior caso pode ainda produzir efeitos desagradáveis até alguns kms de distância.

Quando as pás estão imóveis o sinal dispersado pode aparecer na tela da TV como uma imagem fantasma, cuja posição (i.e. diferença à imagem do sinal directo) depende da diferença de tempo entre os sinais directos e dispersados. A rotação das pás, faz então com que a imagem fantasma flutue, e se o sinal dispersado, que causa a imagem fantasma, for suficientemente forte, a interferência resultante pode ser extremamente desagradável. Nesses casos, o retrato recebido indica um tremor ou uma pulsação horizontal da reprodução de vídeo. Como um aerogerador possui diversas pás, cada uma contribui separadamente fazendo com que a interferência ocorra ao triplo da frequência de rotação das pás. Enquanto a interferência aumenta, a imagem vai mostrando também uma vibração do brilho e uma interferência elevada pode ainda fragmentar a sincronização vertical do receptor de TV, fazendo com que a imagem “role” ou atinja um limite, e quebre. Este tipo de interferência ocorre quando o sinal interferindo alcança o receptor como resultado de uma dispersão coerente, e este está localizado na frente das pás do aerogerador, sendo a chamada interferência da região inversa (*Backward Region*).

Quando o ângulo Φ , entre o caminho aerogerador-transmissor e aerogerador-receptor, aumenta a separação entre o fantasma e a imagem do sinal directo diminui, e uma interferência maior é necessária agora, para produzir a mesma quantidade de distorção.

Se, por sua vez, a imagem fantasma é sobreposta ao retrato directo, não distorcido, e a distorção vídeo devido à interferência aparece como uma flutuação da intensidade do brilho do retrato, sincronizado com a rotação das pás, estamos na presença de interferência da região frontal (*Forward Region*).

Em ambos os casos, a quantidade da interferência depende da força do sinal dispersado relativamente à força do sinal original no receptor de TV, e essa interferência diminui com o aumento da distância à máquina. A distorção vídeo observada depende também, criticamente, da relação entre o índice de modulação, m , e o nível total de sinal recebido, sendo considerado o ponto inicial como o de maior valor para m , designado de m_0 . O ponto inicial é obviamente subjectivo, mas em consequência de diversos estudos de simulação e medições, estabeleceu-se que $m_0 = 0.15$ para $\Phi = 0^\circ$ (onde o tempo de atraso é máximo), aumentando uniformemente o valor até $m_0 = 0.35$ para o $\Phi = 180^\circ$ (onde o tempo atraso é zero). Por outras palavras, se $m = E^S/E^R > m_0$, estamos na presença de uma interferência demasiado severa para poder ser aceite, onde E^R é o sinal directo recebido e E^S o sinal disperso no mesmo ponto de recepção.

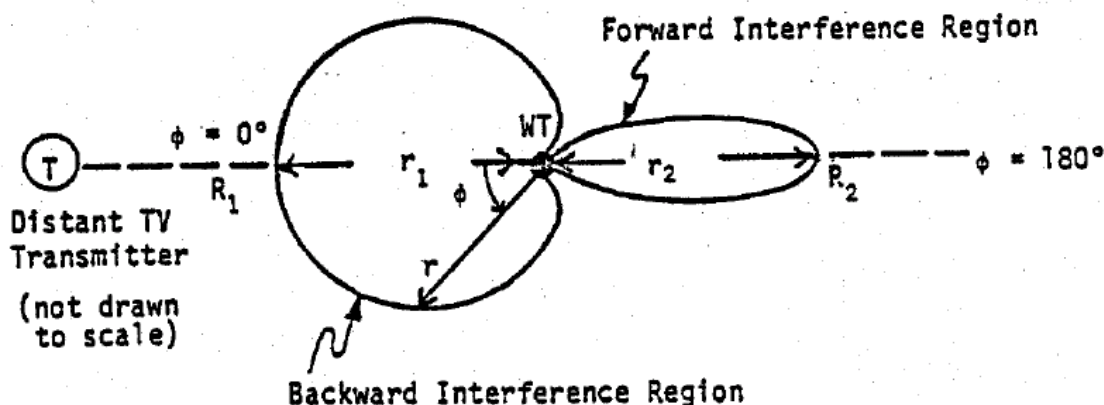


Figura 2.7 - Esboço da zona de Interferência na TV de um aerogerador [15]

Par uma determinada transmissão de TV e para um dado aerogerador, a zona de interferência pode ser modelada, tendo em conta as condições de propagação do sinal. Se os efeitos do terreno forem ignorados, estamos na presença de uma zona tipicamente cardióide (Figura 2.7), com lóbulo frontal direccionado no sentido contrário à localização do transmissor. O lóbulo traseiro representa, frequentemente, o de maior tamanho, onde a interferência é mais desagradável.

A distância máxima a um aerogerador, onde se detecta interferências consideradas inaceitáveis, é definida como a *distância de interferência* de um aerogerador. Para um HAWT num plano liso e perfeitamente condutor, a distância da interferência (r_H), em condições de espaço livre, é dado, aproximadamente, pela seguinte relação:

$$r_H = \frac{(2A)}{\lambda m o} E^B / E^R \quad (4.2)$$

Assumindo-se tratar de uma antena receptora omnidireccional.

O aumento do tamanho de um aerogerador, ou o aumento do tamanho das suas pás, provoca um aumento da denominada *zona de interferência*. Um aumento do tamanho de um aerogerador, aumenta também a sua altura em relação ao nível da terra, e isso, geralmente, causa uma maior exposição das pás a campos ambientais mais fortes. Na prática, a diferença de altura entre as pás e a antena receptora, tem um efeito considerável sobre o tamanho da *zona de interferência*. E, não obstante, a *zona de interferência* aumenta com o crescimento da frequência, o que conclusivamente, provoca que em iguais circunstâncias, a interferência é mais devastadora nos canais superiores da banda UHF.

A *zona da interferência* é simplesmente uma região onde a interferência inaceitável pode ocorrer, devido ao uso de antenas receptoras (omnidireccional) com baixa qualidade, e há muitos factores que afectam a interferência real observada:

- Em primeiro lugar, o sinal dispersado máximo é recebido, somente, quando as pás estão posicionadas entre o raio do sinal directo e o receptor. E quando o vento muda de direcção e a máquina gira para obter a máxima energia eólica possível, o sinal que é interferindo passa para uma zona diferente. Assim, em cada instante, só uma parcela pequena da zona sofrerá interferências, e a probabilidade da interferência em qualquer posição específica da zona, depende do sentido e da velocidade do vento;

- A antena usada pode também ser importante. Interferências causadas pela *Backward Region* (mas não pela *Forward Region*) podem ser minimizadas, ou mesmo completamente anuladas, se for utilizada uma antena direccionada de elevada performance;
- Por último, há os efeitos causados por o local e pelo terreno. Um monte, um edifício, ou mesmo árvores, que protejam a antena do aerogerador, podem reduzir a interferência, mas se esses obstáculos atenuarem também o sinal directo vindo do receptor, as interferências aumentarão.

É de notar que todos os problemas descritos e explicados anteriormente são referentes a transmissão analógica de televisão. Este projecto visa o estudo deste tipo de transmissão e também do serviço de televisão digital (DVB-T), contudo os problemas causados neste tipo não foram referidos nesta caracterização de problemas, principalmente devido a dois factores, um primeiro, de haver muito menos informação disponível sobre interferências neste tipo de transmissão, e um segundo factor, que serve de justificação ao primeiro, que é a maior robustez que possui o sinal digital de TV, o que o torna menos susceptível a interferências causadas por Parques Eólicos.

2.5 - Estudos sobre Casos de Interferência

Neste capítulo tem sido realizada uma descrição dos problemas causados pelos aerogeradores. No capítulo seguinte serão introduzidos modelos de estudo, e mais pormenorizadamente o modelo Spera-Sengupta, que foi adoptado neste projecto. Está na altura, então, de englobar este tipo de trabalhos com casos reais de estudo, ou seja, relatórios realizados para estimar interferências provocadas por Parques Eólicos, usando modelos, preferencialmente o modelo em teste.

Um caso que pode ser descrito nesta secção é relativo a um estudo realizado no Canadá [19]. Este estudo usa o modelo Spera-Sengupta para estimar as interferências causadas pelo Parque Eólico. Este projecto de estudo de interferência foi realizado antes da construção definitiva do *Matane Wind Farm*, o parque em questão. Este estudo pretendia verificar os efeitos da construção do parque nas telecomunicações em geral, não só na televisão. Contudo, verificou-se que o maior problema que poderia haver era com este serviço de comunicação.

O parque pretendia a implementação de 100 aerogeradores, espalhados por uma área bastante vasta. A realização prévia deste estudo permitiu estimar que qualquer aerogerador que se localize a menos de 2 km de uma estação de telecomunicação significativa tinha de ser deslocado. No caso de um transmissor da TV, a distância podia ser maior dependendo da distribuição de população em torno da estação e dos parâmetros técnicos da mesma. No projecto existiam aerogeradores em conflito com a transmissão de TV, tendo sido proposto a sua deslocação.

A verificação de possíveis interferências antes da implementação do Parque Eólico permite eliminar situações problemáticas nas telecomunicações, e mais propriamente na difusão de TV, evitando assim a necessidade de alterar a rede de telecomunicações local, para melhorar o serviço, após a sua construção.

2.6 - Conclusões

Este capítulo serviu para descrever os potenciais problemas causados pelos Parques Eólicos na transmissão de TV. Como foi possível ver os maiores problemas são causados pelo movimento das pás dos aerogeradores.

Convém referir que o grande problema está quando o sinal entre o emissor e o receptor não é em linha de vista, e por isso, é um sinal extremamente atenuado, e o sinal difractado pelo Parque Eólico é em linha de vista em relação ao receptor. Em Portugal, devido ao relevo característico das zonas onde são implementados os Parques Eólicos, este caso é muito comum. Locais de recepção que fiquem em elevações baixas em relação à sua área circundante têm esse problema, uma vez que, preferencialmente, os emissores vão ser colocados em zonas de maior altitude, bem como os Parques Eólicos. O grande problema destes casos é que o sinal reflectido terá um nível bastante elevado, pois o Parque Eólico encontra-se em linha de vista com o emissor. Como o receptor tem um nível de sinal baixo, o sinal reflectido pelos aerogeradores será bastante importante para o funcionamento do sistema. Num caso de oposição fase entre os dois sinais, haverá problemas na recepção de televisão bastante severos, devido à relação entre a potência do sinal recebido do emissor e a potência do sinal recebido por reflexão no Parque Eólico.

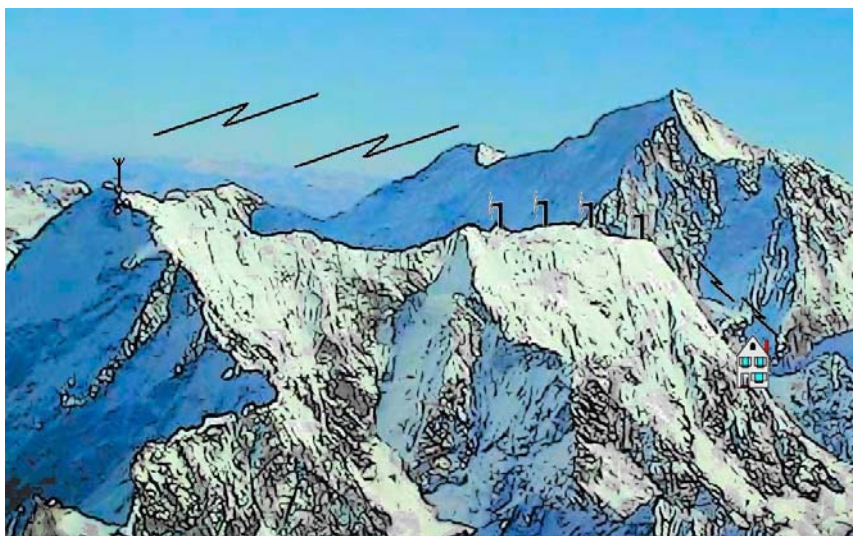


Figura 2.8 - Cenário de Interferência

A origem destes sinais reflectidos/difractados, foi vastamente documentada na secção 2.3 e 2.4, onde houve uma descrição dos problemas causados pela torre dos aerogeradores e pelo movimento das pás.

Capítulo 3

3 - Modelo Teórico e Ferramentas

Este capítulo começa por indicar as recomendações da ITU relativas aos problemas discutidos neste projecto. Além de indicar limiares mínimos de recepção, possui também um modelo de previsão de interferências causadas por Parques Eólicos.

Pretende-se dar também, uma ideia de como funciona o modelo de previsão de interferências em estudo, e ferramentas necessárias para a sua utilização. Embora existam vários modelos para estudar interferências electromagnéticas sobre sinais de televisão analógica, principalmente no caso de só existir uma máquina, como o caso da recomendação BT.805, existe um modelo em particular, que visa o estudo dessa interferência pelos Parques Eólicos e por um simples aerogerador, que é o designado modelo *Spera e Sengupta*. É um dos métodos mais usados e que tem demonstrado resultados bastante satisfatórios, como foi verificado na secção 2.5.

Esta área de estudo conheceu um grande apogeu durante os anos 80, princípio dos anos 90, pois com o surgimento e proliferação dos Parques Eólicos como energia renovável, houve necessidade de estudar as perturbações nas telecomunicações, por eles causadas. Depois de criadas técnicas e modelos de previsão destas interferências, houve a possibilidade da realização de relatórios que permitiam verificar os potenciais problemas que um parque eólico iria trazer a uma determinada zona, ou no caso da sua já implementação, identificar a fonte.

3.1 - Modelos da ITU

Ao longo da descrição do problema temos referido as várias causas de interferências provocadas pelos parques eólicos, bem como os seus efeitos na transmissão de TV. Contudo, não referimos até que ponto a interferência causada é ou não considerada prejudicial ao funcionamento do serviço de emissão de televisão, isto é, a partir de que valores de atenuação de sinal o Parque Eólico é responsável por uma obrigatória melhoria do serviço de televisão das populações afectadas.

Este tipo de problemas, e também a previsão dos efeitos, é tratado pelas recomendações da União Internacional de Telecomunicações (*ITU - International Telecommunication Union*) que é uma organização internacional destinada a padronizar e regular as ondas de rádio e telecomunicações internacionais. As suas principais acções incluem estabelecer a alocação de

espectros de ondas de rádio e organizar os arranjos de interconexões entre todos os países permitindo, entre outras coisas as ligações de telefone internacionais. Os padrões internacionais que são produzidos pela ITU são designados como *Recomendações*.

As recomendações da ITU referentes à transmissão de TV, principalmente a intensidade do campo mínimo no serviço televisão terrestre, que são importantes para o projecto em estudo, são: ITU-R BT.417-5, ITU-R BT.805 e ITU-R BT.654.

3.1.1 - ITU-R Recomendação BT.417-5

A recomendação BT.417-5 apresenta os valores mínimos da força média do campo para o serviço da televisão analógica nas faixas I, III, IV e V, com efeito de protecção contra interferências. Ou seja, esta recomendação dá os valores mínimos para o campo, com o objectivo destes terem alguma margem de eficiência na presença de desvanecimentos esporádicos. Estes valores estão descritos na seguinte tabela:

Banda	I	III	IV	V
dB)	+48	+55	+65	+70

Tabela 3.1 - Valores médios do campo eléctrico mínimo das diferentes bandas de TV

3.1.2 - ITU-R Recomendação BT.805

A recomendação BT.805 apresenta um método simples para avaliar o enfraquecimento causado à recepção de televisão a cores (analógica) pelas pás de uma turbina de vento. Onde a amplitude do raio reflectido da interferência é calculada como o maior dos seguintes valores:

- Amplitude do lóbulo para frontal, considerando as pás como reflectores planos perfeitos;
- Ou -10 dB do valor máximo do lóbulo frontal.

Os principais problemas desta recomendação são que o modelo que fornece para o cálculo do campo dispersado, só é valido para o caso de um aerogerador. No caso de um parque eólico com várias máquinas é necessária uma abordagem individual a cada aparelho, o que introduz muita complexidade ao cálculo. E também, este modelo faz uma estimação da atenuação no caso de caminho livre entre o transmissor, o receptor e o aerogerador.

O modelo dado é caracterizado pelas seguintes equações:

- A amplitude, RA , na região de dispersão frontal é dada por:

$$RA = 20 \log \frac{\sin(\pi \cdot \frac{W}{\lambda} \cdot \sin a)}{\pi \cdot \frac{W}{\lambda} \cdot \sin a} \quad (3.1)$$

Onde:

A : área das pás (m^2);

W : comprimento das pás (m);

λ : comprimento de onda (m).

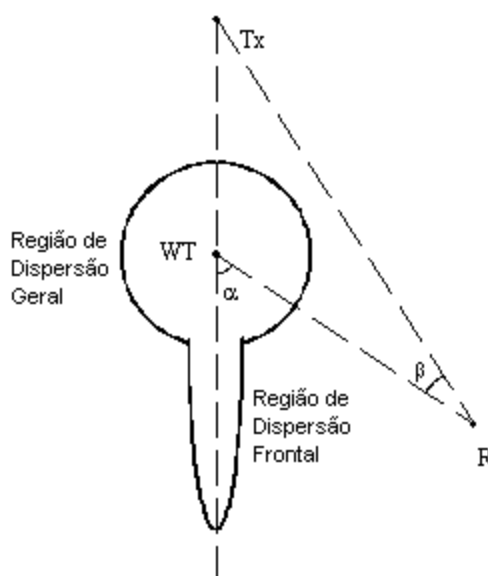


Figura 3.1- Esboço da região dispersada por um Aerogerador

Numa posição de recepção, R, a força do campo recebida é denominada FSR. No local onde se encontra localizado o aerogerador o valor do campo é chamado de FSWT.

O factor de reflexão, RF, pode ser definido como as perdas em trajecto livre para o primeiro quilómetro, entre o local da turbina e o local do receptor, R. Assim, FSWT mais o valor de RF dá a amplitude máxima, a uma distância de 1 quilómetro da turbina do vento, do sinal dispersado por essa mesma turbina. O valor máximo deste factor da reflexão devido às pás do aerogerador é então dado por: $20 \log (A / \lambda) - 60 \text{ dB}$.

Vista a expressão que define o valor da atenuação para um quilómetro, falta definir a expressão geral, para o caso de caminho livre, com uma distância d (km), entre o aerogerador e o receptor, da força de campo indesejada:

$$FSWT + RF + \max(-10, RA) - 20 \log d \quad (3.2)$$

É de relembrar que estas expressões só são válidas para caminhos desobstruídos, do ponto de vista das comunicações.

3.1.3 - ITU-R Recomendação BT.654

A recomendação BT.654 que tem como título a Qualidade Subjectiva do Retrato da Televisão em Relação aos Principais Enfraquecimentos do Sinal Composto de Televisão Analógica. Esta recomendação estabelece critérios para uma avaliação subjectiva da qualidade de imagem da TV analógica na presença de sinais de eco.

Um limite para a amplitude do sinal interferente pode ser definido de acordo com esta recomendação para assegurar uma qualidade subjectiva predefinida. Assim, uma vez que é um método de confiança para calcular a amplitude reflectida e o atraso relativo em relação ao raio directo, permite definir critérios e regras de espaços livres em volta dos diversos componentes do sistema.

3.2 - Modelo de Spera-Sengupta

O modelo de *Spera-Sengupta* é a reunião de um conjunto de equações que permitem estimar a força do campo dos sinais de TV dispersados pelos aerogeradores, foi elaborado com o objectivo de identificar os mecanismos pelos quais os aerogeradores podem afectar adversamente os sinais de telecomunicações, estimar a severidade desses efeitos em diversos tipos de sinais, como por exemplo: televisão, rádio, microondas, e navegação, e formular modelos matemáticos capazes de prever o tamanho de potenciais zonas de interferência ao redor dos aerogeradores.

Como se pode concluir, através dos objectivos propostos na realização do modelo, trata-se de um estudo bastante rigoroso e que pretende abranger uma grande variedade de sinais de telecomunicações, bem como, possuir equações para diversos tipos de aerogeradores e de situações reais de funcionamento dos mesmos. Por isso para um melhor aproveitamento das potencialidades deste modelo, o estudo realizado será feito com base numa modificação do modelo original, designado por *modelo Spera-Sengupta modificado*.

Este modelo introduz algumas simplificações, que tornam o modelo original mais simples, sem introduzir grande componente de erro aos valores que se obtêm. As simplificações presentes são as seguintes:

- Passa a ser considerada apenas a zona de *front-scatter* ($0,8\pi < \varphi < 1,2\pi$; $145^\circ < \varphi < 215^\circ$) como zona problemática para interferências, pois admite-se que na zona de *back-scatter* ($\varphi=0$) antenas com pelo menos 20dB de rejeição *frente-costas* proporcionam um bom isolamento;
- Considera-se apenas os aerogeradores no sector de visibilidade do feixe da antena receptora;
- Considera-se que o ganho da antena receptora é constante no sector de visibilidade;
- Considera-se que a interferência causada pelos aerogeradores interferente é adicionada em potência.

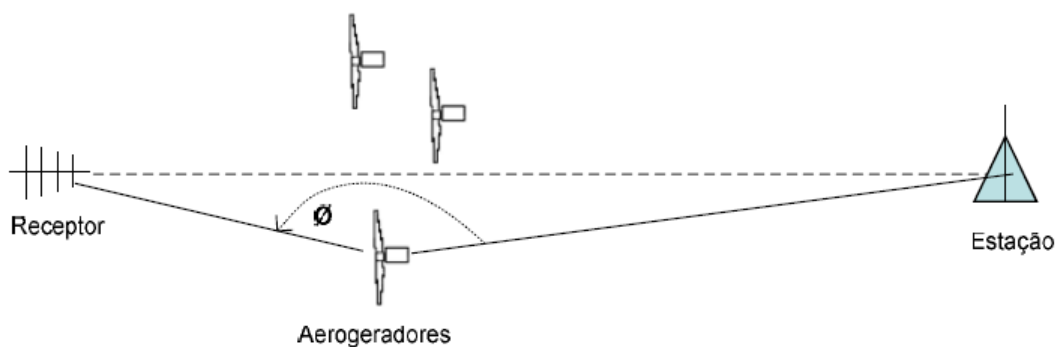


Figura 3.2 - Esquema representativo das Interferências

Por outro lado está modificação ao modelo também acrescenta melhorias na estimação de interferências em situações reais, pois incorpora um factor de previsão de condições reais de propagação do sinal interferente, transmitido pelos aerogeradores. Isto, porque o modelo original é para situações em que os intervenientes se encontram em linha de vista, contudo na realidade isso não é o que se sucede. Os transmissores de TV e os parques eólicos habitualmente situam-se em zonas com alguma elevação, para, no primeiro caso, haver uma difusão de sinal com menos obstáculos, e no segundo, por serem os pontos mais elevados os locais onde há uma maior energia eólica, isto é, ventos mais fortes. E os receptores de TV situam-se em maior número nos aglomerados habitacionais, que usualmente, se situam em pontos de menor elevação relativamente os transmissores.

Vamos passar a uma explicação mais detalhada dos princípios de funcionamento da versão modificada do modelo de *Spera-Sengupta*.

3.2.1 - Caracterização do Modelo

Nesta secção vai-se expor as principais características do sistema, indicar as equações que o constituem, mostrar e explicar quais os valores de entrada e de saída das formulas usadas e qual a sua importância para o cálculo das interferências causadas pelos Parques Eólicos.

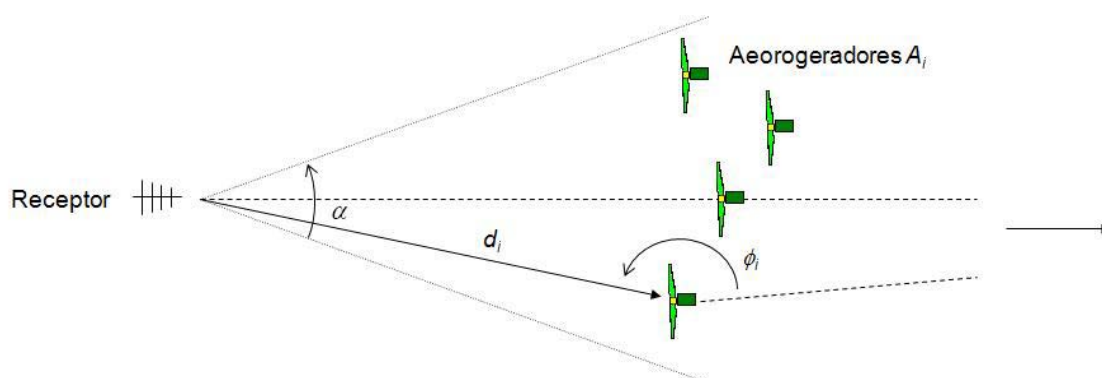


Figura 3.3 - Esquema do modelo de interferência

3.2.1.1 - Princípios do Modelo

- α - largura do feixe da antena receptora
Banda I: $\alpha = 70^\circ$ Canais C02-C04
Banda III: $\alpha = 50^\circ$ Canais C05-C10
Banda IV/V: $\alpha = 30^\circ$ Canais C21-C64
- M - número de aerogeradores interferentes (situados no sector de visibilidade da antena)
- d_i - distância do Receptor ao Aerogerador A_i
- ϕ_i - ângulo Estação - Aerogerador A_i - Receptor

3.2.1.2 - Dados de Entrada

DADOS GERAIS

- Parâmetros do Parque:
 - Lat_i ; Lon_i latitude e longitude do Aerogerador i ;
 - D diâmetro dos rotores dos aerogeradores.
- Constantes do modelo:
 - $\eta_s=0.5$ - eficiência *scattering* lâmina vs. *scattering* placa metálica plana;
 - $F_E=2.02$ - factor de excesso para uma probabilidade de ocorrência de 5%;
 - $K=0.5/2$ - parâmetro das zonas de *backward /forward scatter*.
 - $I(\alpha)$ - isolamento direccional das antenas de recepção.

DADOS POR ESTAÇÃO

- Parâmetros da ligação de TV:
 - E ; R -> estação (emissor/retransmissor); rede (RTP1;RTP2;SIC;TVI);
 - C ; $Freq$; PAR ; Lim -> canal RF; frequência; potência aparente radiada; limiar de recepção;
 - Lat_E ; Lon_E -> latitude e longitude (WGS84) da estação;
 - a -> largura do feixe da antena receptora (função da banda do canal de RF).
- Coberturas calculadas pelo *Radio Mobile*:
 - Rx_R -> nível relativo de sinal referido ao limiar de recepção no receptor - 10m de elevação;
 - Rx_A -> nível relativo de sinal referido ao limiar de recepção no aerogerador A - topo da torre (apenas para as estações afectadas);
 - Rx_I -> nível relativo de interferência do parque referido ao limiar de recepção no receptor - 10m de elevação, potência transmitida igual à da estação (apenas para as estações afectadas).

Estes dados são essências para o cálculo da interferência e como se pode notar é necessário a utilização de programas de simulação de coberturas de sistemas de radiocomunicação, para se obter os parâmetros relativos aos níveis de sinal. O programa usado será o *Radio Mobile* que será o tema da próxima secção deste capítulo, onde se indicará as suas funções e principais características.

3.2.1.3 - Cálculo do Nível de Interferência

Uma das simplificações impostas por esta modificação é o cálculo se efectuar somente para as Estações potencialmente interferidas. É preciso então formular alguma norma que possibilite identificar uma Estação como potencialmente interferida ou não. Essa norma é exposta em seguida:

- Uma área será potencialmente afectada se qualquer estação que assegura a sua cobertura estiver situada do lado oposto ao Parque.

As variáveis que são calculadas para cada posição do Receptor são as seguintes:

- f_i ângulo estação - aerogerador A_i - receptor;
- d_i distância do Receptor ao aerogerador A_i ;
- d distância do Receptor ao centróide do Parque;
- Rx_R nível relativo de sinal no Receptor Rx (convertido para escala linear);
- Rx_{A_i} nível relativo de sinal no Aerogerador A_i (convertido para escala linear);
- Rx_i nível relativo de interferência do parque (convertido para escala linear).

O cálculo da interferência, descrito a seguir, só é realizado se o valor de Rx_R for superior a $-12dB$, valor mínimo considerado pela ITU para recepção de TV, embora já se trate de um sinal degradado.

Depois da indicação e explicação de todos os parâmetros pertencentes ao sistema, passamos agora as equações que permitem o cálculo das interferência.

CÁLCULO POR AEROGERADOR - INTERFERÊNCIA EM LINHA DE VISTA

Nível de interferência do aerogerador A_i :

$$m_{Ri}(E, R) = \frac{\eta_s DF_E}{2d_i} \frac{Rx_{A_i}}{Rx_R} I(\alpha) \cos(k\phi_i) \quad (3.3)$$

Está formula permite obter a interferência causada por um único aerogerador, no ponto de recepção em estudo. Depois do cálculo para cada aerogerador, os resultados podem ser combinados através do procedimento seguinte.

CÁLCULO GLOBAL PARA O CONJUNTO DOS AEROGERADORES - INTERFERÊNCIA EM LINHA DE VISTA

Nível de interferência dos M aerogeradores do Parque Eólico:

$$m_{RL}(E, R) = \sqrt{\sum_{i=1}^M m_{Ri}^2} \quad (3.4)$$

Após este cálculo, possuímos o valor de interferência, mas para o caso de o emissor e o receptor se encontrarem no mesmo plano. Como esse facto é pouco usual, é necessário usar um factor de correcção.

CÁLCULO GLOBAL PARA O CONJUNTO DOS AEROGERADORES - INTERFERÊNCIA EM CONDIÇÕES REAIS DE PROPAGAÇÃO

Nível de interferência dos M aerogeradores do Parque Eólico:

$$m_R(E, R) = C m_{RL}(E, R) \quad (3.5)$$

C - factor de correcção do nível de interferência -> relação entre o sinal de interferência em condições reais de propagação e em linha de vista:

$$C = \frac{R_{x_i} \text{ Lim}}{1.64 \sqrt{50 \times PAR} \frac{3 \times 10^8 / Freq}{4\pi d}} \quad (3.6)$$

As unidades usadas no factor de correcção são as seguintes:

- Lim -> V;
- PAR -> W;
- $Freq$ -> Hz;
- d -> m.

Após este cálculo, obtemos o valor previsto de interferência por este modelo.

Em conclusão, este modelo foi desenvolvido para estimar as potenciais interferências causadas pelo movimento das pás de um aerogerador e de um grupo de aerogeradores nos sinais de TV. Estas equações incluem parâmetros que permitem determinar os efeitos que perturbam a modulação do sinal de TV de forma significativa. Esses parâmetros incluem a localização relativa dos transmissores, dos aerogeradores e receptores, tamanho, material e *shape* das pás dos aerogeradores. Número e espaçamento entre diversas máquinas, frequência e força do sinal directo entre o transmissor e o receptor.

Como foi referido, na descrição do modelo de *Spera-Sengupta modificado*, para o seu cálculo é necessário o uso do programa *Radio Mobile*, para estimação de alguns valores. Em seguida fazemos uma descrição dessa aplicação.

3.3 - Radio Mobile

Como foi visível na secção anterior, é necessário recorrer a ferramentas especializadas, para se obter o valor de sinal recebido em cada ponto da área em estudo. Uma das ferramentas mais poderosas nessa área é o *Radio Mobile*.

O *Radio Mobile* é um programa de simulação da propagação de ondas de rádio que operem sobre a escala de frequências de 20MHz a 20GHz. É baseado no modelo da propagação denominado *Irregular Terrain Model (ITS) (Longley-Rice)*. Este modelo é baseado na teoria electromagnética e em análises estatísticas das características dos terrenos e das

medidas de rádio, prevendo a atenuação média de um sinal de rádio em função da distância e da variabilidade do sinal no tempo e no espaço.

O programa, *Radio Mobile*, permite a inserção de mapas aéreos específicos, usando dados *SRTM* (*Shuttle Radar Topography Mission*) obtidos na *Space Shuttle Radar Terrain Mapping Mission*, ou de outros tipos de bases de dados. Podem ser também adicionados os contornos da elevação e estradas. As *Units* (estações) podem ser colocadas onde forem necessárias, ou seja, onde se encontram localizadas. O desempenho individual de cada unidade pode ser especificado, entre eles, a potência, a sensibilidade, e diversos outros parâmetros característicos de cada antena, permitindo, então, examinar as ligações de rádio obtendo-se o perfil do trajecto e os parâmetros do sinal. Os testes padrões da cobertura do sinal podem ser produzidos para cada unidade em separado.

Os dados necessários inserir no programa, estão especificados a seguir:

- d - distância entre os terminais;
- h_g - altura da estrutura da antena;
- k - número de onda, dado pela expressão $k = 2\pi/\lambda$, onde λ representa o comprimento de onda;
- Δh - parâmetros de irregularidade do terreno;
- N_s - refração da superfície, medida por $N_s = N_0 e^{-Z_s / -Z_1}$;
- γ_e - curvatura efectiva da terra;
- Z_g - A impedância de transferência da terra;
- *radio climate* - parâmetro relativo ao clima onde se encontra o sistema em estudo.

Existem dados, a partida, com valores padronizados, podendo-se introduzir esses dados de entrada para se obter resultados mais realistas, dependente do caso em estudo.

Depois de definirmos todos os parâmetros de entrada, podemos obter diversos modelos dependendo das opções em estudo. A mais simples destas formas é apenas a referência de atenuação A_{ref} . Esta é a atenuação média relativa a um sinal livre, que deverá ser observado durante os momentos em que condições atmosféricas correspondem a um padrão. A segunda forma de saída dispõe de uma distribuição cumulativa bidimensional ou tridimensional de atenuação na qual o tempo, a localização e a variabilidade de situações estão todas contabilizadas.

3.4 - Conclusões

Como foi descrito ao longo do capítulo o modelo de previsão de interferências causadas por Parques Eólicos, denominado Spera-Sengupta é um dos mais robustos no seu segmento. Este capítulo serviu para introduzir este modelo, que vai ser usado ao longo de todo o projecto, projecto este, que tem como principal objectivo, valida-lo.

Nos próximos capítulos vão estudar-se configurações e casos reais de interferência, sendo a análise teórica feita com base neste modelo e auxiliando-se no *Radio Mobile* para obter os mapas de cobertura.

Capítulo 4

4 - Casos de Interferência

Este capítulo vai servir para exemplificar disposições, à partida interferentes, entre os emissores e receptores e a localização dos parques eólicos.

Vamos estudar três tipos de configurações, bastante habituais, nos casos de existência de interferências causadas pelos Parques Eólicos.

As três configurações que vamos estudar são as seguintes:

- Caso 1 - Parque Eólico entre o emissor e o receptor de TV;
- Caso 2 - Parque Eólico em linha com o emissor;
- Caso 3 - Parque Eólico em linha com o receptor.

Os resultados obtidos para os cálculos destas configurações estão no anexo A. Esses cálculos foram realizados usando o modelo em estudo neste projecto. Nos três casos considera-se que a distância entre os aerogeradores constituintes do Parque Eólico é constante e usa-se para valor de Potência Aparente Radiada (PAR) e Frequência do Sinal de Emissão valores fixos, 10 kW e 750 MHz respectivamente.

Em todos os exemplos considera-se um Parque Eólico perpendicular ao caminho emissor-receptor, constituído por seis aerogeradores.

4.1 - Caso 1: Parque Eólico entre o emissor e o receptor de TV

Este é o cenário mais comum nos casos de zonas interferidas por parques eólicos. Neste caso o sinal de televisão tem de atravessar um Parque Eólico, na ligação entre o emissor e o receptor.

Neste tipo de configurações os factores mais determinantes e característicos para o aparecimento de interferências na zona de recepção são a distância entre os aerogeradores e destes ao sinal directo entre o emissor e o receptor e também a localização dos aerogeradores em relação à distância entre o emissor e o receptor. Isto quer dizer, a que percentagem da distância total da emissão se encontra localizado o Parque Eólico.

Os resultados presentes no Anexo A relativos ao Caso 1, tem os seguintes valores, para os dois factores considerados principais no nível de interferência causado:

- Distância entre aerogeradores (z): 150 m;

- Percentagem da distancia a que se localiza o Parque Eólico: 60%.

Este cenário pode ser observado no esquema seguinte.

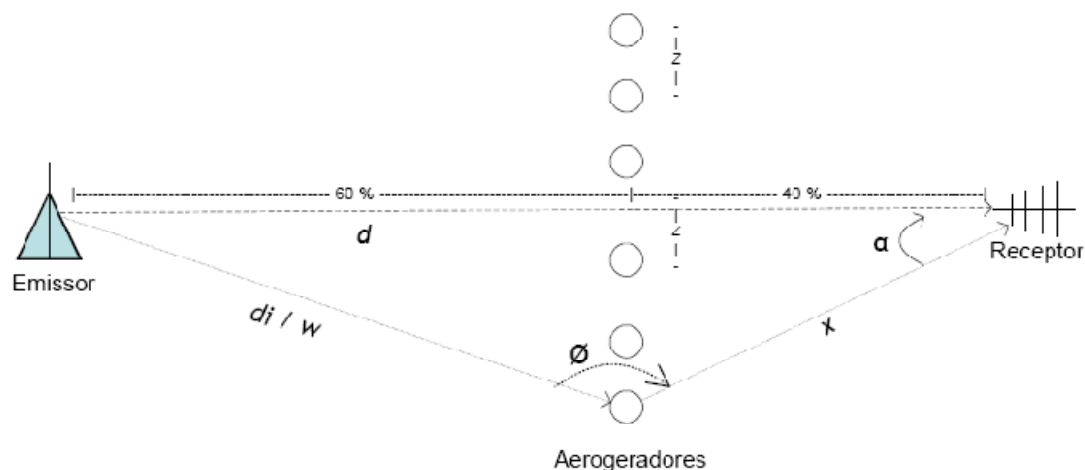


Figura 4.1 - Esquema Parque Eólico entre Emissor e o Receptor

Como se pode verificar, com este tipo de disposição, um sistema que possua características semelhantes à simulação idealizada terá um nível de interferência excessiva até distâncias de cerca de 1200 m, entre o emissor e o receptor (d). Quantificando, tem um nível de interferência, $m_{RL}(E,R)$, superior a 0,15.

Esta simulação foi realizada para distâncias até 4500 m entre o emissor e o receptor, e neste caso, como se pode verificar pelos valores presentes no Anexo A, a interferência nesse local possui um valor aceitável, ou seja, $m_{RL}(E,R)$ encontra-se entre os valores de 0,02 e 0,15.

O facto de o nível de interferência diminuir com o aumento da distância (d) entre o local de emissão e recepção é facilmente explicável. Como se pode notar, observando o modelo de cálculo de interferência, ou então, por simples inspecção teórica sobre o fenómeno de reflexão do sinal de televisão nas pás dos aerogeradores, o sinal originado pela reflexão nos aerogeradores degrada-se a um ritmo superior em relação ao sinal original emitido. Isto porque é necessário ter em conta a eficiência de reflexão das pás dos aerogeradores.

Por isso, com o aumento da distância (d), embora o parque eólico permaneça à mesma distância relativa do emissor e receptor, o valor da distância entre o aerogerador e o local de recepção (x) aumenta em valor absoluto, fazendo com que, embora o sinal directo também diminua de valor (Rx_R), o sinal reflectido no Parque Eólico tenha uma maior degradação, em relação ao sinal directo, diminuindo assim o valor de interferência $m_{RL}(E,R)$.

4.1.1 - Alterações dos Parâmetros Originais

Vamos verificar o que se sucede quando há uma alteração de um dos dois factores considerados principais.

A distância entre os aerogeradores faz variar inversamente o valor do nível de interferência. Quando há uma diminuição da distância verifica-se um aumento da

interferência na zona de recepção, e inversamente, como o aumento dessa distância há uma diminuição do nível de interferência.

Em seguida está presente uma tabela que contém o valor do nível de interferência ($m_{RL}(E,R)$), para uma distância de 2000 m entre o emissor e o receptor, variando-se a distância entre os aerogeradores. Todos os outros parâmetros são idênticos ao cenário inicial.

Distância entre os Aerogeradores (z) (m)	Nível de Interferência ($m_{RL}(E,R)$)
50	0.20
100	0.15
150	0.12
200	0.10
250	0.09

Tabela 4.1 - Variação do nível de interferência com a alteração da distância entre aerogeradores

Como se pode verificar pelos valores da tabela, um aumento de 50 m na distância entre aerogeradores altera significativamente o nível de interferência, podendo transformar uma zona de interferência excessiva numa zona de interferência aceitável. É preciso notar que se representasse os níveis de interferência para distâncias entre emissor e receptor menores, teríamos alterações superiores dos níveis de interferência, verificando-se, menores alterações dos níveis de interferência, nos casos de distâncias maiores. Porque há uma alteração da componente relativa do valor do espaçamento entre aerogeradores. Neste caso uma alteração de 50 m representa 2,5% da extensão entre os dois pontos de comunicação.

Uma alteração da posição relativa do Parque Eólico também provoca alterações nos níveis de interferência. Como é facilmente perceptível, quanto mais perto do local de recepção estiver o Parque Eólico pior é a degradação provocada. Pois, como já vastamente foi explicado, a degradação do sinal reflectido é superior à do sinal directo, por isso quanto menor for o percurso que o sinal interferente tenha de percorrer, maior será o nível de interferência.

Em seguida está presente uma tabela que contém o valor do nível de interferência ($m_{RL}(E,R)$), para uma distância de 2000 m entre o emissor e o receptor, variando-se a distância relativa da localização do Parque Eólicos. Todos os outros parâmetros são idênticos ao cenário inicial.

Posição Relativa do Parque Eólico	Nível de Interferência ($m_{RL}(E,R)$)
50%	0.12
60%	0.12
70%	0.12
80%	0.14
90%	0.16

Tabela 4.2 - Variação do nível de interferência com a alteração da posição relativa do P.E.

Como se verifica na tabela, quanto mais próximo estiver o Parque Eólico em relação à zona de recepção pior vai ser o nível de interferência registado. Contudo, alterações de 10% (200 m), provocam aumentos relativamente mais baixos, em comparação com o caso anterior. Obviamente, é difícil comparar diferentes tipos de alterações na estrutura do modelo.

Neste caso as alterações provocadas no nível de interferência mantêm o mesmo grau de variação consoante a distância, entre o emissor e o receptor, em análise.

Este é o cenário mais habitual em interferências causadas por Parques Eólicos. A exposição feita anteriormente é meramente ilustrativa, pois, cada caso é um caso, e basta pequenas alterações na disposição e espaçamento dos aerogeradores para provocar grandes mudanças nos níveis de interferência.

4.2 - Caso 2: Aerogeradores em linha com Emissor

Este é um cenário menos comum que o anterior, todavia, é também frequente. Isto porque, os melhores locais para colocar Parques Eólicos são muitas vezes coincidentes com os melhores locais para colocar emissores de televisão, levando a que, em certas ocasiões, o emissor esteja em linha com os aerogeradores.

Este cenário pode ser observado no esquema seguinte:

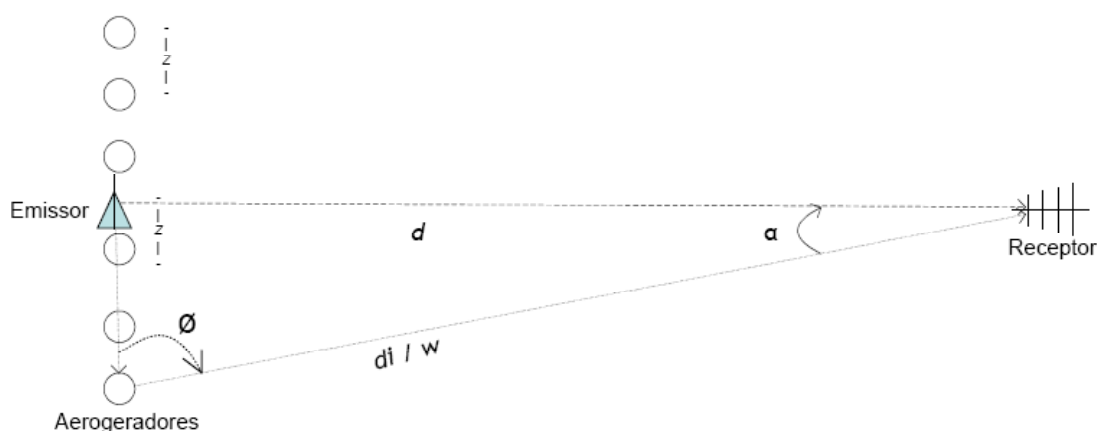


Figura 4.2 - Esquema Aerogeradores em linha com Emissor

Neste tipo de configuração o factor principal para a alteração do nível de interferência é o espaçamento entre o emissor e os aerogeradores e entre eles.

Os resultados presentes no Anexo A relativos ao Caso 2, tem uma distância entre aerogeradores (z) de 150 m. Neste cenário a distância e a posição entre o emissor e os aerogeradores é fixa.

Neste caso os aerogeradores encontram-se bastante próximos do emissor, recebendo por isso um sinal bastante forte, o que torna o nível de sinal nos aerogeradores (R_{x_A}) bastante elevado. Este tipo de configuração provoca um nível de interferência praticamente constante independentemente da distância a que se localize a zona de recepção, pois a distância entre emissor e receptor (d) é bastante próxima de distância dos aerogeradores ao receptor (z).

Como se pode observar pelos resultados presentes no Anexo A, embora a variação do nível de interferência seja bastante pequena, ele tende a aumentar e a estabilizar com o crescer da distância entre a fonte e a recepção de sinal. Esse pequeno aumento é explicado pela diferença relativa que há sobre a distância entre o emissor e o receptor e a distância entre os aerogeradores e o receptor. Com o aumento do primeiro percurso a diferença relativa tende a baixar e as duas distancias a ficarem com valores mais próximos, podendo para grandes distâncias, considerar-se o mesmo valor. Logo, no caso de zonas de recepção mais próximas, a diferença do caminho percorrido entre o sinal directo e o reflectido, diminui o valor do nível de interferência, embora estejamos a falar de diferenças no nível da ordem dos 0,004 em 3500 m.

Um cenário real, idêntico ao projectado nesta simulação, traria grande interferência a zona servida por este emissor, sendo necessário efectuar algum tipo de melhoria na cobertura da zona em causa, para melhorar a qualidade de serviço.

4.2.1 - Alterações dos Parâmetros Originais

Alterando a distância entre os aerogeradores altera-se de forma significativa o nível de interferência no local de recepção. A tabela seguinte contém o valor do nível de interferência ($m_{RL}(E,R)$), para uma distância de 2000 m entre o emissor e o receptor, variando-se a distância entre os aerogeradores. Todos os outros parâmetros são idênticos ao cenário inicial.

Distância entre os Aerogeradores (z) (m)	Nível de Interferência ($m_{RL}(E,R)$)
50	0.47
100	0.23
150	0.15
200	0.12
250	0.09

Tabela 4.3 - Variação do nível de interferência com a alteração da distância entre aerogeradores

Como já tinha sido verificado no cenário anterior, uma diminuição do espaçamento entre os aerogeradores causa grande alteração no nível de interferência. Fazendo variar, entre valores de interferência extremamente excessiva, e valores de interferência aceitável, com alterações de cerca de 100 m.

Para a realização desta simulação considerou-se que a potência radiada pelo emissor, para a zona lateral onde se localizam os aerogeradores, era 37,5% da potência máxima de emissão. Este valor é baseado em diagramas de radiação de emissores de televisão.

Uma pequena alteração deste valor provoca alterações no nível de interferência. Na tabela seguinte pode verificar-se as alterações no nível de interferência ($m_{RL}(E,R)$), para uma distância de 2000 m, com uma distância fixa entre os aerogeradores (z) de 150 m.

Percentagem de Potência Radiada Lateralmente	Nível de Interferência ($m_{RL}(E,R)$)
32.5%	0.13
35%	0.14
37.5%	0.15
40%	0.16
42.5%	0.18

Tabela 4.4 - Variação do nível de interferência com a alteração da potência radiada lateralmente

Como seria de esperar, se a percentagem de potência radiada lateralmente, em relação à potência do emissor, aumentar ligeiramente, há um aumento significativo de nível de interferência, na zona de recepção.

Estes valores são simplesmente ilustrativos, mas permite ter uma ideia do espaçamento que deve existir entre a localização de um emissor e dos aerogeradores de um parque Eólico. E verificar que pequenas alterações das distâncias podem trazer bastantes benefícios ao serviço de recepção de TV numa determinada zona.

4.3 - Caso 3: Aerogeradores em linha com o receptor

Este é o cenário menos comum dos três por diversas razões, entre elas o facto de ser estranho haver Parques Eólicos no meio de povoações. Contudo permite reflectir num caso mais frequente que é o Parque Eólico se encontrar depois do local de recepção, mas bastante perto da povoação.

O cenário pode ser observado no esquema seguinte:

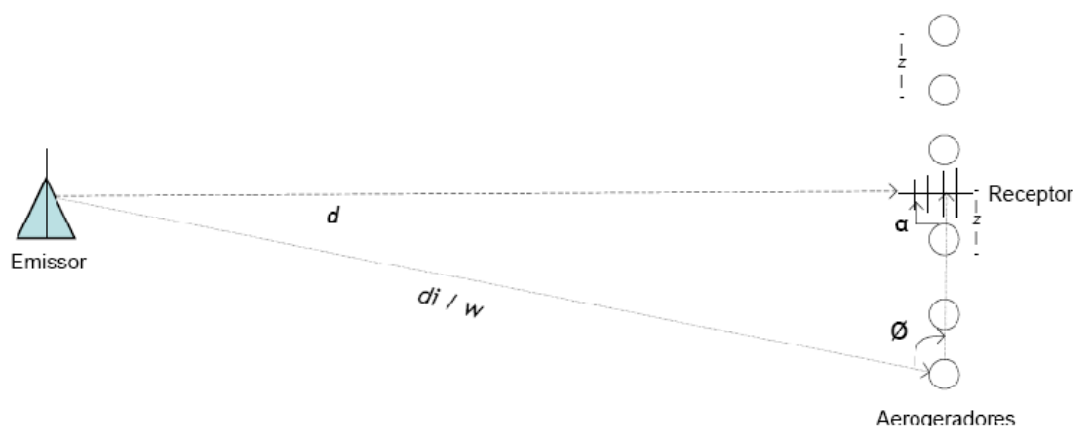


Figura 4.3 - Esquema Aerogeradores em linha com o receptor

Neste tipo de configuração o factor principal para a alteração do nível de interferência volta a ser o espaçamento entre o emissor e os aerogeradores e entre eles.

Os resultados presentes no Anexo A relativos ao Caso 3, têm uma distância entre aerogeradores (z) de 150 m. Nesta configuração, o receptor tem uma posição fixa em relação aos aerogeradores, provocando que o ângulo α , seja de valor constante, 90° .

Como se pode verificar pelos valores apresentados, trata-se de um caso onde a interferência é bastante baixa, sendo a partir dos 3000 m praticamente desprezável. Esse facto provem dos aerogeradores se situarem numa zona de *backward scatter*, havendo uma maior imunidade do sistema de recepção, a essas interferências. Por isso, zonas que se localizem a trás do local de recepção, na perspectiva do emissor, não devem causar qualquer tipo de problema. Todavia, o sinal reflectido por os aerogeradores, se estes se situarem bastante perto do local de recepção, pode ser reflectido por elementos constituintes da povoação e, nesse caso, causar interferências. É um cenário menos comum e mais complexo, mas que acontece. Se o sistema de recepção possuir uma antena com boa relação back-front, o sinal reflectido directamente pelo Parque Eólico pode ser completamente desprezado.

É de referir também, que com o aumento da distância entre os locais de emissão e recepção há uma diminuição algo significativa do nível de interferência.

4.3.1 - Alterações dos Parâmetros Originais

Alterando a distância entre os aerogeradores há uma alteração no nível de interferência, como de resto em todos os cenários estudados. A tabela seguinte contém o valor do nível de interferência ($m_{RL}(E,R)$), para uma distância de 2000 m entre o emissor e o receptor, variando-se a distância entre os aerogeradores. Todos os outros parâmetros são idênticos ao cenário inicial.

Distância entre os Aerogeradores (z) (m)	Nível de Interferência ($m_{RL}(E,R)$)
50	0.046
100	0.046
150	0.045
200	0.044
250	0.043

Tabela 4.5 - Variação do nível de interferência com a alteração da distância entre aerogeradores

Como se pode verificar, mais uma vez, a aproximação dos aerogeradores, é negativa do ponto de vista da qualidade de sinal disponível na zona de recepção, embora neste cenário seja bastante reduzido esse efeito.

4.4 - Conclusões

As simulações realizadas servem basicamente para estimar, de uma forma geral, o que se sucede em determinadas condições de localização dos componentes constituintes deste sistema - emissor, receptor e aerogeradores.

Embora cada caso seja particular na sua forma de disposição dos elementos em causa, podem ser retiradas conclusões destas simulações. A principal é que a distância entre os aerogeradores é bastante importante para o nível de interferência. Quanto maior o espaçamento mais difícil é provocarem interferências elevadas numa área específica de recepção, pois o grande problema não é um único aerogerador mas sim o seu aglomerado.

Outra conclusão que pode ser retirada, é que quanto mais longe do Parque Eólico se situar o local de recepção menor será o nível de interferência nessa zona.

Mas como cada caso é único, no capítulo seguinte vamos proceder ao estudo de uma caso real de uma zona que depois da construção de um Parque Eólico passou a ter problemas na recepção de TV.

Todos os cenários representados neste capítulo tinham o emissor, o receptor e os aerogeradores em linha de vista entre eles. Mas como já foi referido em capítulos anteriores, o grande problema é quando o sinal directo do emissor não é em linha de vista em relação ao receptor. E por sua vez, o sinal reflectido pelos aerogeradores é em linha de vista com o receptor. Se aliasse-mos esse cenário ao caso 1, estudado neste capítulo, teríamos valores de interferência mais elevados.

Capítulo 5

5 - Estudo de um Caso Real

Depois de um capítulo onde estudamos cenários padronizados de interferências, vai-se agora estudar um caso real, onde têm sido relatados casos de má recepção do sinal de televisão, após a instalação de um Parque Eólico.

No primeiro ponto do capítulo haverá uma descrição do local em estudo, passando em seguida a mostrar-se a cobertura e as interferências causadas pelo Parque Eólico. Estes primeiros pontos são relativos aos testes do modelo de previsão teórica de interferências de Parques Eólicos na difusão de TV analógica. Entretanto ilustra-se o projecto para testes com TV digital.

5.1 - Local

O Parque Eólico em estudo localiza-se em Fafe e é denominado de *Parque Eólico de Terras Altas de Fafe*. Fica localizado numa zona montanhosa, tendo um relevo bastante pronunciado e os aerogeradores localizados nos pontos mais elevados. A zona é servida por dois emissores de TV, o do Muro e o do Marão. Está a ser construído um reforço de aerogeradores a norte do parque. O estudo terá em conta a sua presença.

Como se pode observar pelas figuras o parque possui uma grande extensão e está dividido em duas grandes zonas, uma área principal, constituída por quarenta aerogeradores ao longo de quase 8 Km, e uma segunda área, constituída por treze aerogeradores. Para um maior rigor na previsão das interferências, estas duas áreas são ainda divididas em pequenos grupos de aerogeradores. A área principal foi dividida em quatro grupos e o reforço em dois grupos.

Nas figuras seguintes pode visualizar-se se a zona em questão, primeiramente numa perspectiva plana e seguidamente pronunciando o relevo do local.



Figura 5.1- Perspectiva do parque Eólico

Os dois emissores, que cobrem a área em estudo, ficam localizados a 32 km o emissor do Marão e a 35 km o emissor do Muro.

É preciso referir também que se tratam de aerogeradores com uma torre de altura 67 m e com um diâmetro de rotor de 87 m o que perfaz uma altura total da máquina de 110,5 m.

As populações circundantes do Parque Eólico, e por isso, as que potencialmente podem ser afectadas por este, são bastantes e com uma população considerável. São terras como, Vila Pouca, Várzea Cova, Vilela ou Barbosa.

O estudo vai limitar-se a dois canais, pois, a RTP1 é emitida em VHF, enquanto as outras redes emitem em UHF. Como a localização dos emissores é idêntica e os diversos parâmetros característica de uma emissão também o são, os resultados obtidos para uma das três redes, que transmitem em UHF, será idêntica as outras.

Perspectiva 3D da zona em análise:

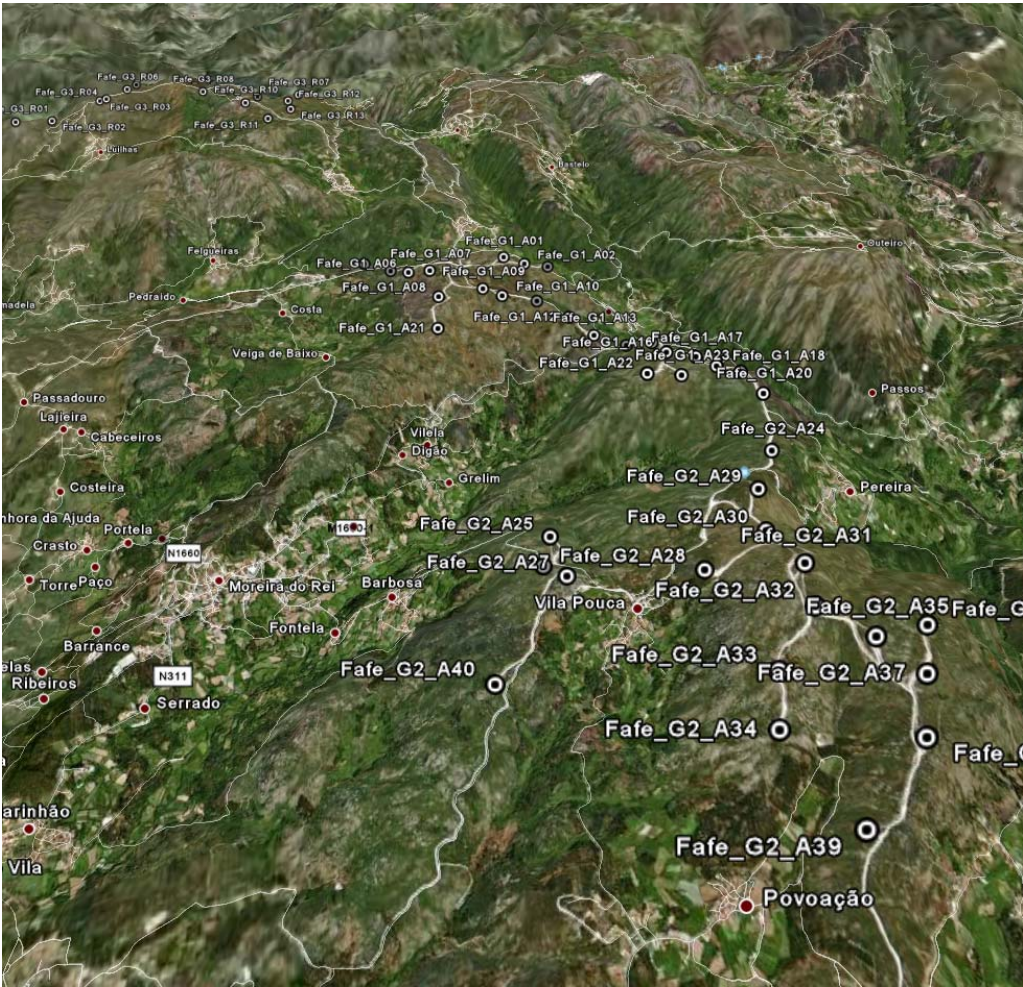


Figura 5.2 - Perspectiva 3D do Parque Eólico

5.2 - Coberturas das Redes

Como já foi indicado, o estudo não se centrará em todos os canais de televisão, mas sim em apenas um de cada banda, isto é, vai ser realizado o estudo de duas redes, uma que transmite em VHF e outra que transmite em UHF.

Para cumprir esses requisitos foram escolhidas a rede R1 e R2. A rede R1 transmite em VHF e usa o canal C06 no emissor do Marão e o canal C02 no emissor do Muro. O emissor do Marão usa uma potência de emissão (PAR) de 40 kW, um limiar de 122 μ V e uma antena colocada a 43 m de altitude, aliada a uma elevação de terreno de 1412 m. O emissor do Muro usa uma potência de emissão (PAR) de 67 kW, um limiar de 206 μ V e uma antena colocada a 44 m de altitude, aliada a uma elevação de terreno de 1350 m. Estas informações podem ser melhor visualizadas na tabela seguinte.

	Canal	Frequência	PAR	Limiar	Altura Ant	Elevação
Marão	C06	182.25 MHz	40 kW	122 μ V	43	1412
Muro	C02	48.25 MHz	67 kW	206 μ V	44	1350

Tabela 5.1 - Dados dos emissores para R1

Para a análise de UHF escolheu-se a rede R2. O emissor do Marão usa para essa rede o canal C35, enquanto o emissor do Muro usa o canal C27. As características dos emissores estão presentes na tabela seguinte.

	Canal	Frequência	PAR	Limiar	Altura Ant	Elevação
Marão	C35	583.25 MHz	300 kW	148 μ V	56	1412
Muro	C27	519.25 MHz	500 kW	148 μ V	58	1350

Tabela 5.2 - Dados dos emissores para R2

5.2.1 - Mapas de Cobertura

Os mapas de cobertura são obtidos através da ferramenta *Radio Mobile*. Através dos dados anteriormente mostrados, aliados ao relevo do local, este programa permite obter mapas de cobertura da recepção em cada ponto do local em estudo. Esta informação é essencial para a estimação de interferências pelo modelo *Spera-Sengupta*, pois neste, é necessária a indicação do nível de recepção em cada ponto em estudo (R_{xR}).

A nível visual estes mapas são bastante proveitosos, pois permitem, pelas simples observação, conhecer a cobertura de cada rede na área em estudo.

Os mapas de cobertura estão disponíveis no Anexo B. No ponto 1.1, do anexo atrás citado, podem ser visualizadas as coberturas da rede R1, quer do emissor do Marão quer do emissor do Muro. É também possível observar qual o emissor que possui melhor cobertura em cada ponto e a mapa de cobertura geral, resultante da combinação dos dois emissores.

Das imagens obtidas, pode concluir-se que toda a zona em estudo tem uma boa qualidade de sinal, de acordo com os limiares definidos pela ANACOM. Como é obrigatório, e seria de espera, a RTP1 tem cobertura suficiente para uma boa recepção em toda a zona em estudo.

Uma característica interessante deste local é que há muitas zonas à Norte do parque que tem como emissor óptimo o emissor do Marão, que esta localizado a Sul do parque, e por outro lado, há muitas áreas a Sul do parque que tem melhor recepção do emissor do Muro, que está localizado a Norte do parque.

No ponto 1.2 do anexo B encontram-se os mapas de cobertura relativos a rede R2. Pode-se ver a cobertura pelo emissor do Marão e pelo emissor de Muro independentemente, e também uma cobertura combinada dos dois emissores. É também possível observar qual o emissor óptimo em cada ponto.

Nesta rede, os resultados obtidos são bem mais negativos que na rede R1. Existem grandes áreas da zona em estudo que possuem um nível de sinal abaixo dos limiares definidos como mínimos para uma recepção de boa qualidade, sendo nesses locais recebido um sinal degradado (zonas em tons de azul), e existem também zonas onde o sinal é insuficiente mesmo para uma recepção deficiente de televisão (zonas transparentes). Estamos perante um local que tem largas aéreas com uma deficiente recepção de TV, mesmo antes da implementação do Parque Eólico. Com a sua instalação, tudo leva a crer, que esses problemas vão aumentar. As áreas de Vilela, Pereira, Várzea Cova e Barbosa, possuem uma cobertura bastante deficiente da rede R2.

É de sublinhar também, que a tal característica interessante deste local, onde há muitas zonas à Norte do parque que tem como emissor óptimo o emissor do Marão e há muitas áreas

a Sul do parque que tem melhor recepção do emissor do Muro, é amplificado no caso da rede R2, havendo um aumento das zonas onde se verifica esse facto.

5.3 - Interferência do Parque Eólico

Através dos valores obtidos anteriormente para o nível de sinal em cada ponto, é possível agora, através do modelo *Spera-Sengupta*, estimar as interferências causadas pelo Parque Eólico.

Os resultados obtidos estão presentes no ponto 2 do anexo B. Na secção 2.1 podem visualizar-se os resultados para a rede R1.

Como é visível, os resultados obtidos indicam uma degradação, algo significativa, do serviço de TV em algumas zonas. O sinal da rede R1 era de boa qualidade em toda a área em estudo e com a inclusão do Parque Eólico passou a haver locais onde o nível de interferência é superior ao recomendado. As áreas coloridas a vermelho no mapa possuem uma interferência excessiva, sendo as outras zonas coloridas possuidoras de interferência aceitável.

As localidades mais afectadas pela construção do parque Eólico, relativamente à degradação do sinal da rede R1, são Vilela, Várzea Cova e Vila Pouca. Zonas que também já possuem uma cobertura de sinal da rede R2 bastante má.

Estas análises são realizadas sem a inclusão dos aerogeradores em construção. Contando com essas máquinas o cenário é ligeiramente pior, principalmente a Norte do parque, onde aumentam as zonas com um nível de interferência excessivo. Este caso pode ser observado na secção 2.1.2 do Anexo B.

Com o cruzamento as informações obtidas nos mapas de interferência com mapas de densidade populacional, podemos obter o histograma presente na secção 2.3 do anexo B. Aqui está presente uma estimação da população afectada directamente pelo Parque Eólico. Considerando como valores excessivos de interferência a partir do nível 0.15, a população total afectada é de 594 indivíduos, no limiar de recepção S1. O limiar S1 representa o nível relativo de sinal referido ao limiar de recepção de 0 dB. Se considerarmos um nível de recepção inferior, onde o limiar de recepção é designado por S2, que representa um nível relativo de sinal referido ao limiar de recepção de -12 dB, a população afectada é de 23 indivíduos.

O número de indivíduos afectados na rede R1 pelo Parque Eólico é bastante elevado. Vamos verificar agora o que aconteceu na rede R2.

Os resultados relativos a rede R2 podem ser vistos na secção 2.2 do anexo B. Antes de se observar os mapas de interferência é preciso ter em conta que os locais onde não há cobertura permanecem transparentes neste mapa, pois não é calculado o valor da interferência em locais onde o sinal já era insuficiente.

Mesmo assim há uma área bastante grande que sofre interferências directas do Parque Eólico. Há imensas áreas, e bastante grandes, com tom vermelho, que representam uma interferência excessiva. Casos como Vila Pouca, Moreira do Rei e Lagoa, que tinham uma boa cobertura de sinal, têm uma interferência elevada, que degrada o serviço de difusão de TV que possuem. Há ainda localidades que já tinham um serviço bastante degradado ou mesmo insuficiente, que engrossam a lista de localidades com má recepção de TV nesta zona.

Quando temos em conta o efeito que os aerogeradores de reforço terão, o cenário torna-se extremamente preocupante. Devido ao caso particular de zonas a Sul do parque terem melhor recepção do emissor a Norte do parque, estes aerogeradores, vão estar localizados no percurso do sinal de televisão para uma área muito vasta, causando os efeitos presentes no mapa da secção 2.1.2 do Anexo B.

O histograma relativo à população afectada pelo Parque Eólico, refere-se só as pessoas que viram o serviço de televisão afectado por este, não inclui as que já tinham um serviço insuficiente. Mesmo assim, a população afectada é enorme. No limiar S1, estimasse que afecte 719 pessoas, mas o pior caso, é mesmo no limiar mais negativo, S2, onde o sinal é absolutamente insuficiente, a população afectada é de 1965 indivíduos.

Na rede R2, as condições de cobertura eram bastante precárias, contudo, a instalação do Parque Eólico piorou ainda mais o cenário que já existia, afectando uma área muito extensa e bastante população.

5.4 - Projecto para teste de Televisão Digital

Como foi visível nas secções anteriores, o Parque Eólico em estudo, causa interferências à difusão de televisão analógica, principalmente em UHF. Como um dos objectivos deste projecto é estudar possíveis interferências que o serviço de televisão digital possa ter, o melhor cenário para o seu estudo é através de um caso onde existam problemas com a difusão analógica.

Por isso, projectou-se um modelo de estudo na zona onde se localiza o Parque Eólico de Terras Altas de Fafe. O objectivo é montar um sistema de emissão de DVB-T, nas imediações do Parque Eólico, e realizar o estudo nas zonas onde há maiores interferências no caso de TV analógica. Por esse facto, é necessário que o sinal tenha um percurso semelhante ao analógico e que possua o mesmo nível de potência no local de recepção. O local ideal para a realização, tem de ter cobertura por parte de um emissor, e na prática ser bastante



Figura 5.3 - Local dos Teste de TV Digital

interferido pelo Parque Eólico. Para isso foram escolhidas as áreas presentes na Figura 5.3, para locais de recepção e emissão.

Para uma melhor compreensão do local em seguida colocamos uma imagem 3d.

Local de Emissão
(Parque de Reforço)

Local de Recepção (Parque 1
Grupo 3 - Junto a Barbosa e Vila
Nova)

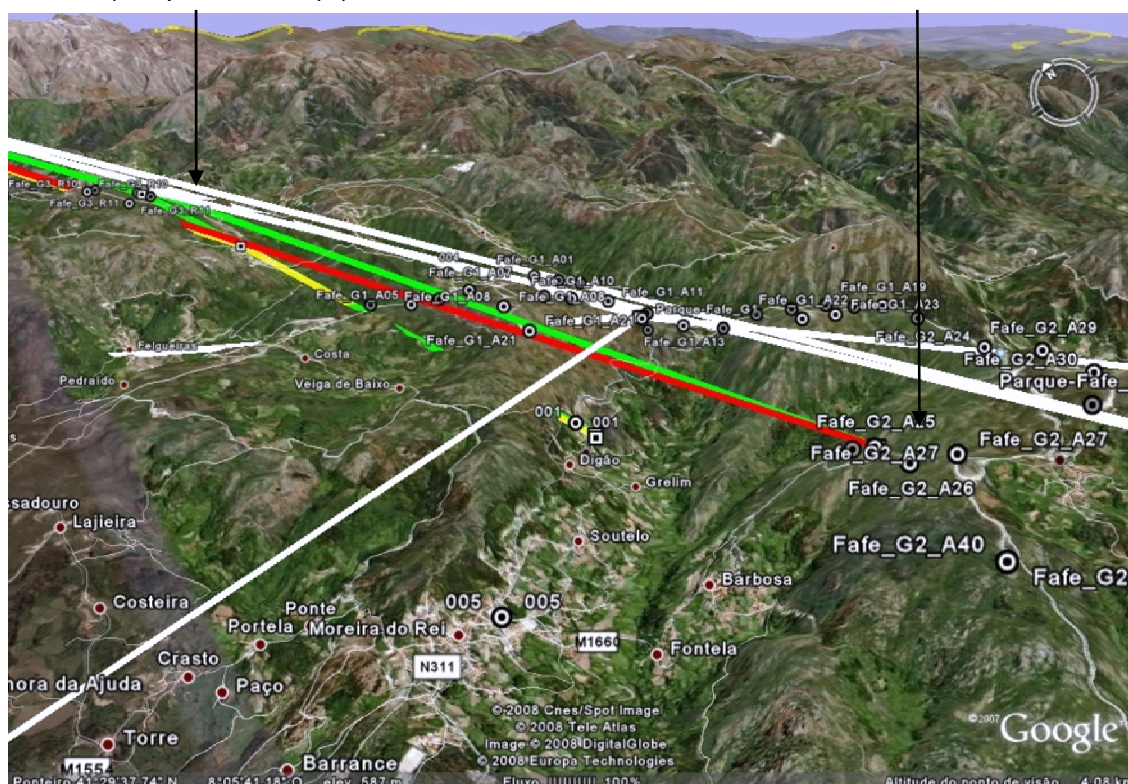


Figura 5.4 - Local dos Teste de TV Digital, visão 3D

5.4.1 - Sistema de Emissão

O sistema de emissão tem como principal objectivo, obter uma ligação que tenha os mesmos níveis de sinal no local de recepção que o emissor do Muro, na rede R2.



Figura 5.5 - Imagem do local de estudo de recepção

Como se pode verificar, na zona de recepção, a cobertura é bastante semelhante à do emissor de Muro na rede R2. Este mapa de cobertura foi realizado para uma emissão com frequência de 750 MHz.

Na tabela seguinte é possível obter mais informações sobre o sistema de emissão.

Coordenadas Geográficas (WGS84)	<i>LAT 41° 32'43.1"N - LONG 08° 06'34.2"W</i>
Cota de Implementação	<i>845 m</i>
Altura do Centro do Sistema Radiante	<i>5 m</i>
PAR Max. (watts)	<i>158,55 W</i>
Polarização da Antena	<i>Horizontal</i>

Tabela 5.4 - Informações sobre o Sistema de Emissão

Depois do sistema projectado é necessário testa-lo no terreno, e verificar se a emissão digital, ao invés da analógica, não é tão susceptível a interferências do Parque Eólico.

5.5 - Conclusões

Como foi possível verificar ao longo deste capítulo, a construção do Parque Eólico veio provocar degradações elevadas na qualidade de recepção de televisão analógica na zona onde foi instalado.

A rede R1, que possuía uma boa cobertura na zona, teve um nível de interferência elevado em algumas áreas, passando a não ser possível captá-la em todos locais, como acontecia antes da construção do Parque Eólico.

A rede R2, já não possuía uma cobertura com tanta qualidade como R1. Havia grandes áreas onde o nível de sinal era insuficiente. Com a construção do Parque Eólico, a cobertura de R2 piorou bastante, pois havia interferência em grandes áreas. Com a construção de mais aerogeradores a situação vai ainda ficar pior.

A resolução destes problemas é complicada, pois trata-se de uma área muito vasta com interferências. Alguns casos poderão ser resolvidos apontando as antenas de recepção para o outro emissor que cobre aquela área, mas para isso, é necessário que haja recepção nesse sítio.

Uma solução mais abrangente, mas por sua vez, muito mais dispendiosa, passa pela colocação de um retransmissor na zona afectada. Nesse caso, a maioria dos problemas seriam resolvidos e o serviço de televisão passaria a ter um nível de qualidade suficiente naquele local.

Capítulo 6

6 - Resultados Práticos

Neste capítulo são abordados os resultados obtidos, para confirmação dos valores teoricamente encontrados através do modelo de Spera-Sengupta, no Parque Eólico de Terras Altas de Fafe, estudado no capítulo anterior.

6.1 - Validação do Modelo Spera-Sengupta

O modelo Spera-Sengupta permitiu obter mapas de interferência, provocada pelo Parque Eólico. Esses mapas identificam as zonas onde ocorre interferência superior ao limiar que permite uma recepção de TV aceitável.

A validação no terreno, deste modelo, baseia-se na tentativa de verificar se há interferência excessiva nas zonas indicadas pelo modelo. A validação pode ser realizada de dois modos, ou por validação no terreno, com medições através de material especializado, como medidores de campo, ou através de queixas da população, que habita as zonas afectadas pelas interferências causadas pelo Parque Eólico. Obviamente que a primeira solução é muito mais rigorosa, pois é possível saber o sinal recebido em cada local.

O que podemos concluir primeiramente, através das queixas da população, é que o modelo Spera-Sengupta estimou de forma bastante precisa os locais onde ocorrem interferências. As localidades de Vilela, Vila Pouca, Várzea Cova e Pereira, locais extremamente interferidos, pelas conclusões da aplicação do modelo, são locais onde a população tem reclamado do mau serviço de televisão que possuem após a instalação do Parque Eólico.

Nesses locais, o sinal difractado pelo Parque Eólico, impossibilita uma correcta visualização da imagem que é transmitida, degradando assim a qualidade do serviço de teledifusão terrestre das populações. Na rede R1, a culpa desse problema é inteiramente do Parque Eólico, porque a cobertura do canal é de boa qualidade em toda a área em estudo, contudo na rede R2 e consequentemente, na R3 e R4, a cobertura do sinal já era deficiente, por isso há uma culpa repartida entre o promotor do parque e o operador da rede.

6.2 - Conclusões

Os resultados práticos vieram validar de forma bastante clara o modelo de previsão de interferência de Parques Eólicos, sobre a difusão terrestre de televisão analógica, denominado Spera-Sengupta.

Os resultados de simulação do modelo são coincidentes com os problemas reais encontrados na análise realizada no local do parque. Está, assim, de forma bastante clara, validado o modelo em estudo.

Capítulo 7

7 - Conclusões

Neste capítulo apresentamos uma síntese das principais conclusões e apontamos direcções futuras para o desenvolvimento de trabalhos nesta área.

7.1 - Modelo em estudo

Este projecto, como já foi enumeras vezes salientado ao longo deste trabalho, tinha como objectivo principal, a validação de modelo Spera-Sengupta de previsão de interferências em emissões de TV analógica e, como outro objectivo, realização de um projecto para futuros testes com televisão digital, para se estudar a sua resposta em ambientes potencialmente interferentes, neste caso, Parques Eólicos.

O modelo Spera-Sengupta cumpriu de forma exemplar os desígnios para o qual foi elaborado, estimando, de forma muito satisfatória, as zonas interferidas pelo Parque Eólico de Terras Altas de Fafe, que foi estudado neste projecto.

Os mapas de interferência obtidos, pela execução do modelo, são uma representação muito próxima da realidade. Por isso, estamos perante um cenário que nos permite afirmar ser possível, antes da construção de um Parque Eólico, a realização de projectos de avaliação das interferências na difusão de televisão, prevendo assim, os incómodos trazidos pela sua construção, podendo a partida, alterar-se algumas características que diminuam as alterações provocadas. Ou seja, a estimação das interferências pode ser realizada antes da construção do Parque Eólico, permitindo alterar algumas localizações de modo a otimizar as interferências que o parque possa ocasionar. Esta prática não é muito comum em Portugal, mas como pode ser possível verificar na secção 2.5, onde se abordou estudos realizados neste âmbito noutros países, foi possível perceber que eles são realizados antes da construção do parque, para poderem à partida verificar os problemas que iriam causar e assim, esses problemas, serem evitados.

Além da validação do modelo de previsão de interferências, este projecto permitiu verificar os cenários mais problemáticos nesta área de estudo. Assim, podemos afirmar, que configurações onde o sinal emitido pela Estação não seja recebido directamente pelo receptor, e entre o ponto de emissão e recepção estiver um Parque Eólico, em linha de vista

com os dois pontos em causa, estamos perante um cenário à partida extremamente problemático, do ponto de vista de interferências.

7.2 - Tendências Futuras

Com a entrada de funcionamento da TDT, este tipo de projectos tornam-se necessários para este tipo de emissão. Embora, teoricamente, os parques eólicos não sejam uma das fontes mais ameaçadoras deste tipo de transmissão, devido à robustez do sinal.

Este projecto permitiu criar um plano para realização de testes com televisão digital, num ambiente bastante interferente, para os sinais convencionais de TV, que é o Parque Eólico de Terras Altas de Fafe.

Com a entrada, próxima, em funcionamento da televisão digital, era interessante a realização prática desse plano de testes.

Referências e Bibliografia

1. Noam, Eli M., Television in Europe, Oxford University Press, New York, 1991.
2. Whitaker, Jerry C., Television Transmission Systems, McGraw-Hill, 2000.
3. U. Sandberg, Building Direct-to-home Television and Entertainment Networks for Europe Using the New Digital Video Broadcast Standards, in International Broadcasting Convention - IBC95, IEE, Set. 1995.
4. ETSI, Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data Service; Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television, Tech. Rep. ETS 300 744, European Telecommunications Standardization Institute. Maio 1996.
5. ETSI, Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data Service; Framing Structure, Channel Coding and Modulation for 11/12 GHz Satellite Services, Tech. Rep. ETS 300 421, European Telecommunications Standardization Institute, Dez. 1994.
6. ETSI, Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data Service; Framing Structure, Channel Coding and Modulation Cable System, Tech. Rep. ETS 300 429, European Telecommunications Standardization Institute, Dez 1994.
7. Whitaker, Jerry C., Digital Television Transmission Systems, McGraw-Hill, 2001.
8. <http://www.dvb.org/technology/dvbt2/index.xml>.
9. Dipak L. Sengupta and Thomas B. Senior, Electromagnetic Interference from Wind Turbines in Wind Turbine Technology, David A. Spera (Ed.), ASME Press, New York, 1994.
10. David A. Spera and Dipak L. Sengupta, Equations for Estimating the Strength of TV Signals Scattered By Wind Turbines, NASA Contractor Report 194468, 1994.
11. Carlos Salema, Carlos Fernandes, Luca Fauro, TV Interference from Wind Turbines, Instituto Superior Técnico and Instituto de Telecomunicações, Lisboa.
12. Sengupta, D. L.; Senior, T. B. A.: and Ferris, J. E.: Measurements of Television Interference Caused by a Vertical Axis Wind Machine, Solar Energy Research Institute, 1981.

13. Sengupta, D. L, and Senior, T. B. A.: Electromagnetic Interference by Wind Turbine Generators, U.S. Dept. of Energy, 1978.
14. Sengupta, D. L.; Senior, T. B. A.: and Ferris, J. E.: Measurements of Interference to Television Reception Near Horizontal Axis Wind Turbines, Solar Energy Research Institute.
15. Sengupta, Dipak L.: Electromagnetic Interference Effects of Wind Turbines, International Energy Association, 1984.
16. http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/ano2006_2007/MEEC/Trab_22/website_cav/dvbt.htm
17. ITU-R Recommendation BT.417-5.
18. ITU-R Recommendation BT.805.
19. ITU-R Recommendation BT.654.
20. BTAC - Subcommittee 18, Technical Information On The Assessment Of The Potential Impact Of Wind Turbines On Radiocommunication Systems, Montreal, 2004.
21. The Impact of Large Buildings and Structures (including Wind Farms) on Terrestrial Television Reception, BBC and Ofcom, 2006.
22. *Lester E. Polisk*, Identifying and Avoiding Radio Frequency Interference for Wind Turbine Facilities, Andrew Corporation, 2005.
23. Connell Wagner PPI, Capital Wind Farm Environmental Assessment - Chapter 11, 2006.

Anexo

A

Este anexo contém as folhas de cálculo que permitiram obter os resultados presentes no capítulo 6, sobre casos de interferência. Este anexo está dividido em três partes, cada uma respeitante aos casos em estudo no capítulo 6.

Caso 1: parque Eólico entre o emissor e o receptor
Aerogeradores à distância z do sinal directo

alphab (graus)	alphab	Rxa	dx	cos(k*phi)	d	di/w	alpha	alpha (graus)	phi	phi(graus)	mRi	Rxr	K	I
14.033	0.2449	514.6766	618.4658	0.356191	1000	427.2002	0.3584	20.534	2.538	145.43	0.05786906	318.31	2	1
12.802	0.2234	470.2946	676.8309	0.450487	1100	464.8656	0.3283	18.81	2.59	148.39	0.06760484	289.37	2	1
11.767	0.2054	432.8044	735.459	0.526619	1200	502.8916	0.3027	17.344	2.634	150.89	0.07334236	265.26	2	1
10.885	0.19	400.7466	794.2921	0.588665	1300	541.2024	0.2807	16.084	2.671	153.03	0.07641556	244.85	2	1
10.124	0.1767	373.0393	853.2878	0.639721	1400	579.7413	0.2616	14.99	2.703	154.89	0.07771402	227.36	2	1
9.4619	0.1651	348.8655	912.4144	0.682132	1500	618.4658	0.2449	14.033	2.732	156.51	0.07783266	212.21	2	1
8.8803	0.155	327.5979	971.6481	0.717677	1600	657.3431	0.2302	13.188	2.756	157.93	0.07717169	198.94	2	1
8.3656	0.146	308.7478	1030.97	0.74772	1700	696.3476	0.2171	12.438	2.779	159.2	0.07600212	187.24	2	1
7.907	0.138	291.9292	1090.367	0.777332	1800	735.459	0.2054	11.767	2.798	160.33	0.07450857	176.84	2	1
7.4957	0.1308	276.8331	1149.826	0.795272	1900	774.6612	0.1948	11.164	2.816	161.34	0.07281744	167.53	2	1
7.1249	0.1244	263.2099	1209.339	0.814242	2000	813.941	0.1853	10.619	2.832	162.26	0.07101549	159.15	2	1
6.7889	0.1185	250.8555	1268.897	0.830734	2100	853.2878	0.1767	10.124	2.846	163.09	0.0691623	151.58	2	1
6.483	0.1131	239.6018	1328.495	0.845153	2200	892.6926	0.1688	9.6728	2.86	163.84	0.06729863	144.69	2	1
6.2034	0.1083	229.3087	1388.128	0.857828	2300	932.1481	0.1616	9.2598	2.872	164.54	0.06545215	138.4	2	1
5.9468	0.1038	219.8589	1447.791	0.869026	2400	971.6481	0.155	8.8803	2.883	165.17	0.06364137	132.63	2	1
5.7106	0.0997	211.1534	1507.481	0.878966	2500	1011.187	0.1489	8.5305	2.893	165.76	0.06187836	127.32	2	1
5.4923	0.0959	203.108	1567.195	0.887827	2600	1050.762	0.1432	8.207	2.902	166.3	0.06017064	122.43	2	1
5.2901	0.0923	195.6507	1626.93	0.895758	2700	1090.367	0.1338	7.907	2.911	166.8	0.05852254	117.89	2	1
5.1021	0.089	188.7194	1686.683	0.902883	2800	1130	0.1331	7.628	2.919	167.27	0.05693615	113.68	2	1
4.9271	0.086	182.2607	1746.454	0.909308	2900	1169.658	0.1286	7.3679	2.927	167.7	0.05541197	109.76	2	1
4.7636	0.0831	176.228	1806.239	0.915121	3000	1209.339	0.1244	7.1249	2.934	168.11	0.05394943	106.1	2	1
4.6106	0.0805	170.5805	1866.039	0.920396	3100	1249.04	0.1204	6.8973	2.941	168.49	0.05254724	102.68	2	1
4.4672	0.078	165.2828	1925.85	0.925197	3200	1288.759	0.1167	6.6838	2.947	168.85	0.05120358	99.472	2	1
4.3323	0.0756	160.3032	1985.674	0.92998	3300	1328.495	0.1131	6.483	2.953	169.18	0.04991635	96.458	2	1
4.2054	0.0734	155.6142	2045.507	0.93359	3400	1368.247	0.1098	6.2939	2.958	169.5	0.04868328	93.621	2	1
4.0856	0.0713	151.1909	2105.35	0.937269	3500	1408.013	0.1067	6.1155	2.964	169.8	0.04750197	90.946	2	1
3.9725	0.0693	147.0116	2165.202	0.940652	3600	1447.791	0.1038	5.9468	2.968	170.08	0.04637004	88.419	2	1
3.8655	0.0675	143.0566	2225.062	0.94377	3700	1487.582	0.101	5.7872	2.973	170.35	0.0452851	86.03	2	1
3.764	0.0657	139.3084	2284.929	0.94665	3800	1527.383	0.0984	5.6359	2.978	170.6	0.04424483	83.766	2	1
3.6678	0.064	135.7512	2344.803	0.949315	3900	1567.195	0.0959	5.4923	2.982	170.84	0.04324699	81.618	2	1
3.5763	0.0624	132.3708	2404.683	0.951786	4000	1607.016	0.0935	5.3558	2.986	171.07	0.0422894	79.577	2	1
3.4893	0.0609	129.1544	2464.569	0.954081	4100	1646.845	0.0912	5.2259	2.989	171.28	0.04137001	77.637	2	1
3.4064	0.0595	126.0903	2524.46	0.956217	4200	1686.683	0.089	5.1021	2.993	171.49	0.04048685	75.788	2	1
3.3274	0.0581	123.1679	2584.357	0.958208	4300	1726.528	0.087	4.9841	2.997	171.69	0.03963805	74.026	2	1
3.2519	0.0568	120.3778	2644.258	0.960066	4400	1766.38	0.085	4.8714	3	171.88	0.03882184	72.343	2	1
3.1798	0.0555	117.711	2704.163	0.961804	4500	1806.239	0.0831	4.7636	3.003	172.06	0.03803655	70.736	2	1

Tabela A.1 - Resultados obtidos para o Caso 1 com distância z

Aerogeradores à distância 2z do sinal directo

alphanb graus	alphanb	Rxa	dx	cos(k*phi)	d	df/w	alpha	alpha (graus)	phi	phi(graus)	mRf	Rxr	K	I
26.486	0.4623	474.5084	670.8204	0.522229	1000	500	0.6367	36.478	2.043	117.04	0.06683362	318.31	1	1
24.392	0.4257	439.0586	724.9828	0.487882	1100	532.5411	0.5936	34.011	2.122	121.6	0.05966739	289.37	1	1
22.584	0.3942	408.0896	780	0.457041	1200	566.0389	0.5552	31.808	2.192	125.61	0.05332196	265.26	1	1
21.013	0.3667	380.8886	835.7033	0.429339	1300	600.3332	0.5208	29.839	2.254	129.15	0.047754	244.85	1	1
19.636	0.3427	356.864	891.9641	0.404417	1400	635.2952	0.49	28.073	2.309	132.29	0.04288889	227.36	1	1
18.422	0.3215	335.5281	948.6833	0.381943	1500	670.8204	0.4623	26.486	2.358	135.09	0.03864317	212.21	1	1
17.344	0.3027	316.4796	1005.783	0.36162	1600	706.8239	0.4373	25.055	2.402	137.6	0.03493554	198.94	1	1
16.382	0.2859	299.3878	1063.203	0.343187	1700	743.2362	0.4147	23.76	2.441	139.86	0.03169185	187.24	1	1
15.519	0.2709	283.979	1120.893	0.326416	1800	780	0.3942	22.584	2.477	141.9	0.02884671	176.84	1	1
14.739	0.2572	270.0258	1178.813	0.31111	1900	817.0679	0.3755	21.513	2.509	143.75	0.02634359	167.53	1	1
14.033	0.2449	257.3383	1236.932	0.356191	2000	854.4004	0.3584	20.534	2.538	145.43	0.02893453	159.15	2	1
13.39	0.2337	245.757	1295.222	0.40591	2100	891.9641	0.3427	19.636	2.565	146.97	0.03167142	151.58	2	1
12.802	0.2234	235.1473	1353.662	0.450487	2200	929.7311	0.3283	18.81	2.59	148.39	0.03380242	144.69	2	1
12.263	0.214	225.3949	1412.232	0.490542	2300	967.6776	0.3075	18.049	2.613	149.69	0.03543871	138.4	2	1
11.767	0.2054	216.4022	1470.918	0.526619	2400	1005.783	0.3027	17.344	2.634	150.89	0.03667118	132.63	2	1
11.309	0.1974	208.0857	1529.706	0.559189	2500	1044.031	0.2913	16.691	2.653	152	0.03757401	127.32	2	1
10.885	0.19	200.3733	1588.584	0.588665	2600	1082.405	0.2807	16.084	2.671	153.03	0.03820778	122.43	2	1
10.491	0.1831	193.2027	1647.544	0.615405	2700	1120.893	0.2709	15.519	2.688	153.99	0.03862196	117.89	2	1
10.124	0.1767	186.5197	1706.576	0.639721	2800	1159.483	0.2616	14.99	2.703	154.89	0.03885701	113.68	2	1
9.7819	0.1707	180.2768	1765.673	0.661885	2900	1198.165	0.253	14.496	2.718	155.72	0.03894607	109.76	2	1
9.4619	0.1651	174.4327	1824.829	0.682132	3000	1236.932	0.2449	14.033	2.732	156.51	0.03891633	106.1	2	1
9.162	0.1599	168.9509	1884.038	0.700669	3100	1275.774	0.2373	13.598	2.744	157.24	0.03879013	102.68	2	1
8.8803	0.155	163.799	1943.296	0.717677	3200	1314.686	0.2302	13.188	2.756	157.93	0.03858585	99.472	2	1
8.6154	0.1504	158.9484	2002.598	0.733314	3300	1353.662	0.2234	12.802	2.768	158.58	0.03831865	96.458	2	1
8.3656	0.146	154.3739	2061.941	0.74772	3400	1392.695	0.2171	12.438	2.779	159.2	0.03800106	93.621	2	1
8.1299	0.1419	150.0527	2121.32	0.761016	3500	1431.782	0.2111	12.093	2.789	159.78	0.03764342	90.946	2	1
7.907	0.138	145.9646	2180.734	0.773312	3600	1470.918	0.2054	11.767	2.798	160.33	0.03725429	88.419	2	1
7.6959	0.1343	142.0913	2240.179	0.784702	3700	1510.099	0.2	11.458	2.807	160.85	0.03684076	86.03	2	1
7.4957	0.1308	138.4165	2299.652	0.795272	3800	1549.322	0.1948	11.164	2.816	161.34	0.03640872	83.766	2	1
7.3056	0.1275	134.9255	2359.152	0.805096	3900	1588.584	0.19	10.885	2.824	161.81	0.03596304	81.618	2	1
7.1249	0.1244	131.6049	2418.677	0.814242	4000	1627.882	0.1853	10.619	2.832	162.26	0.03550775	79.577	2	1
6.9529	0.1214	128.4427	2478.225	0.82277	4100	1667.213	0.1809	10.366	2.839	162.68	0.03504619	77.637	2	1
6.7889	0.1185	125.4278	2537.794	0.830734	4200	1706.576	0.1767	10.124	2.846	163.09	0.03458115	75.788	2	1
6.6324	0.1158	122.5502	2597.383	0.83818	4300	1745.967	0.1727	9.8933	2.853	163.47	0.03411489	74.026	2	1
6.483	0.1131	119.8009	2656.991	0.845153	4400	1785.385	0.1688	9.6728	2.86	163.84	0.03364931	72.343	2	1
6.3401	0.1107	117.1715	2716.616	0.85169	4500	1824.829	0.1651	9.4619	2.866	164.2	0.03318595	70.736	2	1

Tabela A.2 - Resultados obtidos para o Caso 1 com distância 2z

Aerogeradores à distância 3z do sinal directo

alphanb (graus)	alphanb	Rxa	dx	cos(k*phi)	d	df/w	alpha	alpha (graus)	phi	phi(graus)	mRf	Rxr	k	i
36.478	0.6367	424.4132	750	0.665236	1000	602.0797	0.819	46.923	1.686	96.599	0.06323695	318.31	1	1
34.011	0.5936	398.4793	798.8116	0.633105	1100	629.3648	0.7775	44.548	1.77	101.44	0.05946096	289.37	1	1
31.808	0.5552	374.8976	849.0583	0.602671	1200	657.9514	0.7385	42.314	1.848	105.88	0.05557	265.26	1	1
29.839	0.5208	353.4813	900.4999	0.574044	1300	687.6772	0.7021	40.227	1.919	109.93	0.05172856	244.85	1	1
28.073	0.49	334.0283	952.9428	0.547723	1400	718.401	0.6682	38.283	1.983	113.64	0.04803802	227.36	1	1
26.486	0.4623	316.3389	1006.231	0.522229	1500	750	0.6367	36.478	2.043	117.04	0.04455574	212.21	1	1
25.055	0.4373	300.2256	1060.236	0.498924	1600	782.3682	0.6074	34.803	2.097	120.14	0.04130958	198.94	1	1
23.76	0.4147	285.517	1114.854	0.477723	1700	815.414	0.5803	33.249	2.147	122.99	0.03830813	187.24	1	1
22.584	0.3942	272.0597	1170	0.457041	1800	849.0583	0.5552	31.808	2.192	125.61	0.03554797	176.84	1	1
21.513	0.3755	259.7172	1225.602	0.438247	1900	883.2327	0.5318	30.471	2.234	128.02	0.03301858	167.53	1	1
20.534	0.3584	248.369	1281.601	0.42074	2000	917.878	0.5101	29.229	2.273	130.24	0.03070552	159.15	1	1
19.636	0.3427	237.9093	1337.946	0.404417	2100	952.9428	0.49	28.073	2.309	132.29	0.0285926	151.58	1	1
18.81	0.3283	228.2451	1394.597	0.389181	2200	988.3825	0.4712	26.997	2.342	134.19	0.02666315	144.69	1	1
18.049	0.315	219.2947	1451.516	0.374943	2300	1024.158	0.4537	25.993	2.373	135.96	0.02490089	138.4	1	1
17.344	0.3027	210.9864	1508.675	0.36162	2400	1060.236	0.4373	25.055	2.402	137.6	0.02329036	132.63	1	1
16.691	0.2913	203.2571	1566.046	0.349136	2500	1096.586	0.422	24.178	2.428	139.13	0.02181717	127.32	1	1
16.084	0.2807	196.0511	1623.607	0.337423	2600	1133.181	0.4076	23.356	2.453	140.56	0.0204681	122.43	1	1
15.519	0.2709	189.3193	1681.339	0.326416	2700	1170	0.3942	22.584	2.477	141.9	0.01923114	117.89	1	1
14.99	0.2616	183.0183	1739.224	0.316061	2800	1207.021	0.3815	21.859	2.498	143.15	0.0180954	113.68	1	1
14.496	0.253	177.1096	1797.248	0.319846	2900	1244.227	0.3696	21.177	2.519	144.33	0.017805	109.76	2	1
14.033	0.2449	171.5589	1855.398	0.356191	3000	1281.601	0.3584	20.534	2.538	145.43	0.01928969	106.1	2	1
13.598	0.2373	166.3355	1913.661	0.389941	3100	1319.129	0.3478	19.927	2.556	146.48	0.02055506	102.68	2	1
13.188	0.2302	161.4123	1972.029	0.421308	3200	1356.798	0.3378	19.353	2.574	147.46	0.02162875	99.472	2	1
12.802	0.2234	156.7649	2030.493	0.450487	3300	1394.597	0.3283	18.81	2.59	148.39	0.02253495	96.458	2	1
12.438	0.2171	152.3712	2089.043	0.477658	3400	1432.515	0.3193	18.296	2.605	149.27	0.02329484	93.621	2	1
12.093	0.2111	148.2115	2147.673	0.502985	3500	1470.544	0.3108	17.808	2.62	150.1	0.02392695	90.946	2	1
11.767	0.2054	144.2681	2206.377	0.526619	3600	1508.675	0.3027	17.344	2.634	150.89	0.02444745	88.419	2	1
11.458	0.2	140.5249	2265.149	0.548695	3700	1546.9	0.295	16.904	2.647	151.64	0.02487047	86.03	2	1
11.164	0.1948	136.9674	2323.984	0.569339	3800	1585.213	0.2877	16.484	2.659	152.35	0.02520834	83.766	2	1
10.885	0.19	133.5822	2382.876	0.588665	3900	1623.607	0.2807	16.084	2.671	153.03	0.02547185	81.618	2	1
10.619	0.1853	130.3575	2441.823	0.606776	4000	1662.077	0.2741	15.703	2.682	153.68	0.02567042	79.577	2	1
10.366	0.1809	127.2822	2500.82	0.623766	4100	1700.618	0.2677	15.339	2.693	154.3	0.02581229	77.637	2	1
10.124	0.1767	124.3464	2559.863	0.639721	4200	1739.224	0.2616	14.99	2.703	154.89	0.02590467	75.788	2	1
9.8933	0.1727	121.541	2618.95	0.654721	4300	1777.892	0.2558	14.657	2.713	155.45	0.02595388	74.026	2	1
9.6728	0.1688	118.8576	2678.078	0.668836	4400	1816.618	0.2503	14.339	2.723	155.99	0.02596544	72.343	2	1
9.4619	0.1651	116.2885	2737.243	0.682132	4500	1855.398	0.2449	14.033	2.732	156.51	0.02594422	70.736	2	1

Tabela A.3 - Resultados obtidos para o Caso 1 com distância 3z

<i>nS</i>	0.5	Rxa	3750
Fe	2.02	Freq	750,00 0,000
D	85	Lambda	0.4
		Distância do aerogerador mais próximo ao sinal	150
Par	10000		
		Porcentagem da distância	0.6
<i>I</i>	20	Porcentagem Inversa	0.4

Tabela A.4 - Constantes do caso 1

d	mri Z1	mri Z2	mri Z3	Mri
1000	0.057869	0.066834	0.063237	0.153717
1100	0.067605	0.059667	0.059461	0.15275
1200	0.073342	0.053322	0.05557	0.150402
1300	0.076416	0.047754	0.051729	0.14694
1400	0.077714	0.042889	0.048038	0.142735
1500	0.077833	0.038643	0.044556	0.138105
1600	0.077172	0.034936	0.04131	0.133285
1700	0.076002	0.031692	0.038308	0.128438
1800	0.074509	0.028847	0.035548	0.123671
1900	0.072817	0.026344	0.033019	0.119051
2000	0.071015	0.028935	0.030706	0.116818
2100	0.069162	0.031671	0.028593	0.114926
2200	0.067299	0.033802	0.026663	0.112983
2300	0.065452	0.035439	0.024901	0.110995

2400	0.063641	0.036671	0.02329	0.108972
2500	0.061878	0.037574	0.021817	0.106927
2600	0.060171	0.038208	0.020468	0.104874
2700	0.058523	0.038622	0.019231	0.102824
2800	0.056936	0.038857	0.018095	0.100787
2900	0.055412	0.038946	0.017805	0.099038
3000	0.053949	0.038916	0.01929	0.09795
3100	0.052547	0.03879	0.020555	0.096834
3200	0.051204	0.038586	0.021629	0.095692
3300	0.049916	0.038319	0.022535	0.094528
3400	0.048683	0.038001	0.023295	0.093347
3500	0.047502	0.037643	0.023927	0.092152
3600	0.04637	0.037254	0.024447	0.090948
3700	0.045285	0.036841	0.02487	0.089739
3800	0.044245	0.036409	0.025208	0.088529
3900	0.043247	0.035963	0.025472	0.087321
4000	0.042289	0.035508	0.02567	0.086118
4100	0.04137	0.035046	0.025812	0.084923
4200	0.040487	0.034581	0.025905	0.083739
4300	0.039638	0.034115	0.025954	0.082566
4400	0.038822	0.033649	0.025965	0.081408
4500	0.038037	0.033186	0.025944	0.080264

Tabela A.5 - Resultados obtidos para o Caso 1

Caso 2: Emissor em linha com Aerogeradores
Aerogeradores à distância z do sinal directo

cos(k*phi)	d	di	alpha	alpha (graus)	phi	phi(graus)	mRi	Rxr	Rai	K
0.874927	1000	1011.2	0.1489	8.5304944	1.0110226	57.927379	0.092851751	318.3102	795.774715	0.5
0.875382	1100	1110.2	0.1355	7.7649985	1.0091417	57.819608	0.093077946	289.3729	795.774715	0.5
0.87573	1200	1209.3	0.1244	7.1249091	1.0077022	57.73713	0.09325097	265.2585	795.774715	0.5
0.876001	1300	1308.6	0.1149	6.581874	1.0065765	57.672636	0.093386216	244.854	795.774715	0.5
0.876217	1400	1408	0.1067	6.1154559	1.00568	57.621269	0.093493901	227.3644	795.774715	0.5
0.876392	1500	1507.5	0.0997	5.7105605	1.0049546	57.579705	0.093581017	212.2068	795.774715	0.5
0.876535	1600	1607	0.0935	5.3558023	1.0043594	57.545604	0.093652475	198.9438	795.774715	0.5
0.876654	1700	1706.6	0.088	5.0424352	1.0038651	57.517285	0.093711808	187.2413	795.774715	0.5
0.876754	1800	1806.2	0.0831	4.7636306	1.0034503	57.493513	0.093761606	176.839	795.774715	0.5
0.876839	1900	1905.9	0.0788	4.5139807	1.0030986	57.473367	0.093803805	167.5317	795.774715	0.5
0.876911	2000	2005.6	0.0749	4.289148	1.0027981	57.456146	0.093839874	159.1551	795.774715	0.5
0.876973	2100	2105.4	0.0713	4.0856132	1.0025391	57.44131	0.093870944	151.5763	795.774715	0.5
0.877027	2200	2205.1	0.0681	3.9004915	1.0023145	57.42844	0.093897896	144.6864	795.774715	0.5
0.877074	2300	2304.9	0.0651	3.7313957	1.0021184	57.417203	0.093921426	138.3957	795.774715	0.5
0.877116	2400	2404.7	0.0624	3.5763338	1.0019462	57.407335	0.09394209	132.6292	795.774715	0.5
0.877152	2500	2504.5	0.0599	3.4336303	1.0017941	57.398621	0.093960333	127.3241	795.774715	0.5
0.877185	2600	2604.3	0.0576	3.301866	1.0016591	57.39089	0.093976521	122.427	795.774715	0.5
0.877213	2700	2704.2	0.0555	3.1798308	1.0015389	57.383998	0.093990949	117.8927	795.774715	0.5
0.877239	2800	2804	0.0535	3.0664864	1.0014312	57.377829	0.094003865	113.6822	795.774715	0.5
0.877262	2900	2903.9	0.0517	2.9609372	1.0013344	57.372285	0.094015471	109.7621	795.774715	0.5
0.877283	3000	3003.7	0.05	2.8624065	1.0012471	57.367284	0.09402594	106.1034	795.774715	0.5
0.877302	3100	3103.6	0.0483	2.7702171	1.0011681	57.362758	0.094035415	102.6807	795.774715	0.5
0.87732	3200	3203.5	0.0468	2.6837766	1.0010964	57.358648	0.094044017	99.47192	795.774715	0.5
0.877335	3300	3303.4	0.0454	2.6025637	1.0010311	57.354906	0.094051851	96.45762	795.774715	0.5
0.87735	3400	3403.3	0.0441	2.5261184	1.0009715	57.351488	0.094059006	93.62063	795.774715	0.5
0.877363	3500	3503.2	0.0428	2.4540332	1.0009168	57.348358	0.094065558	90.94576	795.774715	0.5
0.877375	3600	3603.1	0.0416	2.3859456	1.0008667	57.345485	0.094071572	88.41949	795.774715	0.5
0.877386	3700	3703	0.0405	2.3215321	1.0008205	57.342841	0.094077106	86.02977	795.774715	0.5
0.877396	3800	3803	0.0395	2.2605035	1.000778	57.340403	0.09408221	83.76583	795.774715	0.5
0.877405	3900	3902.9	0.0384	2.2025997	1.0007386	57.338149	0.094086927	81.61799	795.774715	0.5
0.877414	4000	4002.8	0.0375	2.147587	1.0007022	57.336062	0.094091295	79.57754	795.774715	0.5
0.877422	4100	4102.7	0.0366	2.0952541	1.0006684	57.334126	0.094095347	77.63662	795.774715	0.5
0.87743	4200	4202.7	0.0357	2.04541	1.000637	57.332326	0.094099115	75.78813	795.774715	0.5
0.877437	4300	4302.6	0.0349	1.9978813	1.0006078	57.33065	0.094102623	74.02562	795.774715	0.5
0.877443	4400	4402.6	0.0341	1.9525105	1.0005805	57.329087	0.094105894	72.34322	795.774715	0.5
0.877449	4500	4502.5	0.0333	1.9091539	1.000555	57.327627	0.094108951	70.73559	795.774715	0.5

Tabela A.6 - Resultados obtidos para o Caso 2 com distância z

Aerogeradores à distância 2z do emissor

cos(k*phi)	d	di	alpha	alpha (graus)	phi	phi(graus)	mRi	Rxr	Rai	K
0.86698	1000	1022.3	0.2977	17.056982	1.0433721	59.780871	0.045506242	318.3102	397.887358	0.5
0.868629	1100	1110.2	0.2735	15.671967	1.0367339	59.400526	0.046179978	289.3729	397.887358	0.5
0.870064	1200	1209.3	0.2506	14.359573	1.0309273	59.067836	0.046323843	265.2585	397.887358	0.5
0.87118	1300	1308.6	0.2313	13.25032	1.0263927	58.808017	0.046436101	244.854	397.887358	0.5
0.872064	1400	1408	0.2147	12.300384	1.0227846	58.601291	0.046525539	227.3644	397.887358	0.5
0.872777	1500	1507.5	0.2003	11.477708	1.0198674	58.434148	0.046597486	212.2068	397.887358	0.5
0.87336	1600	1607	0.1878	10.758301	1.0174756	58.297109	0.046656597	198.9438	397.887358	0.5
0.873843	1700	1706.6	0.1767	10.12385	1.0154905	58.183367	0.046705639	187.2413	397.887358	0.5
0.874248	1800	1806.2	0.1669	9.5601326	1.0138248	58.087934	0.046746775	176.839	397.887358	0.5
0.87459	1900	1905.9	0.1581	9.0559358	1.0124138	58.007085	0.046781616	167.5317	397.887358	0.5
0.874882	2000	2005.6	0.1501	8.6022987	1.0112079	57.937996	0.046811381	159.1551	397.887358	0.5
0.875133	2100	2105.4	0.143	8.1919743	1.0101695	57.878496	0.046837011	151.5763	397.887358	0.5
0.875351	2200	2205.1	0.1365	7.8190384	1.0092688	57.82689	0.046859236	144.6864	397.887358	0.5
0.875541	2300	2304.9	0.1305	7.4786005	1.0084826	57.781843	0.046878634	138.3957	397.887358	0.5
0.875708	2400	2404.7	0.1251	7.1665878	1.0077922	57.742288	0.046895665	132.6292	397.887358	0.5
0.875855	2500	2504.5	0.1201	6.879581	1.0071828	57.70737	0.046910698	127.3241	397.887358	0.5
0.875986	2600	2604.3	0.1154	6.6146886	1.0066421	57.67639	0.046924033	122.427	397.887358	0.5
0.876102	2700	2704.2	0.1112	6.3694482	1.0061602	57.648779	0.046935918	117.8927	397.887358	0.5
0.876206	2800	2804	0.1072	6.1417502	1.0057288	57.624066	0.046946554	113.6822	397.887358	0.5
0.876299	2900	2903.9	0.1035	5.9297767	1.0053412	57.601859	0.046956111	109.7621	397.887358	0.5
0.876383	3000	3003.7	0.1	5.7319526	1.0049917	57.58183	0.04696473	106.1034	397.887358	0.5
0.876459	3100	3103.6	0.0968	5.5469063	1.0046753	57.563704	0.04697253	102.6807	397.887358	0.5
0.876529	3200	3203.5	0.0938	5.3734382	1.0043881	57.547248	0.046979611	99.47192	397.887358	0.5
0.876592	3300	3303.4	0.0909	5.2104944	1.0041265	57.532262	0.046986059	96.45762	397.887358	0.5
0.876649	3400	3403.3	0.0883	5.0571448	1.0038877	57.518576	0.046991947	93.62063	397.887358	0.5
0.876702	3500	3503.2	0.0857	4.9125662	1.003669	57.506045	0.046997339	90.94576	397.887358	0.5
0.87675	3600	3603.1	0.0834	4.7760268	1.0034682	57.494542	0.047002288	88.41949	397.887358	0.5
0.876794	3700	3703	0.0811	4.646874	1.0032835	57.483957	0.047006841	86.02977	397.887358	0.5
0.876835	3800	3803	0.079	4.5245241	1.0031131	57.474196	0.047011104	83.76583	397.887358	0.5
0.876873	3900	3902.9	0.0769	4.4084533	1.0029557	57.465175	0.047014921	81.61799	397.887358	0.5
0.876908	4000	4002.8	0.075	4.2981901	1.0028099	57.456821	0.047018514	79.57754	397.887358	0.5
0.876941	4100	4102.7	0.0732	4.1933092	1.0026746	57.449071	0.047021848	77.63662	397.887358	0.5
0.876971	4200	4202.7	0.0714	4.0934259	1.0025489	57.441867	0.047024947	75.78813	397.887358	0.5
0.876999	4300	4302.6	0.0698	3.9981912	1.0024318	57.435158	0.047027832	74.02562	397.887358	0.5
0.877025	4400	4402.6	0.0682	3.9072878	1.0023226	57.428902	0.047030523	72.34322	397.887358	0.5
0.87705	4500	4502.5	0.0667	3.8204269	1.0022206	57.423058	0.047033037	70.73559	397.887358	0.5

Tabela A.7 - Resultados obtidos para o Caso 2 com distancia 2z

Aerogeradores à distância 3z do emissor

cos(k*phi)	d	di	alpha	alpha (graus)	phi	phi(graus)	m R/	Rxr	Rei	K
0.856321	1000	1096.6	0.422	24.177668	1.0853878	62.188194	0.02793334	318.3102	265.258463	0.5
0.85962	1100	1188.5	0.3877	22.216165	1.0725419	61.452176	0.028459942	289.3729	265.258463	0.5
0.86223	1200	1281.6	0.3584	20.533846	1.0622798	60.864199	0.028878915	265.2585	265.258463	0.5
0.864325	1300	1375.7	0.333	19.078101	1.0539794	60.388623	0.029216724	244.854	265.258463	0.5
0.866028	1400	1470.5	0.3108	17.807971	1.0471873	59.999464	0.029492457	227.3644	265.258463	0.5
0.867429	1500	1566	0.2913	16.691339	1.0415693	59.677573	0.029720066	212.2068	265.258463	0.5
0.868594	1600	1662.1	0.2741	15.702808	1.036876	59.40867	0.029908892	198.9438	265.258463	0.5
0.869573	1700	1758.6	0.2587	14.82211	1.0329195	59.189181	0.030069699	187.2413	265.258463	0.5
0.870402	1800	1855.4	0.2449	14.032919	1.0295562	58.98976	0.030205391	176.839	265.258463	0.5
0.87111	1900	1952.6	0.2325	13.321968	1.0266751	58.824202	0.030321515	167.5317	265.258463	0.5
0.87172	2000	2050	0.2213	12.678383	1.0241897	58.681797	0.030421608	159.1551	265.258463	0.5
0.872248	2100	2147.7	0.2111	12.093178	1.0220316	58.558149	0.030508456	151.5763	265.258463	0.5
0.872709	2200	2245.6	0.2017	11.558872	1.0201466	58.450145	0.030584269	144.6864	265.258463	0.5
0.873113	2300	2343.6	0.1932	11.06919	1.0184909	58.355281	0.030650822	138.3957	265.258463	0.5
0.873469	2400	2441.8	0.1853	10.618833	1.0170292	58.271533	0.030709549	132.6292	265.258463	0.5
0.873784	2500	2540.2	0.1781	10.203302	1.0157327	58.197244	0.030761621	127.3241	265.258463	0.5
0.874065	2600	2638.7	0.1714	9.818747	1.0145775	58.131056	0.030807997	122.427	265.258463	0.5
0.874316	2700	2737.2	0.1651	9.4618631	1.013544	58.071841	0.030849475	117.8927	265.258463	0.5
0.874541	2800	2835.9	0.1593	9.1297934	1.0126158	58.018661	0.030886714	113.6822	265.258463	0.5
0.874744	2900	2934.7	0.1539	8.820058	1.0117792	57.970728	0.03092027	109.7621	265.258463	0.5
0.874927	3000	3033.6	0.1489	8.5304944	1.0110226	57.927379	0.03095061	106.1034	265.258463	0.5
0.875093	3100	3132.5	0.1442	8.259208	1.0103362	57.888051	0.030978129	102.6807	265.258463	0.5
0.875244	3200	3231.5	0.1397	8.004533	1.0097116	57.852264	0.031003166	99.47192	265.258463	0.5
0.875382	3300	3330.5	0.1355	7.7649985	1.0091417	57.819608	0.031026008	96.45762	265.258463	0.5
0.875508	3400	3429.7	0.1316	7.5393012	1.0086202	57.789731	0.031046904	93.62063	265.258463	0.5
0.875624	3500	3528.8	0.1279	7.3262826	1.0081419	57.762326	0.031066067	90.94576	265.258463	0.5
0.875753	3600	3628	0.1244	7.1249091	1.0077022	57.73713	0.031083683	88.41949	265.258463	0.5
0.875828	3700	3727.3	0.121	6.9342558	1.007297	57.713913	0.031099914	86.02977	265.258463	0.5
0.875918	3800	3826.6	0.1179	6.753493	1.0069228	57.692474	0.03111149	83.76583	265.258463	0.5
0.876001	3900	3925.9	0.1149	6.581874	1.0065765	57.672636	0.031128765	81.61799	265.258463	0.5
0.876079	4000	4025.2	0.112	6.4187249	1.0062555	57.654245	0.031141618	79.57754	265.258463	0.5
0.876151	4100	4124.6	0.1093	6.2634364	1.0059574	57.637163	0.031153555	77.63662	265.258463	0.5
0.876217	4200	4224	0.1067	6.1154559	1.00568	57.621269	0.03116466	75.78813	265.258463	0.5
0.87628	4300	4323.5	0.1043	5.9742813	1.0054215	57.606457	0.031175009	74.02562	265.258463	0.5
0.876338	4400	4423	0.1019	5.8394553	1.0051802	57.592631	0.031184669	72.34322	265.258463	0.5
0.876392	4500	4522.4	0.0997	5.7105605	1.0049546	57.579705	0.031193699	70.73559	265.258463	0.5

Tabela A.8 - Resultados obtidos para o Caso 2 com distancia 3z

nS	0.5	Rxa	3750
Fe	2.02	Freq	7.5E+08
D	85	Lambda	0.4
Par	10000	Dea	150

Tabela A.9 - Constantes usadas no caso 2

d	mri Z1	mri Z2	mri Z3	Mrl
1000	0.092852	0.045506	0.027933	0.151476
1100	0.093078	0.04618	0.02846	0.152355
1200	0.093251	0.046324	0.028879	0.152811
1300	0.093386	0.046436	0.029217	0.153173
1400	0.093494	0.046525	0.029492	0.153464
1500	0.093581	0.046597	0.02972	0.153701
1600	0.093652	0.046657	0.02991	0.153898
1700	0.093712	0.046706	0.03007	0.154062
1800	0.093762	0.046747	0.030205	0.1542
1900	0.093804	0.046782	0.030322	0.154318
2000	0.09384	0.046811	0.030422	0.15442
2100	0.093871	0.046837	0.030508	0.154507
2200	0.093898	0.046859	0.030584	0.154583
2300	0.093921	0.046879	0.030651	0.15465
2400	0.093942	0.046896	0.03071	0.154709
2500	0.09396	0.046911	0.030762	0.154761
2600	0.093977	0.046924	0.030808	0.154807

2700	0.093991	0.046936	0.030849	0.154848
2800	0.094004	0.046947	0.030887	0.154885
2900	0.094015	0.046956	0.03092	0.154918
3000	0.094026	0.046965	0.030951	0.154948
3100	0.094035	0.046973	0.030978	0.154976
3200	0.094044	0.04698	0.031003	0.155
3300	0.094052	0.046986	0.031026	0.155023
3400	0.094059	0.046992	0.031047	0.155044
3500	0.094066	0.046997	0.031066	0.155062
3600	0.094072	0.047002	0.031084	0.15508
3700	0.094077	0.047007	0.0311	0.155096
3800	0.094082	0.047011	0.031115	0.155111
3900	0.094087	0.047015	0.031129	0.155124
4000	0.094091	0.047019	0.031142	0.155137
4100	0.094095	0.047022	0.031154	0.155149
4200	0.094099	0.047025	0.031165	0.155159
4300	0.094103	0.047028	0.031175	0.15517
4400	0.094106	0.047031	0.031185	0.155179
4500	0.094109	0.047033	0.031194	0.155188

Tabela A.10 - Resultados obtidos para o Caso 2

Caso 3: Receptor em linha com Aerogeradores
Aerogeradores à distância z do receptor

$\cos(k \cdot \phi_i)$	d	d _i	alpha	alpha (graus)	phi	phi (graus)	mRi	Rxr	Rai	K
0.874927	1000	1011.187	1.570796	90.00007602	1.011022635	57.92737893	0.036729789	318.310155	314.788218	0.5
0.875382	1100	1110.18	1.570796	90.00007602	1.009141684	57.81960824	0.033536159	289.3728682	286.719125	0.5
0.8757297	1200	1209.339	1.570796	90.00007602	1.007702175	57.73713038	0.030843625	265.2584625	263.209882	0.5
0.8760013	1300	1308.625	1.570796	90.00007602	1.006576539	57.67263615	0.028544831	244.8539654	243.239912	0.5
0.8762175	1400	1408.013	1.570796	90.00007602	1.005680022	57.62126948	0.026560526	227.3643965	226.07031	0.5
0.8763922	1500	1507.481	1.570796	90.00007602	1.004954581	57.57970473	0.024831091	212.20677	211.15345	0.5
0.8765355	1600	1607.016	1.570796	90.00007602	1.004359408	57.54560378	0.023310902	198.9438469	198.075136	0.5
0.8766544	1700	1706.605	1.570796	90.00007602	1.003865148	57.51728478	0.021964501	187.2412677	186.516458	0.5
0.8767542	1800	1806.239	1.570796	90.00007602	1.003450258	57.4935133	0.02076394	176.838975	176.227982	0.5
0.8768387	1900	1905.912	1.570796	90.00007602	1.00309864	57.47336703	0.019686914	167.5316606	167.011861	0.5
0.876911	2000	2005.617	1.570796	90.00007602	1.002798072	57.45614576	0.018715412	159.1550775	158.709199	0.5
0.8769732	2100	2105.35	1.570796	90.00007602	1.002539145	57.44131032	0.017834741	151.5762643	151.190936	0.5
0.8770272	2200	2205.108	1.570796	90.00007602	1.002314517	57.42844007	0.0170328	144.6864341	144.351174	0.5
0.8770743	2300	2304.886	1.570796	90.00007602	1.002118395	57.41720308	0.016299534	138.3957196	138.102219	0.5
0.8771156	2400	2404.683	1.570796	90.00007602	1.001946156	57.40733454	0.015626524	132.6292313	132.370834	0.5
0.8771521	2500	2504.496	1.570796	90.00007602	1.001794079	57.39862118	0.015006666	127.324062	127.095388	0.5
0.8771845	2600	2604.323	1.570796	90.00007602	1.001659139	57.39088965	0.014433925	122.4269827	122.223644	0.5
0.8772134	2700	2704.163	1.570796	90.00007602	1.001538856	57.38399794	0.013903146	117.89265	117.711038	0.5
0.8772393	2800	2804.015	1.570796	90.00007602	1.001431184	57.37782877	0.013409895	113.6821982	113.519324	0.5
0.8772625	2900	2903.877	1.570796	90.00007602	1.001334421	57.37228464	0.012950339	109.7621224	109.615496	0.5
0.8772834	3000	3003.748	1.570796	90.00007602	1.001247142	57.36728394	0.01252115	106.103385	105.970914	0.5
0.8773024	3100	3103.627	1.570796	90.00007602	1.001168148	57.36275794	0.012119423	102.6806952	102.560615	0.5
0.8773196	3200	3203.514	1.570796	90.00007602	1.001096424	57.35864845	0.011742608	99.47192345	99.3627362	0.5
0.8773353	3300	3303.407	1.570796	90.00007602	1.001031105	57.35490592	0.011388466	96.45762274	96.3580492	0.5
0.8773496	3400	3403.307	1.570796	90.00007602	1.00097145	57.35148795	0.011055012	93.62063384	93.5295776	0.5
0.8773627	3500	3503.213	1.570796	90.00007602	1.000916824	57.34835808	0.01074049	90.94575859	90.8622751	0.5
0.8773747	3600	3603.124	1.570796	90.00007602	1.000866676	57.34548484	0.010443335	88.41948751	88.3427597	0.5
0.8773858	3700	3703.039	1.570796	90.00007602	1.000820532	57.34284094	0.01016215	86.02977163	85.9590896	0.5
0.877396	3800	3802.959	1.570796	90.00007602	1.000777975	57.34040261	0.009895684	83.76583028	83.700575	0.5
0.8774054	3900	3902.884	1.570796	90.00007602	1.000738643	57.33814909	0.009642812	81.61798847	81.5576181	0.5
0.8774142	4000	4002.812	1.570796	90.00007602	1.00070222	57.33606217	0.009402521	79.5215776	79.5215776	0.5
0.8774223	4100	4102.743	1.570796	90.00007602	1.000668424	57.33412584	0.009173896	77.63662318	77.5846519	0.5
0.8774298	4200	4202.678	1.570796	90.00007602	1.00063701	57.33232594	0.00895611	75.78813215	75.7397801	0.5
0.8774368	4300	4302.615	1.570796	90.00007602	1.000607759	57.33064997	0.008748411	74.02561745	73.9805561	0.5
0.8774434	4400	4402.556	1.570796	90.00007602	1.000580477	57.3290868	0.008550114	72.34321706	72.3011543	0.5
0.8774495	4500	4502.499	1.570796	90.00007602	1.00055499	57.32762654	0.008360597	70.73559001	70.6962655	0.5

Tabela A.11 - Resultados obtidos para o Caso 3 com distancia z

Aerogeradores à distância 2z do receptor

$\cos(k \cdot \phi_i)$	d	d _i	alpha	alpha (graus)	phi	phi (graus)	mR/	R _{rr}	R _{al}	K
0.8669802	1000	1022.252	1.570796	90.00007602	1.043372148	59.78087106	0.035612529	318.310155	311.380909	0.5
0.8686295	1100	1110.18	1.570796	90.00007602	1.036733875	59.405257	0.033277466	289.3728682	286.719125	0.5
0.8700643	1200	1209.339	1.570796	90.00007602	1.030927346	59.06783579	0.030644083	265.2584625	263.209882	0.5
0.8711797	1300	1308.625	1.570796	90.00007602	1.026392657	58.80801707	0.028387716	244.8539654	243.239912	0.5
0.872064	1400	1408.013	1.570796	90.00007602	1.022784614	58.60129124	0.026434623	227.3643965	226.07031	0.5
0.8727769	1500	1507.481	1.570796	90.00007602	1.01986742	58.43414816	0.024728657	212.20677	211.15345	0.5
0.87336	1600	1607.016	1.570796	90.00007602	1.01747564	58.2910915	0.02326452	198.9438469	198.075136	0.5
0.873843	1700	1706.605	1.570796	90.00007602	1.015490472	58.18336732	0.021894062	187.2412677	186.516458	0.5
0.8742476	1800	1806.239	1.570796	90.00007602	1.013824841	58.08793361	0.020704578	176.838975	176.227982	0.5
0.8745899	1900	1905.912	1.570796	90.00007602	1.012413761	58.00708464	0.019636424	167.5316606	167.011861	0.5
0.8748821	2000	2005.617	1.570796	90.00007602	1.011207947	57.93799649	0.018672111	159.1550775	158.709199	0.5
0.8751335	2100	2105.35	1.570796	90.00007602	1.010169474	57.87849634	0.017797327	151.5762643	151.190936	0.5
0.8753513	2200	2205.108	1.570796	90.00007602	1.009268782	57.82689044	0.017000253	144.6864341	144.351174	0.5
0.8755413	2300	2304.886	1.570796	90.00007602	1.008482553	57.78184283	0.016271046	138.3957196	138.102219	0.5
0.875708	2400	2404.683	1.570796	90.00007602	1.0077922	57.74228845	0.015601446	132.6292313	132.370834	0.5
0.8758551	2500	2504.496	1.570796	90.00007602	1.007182755	57.70736982	0.014984475	127.324062	127.095388	0.5
0.8759855	2600	2604.323	1.570796	90.00007602	1.006642062	57.67639032	0.014414196	122.4269827	122.223644	0.5
0.8761017	2700	2704.163	1.570796	90.00007602	1.00616016	57.6487794	0.013885527	117.89265	117.711038	0.5
0.8762057	2800	2804.015	1.570796	90.00007602	1.005728832	57.62406608	0.013394095	113.6821982	113.519324	0.5
0.8762991	2900	2903.877	1.570796	90.00007602	1.005341244	57.60185889	0.012936117	109.7621224	109.615496	0.5
0.8763833	3000	3003.748	1.570796	90.00007602	1.004991678	57.58183026	0.012508302	106.103385	105.970914	0.5
0.8764594	3100	3103.627	1.570796	90.00007602	1.004675323	57.56370441	0.012107777	102.6806952	102.560615	0.5
0.8765286	3200	3203.514	1.570796	90.00007602	1.004388102	57.54724784	0.011732021	99.47192345	99.3627362	0.5
0.8765915	3300	3303.407	1.570796	90.00007602	1.004126546	57.53226179	0.011378811	96.45762274	96.3580492	0.5
0.876649	3400	3403.307	1.570796	90.00007602	1.003887688	57.51857621	0.011046184	93.62063384	93.5295776	0.5
0.8767016	3500	3503.213	1.570796	90.00007602	1.003688976	57.50604492	0.010732397	90.94575859	90.8622751	0.5
0.8767499	3600	3603.124	1.570796	90.00007602	1.003468207	57.49454172	0.010435898	88.41948751	88.3427597	0.5
0.8767943	3700	3703.039	1.570796	90.00007602	1.003283473	57.48395719	0.010155299	86.02977163	85.9590896	0.5
0.8768352	3800	3802.959	1.570796	90.00007602	1.003113109	57.47419607	0.009889359	83.76583028	83.700575	0.5
0.8768731	3900	3902.884	1.570796	90.00007602	1.002955665	57.46517516	0.009636961	81.61798847	81.5576181	0.5
0.8769081	4000	4002.812	1.570796	90.00007602	1.002809865	57.45682147	0.009397098	79.57753876	79.5215776	0.5
0.8769406	4100	4102.743	1.570796	90.00007602	1.002674591	57.44907082	0.009168861	77.63662318	77.5846519	0.5
0.8769709	4200	4202.678	1.570796	90.00007602	1.002548853	57.44186654	0.008951426	75.78813215	75.7397801	0.5
0.876999	4300	4302.615	1.570796	90.00007602	1.002431775	57.43515847	0.008744046	74.02561745	73.9805561	0.5
0.8770252	4400	4402.556	1.570796	90.00007602	1.00232258	57.42890208	0.00854604	72.34321706	72.3011543	0.5
0.8770497	4500	4502.499	1.570796	90.00007602	1.002220577	57.42305772	0.008356787	70.73559001	70.6962655	0.5

Tabela A.12 - Resultados obtidos para o Caso 3 com distância 2z

Aerogeradores à distância 3z do receptor

cos(k*phi)	d	di	alpha	alpha (graus)	phi	phi(graus)	mRi	Rxr	Rai	K
0.8563205	1000	1096.586	1.570796	90.00007602	1.085387832	62.18819443	0.030567616	318.310155	290.273876	0.5
0.85962	1100	1188.486	1.570796	90.00007602	1.07254189	61.45217554	0.02873565	289.3728682	267.828177	0.5
0.8622303	1200	1281.601	1.570796	90.00007602	1.062279771	60.86419896	0.027040171	265.2584625	248.369238	0.5
0.864325	1300	1375.682	1.570796	90.00007602	1.053979419	60.38862339	0.025485598	244.8539654	231.383587	0.5
0.866028	1400	1470.544	1.570796	90.00007602	1.047187316	59.99946426	0.024066567	227.3643965	216.457399	0.5
0.867429	1500	1566.046	1.570796	90.00007602	1.041569254	59.67757271	0.022773328	212.20677	203.257222	0.5
0.8685942	1600	1662.077	1.570796	90.00007602	1.036876021	59.40867008	0.021594589	198.9438469	191.513481	0.5
0.8695728	1700	1758.551	1.570796	90.00007602	1.032919548	59.18198069	0.020518966	187.2412677	181.007112	0.5
0.870402	1800	1855.398	1.570796	90.00007602	1.029556223	58.98927618	0.019535689	176.838975	171.559005	0.5
0.8711103	1900	1952.562	1.570796	90.00007602	1.026675134	58.82420182	0.018634906	167.5316606	163.021756	0.5
0.8717199	2000	2050	1.570796	90.00007602	1.024189701	58.68179687	0.017807771	159.1550775	155.273246	0.5
0.8722482	2100	2147.673	1.570796	90.00007602	1.022031646	58.55814933	0.017046424	151.5762643	148.211637	0.5
0.8727087	2200	2245.551	1.570796	90.00007602	1.020146612	58.45014474	0.016343926	144.6864341	141.75146	0.5
0.8731126	2300	2343.608	1.570796	90.00007602	1.018490935	58.35528133	0.015694169	138.3957196	135.820543	0.5
0.8734687	2400	2441.823	1.570796	90.00007602	1.017029246	58.27153268	0.015091781	132.6292313	130.357583	0.5
0.8737841	2500	2540.177	1.570796	90.00007602	1.015732673	58.19724444	0.014532035	127.324062	125.310219	0.5
0.8740649	2600	2638.655	1.570796	90.00007602	1.01457747	58.131305614	0.014010773	122.4269827	120.633489	0.5
0.8743158	2700	2737.243	1.570796	90.00007602	1.013543977	58.07184127	0.013524326	117.89265	116.288594	0.5
0.874541	2800	2835.93	1.570796	90.00007602	1.012615807	58.01866099	0.013069453	113.6821982	112.241887	0.5
0.8747437	2900	2934.706	1.570796	90.00007602	1.011779221	57.97072813	0.012643284	109.7621224	108.464065	0.5
0.874927	3000	3033.562	1.570796	90.00007602	1.011022635	57.92737893	0.012243273	106.103385	104.929495	0.5
0.8750931	3100	3132.491	1.570796	90.00007602	1.010336229	57.88805069	0.011867155	102.6806952	101.615664	0.5
0.8752442	3200	3231.486	1.570796	90.00007602	1.009711633	57.85226395	0.011512908	99.47192345	98.5027266	0.5
0.875382	3300	3330.54	1.570796	90.00007602	1.009141684	57.81960824	0.011178729	96.45762274	95.5731226	0.5
0.875508	3400	3429.65	1.570796	90.00007602	1.00862022	57.78973057	0.010862999	93.62063384	92.8112616	0.5
0.8756236	3500	3528.81	1.570796	90.00007602	1.008141922	57.76232607	0.010564264	90.94575859	90.203257	0.5
0.8757297	3600	3628.016	1.570796	90.00007602	1.007702175	57.73713038	0.010281217	88.41348751	87.7367013	0.5
0.8758275	3700	3727.264	1.570796	90.00007602	1.007296962	57.7139134	0.010012677	86.02977163	85.400476	0.5
0.8759178	3800	3826.552	1.570796	90.00007602	1.006922776	57.69247407	0.009757578	83.76583028	83.1845895	0.5
0.8760013	3900	3925.876	1.570796	90.00007602	1.006576539	57.67263615	0.009514952	81.61798847	81.0800391	0.5
0.8760787	4000	4025.233	1.570796	90.00007602	1.006255547	57.65424464	0.00928392	79.57753876	79.0786923	0.5
0.8761506	4100	4124.621	1.570796	90.00007602	1.005957412	57.63716276	0.009063685	77.63662318	77.1731851	0.5
0.8762175	4200	4224.038	1.570796	90.00007602	1.005680022	57.62126948	0.008853516	75.78813215	75.3568336	0.5
0.8762797	4300	4323.482	1.570796	90.00007602	1.005421503	57.60645739	0.00865275	74.02561745	73.6235576	0.5
0.8763379	4400	4422.952	1.570796	90.00007602	1.005180185	57.5926309	0.008460776	72.34321706	71.9678149	0.5
0.8763922	4500	4522.444	1.570796	90.00007602	1.004954581	57.57970473	0.008277037	70.73559001	70.3845427	0.5

Tabela A.13 - Resultados obtidos para o Caso 3 com distância 3z

S	0.5	Rxa	3750
Fe	2.02	Freq	750000000
D	85	Lambda	0.4
Par	10000	Dea	150

Tabela A.14 - Constantes no caso 3

d	mri Z1	mri Z2	mri Z3	Mrl
1000	0.03673	0.035613	0.030568	0.084282
1100	0.033536	0.033277	0.028736	0.078202
1200	0.030844	0.030644	0.02704	0.072409
1300	0.028545	0.028388	0.025486	0.067382
1400	0.026561	0.026435	0.024067	0.062983
1500	0.024831	0.024729	0.022773	0.059105
1600	0.023311	0.023226	0.021595	0.055663
1700	0.021965	0.021894	0.020519	0.052589
1800	0.020764	0.020705	0.019536	0.049829
1900	0.019687	0.019636	0.018635	0.047338
2000	0.018715	0.018672	0.017808	0.045078
2100	0.017835	0.017797	0.017046	0.043021
2200	0.017033	0.017	0.016344	0.041114
2300	0.0163	0.016271	0.015694	0.039414
2400	0.015627	0.015601	0.015092	0.037825
2500	0.015007	0.014984	0.014532	0.036357

2600	0.014434	0.014414	0.014011	0.034997
2700	0.013903	0.013886	0.013524	0.033735
2800	0.01341	0.013394	0.013069	0.032559
2900	0.01295	0.012936	0.012643	0.031461
3000	0.012521	0.012508	0.012243	0.030435
3100	0.012119	0.012108	0.011867	0.029472
3200	0.011743	0.011732	0.011513	0.028568
3300	0.011388	0.011379	0.011179	0.027718
3400	0.011055	0.011046	0.010863	0.026916
3500	0.01074	0.010732	0.010564	0.026159
3600	0.010443	0.010436	0.010281	0.025443
3700	0.010162	0.010155	0.010013	0.024765
3800	0.009896	0.009889	0.009758	0.024122
3900	0.009643	0.009637	0.009515	0.023511
4000	0.009403	0.009397	0.009284	0.022931
4100	0.009174	0.009169	0.009064	0.022378
4200	0.008956	0.008951	0.008854	0.021851
4300	0.008748	0.008744	0.008653	0.021348
4400	0.00855	0.008546	0.008461	0.020867
4500	0.008361	0.008357	0.008277	0.020408

Tabela A.15 - Resultados obtidos para o Caso 3

Anexo

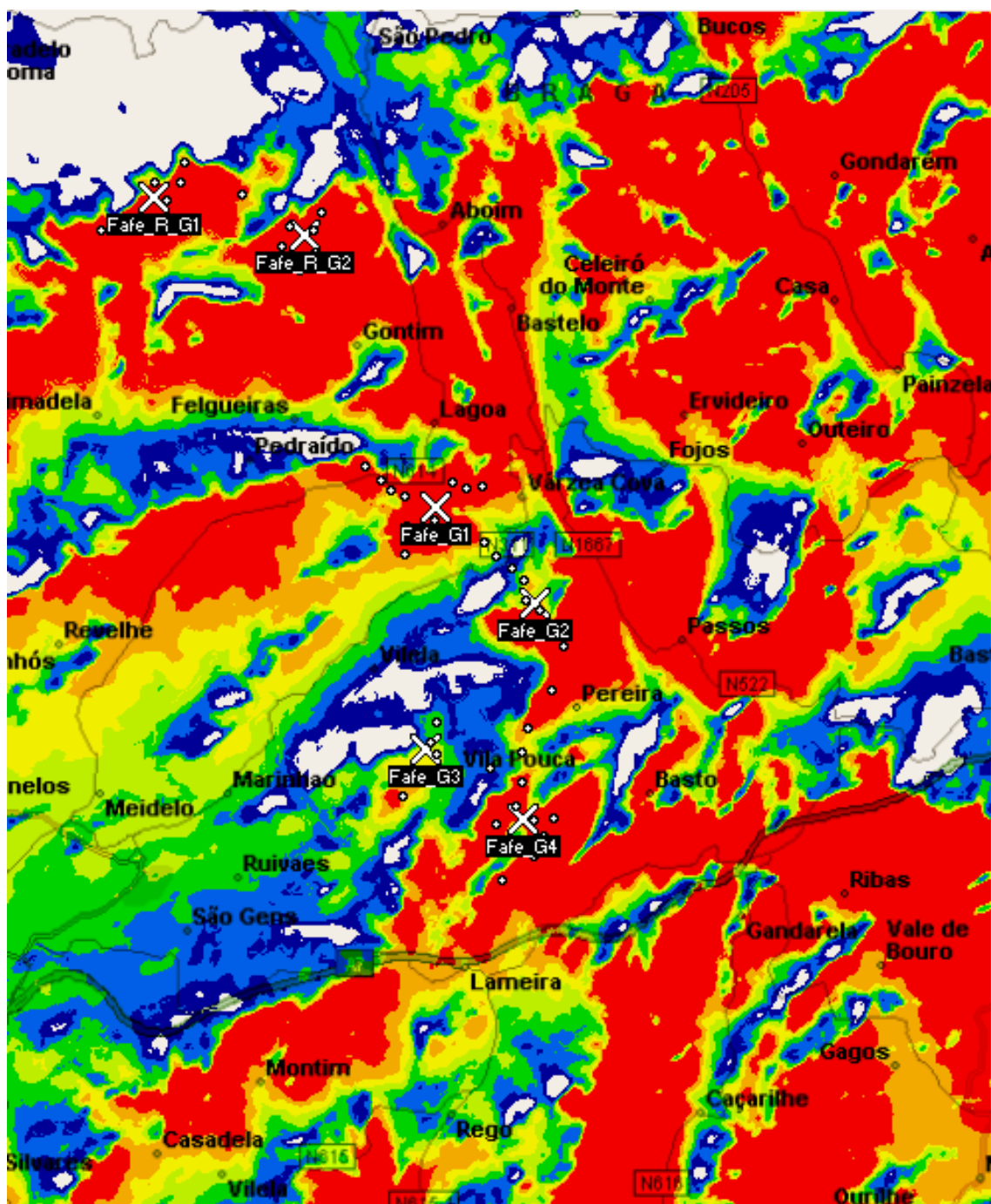
B

Este anexo contém os mapas de cobertura e os histogramas, sobre o Parque Eólico de Terras Altas de Fafe, tema do Capítulo 7.

1 - Mapas de Cobertura

1.1 - Cobertura R1

1.1.1 - Marão



1.1.2 - Muro

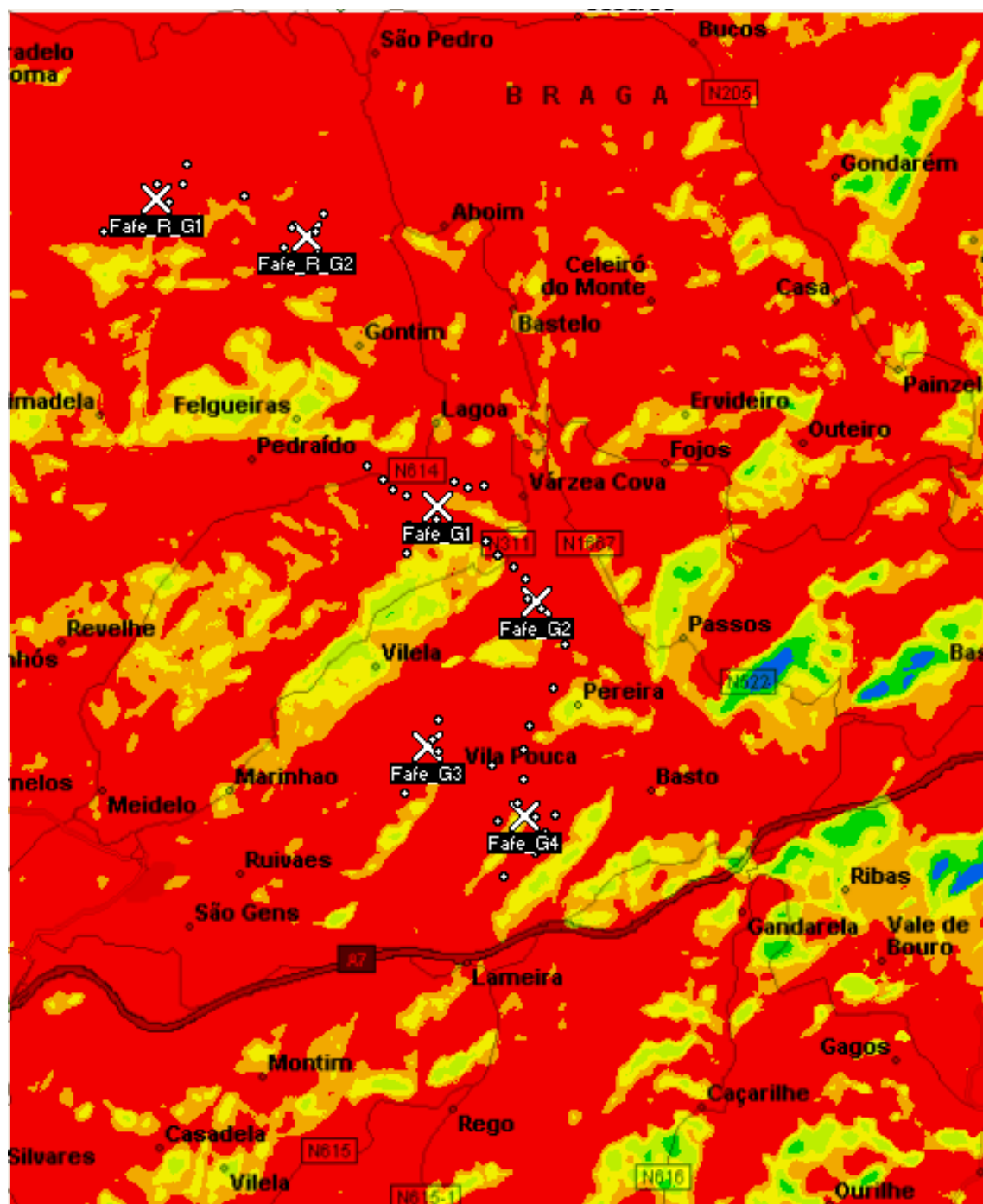
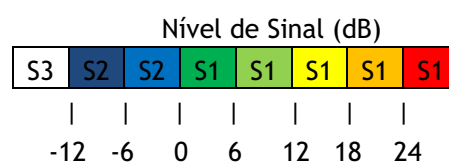


Figura B.2 - Cobertura da RTP1 na área do Parque de Terras Altas de Fafe, pelo emissor de Muro



1.1.3 - Geral

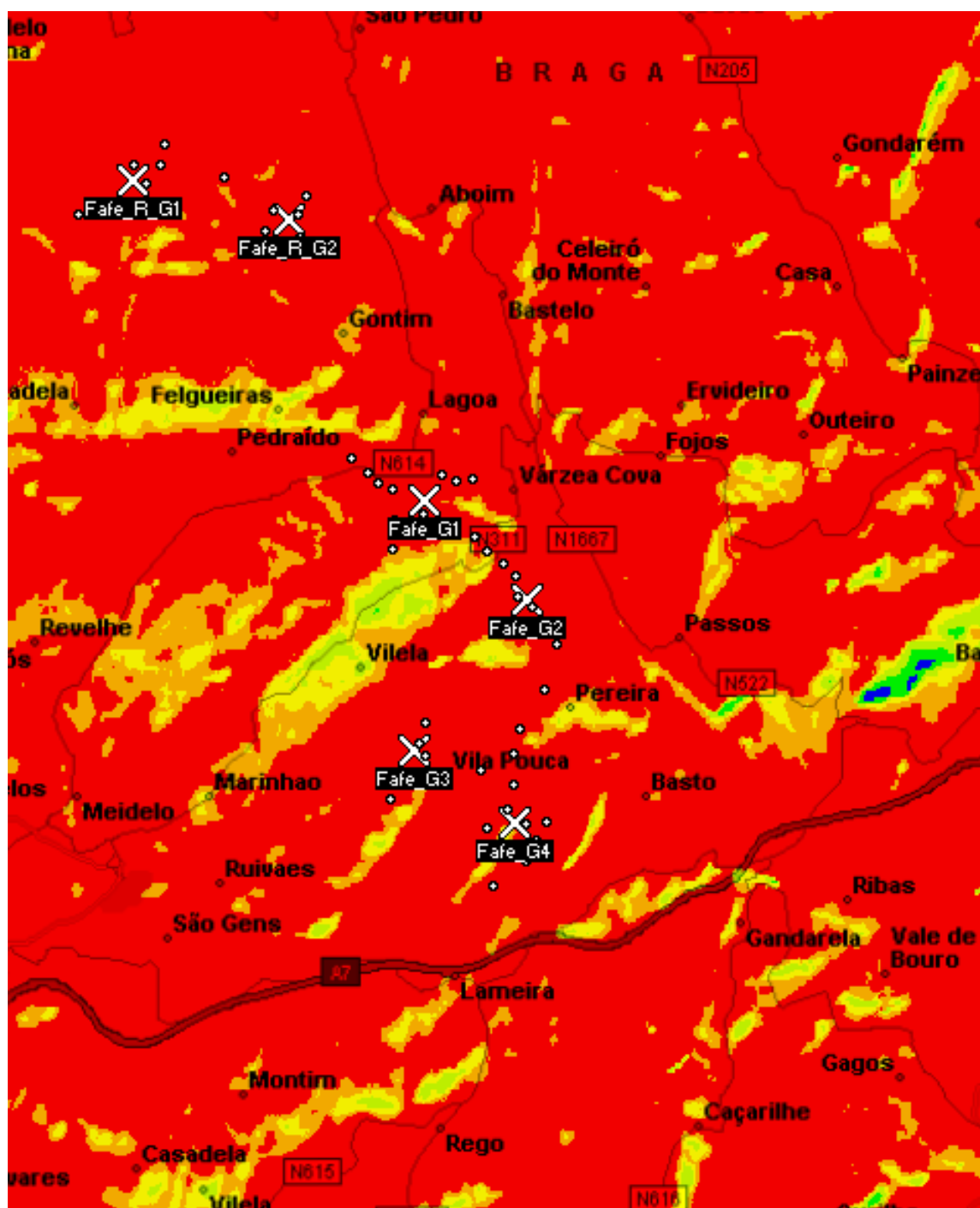
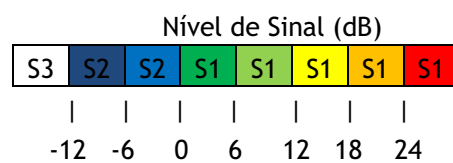


Figura B.3 - Cobertura da RTP1 na área do Parque de Terras Altas de Fafe



1.1.4 - Emissor Ótimo

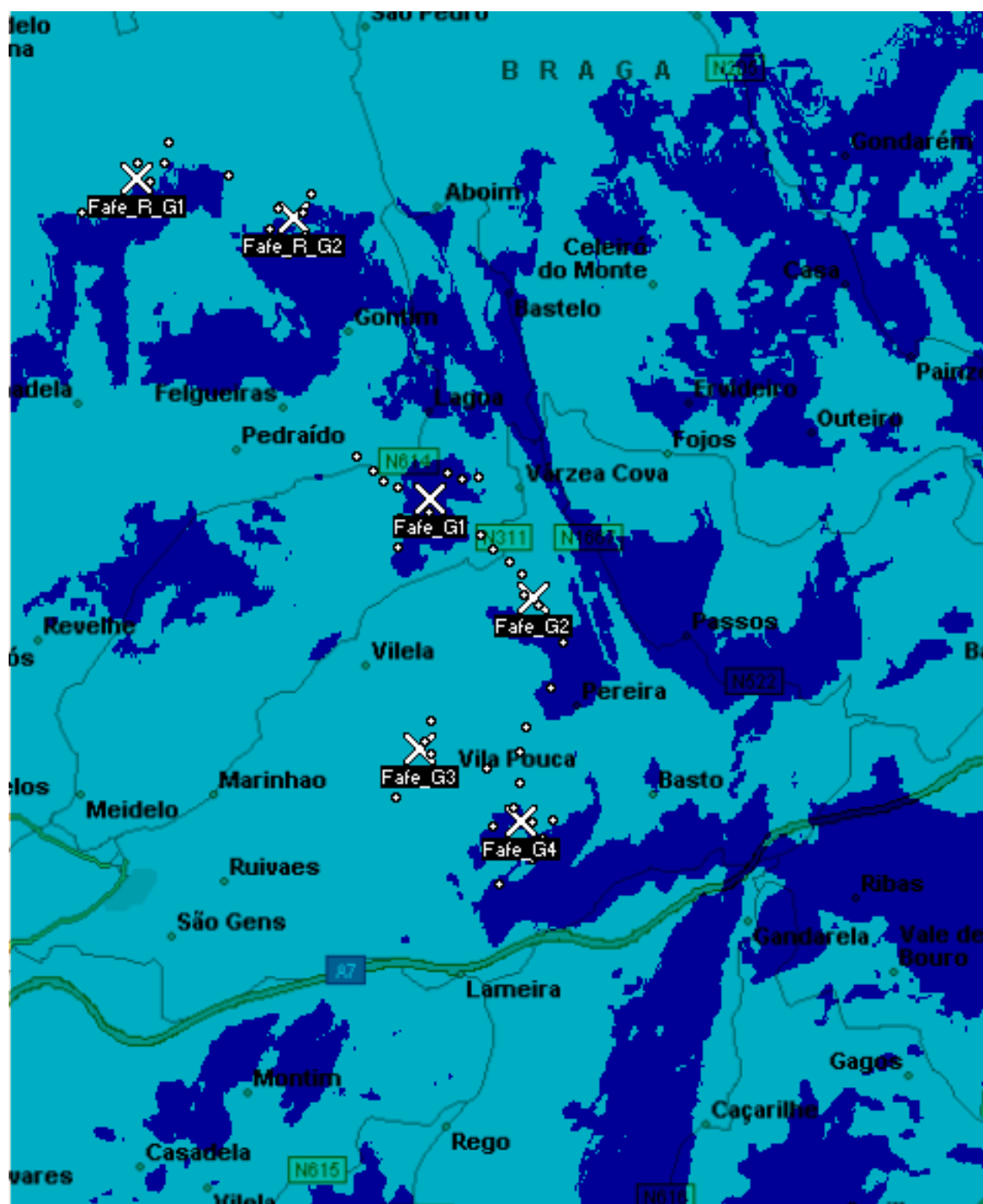


Figura B.4 - Melhor Emissor na cobertura da RTP1 na área do Parque de Terras Altas de Fafe

Estação Ótima



1.2 - Cobertura R2

1.2.1 - Marão

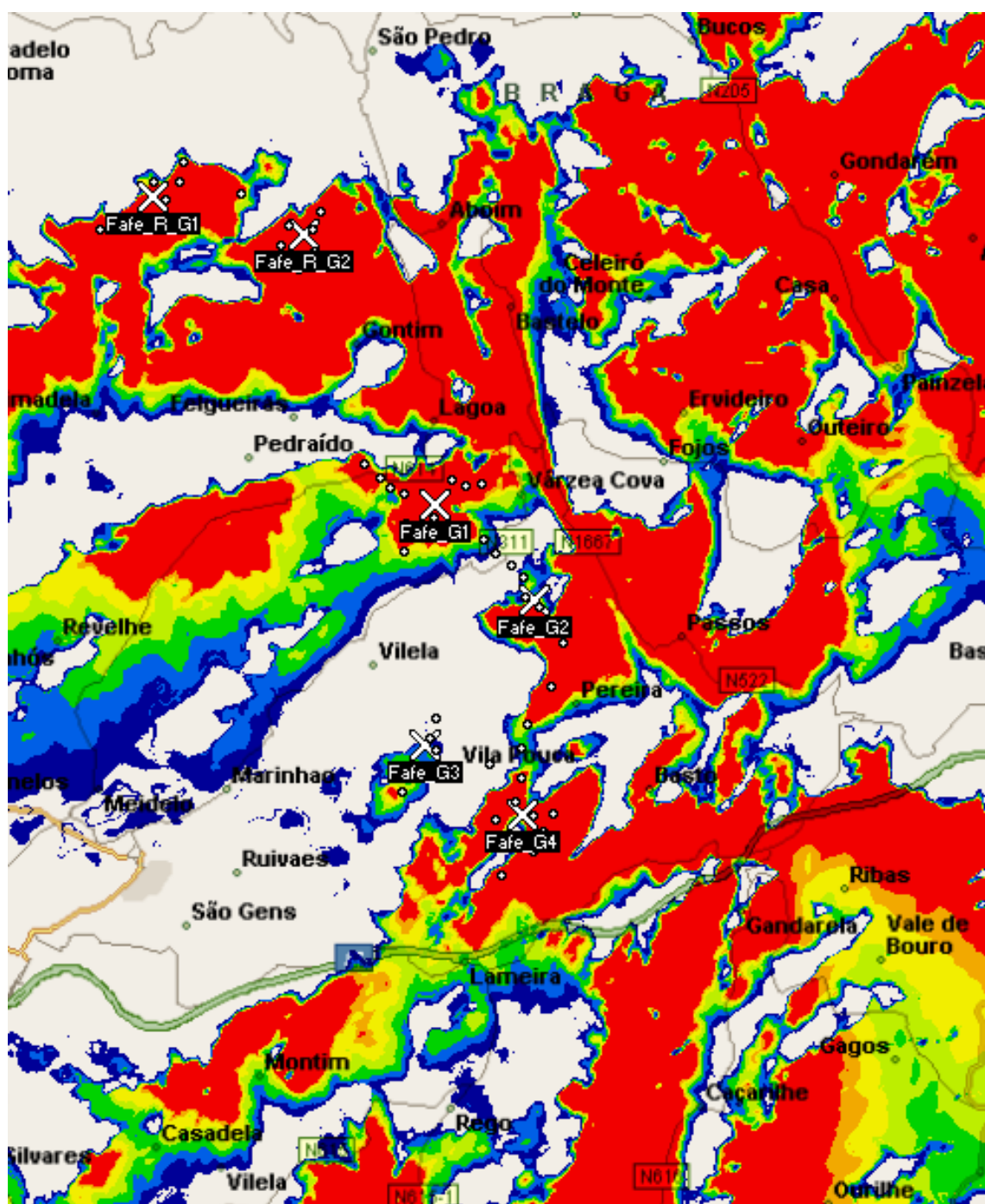
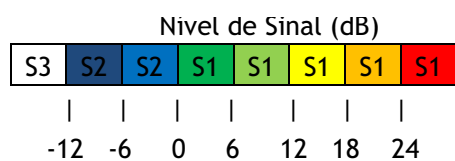


Figura B.5 - Cobertura da RTP2 na área do Parque de Terras Altas de Fafe, pelo emissor do Marão



1.2.2 - Muro

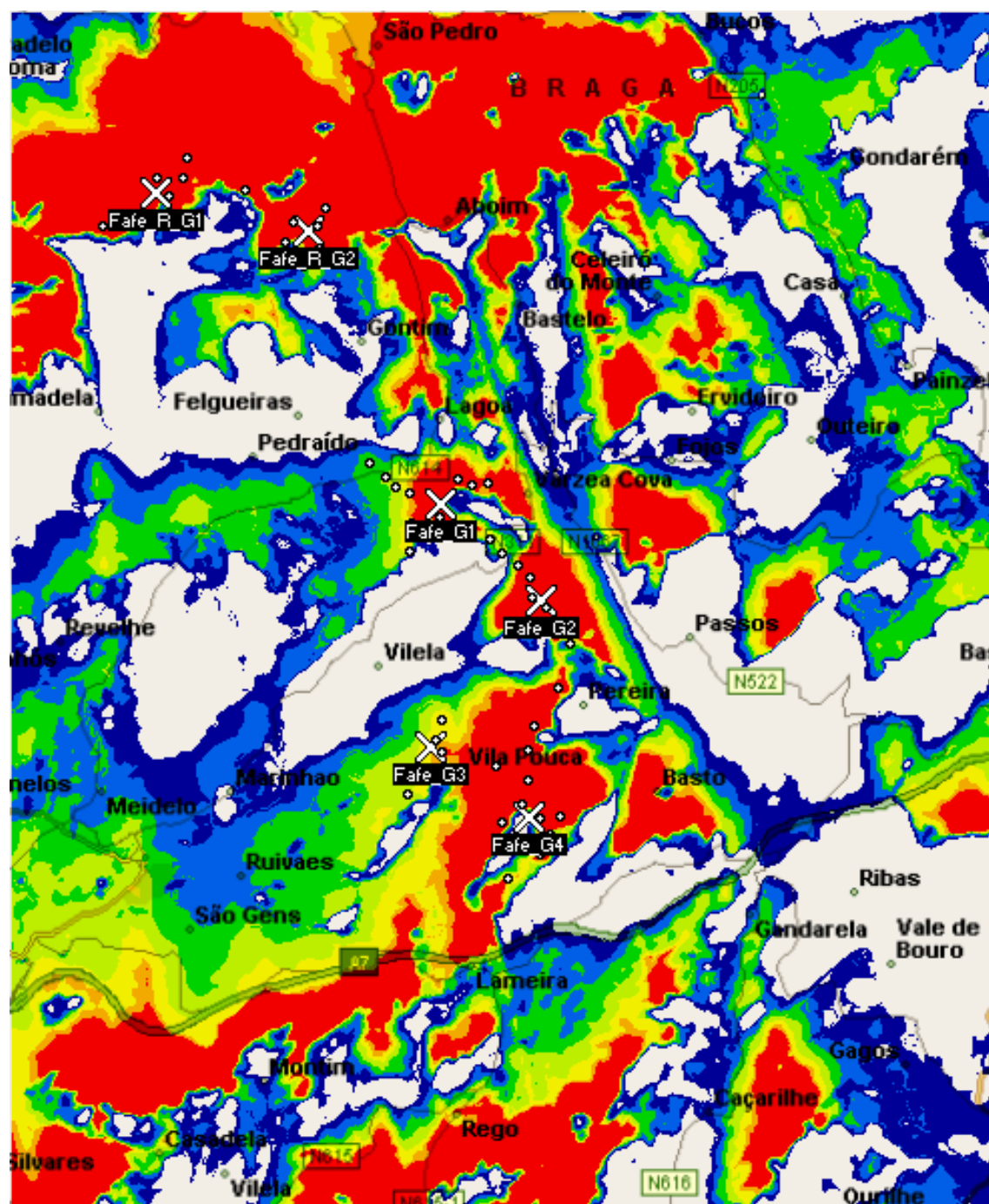
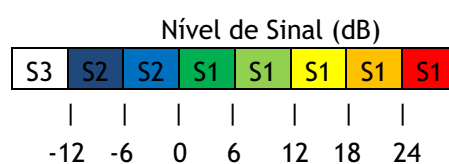


Figura B.6 - Cobertura da RTP2 na área do Parque de Terras Altas de Fafe, pelo emissor do Muro



1.2.3 - Geral

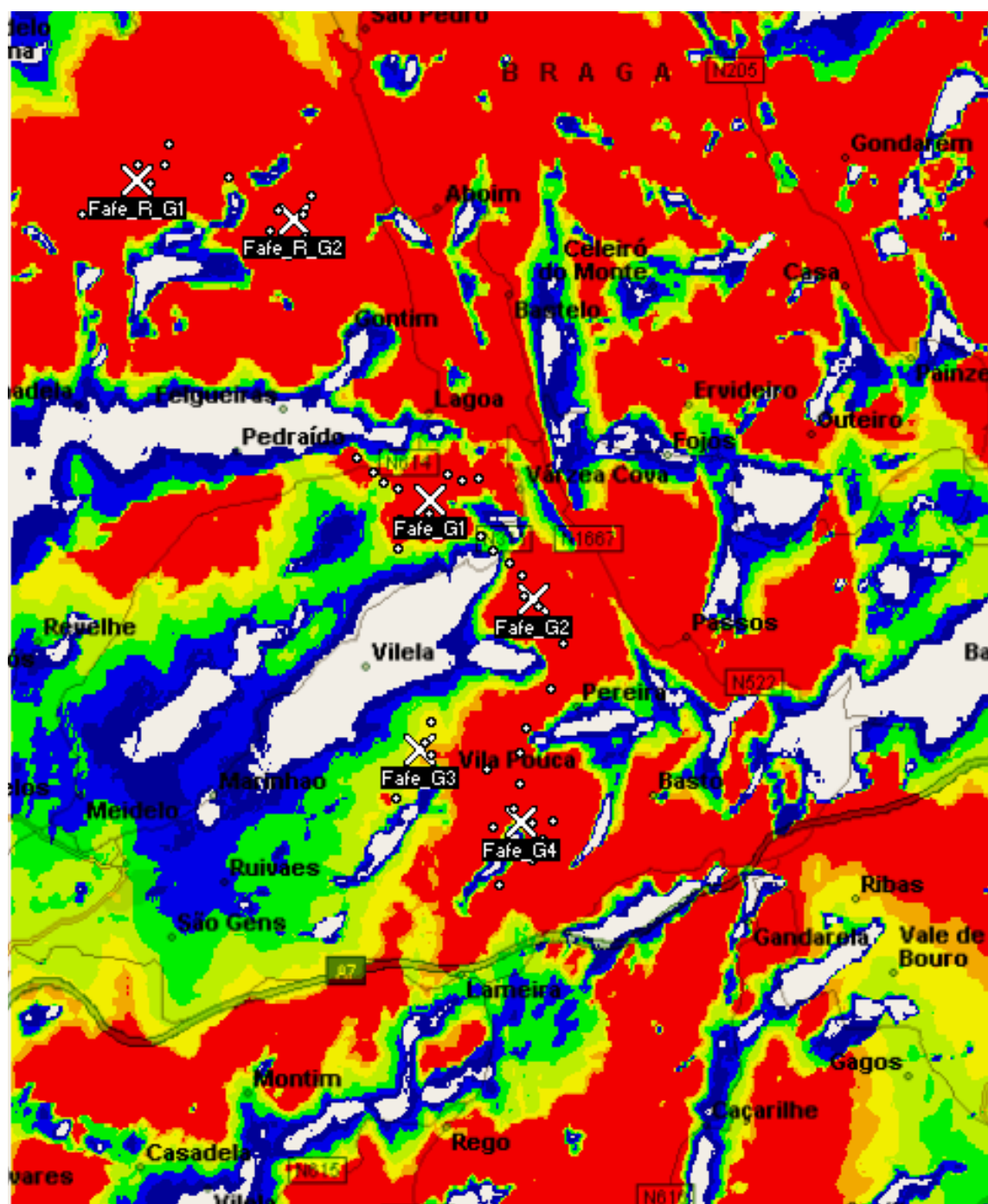
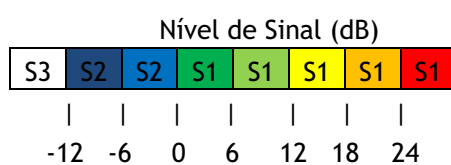


Figura B.7 - Cobertura da RTP2 na área do Parque de Terras Altas de Fafe



1.2.4 - Emissor Óptimo

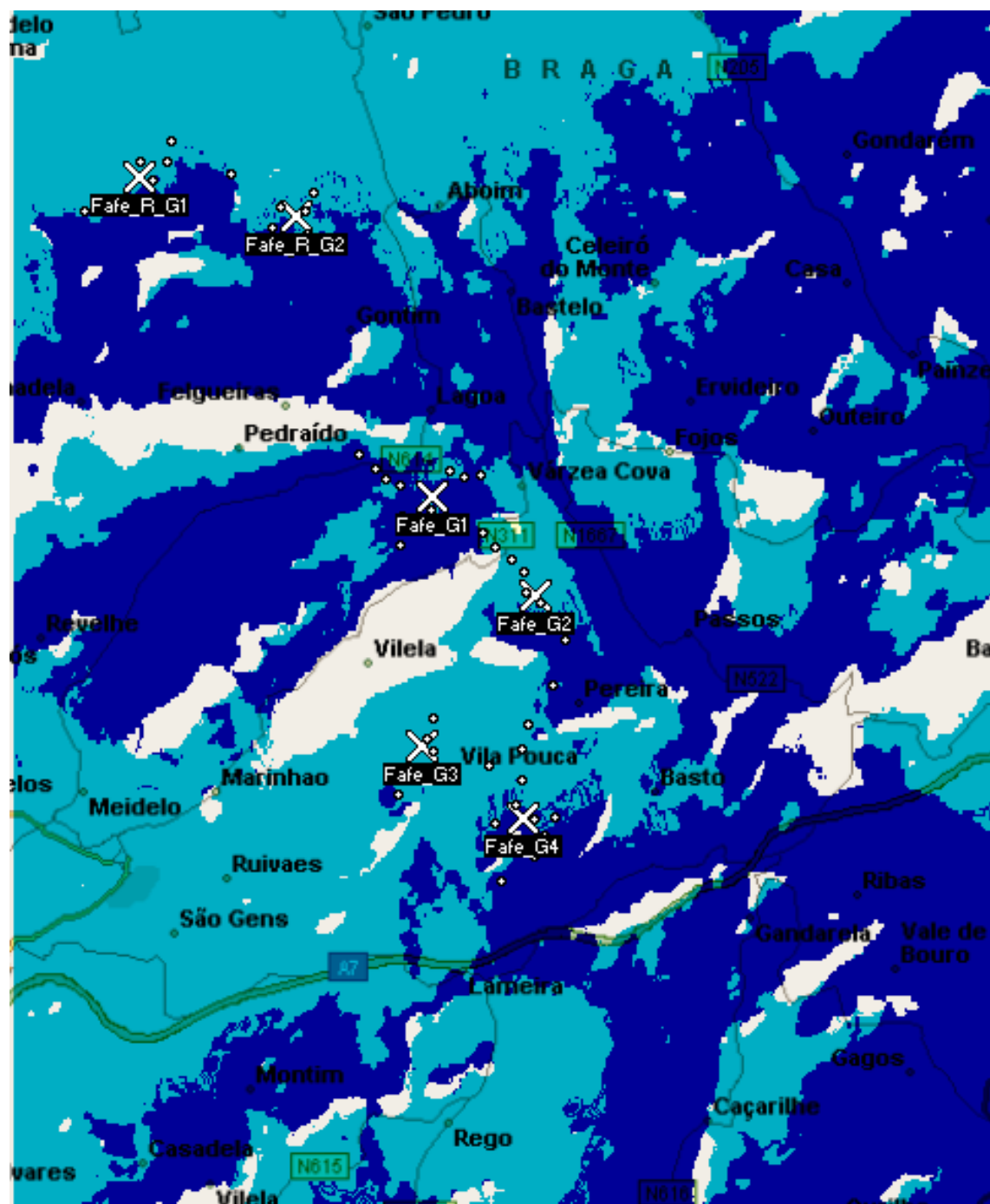


Figura B.8 - Melhor Emissor na cobertura da RTP2 na área do Parque de Terras Altas de Fafe

Estação Óptima



2 - Mapas de Interferência

2.1 - Interferência na rede R1

2.1.1 - Parque Normal

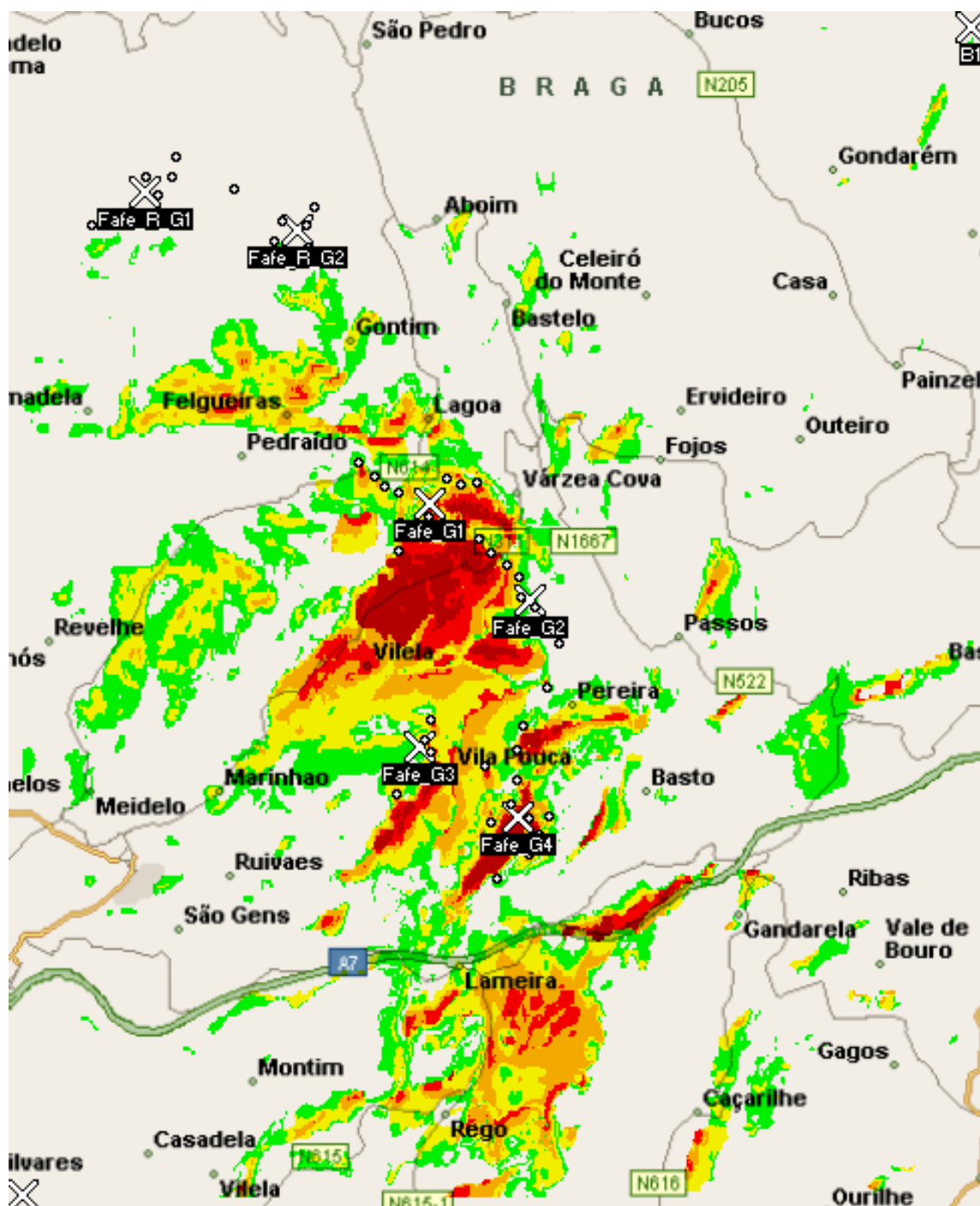
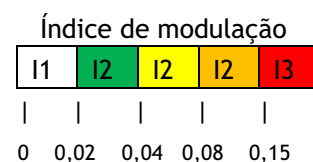


Figura B.9 - Interferência Global do Parque de Terras Altas de Fafe sobre a rede da RTP1, classe de qualidade de cobertura S1



2.2 - Interferência na rede R2

2.2.1 - Parque Normal

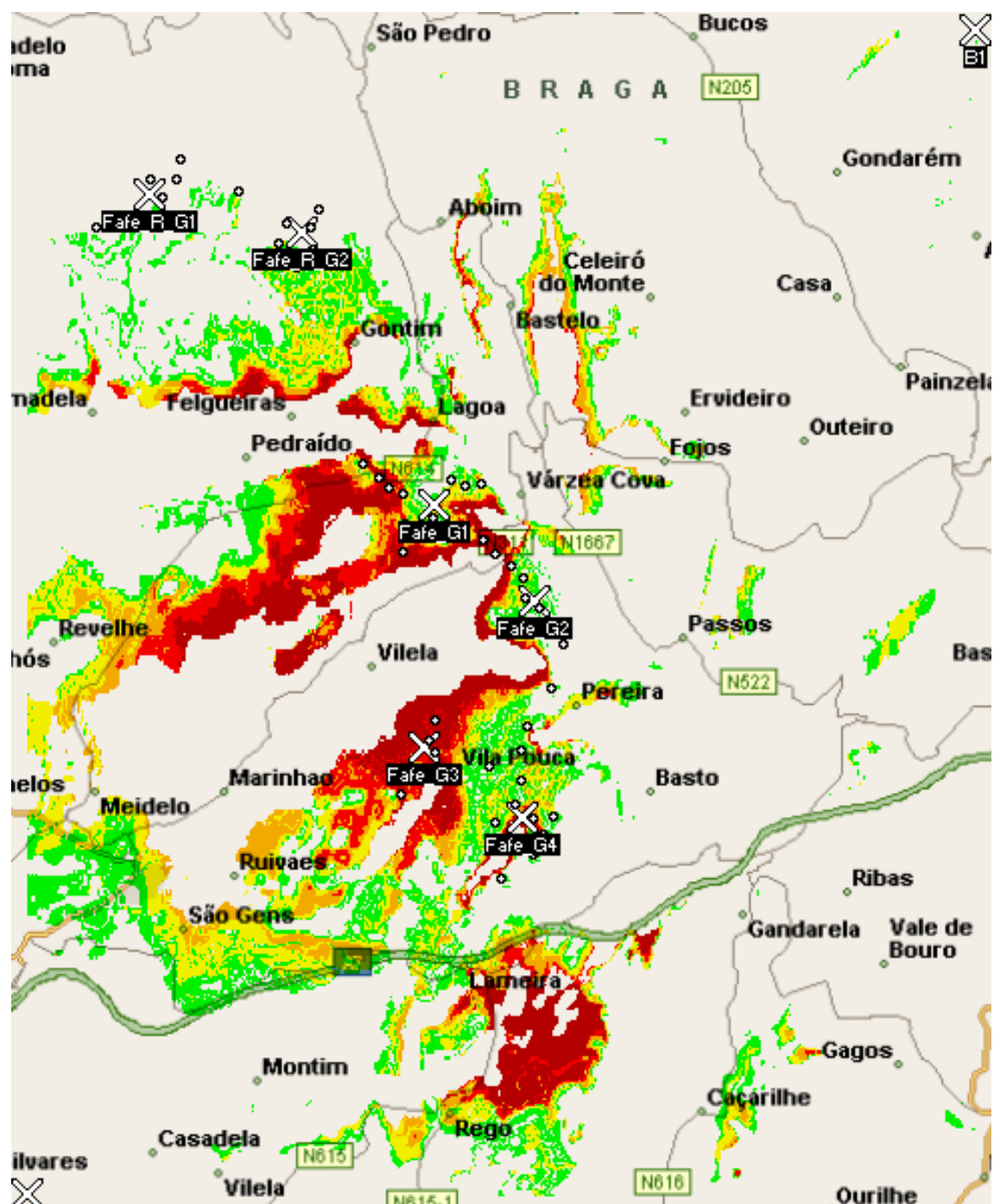
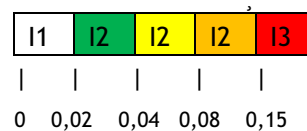


Figura B.11 - Interferência Global do Parque de Terras Altas de Fafe sobre a rede da RTP2, classe de qualidade de cobertura S1



2.3 - Histogramas de População

2.3.1 - Parque Normal

REDE	R1
C1	População
$0.02 \leq x < 0.04$	2084
$0.04 \leq x < 0.08$	1559
$0.08 \leq x < 0.15$	845
$0.15 \leq x < 0.30$	374
$x \geq 0.30$	220
C2	População
$0.02 \leq x < 0.04$	40
$0.04 \leq x < 0.08$	60
$0.08 \leq x < 0.15$	36
$0.15 \leq x < 0.30$	17
$x \geq 0.30$	6

Tabela B.1 - População afectada R1

REDE	R2
C1	População
$0.02 \leq x < 0.04$	1799
$0.04 \leq x < 0.08$	1618
$0.08 \leq x < 0.15$	656
$0.15 \leq x < 0.30$	278
$x \geq 0.30$	441
C2	População
$0.02 \leq x < 0.04$	247
$0.04 \leq x < 0.08$	559
$0.08 \leq x < 0.15$	1867
$0.15 \leq x < 0.30$	997
$x \geq 0.30$	968

Tabela B.2 - População afectada R2

2.3.2 - Parque Normal mais Aerogeradores de Reforço

REDE	R1
C1	População
$0.02 \leq x < 0.04$	3389
$0.04 \leq x < 0.08$	3534
$0.08 \leq x < 0.15$	1545
$0.15 \leq x < 0.30$	769
$x \geq 0.30$	273
C2	População
$0.02 \leq x < 0.04$	58
$0.04 \leq x < 0.08$	71
$0.08 \leq x < 0.15$	61
$0.15 \leq x < 0.30$	43
$x \geq 0.30$	10

Tabela B.3 - População afectada R1

REDE	R2
C1	População
$0.02 \leq x < 0.04$	916
$0.04 \leq x < 0.08$	955
$0.08 \leq x < 0.15$	1293
$0.15 \leq x < 0.30$	1763
$x \geq 0.30$	2209
C2	População
$0.02 \leq x < 0.04$	264
$0.04 \leq x < 0.08$	247
$0.08 \leq x < 0.15$	960
$0.15 \leq x < 0.30$	1601
$x \geq 0.30$	2261

Tabela B.4 - População afectada R2