

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia de Electrónica e
Telecomunicações e de Computadores



Comparação da Implementação da rede TDT em
Frequência Única e Multifrequência

Tiago Alexandre Simões Martins

(Licenciado em Eng. Electrónica e Telecomunicações e de Computadores)

Trabalho Final de Mestrado para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de
Electrónica e Telecomunicações

Orientador:

Prof. Doutor Pedro Renato Tavares Pinho

Júri:

Presidente:

Prof. Doutor João Miguel Duarte Ascenso

Vogais:

Prof. Doutor António José Nunes Navarro Rodrigues

Prof. Doutor Pedro Renato Tavares Pinho

Dezembro de 2013

Resumo

Durante muitos anos as transmissões analógicas ocuparam grande parte do espectro eletromagnético que naturalmente ficou saturado. Com a divulgação da tecnologia *Digital Video Broadcasting – Terrestrial*, e a sua aplicação na transmissão digital, a Comissão Europeia pensando numa utilização mais eficiente do espectro radioelétrico, deliberou no sentido de que esta tecnologia fosse introduzida em todos os países da União Europeia, estabelecendo um prazo (até 2012) para o apagão da transmissão analógica.

Em Portugal, o início da transição para a Televisão Digital Terrestre começou em Abril de 2009, tendo por base a tecnologia *Digital Video Broadcasting – Terrestrial* e a norma MPEG-4/ H.264, suportada por uma rede de frequência única, a qual viria a apresentar diversos problemas de interferência dada a variabilidade das condições de propagação.

Durante todo o tempo de implementação da rede digital em Portugal que as queixas dos utilizadores se têm feito sentir, com particular relevância desde o apagão final da rede analógica. A Portugal Telecom que detém a licença de exploração da rede digital tem tentado corrigir os problemas da rede, mas é uma tarefa que parece não ter fim.

Nesta dissertação são realizadas diversas simulações de predição da cobertura da rede digital e estudadas as causas prováveis dos problemas que se têm verificado, sendo apresentadas propostas para alteração do tipo de rede, de forma a melhorar a qualidade do serviço prestado.

Uma proposta apresentada nesta dissertação passa por aproveitar a estrutura da rede existente e criar uma rede de frequência múltipla, aproveitando a configuração aprovada pela Autoridade Nacional de Comunicações em Março de 2013. Assim, Portugal Continental será dividido em 12 zonas, e cada zona terá um canal atribuído que corresponde a uma rede de frequência única distinta. Em cada zona é atribuído um canal diferente do atribuído às zonas contíguas, de forma a configurar uma rede de multifrequência. Esta configuração tem como desvantagem uma maior ocupação do espectro eletromagnético, comparativamente com a solução existente, no entanto elimina o problema da interferência.

Índice

Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	ix
Lista de Acrónimos	xi
Capítulo I	
Introdução	1
1.1 Objetivo	4
1.2 Descrição da dissertação	4
1.3 Principais Contribuições	5
Capítulo II	
DVB-T	7
2.1 COFDM	7
2.2 Características do DVB-T	13
2.2.1 Modos de transmissão	16
2.3 Parâmetros do DVB-T	17
Capítulo III	
Rede SFN	21
3.1 Rede de Frequência Única	21
3.1.1 Vantagens e Desvantagens	24
3.2 Definição e Cálculo do <i>Link Budget</i>	24
3.2.1 Cálculo do <i>Link Budget</i>	26
3.3 Análise de cobertura	29
3.4 Análise de interferência	39
3.5 Solução de cobertura	43

Capítulo IV

Rede MFN	47
4.1 Rede de Multifrequência	47
4.1.1 Vantagens e Desvantagens	50
4.2 Cálculo do <i>Link Budget</i>	50
4.3 Análise de cobertura	55
4.4 Análise de interferência	58
Conclusão	59
Referências	61
Apêndice A	
Modelos de Propagação	65
A.1 Modelo de <i>Okumura-Hata</i>	65
A.2 Modelo de <i>Okumura-Hata</i> estendido com modelo de difração ITU-R 526	67
Apêndice B	
Xirio Online	69
B.1 Descrição da ferramenta	70
B.1.1 Criação de um estudo de cobertura	74
Apêndice C	
Localização dos Emissores	83

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Número de canais utilizados por cada entidade	2
Figura 1.2 – Evolução da rede	2
Figura 1.3 – Arquitetura da TDT implementada em Portugal	3
Figura 2.1 – Multipercurso	8
Figura 2.2 – Sequência de símbolos	9
Figura 2.3 – Diagrama de blocos do modulador COFDM teórico	10
Figura 2.4 – Diagrama de blocos do modulador COFDM real	10
Figura 2.5 – Sinal OFDM no tempo e na frequência	11
Figura 2.6 – Espectro de portadoras ortogonais	12
Figura 2.7 – Intervalo de Guarda	12
Figura 2.8 – Diagrama funcional do sistema DVB-T	14
Figura 2.9 – Pacote após codificação	15
Figura 2.10 – Diagrama do entrelaçador/desentrelaçador	15
Figura 2.11 – Representação de uma mega-trama no modo 8k.....	16
Figura 3.1 – Rede de frequência única	22
Figura 3.2 – Localização dos emissores na rede SFN	29
Figura 3.3 – Mapa de cobertura da rede SFN.....	31
Figura 3.4 – Mapa de cores da cobertura em SFN	32
Figura 3.5 – Mapa de cobertura em Portugal	32
Figura 3.6 – Mapa de cobertura com menos 15 emissores.....	34
Figura 3.7 – Mapa de cobertura com alteração do downtilt de -20°	35
Figura 3.8 – Mapa de cobertura com nova potência em Cheleiros (500 W).....	36
Figura 3.9 – Mapa de cobertura com novo emissor (Encarnação)	37

Figura 3.10 – Mapa de cobertura com menor potência de emissão	38
Figura 3.11 – Mapa de interferência da rede SFN.....	40
Figura 3.12 – Mapa de interferência com menos 15 emissores.....	41
Figura 3.13 – Mapa de interferência com novo emissor (Encarnação).....	42
Figura 3.15 – Propagação melhorada no dia 19-06-2013.....	44
Figura 3.16 – Propagação melhorada no dia 23-06-2013.....	44
Figura 4.1 – Rede MFN Nacional	48
Figura 4.2 – Rede MFN Distrital	48
Figura 4.3 – Rede MFN Local	48
Figura 4.4 – Decisão da evolução da rede TDT em Portugal	51
Figura 4.5 – Localização dos emissores na rede MFN.....	55
Figura 4.6 – Mapa de cobertura da rede MFN	57
Figura 4.7 – Mapa de cores da cobertura em MFN.....	57
Figura 4.8 – Mapa de interferência da rede MFN	58
Figura A.1 – Comparação de cobertura entre o modelo de <i>Okumura-Hata</i> e <i>Okumura-Hata</i> estendido	68
Figura B.1 – <i>Xirio-Online</i>	69
Figura B.2 – Barra de menus	70
Figura B.3 – Criação de um estudo de simulação	70
Figura B.4 – Gestor de estudos	71
Figura B.5 – Gestor de resultados	71
Figura B.6 – Gestor de modelos	72
Figura B.7 – Painel de Informações	72
Figura B.8 – Criação de ponto de interesse	73
Figura B.9 – Cálculo da distância entre dois pontos	73
Figura B.10 – Perfil do terreno entre dois pontos	73

Figura B.11 – Altura acima do nível do mar	74
Figura B.12 – Criação de um estudo de cobertura em DVB-T	74
Figura B.13 – Parâmetros de cobertura	75
Figura B.14 – Banda de frequência	75
Figura B.15 – Criação do emissor	76
Figura B.16 – Propriedades do emissor	76
Figura B.17 – Propriedades da antena	77
Figura B.18 – Diagrama de radiação	77
Figura B.19 – Parâmetros rádio do recetor	77
Figura B.20 – Propriedades do modelo de propagação	78
Figura B.21 – Camada de cartografia	78
Figura B.22 – Definição da área de cobertura manualmente	78
Figura B.23 – Definição da área de cobertura no mapa	79
Figura B.24 – Ajustamento da área de cálculo	79
Figura B.25 – Gama de sinal	79
Figura B.26 – Painel de ações	80
Figura B.27 – Selecionar resultados obtidos	80
Figura B.28 – Nível de cobertura	81

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Número de portadoras.....	18
Tabela 2.2 – Espaçamento entre portadoras	18
Tabela 2.3 – Tempo útil.....	19
Tabela 2.4 – Duração do tempo de guarda	19
Tabela 2.5 – Tempo de símbolo	19
Tabela 2.6 – Débito útil	20
Tabela 3.1 – Parâmetros DVB-T em Portugal.....	23
Tabela 3.2 – Distância máxima entre emissores	23
Tabela 3.3 – Alguns valores típicos para BPL e LNF para diferentes tipos de área	26
Tabela 3.4 – Margens Log-Normal em dB para diferentes ambientes.....	26
Tabela 3.5 – Dimensionamento do <i>Link Budget</i> para a rede SFN no canal 56 (754 MHz)	28
Tabela 3.6 – Características dos emissores na rede SFN	30
Tabela 3.7 – Características do recetor na rede SFN.....	30
Tabela 3.8 – Primeiros emissores removidos	33
Tabela 3.9 – Segundos emissores removidos	33
Tabela 4.1 – Relação de canais das bandas IV e V de UHF.....	49
Tabela 4.2 – Dimensionamento do <i>Link Budget</i> para a rede MFN no canal 49 (698 MHz)	52
Tabela 4.3 - Dimensionamento do <i>Link Budget</i> para a rede MFN no canal 47 (682 MHz)	53
Tabela 4.4 - Dimensionamento do <i>Link Budget</i> para a rede MFN no canal 45 (666 MHz)	54
Tabela 4.5 – Características dos emissores na rede MFN	56

Tabela 4.6 - Características do recetor na rede MFN	56
Tabela A.1 – Limites do modelo <i>Okumura-Hata</i>	66
Tabela C.1 – Localização geográfica dos emissores na rede SFN	83
Tabela C.2 – Localização geográfica dos emissores na rede SFN (novas potências)....	84
Tabela C.3 – Localização geográfica dos emissores na rede MFN (canal 49 – 698MHz)	85
Tabela C.4 – Localização geográfica dos emissores na rede MFN (canal 47 – 682MHz)	85
Tabela C.5 – Localização geográfica dos emissores na rede MFN (canal 45 – 666MHz)	86

Lista de Acrónimos

ANACOM	A utoridade N acional de C omunicações
AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
BPL	<i>Building Penetration Loss</i>
COFDM	<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>
DVB	<i>Digital Video Broadcasting</i>
DVB-C	<i>Digital Video Broadcasting - Cable</i>
DVB-MHP	<i>Digital Video Broadcasting - Multimedia Home Platform</i>
DVB-T	<i>Digital Video Broadcasting - Terrestrial</i>
DVB-S	<i>Digital Video Broadcasting - Satellite</i>
DTH	<i>Direct To Home</i>
EIRP	<i>Equivalent Isotropically Radiated Power</i>
ETS	<i>European Telecommunications Standards</i>
FDM	<i>Frequency Division Multiplexing</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HD	<i>High-Definition</i>
IFFT	<i>Inverse Fast Fourier Transform</i>
ISI	<i>InterSymbol Interference</i>
LNF	<i>Log Normal Fading</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MFN	<i>Multi Frequency Network</i>
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>

OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
PRBS	<i>Pseudo Random Binary Sequence</i>
PT	Portugal Telecom
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RTP	Rádio e Televisão Portuguesa
SD	<i>Standard-Definition</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SFN	<i>Single Frequency Network</i>
TDT	Televisão Digital Terrestre
UHF	<i>Ultra-High Frequency</i>
VHF	<i>Very-High Frequency</i>

Capítulo I

Introdução

A transmissão analógica de televisão em Portugal iniciou-se em 1957 com a emissão do canal RTP (Rádio e Televisão Portuguesa) e desde então o número de canais televisivos cresceu para os atuais 4. Para garantir esta transmissão eram necessários 43 canais UHF (*Ultra-high frequency*) do espectro radielétrico [1]. Na Figura 1.1 pode-se observar o número de canais usados por cada entidade televisiva a operar em Portugal.

Como o espectro radielétrico é um recurso limitado rapidamente fica saturado, tornando-se necessário procurar tecnologias mais eficientes no uso deste recurso, razão pela qual a Comissão Europeia determinou que a TDT (Televisão Digital Terrestre) deveria ser introduzida em todos os países da União Europeia [2].

Em Portugal, o concurso lançado pela ANACOM (Autoridade Nacional de Comunicações) foi vencido pela PT (Portugal Telecom), a qual instalou uma infraestrutura de rede por todo o país, recorrendo ao sistema SFN (*Single Frequency Network*). A partir da data do apagão, o utilizador da televisão "tradicional" necessita obrigatoriamente de dispor do equipamento apropriado à receção do sinal digital para continuar a ter acesso aos canais nacionais de televisão em sinal aberto.

SERVIÇO DE RÁDIO-DIFUSÃO TELEVISIVA - ANALÓGICO (RDTV)					
Entidade	Faixas de frequências	Data de revisão da atribuição	Direitos de utilização exigíveis	Nº de canais ⁽²⁾	Âmbito de utilização
RÁDIO E TELEVISÃO DE PORTUGAL, SA Contrato de concessão geral de serviço público de televisão de 22/09/2003	RTP1	27-08-2019	SIM	2	g
				6	g
				14	g
				26	g
	RTP AÇORES	27-08-2019	SIM	6	g
				6	g
				9	g
	RTP MADEIRA	27-08-2019	SIM	6	g
				2	g
5				g	
RÁDIO E TELEVISÃO DE PORTUGAL, SA Contrato de concessão especial de serviço público de televisão de 17/11/2003	RTP 2	27-08-2011	SIM	1	g
				14	g
				28	g
SIC - SOCIEDADE INDEPENDENTE DE COMUNICAÇÃO, SA Resolução 6/92 (2ª Série) do Conselho de Ministros de 22.02.1992	174 - 216 MHz 470 - 582 MHz 582 - 822 MHz	22-02-2022 ⁽⁴⁾	SIM	1	g
				12	g
				26	g
TVI TELEVISÃO INDEPENDENTE, SA Resolução 6/92 (2ª Série) do Conselho de Ministros de 22.02.1992	470 - 582 MHz 582 - 822 MHz	22-02-2022 ⁽⁴⁾	SIM	12	g
				25	g

⁽¹⁾ Canais de utilização exclusiva.

⁽²⁾ Um canal T-DAB permite a emissão de 6 programas em simultâneo.

⁽³⁾ Canais de utilização partilhada.

⁽⁴⁾ O direito de utilização de frequências foi renovado pelo prazo de 15 anos, sob reserva de quaisquer alterações decorrentes da fixação, nos termos legais, da data para a cessação (*switch-off*) das emissões televisivas no sistema analógico.

Figura 1.1 – Número de canais utilizados por cada entidade [3]

Ao associar a TDT a uma SFN, torna-se mais evidente a eficiência da utilização do espectro radielétrico, pois é possível num único canal UHF, transmitir com resolução SD (*Standard-Definition*) os mesmos quatro canais de televisão que eram transmitidos pela emissão analógica, e adicionalmente, um canal SD e outro com resolução HD (*High-definition*) – Figura 1.2.

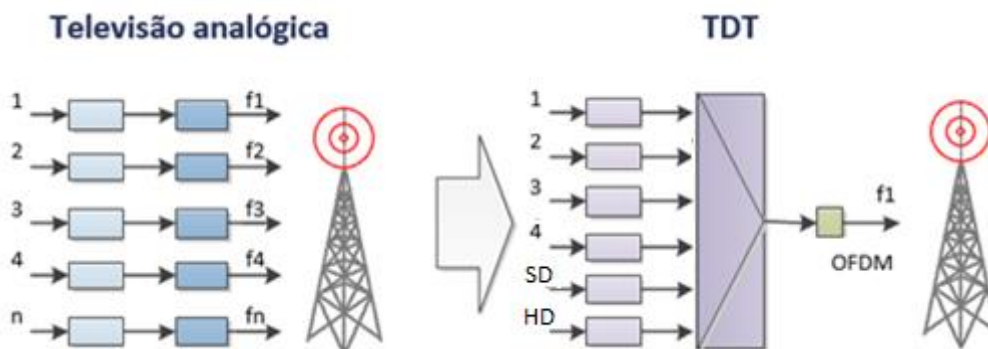


Figura 1.2 – Evolução da rede

A emissão da programação de uma rede TDT começa então no centro de informação digital, onde os conteúdos recebidos dos provedores são modulados através do COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*) e codificados em MPEG-4 (*Moving Picture Experts Group*). O método de modulação, COFDM, é utilizado predominantemente na Europa, e suportado pela norma DVB (*Digital Video Broadcasting*), sendo a sua capacidade em superar os problemas colocados pelo multi-percurso a principal razão da sua utilização. Após a modulação e codificação, é feito o envio aos emissores através da rede de transporte que é predominantemente do tipo SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*).

A utilização de uma SFN requiere que todos os emissores tenham que emitir a mesma informação precisamente no mesmo instante, sendo este desafio ultrapassado através do uso de GPSs (*Global Positioning System*) associados aos emissores. No entanto, a implementação de uma rede de frequência única traz consigo problemas nas distâncias percorridas pelos sinais transmitidos e situações de interferência que não existiam na rede analógica. Para assegurar a transmissão numa única frequência, os sinais transmitidos não devem exceder uma distância fixa determinada pela norma DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*), algo que é muito difícil de garantir, uma vez que as condições de propagação variam constantemente ao longo do tempo, com fatores como as condições atmosféricas, o terreno e outros fatores controláveis.

A Figura 1.3 representa a arquitetura da rede TDT implementada em Portugal.

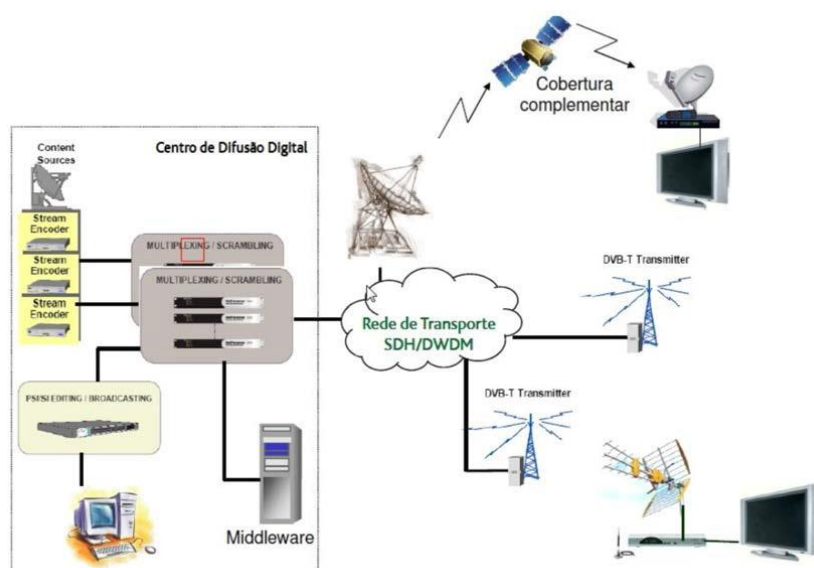


Figura 1.3 – Arquitetura da TDT implementada em Portugal [4]

1.1 Objetivo

Segundo a licença atribuída à PT, uma parcela até 13% da população não será abrangida pela cobertura terrestre do sinal TDT, sendo que a única opção possível nestes casos é o acesso via satélites denominado de DTH (*Direct to Home*). Pretende-se com esta dissertação estudar os fatores que impedem a cobertura de TDT em todo o território continental português, analisar os fatores que influenciam a transmissão e estudar possíveis alternativas à implementação atual, com vista a eliminar os problemas detetados na rede SFN.

Tendo em conta que a ANACOM definiu para além da rede de frequência única, outras 3 redes possíveis para implementação da TDT em Portugal Continental, entre as quais uma rede MFN (*Multi Frequency Network*), vai ser feita uma análise de implementação de uma rede multifrequência, de forma a observar quais as melhorias e contrapartidas oferecidas fase a implementação SFN.

1.2 Descrição da dissertação

Esta dissertação divide-se em três fases principais, que passa pela investigação da rede TDT, realização do *link budget* da rede e por último simulações de cobertura e interferência.

Na primeira fase vão ser analisados todos os aspetos relacionados com a implementação da TDT em Portugal, entre os quais:

- Norma DVB-T;
- Implementação da TDT em Portugal;
- Problemas reportados publicamente.

Esta fase desenrola-se durante todo o período da dissertação, consoante o surgimento de novos dados e informações.

A segunda fase passa pela realização do balanceamento de potência da rede SFN e MFN, onde serão calculados valores de atenuação e percentagem de cobertura. A realização do

balanceamento de potência tem por base o modelo de *Okumura-Hata*¹, pois foi o utilizado pela Portugal Telecom na implementação da televisão digital em Portugal.

Por último serão realizadas simulações na região centro do país, tanto com o sistema SFN como MFN, permitindo assim uma comparação entre os dois sistemas.

Em termos de estrutura, a dissertação está dividida em cinco capítulos, que vão ser descritos de seguida, e reflete o trabalho desenvolvido. Após o capítulo introdutório, no segundo capítulo, é feita uma descrição da norma DVB-T, onde são descritas as suas características e principais parâmetros.

De seguida é analisada a rede de frequência única, tanto em cobertura como em interferência, e apresentados quais os pontos favoráveis e desfavoráveis deste tipo de rede.

O quarto capítulo consiste numa solução à rede SFN através da utilização de uma rede multifrequência, onde é analisada as suas características e feitas simulações de cobertura e interferência de forma a concluir as vantagens e desvantagens da sua utilização.

Por fim, o último capítulo diz respeito as conclusões.

1.3 Principais Contribuições

Com a realização desta dissertação de mestrado foi submetida e aceite a seguinte publicação científica.

T. Martins, P. Pinho, “Comparação da Implementação da rede de Televisão Digital Terrestre em Frequência Única e Multifrequência”, 7.º Congresso do Comité Português da URSI, 22 Nov. 2013, Lisboa.

¹ No Apêndice A é feita uma descrição sobre o modelo de propagação utilizado.

Capítulo II

DVB-T

O projeto DVB também conhecido como padrão europeu de Televisão Digital, é uma aliança de cerca de 250 a 300 companhias, inicialmente Europeias mas atualmente mundiais. O principal objetivo deste padrão europeu é definir especificações para sistemas digitais, incluindo sistemas de difusão. Uma dessas normas é o DVB-T, que é a especificação para a emissão de televisão digital por transmissão via terrestre, definida na norma ETS 300 744 (*European Telecommunications Standards*) de 1995 [5].

Neste capítulo será feita uma breve descrição à técnica de modulação COFDM, que resulta da combinação da técnica OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*) com códigos de detecção e correção de erros, e posteriormente uma descrição do funcionamento, características e parâmetros da norma DVB-T.

2.1 COFDM

Desde do início da transmissão terrestre que o método de transmissão com portadora única é utilizado. A informação a ser enviada é inserida numa portadora sinusoidal através de técnicas analógicas de modulação de amplitude, fase ou frequência. A partir dos anos

80, devido a necessidade de débitos mais elevados, as transmissões através de portadora única passaram a ser cada vez mais na forma digital, através de técnicas de modulação como FSK (*frequency shift keying*), QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) e QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*).

O COFDM surge da necessidade de lidar com alguns problemas existentes na receção em meios terrestres, comuns às transmissões analógicas e digitais. Ao mesmo tempo, procura tornar mais eficiente a utilização do canal, transmitindo maior débito quando comparado com os métodos de portadora única.

Algumas características da transmissão em meio terrestre são:

- Multi-percurso – Varias cópias do mesmo sinal chegam ao recetor em tempos diferentes devido à existência de reflexões. Algumas consequências são:
 - Interferência inter-simbólica (ISI - *intersymbol interference*)
 - Desvanecimento (*fading*)
- AWGN – *Additive white Gaussian Noise*
- Efeito de *Doppler* – Alteração na frequência quando existe movimento do emissor ou recetor.

O multi-percurso representado na Figura 2.1 pode provocar a que os símbolos recebidos com atraso interfiram nos restantes símbolos, originando o que se designa por interferência inter-simbólica. Esta interferência tanto pode ser construtiva como destrutiva. A Figura 2.2 representa a sequência de símbolos numa transmissão digital com ISI.

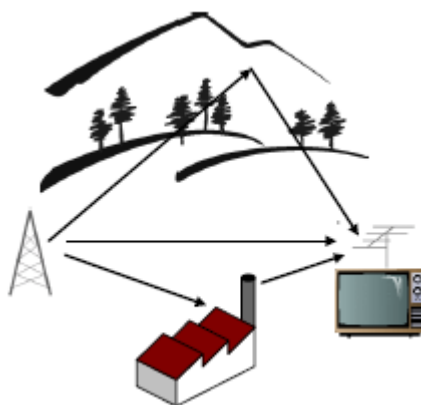


Figura 2.1 – Multipercurso

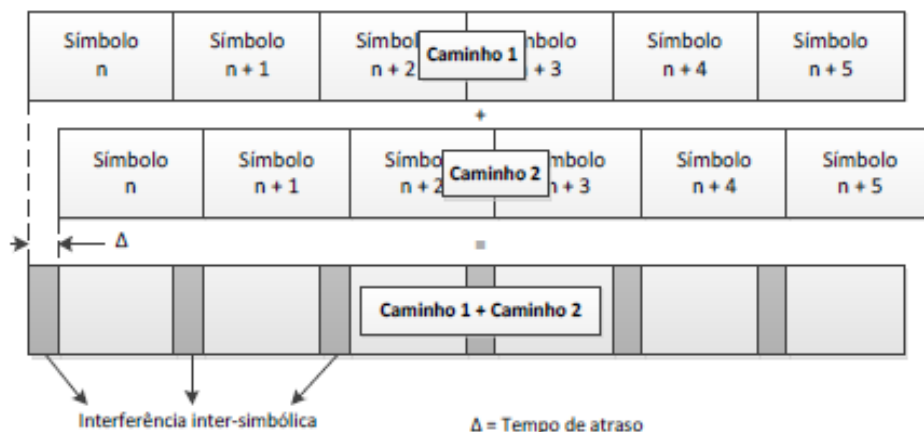


Figura 2.2 – Sequência de símbolos

O COFDM é um método de multiplexagem com múltiplas portadoras que não interferem entre si. À informação a ser transmitida são adicionados bits de correção de erro (*Coded*) e a trama resultante é distribuída por todas as portadoras OFDM. Cada portadora transporta apenas uma parte reduzida da informação a transmitir, a um ritmo binário muito mais reduzido do que o débito total.

O sinal OFDM usado em DVB-T resulta da soma de todas as portadoras, as quais estão moduladas em QPSK, 16-QAM ou 64-QAM. Note-se que estes tipos de modulações podem ser obtidas através da multiplicação da portadora por um número ou fator complexo determinado pela combinação de bits a transmitir. Deste modo, o símbolo COFDM é basicamente gerado em 4 passos fundamentais:

1. Inserção de bits para correção de erro;
2. Mapeamento das combinações de bits atribuídas a cada portadora, em fatores complexos que definem o símbolo a transmitir por cada uma;
3. Multiplicação desses fatores pelas portadoras respetivas;
4. Soma de todos os produtos obtidos anteriormente.

Na Figura 2.3 pode-se observar o diagrama de blocos do modulador teórico de COFDM.

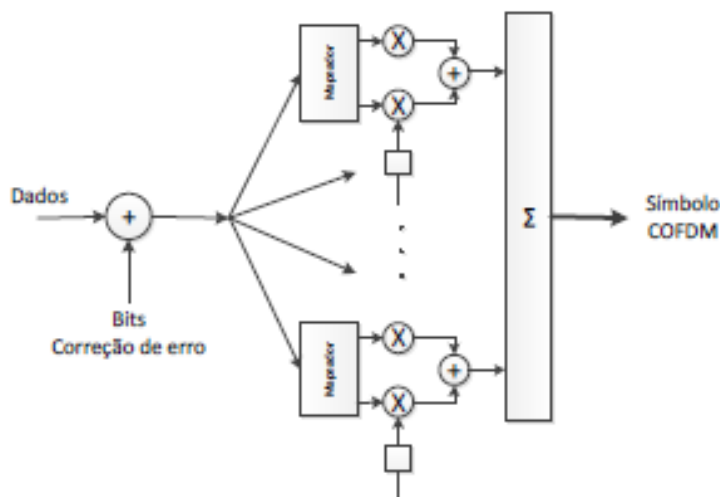


Figura 2.3 – Diagrama de blocos do modulador COFDM teórico

Para funcionar, este procedimento puramente teórico, todos os processos de modulação teriam que estar síncronos com os restantes para produzirem símbolos com a mesma dimensão, o que tornaria este mecanismo bastante dispendioso para além de instável.

Na prática, após a inserção dos bits de correção de erro, os dados são divididos de forma aleatória em vários canais, chegando aos milhares. Cada canal passa pacote por pacote no mapeador que gera a representação vetorial do sinal, dividido em parte real e imaginária, formando-se assim duas tabelas distintas. Estas tabelas representam os sinais de entrada do bloco IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*), que após o bloco passa a estar disponível no domínio do tempo. O sinal de saída tem um formato aleatório e estocástico, devido aos milhares de portadoras moduladas independentemente. Na Figura 2.4 está representando o esquema do modulador COFDM real.

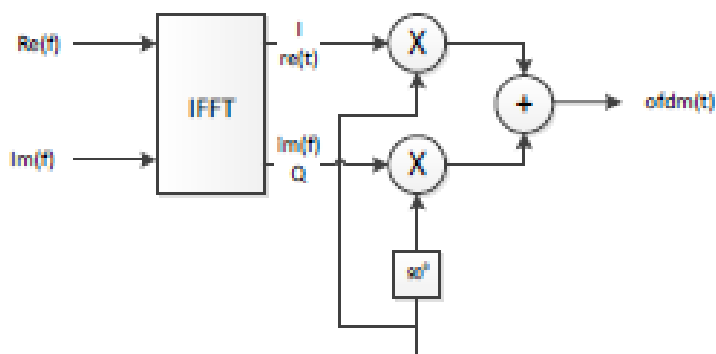


Figura 2.4 – Diagrama de blocos do modulador COFDM real

Um sinal OFDM caracteriza-se facilmente nos domínios do tempo e da frequência. Na frequência consiste num conjunto de portadoras adjacentes, moduladas por pulsos correspondentes aos símbolos que cada uma transporta, enquanto no tempo consiste em conjuntos de símbolos transmitidos sequencialmente. Um símbolo OFDM corresponde ao conjunto de símbolos transportado por todas as portadoras durante o tempo de duração de um símbolo. A Figura 2.5 ilustra de forma simples as várias dimensões de um sinal OFDM.

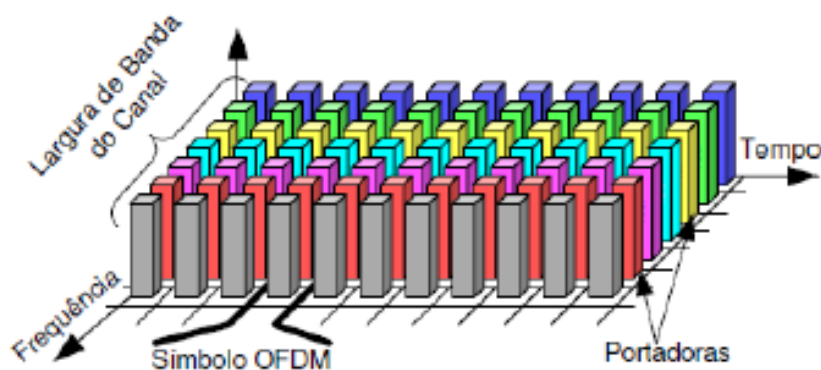


Figura 2.5 – Sinal OFDM no tempo e na frequência [6]

Para garantir que uma portadora não interfere com a portadora adjacente, estas são criadas de forma ortogonal. A condição de ortogonalidade das portadoras determina uma distância mínima entre portadoras, igual a $1/T_u$, em que T_u é o tempo útil de cada símbolo OFDM.

A Figura 2.6 representa o espectro de portadoras de um sinal OFDM. Como se pode verificar, este espectro é constituído por uma sequência de funções *sinc*, correspondentes a pulsos retangulares de duração Δt_u , cujas passagens por zero coincidem exatamente nas frequências das várias portadoras. Assim, a modulação OFDM não é mais do que um sistema de multiplexagem na frequência (FDM - *Frequency Division Multiplexing*), com sobreposição de espectros. A relação entre a portadora de mais baixa frequência, f_0 , e a de ordem k é dada pela equação 2.1.

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_u} \quad (2.1)$$

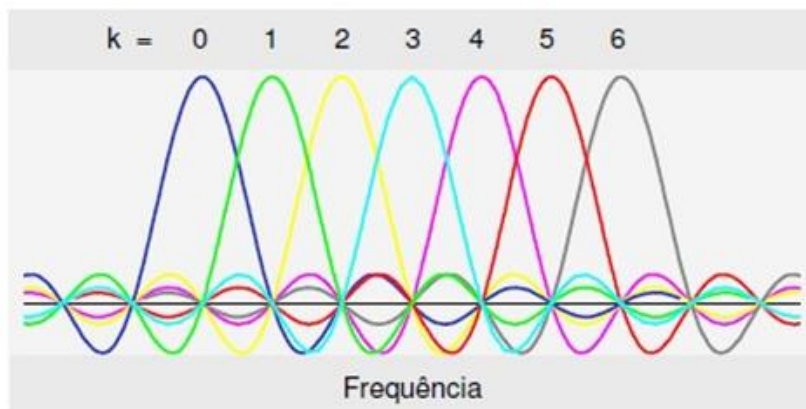


Figura 2.6 – Espectro de portadoras ortogonais [6]

Com esta característica, o problema do desvanecimento deixa de ter impacto tão profundo, ou seja, ainda que algumas portadoras sejam afetadas por desvanecimento, outras não o serão, e portanto irá existir informação suficiente nas restantes portadoras para recuperar e corrigir o sinal na receção.

O problema da interferência inter-simbólica devido aos ecos dos sinais que chegam com diferentes atrasos é solucionado através da introdução de um tempo de guarda, T_g , antes do período de duração útil, T_u , de cada símbolo. De modo a manter a ortogonalidade entre as portadoras, o sinal durante o intervalo de guarda é uma cópia da última parte do símbolo OFDM, daí que também tenha a designação de prefixo cíclico. Como se pode verificar na Figura 2.7, o intervalo de guarda é parte integrante do símbolo correspondente, pelo que a sua utilização resulta num período de símbolo superior ao período útil, $T_s = T_g + T_u$.

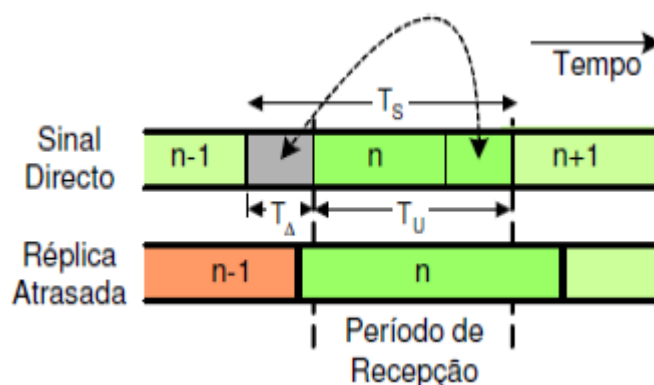


Figura 2.7 – Intervalo de Guarda [6]

A grande vantagem da utilização do intervalo de guarda consiste em eliminar a interferência inter-simbólica durante o período de receção do símbolo OFDM,

eliminando assim os erros que daí resultariam. Deste modo, o recetor apenas inicia a receção de cada símbolo após terminar o intervalo de guarda. Assim, se os sinais refletidos chegarem ao recetor com um atraso máximo inferior a T_g , a ISI ocorre apenas durante o intervalo de guarda. Por isso, para garantir a eliminação da ISI durante o período de receção dos símbolos, a duração do intervalo de guarda deve ser superior ao atraso máximo do canal de transmissão. No caso dos canais com múltiplos percursos, o atraso máximo corresponde ao percurso mais longo que o sinal percorre entre o emissor e o recetor.

Note-se que a introdução do intervalo de guarda corresponde a uma perda de capacidade de transmissão de modo semelhante à redundância introduzida pelos códigos de correção de erros. Ao aumentar o período de duração dos símbolos para criar o intervalo de guarda, diminui-se o débito simbólico e consequentemente o débito binário.

2.2 Características do DVB-T

A norma DVB-T inicialmente previa que os sinais de entrada fossem codificados em MPEG-2, mas posteriormente foi adicionado à norma a codificação MPEG-4, conforme pode ser verificado na especificação ETSI TS 101 154 [7]. Portugal optou por passar a utilizar a codificação em MPEG-4, pois permitia uma maior compressão face a codificação em MPEG-2. Na Figura 2.8 pode-se observar o diagrama de blocos do DVB-T.

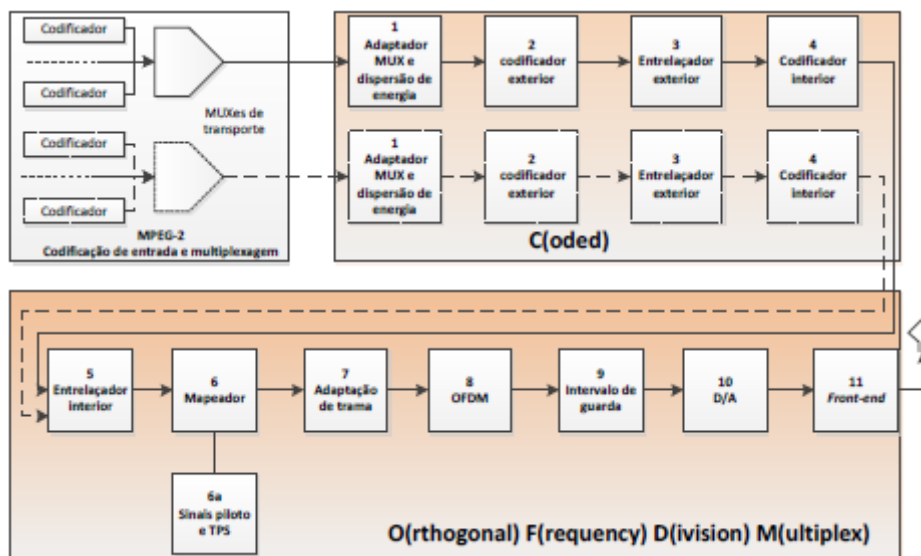


Figura 2.8 – Diagrama funcional do sistema DVB-T [5]

Após a codificação, os sinais resultantes são multiplexados, sendo este passo inicial comum a outras normas, nomeadamente:

- DVB-S (*Digital Video Broadcasting - Satellite*) - Transmissão por Satélite;
- DVB-C (*Digital Video Broadcasting - Cable*) - Transmissão por Cabo;
- DVB-MHP (*Digital Video Broadcasting - Multimedia Home Platform*).

No bloco 1 representado na Figura 2.8, Adaptador MUX e dispersão de energia, é utilizada uma função de *scrambling* que reorganiza a sequência de bits da entrada, transformando-a numa sequência pseudo-aleatória à saída, PRBS (*Pseudo Random Binary Sequence*). Eliminam-se assim longas sequências de zeros ou uns consecutivos, o que permite obter transições binárias em número adequado para garantir a sincronização do recetor, assim como um espectro de sinal uniforme à saída do modulador. Esta característica minimiza o efeito da não linearidade do canal. A função de *scrambling* é implementada por um gerador polinomial $(1+x^{14}+x^{15})$, sendo o mesmo esquema utilizado no recetor para *descrambling*.

No bloco 2, codificador exterior, é usada a codificação *Reed-Solomon* que consiste na utilização de um código de blocos que adiciona redundância ao sinal a transmitir. O código é caracterizado por três parâmetros (n, k, t) , em que n representa o tamanho do bloco após codificação, k representa o tamanho do bloco original e t representa o número de símbolos que é possível corrigir. O código utilizado é do tipo RS (204,188,8). Assim, são adicionados 16 bytes a cada pacote de 188 bytes, resultando em pacotes de 204 bytes

e permite correção até 8 *bytes* errados por pacote. O *byte* de sincronização que é o primeiro de cada sequência de oito pacotes permite que o decodificador identifique o início de cada sequência. Na Figura 2.9 está representada a estrutura de um pacote após o codificador exterior.

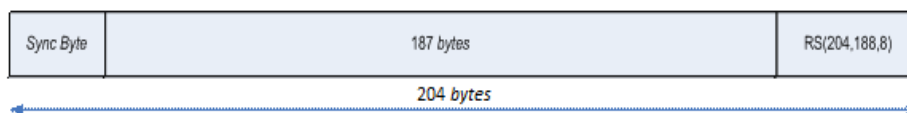


Figura 2.9 – Pacote após codificação

No bloco 3, entrelaçador exterior, é utilizado o método *convolutional interleaving* que tem como objetivo aumentar a robustez dos códigos RS de correção de erros, espalhando no tempo os *bytes* de cada pacote, de forma a não serem transmitidos sequencialmente. Assim, mesmo que ocorram mais que oito *bytes* errados consecutivamente no tempo, a probabilidade de pertencerem ao mesmo pacote é extremamente reduzida.

O entrelaçador é constituído por um entrelaçador convolucional de $(I=12)$ ramos e $(J=17)$ bytes de memória formados por registradores de deslocamento. Em cada ramo existe $((I-1) \times 17)$ registradores e cada símbolo tem oito bits. Os ramos encontram-se conectados ciclicamente na saída do codificador exterior, transferindo 1 símbolo de cada vez – Figura 2.10.

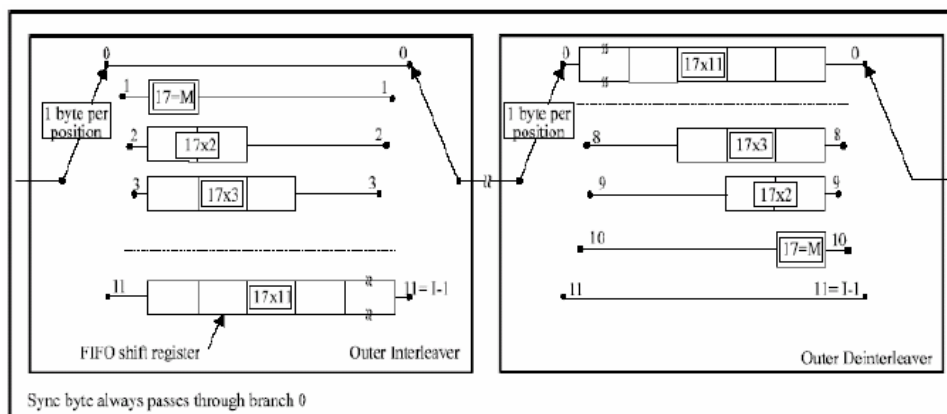


Figura 2.10 – Diagrama do entrelaçador/desentrelaçador [5]

No bloco 4, codificador interior, uma segunda camada de proteção ao erro é aplicada utilizando o sistema de correção de erros *convolutional code*, também conhecido por FEC (*Forward Error Correction*). Neste ponto também é definido o valor do débito de código (*code rate*), no qual existe 5 valores possíveis: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8.

No bloco 5, entrelaçador interior, os dados são mais uma vez reorganizados de forma

a reduzir a influência de erros em rajada. Dois processos de entrelaçamento são aplicados, um atua bit a bit e outro atua sobre grupos de bits.

No bloco 6, mapeador, é definido o tipo de modulação a ser utilizado no COFDM. Para os sistemas não hierárquicos existem 3 tipos de modulação: QPSK, 16-QAM e 64-QAM.

No bloco 7, adaptação de trama, os símbolos são então organizados, onde sessenta e oito símbolos COFDM formam uma trama, e quatro tramas formam uma super-trama. Por fim, para formar uma mega-trama, são necessárias 2 super-tramas no modo 8K, e quatro no modo 2K. Estes modos diferem consoante o número de emissores e tamanho da rede a implementar.

A IFFT e a distribuição do sinal pelas portadoras são feitas no bloco 8, OFDM. Nesta fase é escolhido o número de portadoras 2048 ou 8192 consoante o modo de operação 2K ou 8K.

No bloco 9, intervalo de guarda, é inserido o tempo de guarda que permite reduzir os impactos dos sinais recebidos com atraso. O tamanho do tempo de guarda pode ser 1/32, 1/16, 1/8 ou 1/4 do tamanho original do bloco.

O sinal digital é convertido em analógico e modulado na frequência UHF, nos blocos 10 e 11, D/A e *Front End*, respetivamente.

2.2.1 Modos de transmissão

Uma das funções disponíveis no DVB-T é a transmissão em modo hierárquico. Na Figura 2.11 os blocos sólidos representam o modo não hierárquico, enquanto os blocos tracejados em conjunto com os blocos sólidos representam o modo hierárquico.

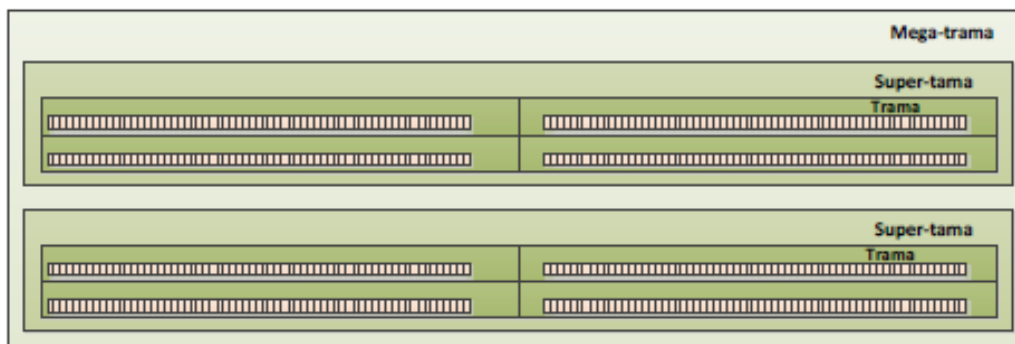


Figura 2.11 – Representação de uma mega-trama no modo 8k

O modo hierárquico permite dividir os dados a serem transmitidos em duas partes, sendo

que cada uma das partes possui um débito binário e uma modulação própria. Com esta abordagem é possível atribuir prioridades diferentes aos dados. Os dados considerados com prioridade mais alta tem um débito binário mais baixo, ou seja, melhor proteção contra erros e são modulados com um tipo de modulação robusta. Os dados considerados com prioridade mais baixa tem uma menor proteção ao erro e uma modulação que permite um débito binário mais elevado, exemplo 64-QAM. Para tal, o fator de modulação (α) deve ser superior a 1.

Este método, por exemplo, permite que a mesma informação seja enviada em HD no débito elevado e em SD no débito mais baixo. Como o débito mais alto implica melhor qualidade de imagem, no recetor pode ser dada prioridade a este sinal. No entanto, dependendo das condições de transmissão o débito mais baixo pode ser escolhido, perdendo-se um pouco da qualidade mas a transmissão continua a ser possível.

No modo não hierárquico, não existe separação do sinal, isto é, todos os dados possuem o mesmo débito binário e modulação. Portanto, o fator de modulação uniforme é utilizado ($\alpha = 1$). Em Portugal o modo utilizado é o não hierárquico.

2.3 Parâmetros do DVB-T

A norma DVB-T está definida para operar em canais com largura de banda de 6, 7 e 8 MHz, sendo que em Portugal foi atribuída a largura de banda de 8MHz ao canal UHF, podendo funcionar no modo 2K ou 8K. A diferença entre estes dois modos reside no facto do 2K ser adequado à utilização de um único emissor ou a pequenas redes SFN, enquanto o de 8K é utilizado em redes com um ou mais emissores e para redes de pequena ou grande dimensão [8].

O DVB-T utiliza diversos tipos de portadoras com diferentes funções:

- *Inactive carriers* – portadoras inativas com posição fixa (amplitude zero).
 - Têm a amplitude fixada a 0 e estão localizadas nos extremos do espectro.
- *Payload carriers* – Portadoras de dados, com posição fixa.
 - São as portadoras que transportam conteúdos a serem transmitidos.

- *Continual pilot carriers* – Portadoras piloto contínuas com posição fixa.
 - São utilizadas pelos recetores como referência de fase e para controlo automático da frequência, ou seja, para fixar a frequência do recetor na mesma frequência do emissor.
- *Scattered pilots cells* – Células pilotos dispersas, com posição variável.
 - Estão espalhadas por todo o espectro e formam um sinal de varrimento virtual para estimação do canal.
- *TPS carriers* – Portadoras TPS (*Transmission Parameter Signalling*)
 - Contêm informação utilizada para iniciação, sincronização e proteção de erros.

A Tabela 2.1 indica o número de portadoras utilizadas nos dois modos diferentes.

Tabela 2.1 – Número de portadoras

	Modo 2K	Modo 8K
Portadoras	2048	8192
Portadoras utilizadas	1705	6817
Portadoras de dados	1512	6048
Portadoras piloto contínuas	45	177
Células piloto dispersas	142/131	568/524
Portadoras TPS	17	68

Como muitas portadas são inativas, ou seja, com amplitude 0 V, a largura de banda do sinal DVB-T torna-se mais estreito que a largura do canal. O espaçamento entre portadoras é obtido pela divisão da largura de banda, LB, pelo número de portadoras, N_p , descrito pela equação 2.2.

$$\Delta f = \frac{LB}{N_p} \quad (2.2)$$

A Tabela 2.2 apresenta os valores do espaçamento entre portadoras para as diferentes larguras de banda, quer no modo 8K e 2K.

Tabela 2.2 – Espaçamento entre portadoras

Espaçamento entre portadoras [KHz]		
Largura de banda [MHz]	Modo 8K	Modo 2K
6	0,837054	3,348214
7	0,976563	3,90625
8	1,116	4,464

Devido às condições de ortogonalidade, o tempo útil do símbolo, T_u , é obtido pela equação 2.3.

$$T_u = \frac{1}{\Delta f} \quad (2.3)$$

Na Tabela 2.3 pode-se observar os tempos úteis existentes.

Tabela 2.3 – Tempo útil

Tempo útil – T_u [μ s]								
Largura de banda [MHz]	Modo 8K				Modo 2K			
	Intervalo de guarda - Δ				Intervalo de guarda - Δ			
	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
6	1194,667				298,667			
7	1024				256			
8	896				224			

O tempo de guarda e tempo de símbolo são dados pelas expressões 2.4 e 2.5, respectivamente. As Tabelas 2.4 e 2.5 expressam os valores do tempo de guarda e tempo de símbolo para as diferentes larguras de banda, tanto no modo 8K e 2K.

$$T_g = \Delta \times T_u \quad (2.4)$$

$$T_s = T_g + T_u \quad (2.5)$$

Tabela 2.4 – Duração do tempo de guarda

Duração do tempo de guarda – T_g [μ s]								
Largura de banda [MHz]	Modo 8K				Modo 2K			
	Intervalo de guarda - Δ				Intervalo de guarda - Δ			
	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
6	298,667	149,333	74,667	37,333	74,667	37,333	18,667	9,333
7	256	128	64	32	64	32	16	8
8	224	112	56	28	56	28	14	7

Tabela 2.5 – Tempo de símbolo

Tempo de símbolo – T_s [μ s]								
Largura de banda [MHz]	Modo 8K				Modo 2K			
	Intervalo de guarda - Δ				Intervalo de guarda - Δ			
	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
6	1493,3	1344	1269,3	1232	373,3	336	317,3	308
7	1280	1152	1088	1056	320	288	272	264
8	1120	1008	952	924	280	252	238	231

O débito total depende do *code rate* e da proteção de erro *Reed Salomon* (188,204) e é dado pela equação 2.6.

$$R_b = R_s \times N_b \times N_p \times \text{code rate} \times \frac{188}{204} \quad (2.6)$$

Em que,

- R_s é o ritmo por símbolo, $R_s = \frac{1}{T_s}$;
- N_b é o número de bits/símbolo;
- N_p é o número de portadoras;
- O *Code rate* pode tomar os valores de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8.

Na Tabela 2.6 está representado os valores de débito para o canal de 8 MHz no modo não hierárquico.

Tabela 2.6 – Débito útil

Modulação	Code Rate	Débito útil [Mbit/s]			
		Intervalo de guarda - Δ			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,28	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

Em Portugal é por norma utilizada uma modulação 64-QAM, um *code rate* de 2/3 e um intervalo de guarda de 1/4, que proporciona em situações de muita boa receção um MUX com débito de 19,91 Mbit/s.

Capítulo III

Rede SFN

Este capítulo destina-se ao estudo das redes digitais de frequência única, procurando analisar as suas características, bem como as vantagens e desvantagens existentes na sua utilização. Assim, será feita uma análise de cobertura e interferência para diferentes casos com o intuito de chegar à melhor solução possível.

3.1 Rede de Frequência Única

A capacidade dos sistemas OFDM funcionarem na presença de ecos (réplicas do mesmo sinal com atraso) permite ter vários emissores próximos uns dos outros a emitirem na mesma banda de frequências. Um recetor não consegue distinguir se os sinais que chegam com atraso são provenientes de emissores distintos ou ecos do mesmo sinal vindo de um só emissor. Daqui resulta a possibilidade de ter uma zona geográfica alargada coberta por uma rede de emissores/repetidores que operam todos no mesmo canal de rádio frequência. Uma rede com estas características é designada por rede de frequência única – Figura 3.1.

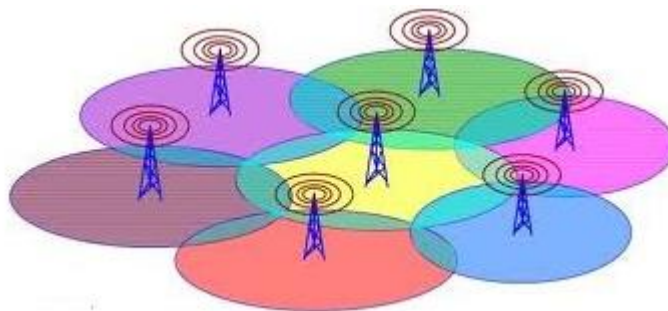


Figura 3.1 – Rede de frequência única [9]

Uma rede deste tipo caracteriza-se por ter 3 restrições fundamentais:

- Emitir na mesma frequência;
- Emitir ao mesmo tempo (em simultâneo);
- Emitir exatamente os mesmos bits (ou símbolos).

Tendo em consideração que os diversos elementos de uma rede de frequência única se encontram afastados vários quilómetros, uma forma de conseguir obter a sincronização do sistema consiste em usar relógios derivados do sistema GPS. A utilização de uma SFN parece, à primeira vista, ser a solução a seguir, mas tecnologicamente é muito exigente, e poderá levantar alguns problemas à sua correta implementação.

Este tipo de rede só é possível, devido às características do DVB-T, nomeadamente do COFDM, descritas no capítulo 2. Os sinais dos diferentes emissores não interferem uns com os outros desde que os limites estabelecidos pela norma, consoante os parâmetros escolhidos, sejam cumpridos. Porém, quando se pretende implementar uma rede de frequência única, é necessário seleccionar criteriosamente os parâmetros que a irão definir, pois o seu desempenho depende em grande parte desta escolha.

Em Portugal depois de equacionados todos os fatores que podem influenciar o comportamento da rede, foram definidos os seguintes parâmetros e respetivos valores que constam da Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Parâmetros DVB-T em Portugal

Parâmetro	Valor
Modo de transmissão	Não hierárquico ($\alpha=1$)
Largura de banda do canal	8 MHz UHF (canal 56)
Número de portadoras	6 817 portadoras (8K)
<i>Code rate</i>	2/3
Intervalo de guarda	1/4
Modulação das portadoras	64-QAM

Para que não haja interferência inter-simbólica, é aplicada uma restrição na distância máxima que pode existir entre emissores, a qual está relacionada com o intervalo de guarda e a velocidade de propagação. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.2.

O valor da distância entre emissores obtém-se da seguinte forma:

- O tempo que a luz demora a percorrer 1 km (t_{1km}) é de 3.336 μ s;
- O tempo do intervalo de guarda (T_{Δ}) é uma fração da duração do símbolo (T_S);
- A distância é obtida pela função: $d = T_{\Delta} / t_{1km}$.

Como em termos absolutos os tempos de guarda do modo 8K são superiores, este é o modo preferido para operar numa rede SFN, pois permite uma maior distância entre os diferentes emissores. Em Portugal é utilizado o modo 8K com um intervalo de guarda de 1/4, conseguindo assim uma distância máxima entre emissores de 67,1 km.

Tabela 3.2 – Distância máxima entre emissores

Modo	Duração Símbolo [μ s]	Intervalo de guarda [ratio]	Intervalo de guarda [μ s]	Distância de transmissão [km]
2K	224	1/4	56	16,8
2K	224	1/8	28	8,4
2K	224	1/16	14	4,2
2K	224	1/32	7	2,1
8K	896	1/4	224	67,1
8K	896	1/8	112	33,6
8K	896	1/16	56	16,8
8K	896	1/32	28	8,4

3.1.1 Vantagens e Desvantagens

A utilização de apenas uma frequência, isto é, um único canal, faz com que esta seja a grande vantagem da utilização de uma rede SFN, existindo assim uma grande eficiência espectral. Deste modo, verifica-se a necessidade de uma menor potência de emissão, particularmente em zonas montanhosas, e também a possibilidade de um serviço mais fiável, no caso de receção móvel, ao eliminar os saltos de frequência.

A maior desvantagem deste tipo de implementação está relacionada com o cumprimento da distância máxima imposta pela norma, isto é, garantir que os sinais não ultrapassem o limite de 67,1 km. Esta dificuldade surge pois as condições de propagação variam com o tempo, terreno, condições atmosféricas e outros fatores incontroláveis.

Sendo um sistema de frequência única, existe um limite do débito total possível, limite esse que terá uma relação direta com os valores especificados pela norma DVB-T – Tabela 2.6.

3.2 Definição e Cálculo do *Link Budget*

Como ponto de partida para o planeamento da rede TDT requerida, deve começar-se pela definição dos parâmetros que permitem calcular o *link budget* e avaliar as diferenças para as diversas configurações possíveis de introduzir no dimensionamento da rede.

O *link budget* permite obter os valores de campo eléctrico para um dado ponto de teste, bem como outras características do sistema. Com base nos valores obtidos nesta primeira abordagem teórica, passa-se à parte de simulação com uma ferramenta de planeamento, como se mostra mais a frente neste relatório.

O EIRP (*Equivalent Isotropically Radiated Power*) define-se como a potência radiada por um determinado emissor e como tal, pode ser obtido pelo somatório da potência injetada no próprio emissor (P_e), com o ganho da antena de emissão (G_e) e a subtração das perdas associadas à cablagem (L_c), aos conectores (L_{ca}), ao *duplexer* (L_d) e as perdas inerentes à polarização das antenas (L_p), tal como se mostra na equação 3.1.

$$EIRP = P_e + G_e - L_c - L_{ca} - L_d - L_p \quad (3.1)$$

A partir da equação 3.2 expressa em dBm, pode-se obter a densidade de ruído do recetor, D_{n_r} , onde D_n representa a densidade de ruído térmico e F o facto de ruído.

$$D_{n_r} = D_n + F \quad (3.2)$$

A potência de ruído à entrada do recetor, P_n , expressa em dBm na equação 3.3 [10], é obtida com base na densidade de ruído do recetor, D_{n_r} , e na largura de banda, LB .

$$P_n = D_{n_r} + 10 \log(LB) \quad (3.3)$$

A sensibilidade do recetor, $P_{s_{min}}$, é dada pela equação 3.4 [10], em dBm, tendo em conta a relação sinal/ruído exigida, C/N , a potência de ruído à entrada do respetivo recetor, P_n , o fator de penetração em edifícios, BPL , e a margem de desvanecimento, LNF .

$$P_{s_{min}} = \frac{C}{N} + P_n + LNF + BPL \quad (3.4)$$

O fator BPL (*Building Penetration Loss*) refere-se à margem que é adicionada consoante se deseje que o fator de cobertura considere ou não penetração no interior de edifícios. Neste caso em concreto, o fator é tido em conta devido a possibilidade da existência de recetores no interior de edifícios, assumindo assim o valor 18 dB [11].

O fator LNF (*Log Normal Fading*) refere-se à margem de desvanecimento Log-Normal ou desvanecimento lento. Este tipo de desvanecimento de sinal ocorre quando o tempo de coerência do canal é grande, quando comparado com o atraso plausível para o sinal, no qual as alterações provocadas na amplitude e fase do sinal se podem considerar relativamente constantes durante o período de propagação.

Com base em [12] pode observar-se algumas simulações efetuadas no sentido de estudar qual a margem de desvanecimento log-normal num ambiente de propagação, com as quais se pode retirar valores de margens a assumir, tendo em consideração a percentagem de área de cobertura pretendida. Tendo em conta o requisito de 95% de área coberta, e como o ambiente de propagação deve consagrar o meio exterior e interior dos edifícios, determina-se os desvios respetivos para ambos os meios, com base nos quais se obtém a respetiva margem. Assim, assumindo o ambiente de propagação como sendo um meio urbano, tem-se um desvio de 12 dB considerando penetração no interior e exterior dos edifícios, o que se reflete numa margem de LNF de 8.4 dB. Nas tabelas 3.3 e 3.4 tem-se representado os valores das perdas para diferentes tipos de áreas e ambientes.

Tabela 3.3 – Alguns valores típicos para BPL e LNF para diferentes tipos de área

	BPL [dB]	$\sigma_{LNF(o)}$ [dB]	$\sigma_{LNF(i)}$ [dB]	$\sigma_{LNF(o+i)}$ [dB]
Urbano denso	18	10	9	14
Urbano	18	8	9	12
Suburbano	12	6	8	10

Legenda : o – outdoor; i – indoor.

Tabela 3.4 – Margens Log-Normal em dB para diferentes ambientes

σ_{LNF} [dB]	Cobertura [%]				
	75	85	90	95	98
6	-3,7	-1,2	0,5	3,0	5,5
8	-3,4	-0,2	1,8	4,9	8,1
10	-3,1	0,7	3,2	6,8	10,7
12	-3,1	1,3	4,2	8,4	13,1
14	-3,2	1,8	5,1	9,9	15,3

Por fim, a partir da sensibilidade e ganho do recetor, G_r , sabendo a frequência central, f_c , consegue-se obter a intensidade de campo mínima num ponto de teste, E_{min} , expressa em $dB\mu V/m$ pela equação 3.5 [10].

$$E_{min} = P_{s_{min}} - G_r + 20 \log(f_{c[MHz]}) + 77,2 \quad (3.5)$$

3.2.1 Cálculo do *Link Budget*

Com base nas equações anteriores e na opção pelo uso de antenas diretivas, procede-se ao cálculo do *link budget* para o cenário em estudo, SFN, obtendo-se o resultado presente na Tabela 3.5.

Alguns dos valores apresentados na tabela são valores médios, de forma a simplificar a abordagem ao problema, como é o caso das atenuações consideradas para os cabos e conectores [13].

Com a existência de diversos emissores, existem também diferentes potências de emissão associadas, havendo assim algumas alterações nos cálculos teóricos do *link budget*. Sendo impensável realizar os cálculos para todos os casos, teve-se em conta o menor e maior nível de potência utilizado, e desta forma fica-se a saber que para os restantes casos está dentro de um determinado intervalo.

Na rede de frequência única os valores de potência variam entre 12,3 W (40,9 dBm) e os 8600 W (69,3 dBm). Na Tabela 3.5 pode-se encontrar os valores teóricos obtidos, os quais, mais tarde, serão utilizados para comparar com os valores práticos alcançados.

Tabela 3.5 – Dimensionamento do *Link Budget* para a rede SFN no canal 56 (754 MHz)

Parâmetro	Valor	
Parâmetros Gerais		
Frequência central [MHz]	754	754
Largura de banda do canal [MHz]	8	8
Emissor		
Potência de emissão [dBm]	40,9	69,3
Ganho da antena de emissão [dBi]	14	14
Duplexer [dB]	0,5	0,5
Slant (polarização) [dB]	1,5	1,5
Conectores [dB]	0,6	0,6
Cabos [dB]	2	2
EIRP [dB]	50,3	78,7
Sensibilidade		
C/N exigido [dB]	20	20
Temperatura absoluta [K]	290	290
Constante de Boltzmann [J/K]	$1,3806503 \times 10^{-23}$	$1,3806503 \times 10^{-23}$
Densidade de ruído térmico [dBm]	-174	-174
Fator de ruído [dB]	6	6
Densidade de ruído do recetor [dBm]	-168	-168
Potência de ruído do recetor [dBm]	-99,2	-99,2
Margens		
Margem de LNF [dB]	8,4	8,4
Perdas penetração edifícios [dB]	18	18
Sensibilidade do recetor [dBm]	-52,8	-52,8
Ganho da antena de receção [dBi]	17	17
Intensidade de campo mínima [dBµV/m]	65	65

3.3 Análise de cobertura

Para analisar a cobertura foi utilizada a ferramenta de simulação *Xirio Online*² [14], a qual permite fazer simulações de cobertura e interferência, no entanto esta apresenta algumas restrições ao nível da cartografia (resolução). Foram escolhidos emissores localizados na zona litoral do país, desde de Caldas da Rainha até à margem sul (Cruz de Pau), isto para se conseguir ter uma distância superior aos 67,1 km, de forma a se conseguir testar os problemas de interferência. A escolha da localização e potência dos emissores³ foi feita com base na informação apresentada em [15 e 16], e cuja localização pode-se observar na Figura 3.2.

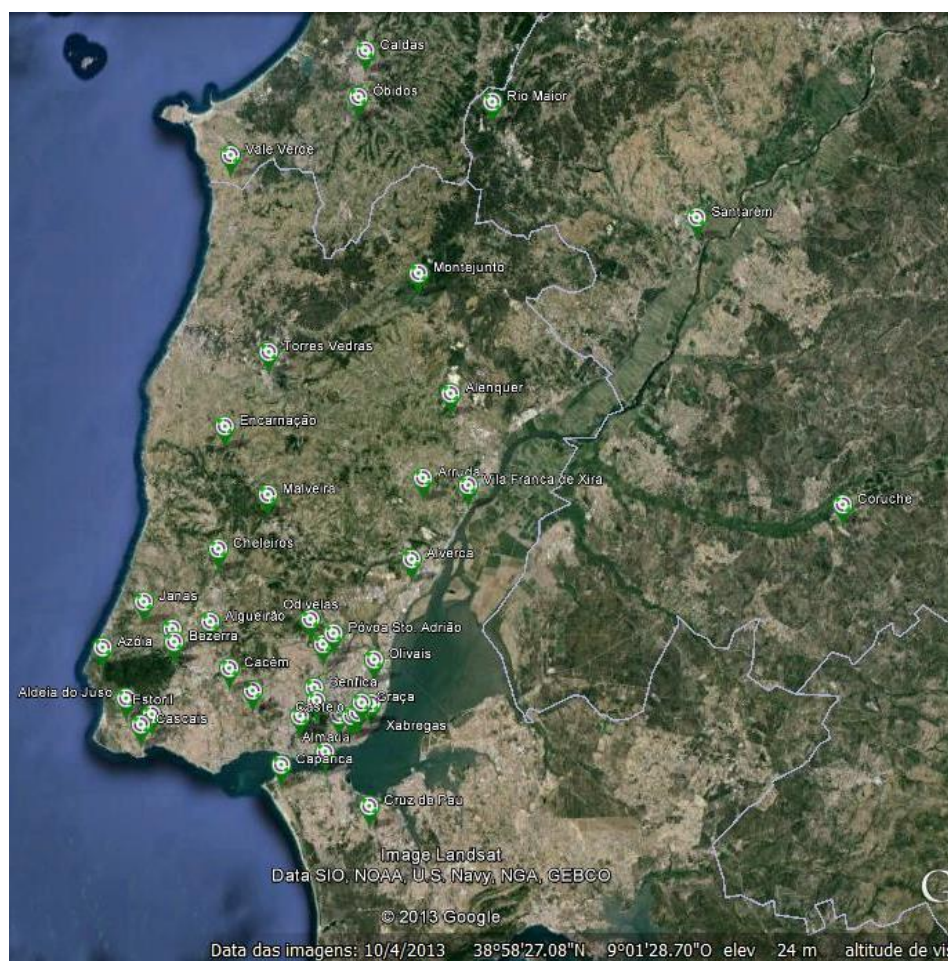


Figura 3.2 – Localização dos emissores na rede SFN

² O funcionamento e modo de parametrização é descrito no Apêndice B.

³ No Apêndice C, Tabela C.1, está descrita a localização geográfica e potência dos emissores.

As potências utilizadas diferem consoante o emissor, mas existem características semelhantes, as quais estão presentes na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Características dos emissores na rede SFN

Características do emissor	
Abertura horizontal antena	60°
Ganho da antena	14 dBi
Altura	20 m
Perdas totais	4,6 dB
<i>Downtilt</i>	2°
Polarização	Horizontal
Frequência central	754 MHz (canal 56)

No que toca ao tipo de recetor existente, foi feita uma pesquisa do que existia no mercado nacional com o intuito de descobrir as características usadas pelos fabricantes, tendo-se chegado as características presentes na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Características do recetor na rede SFN

Características do recetor	
Abertura horizontal antena	36°
Ganho da antena	17 dBi
Altura	10 m
<i>Threshold</i>	75 dB μ V

Como a ferramenta de simulação não exprime os resultados em dB μ V/m, estes foram obtidos em dBm. Sendo os valores teóricos calculados em dB μ V/m, é necessário calculá-los em dBm, de forma a conseguir-se fazer uma comparação. Assim, o valor de cobertura em dBm é obtido com base na sensibilidade do recetor e o ganho da antena de receção:

$$\text{nível de sinal} = -52,8 - 17 = -69,8 \text{ dBm}$$

Para se analisar o mapa de cobertura e de modo a verificar se está garantido 95% de cobertura, tem-se que verificar se o nível de sinal é ou não superior a -69,8 dBm. Analisando as Figuras 3.3 e 3.4, pode-se concluir que a cobertura na zona estudada é alcançada com sucesso.

Comparando o mapa de cobertura obtido por simulação com o mapa disponibilizado *online* [17] – Figura 3.5, consegue-se perceber que existe uma certa semelhança entre

eles, tanto ao nível das zonas onde existe cobertura, como nas zonas em que não existe nível de sinal suficiente e só se consegue ter TDT via satélite.

É de realçar que nas zonas junto aos emissores existe um nível de sinal bastante elevado, o que pode levar a saturação em recetores mais próximos do emissor. Este motivo deve-se provavelmente ao tipo de antena do emissor, pois foi utilizado uma existente na ferramenta de simulação, visto que não foi possível obter nenhuma informação relativa às características das antenas utilizadas em Portugal.

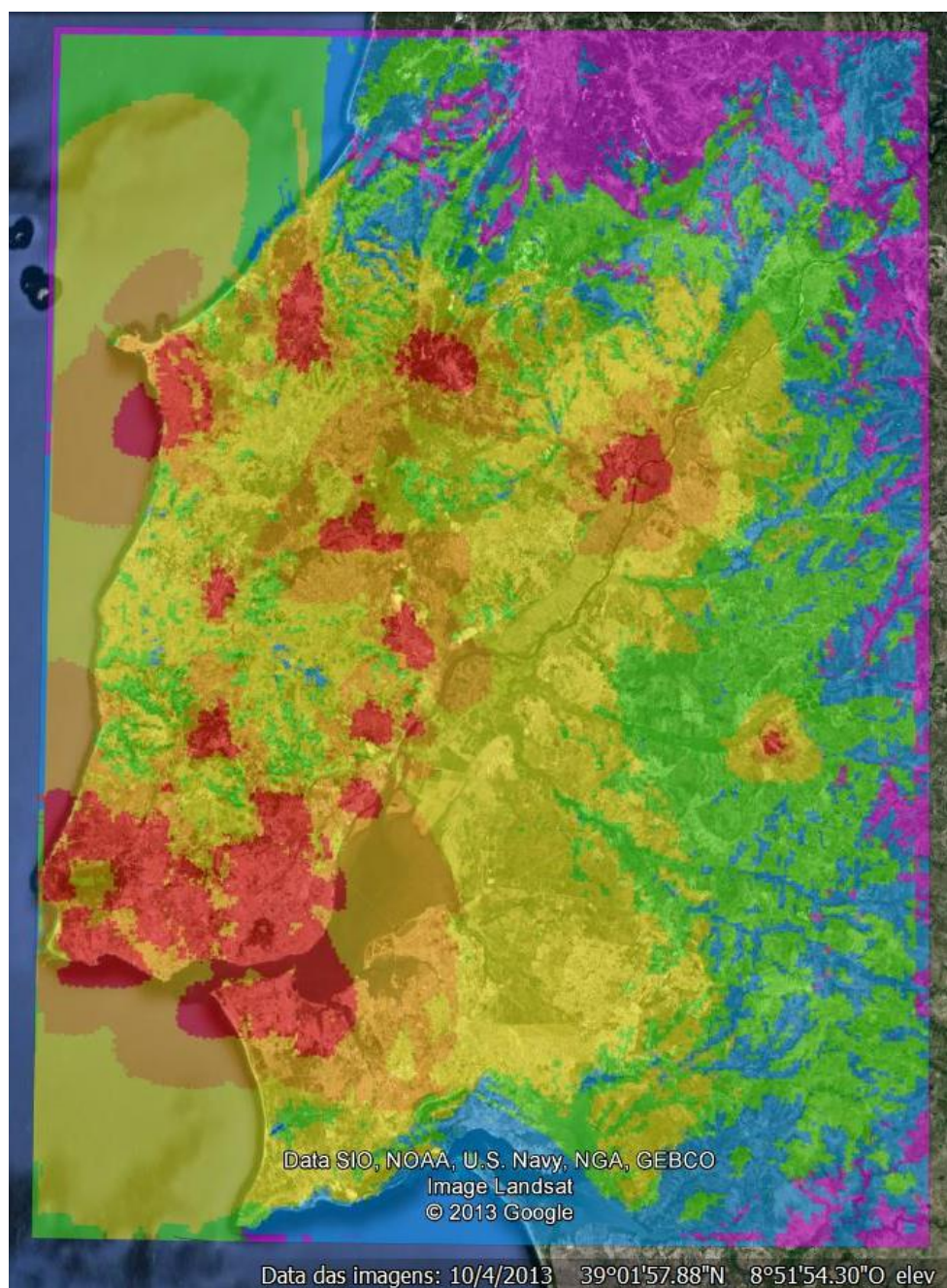


Figura 3.3 – Mapa de cobertura da rede SFN

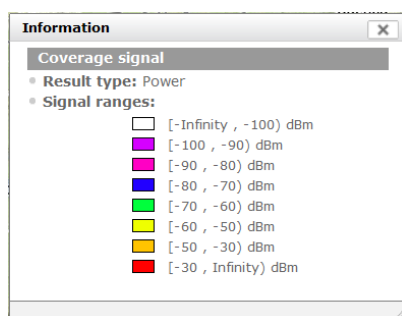


Figura 3.4 – Mapa de cores da cobertura em SFN

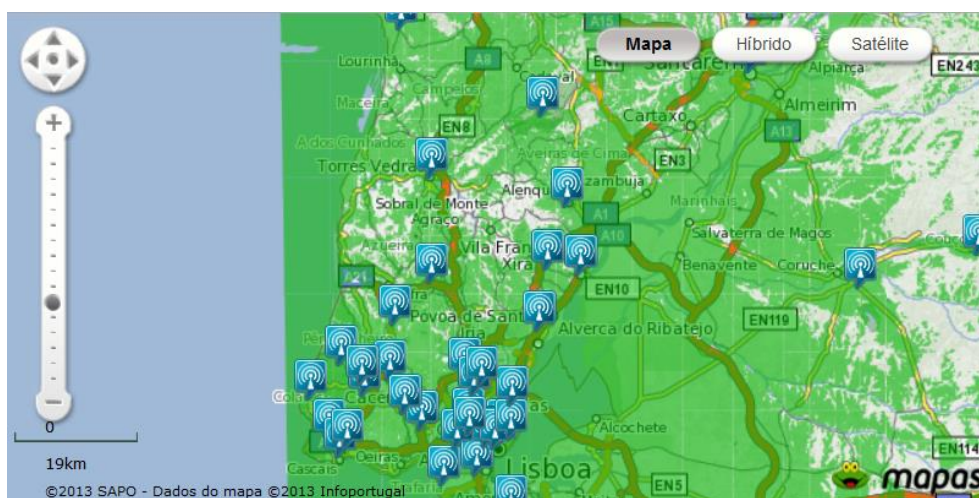


Figura 3.5 – Mapa de cobertura em Portugal

Na tentativa de simplificar e melhorar a rede existente, foram feitas alterações e realizados novos testes de cobertura que consistiram em:

- Remover o número de emissores;
- Variar o *downtilt*;
- Aumentar a potência de um emissor para melhorar a zona de cobertura envolvente;
- Colocar um novo emissor numa zona sem cobertura;
- Diminuir a potência dos emissores.

No primeiro teste, refez-se a simulação com um número menor de emissores em diversas zonas. Os emissores retirados encontram-se na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Primeiros emissores removidos

Primeiros emissores removidos
Bezerra
Cascais
Castelo
Graça
Monsanto
Óbidos
Odivelas Centro
Trindade

Após a análise, não se notou uma diferença significativa relativamente ao mapa inicial. Assim, realizou-se um novo teste removendo mais emissores na tentativa de verificar alterações na cobertura.

Os novos emissores retirados da simulação são os presentes na Tabela 3.9. O novo mapa de cobertura após estas alterações é apresentado na Figura 3.6.

Tabela 3.9 – Segundos emissores removidos

Segundos emissores removidos
Algueirão
Benfica
Cacém
Estoril
Estrela
Póvoa de Sto. Adrião
Vila Franca de Xira

Observando o mapa nota-se desta vez uma melhoria na zona onde foram excluídos os emissores, isto é, algumas zonas onde havia um excesso de sinal passaram a ter um nível aconselhado, evitando a possível saturação do recetor. Em termos gerais, o nível de cobertura não sofreu grandes alterações relativamente ao mapa inicial.

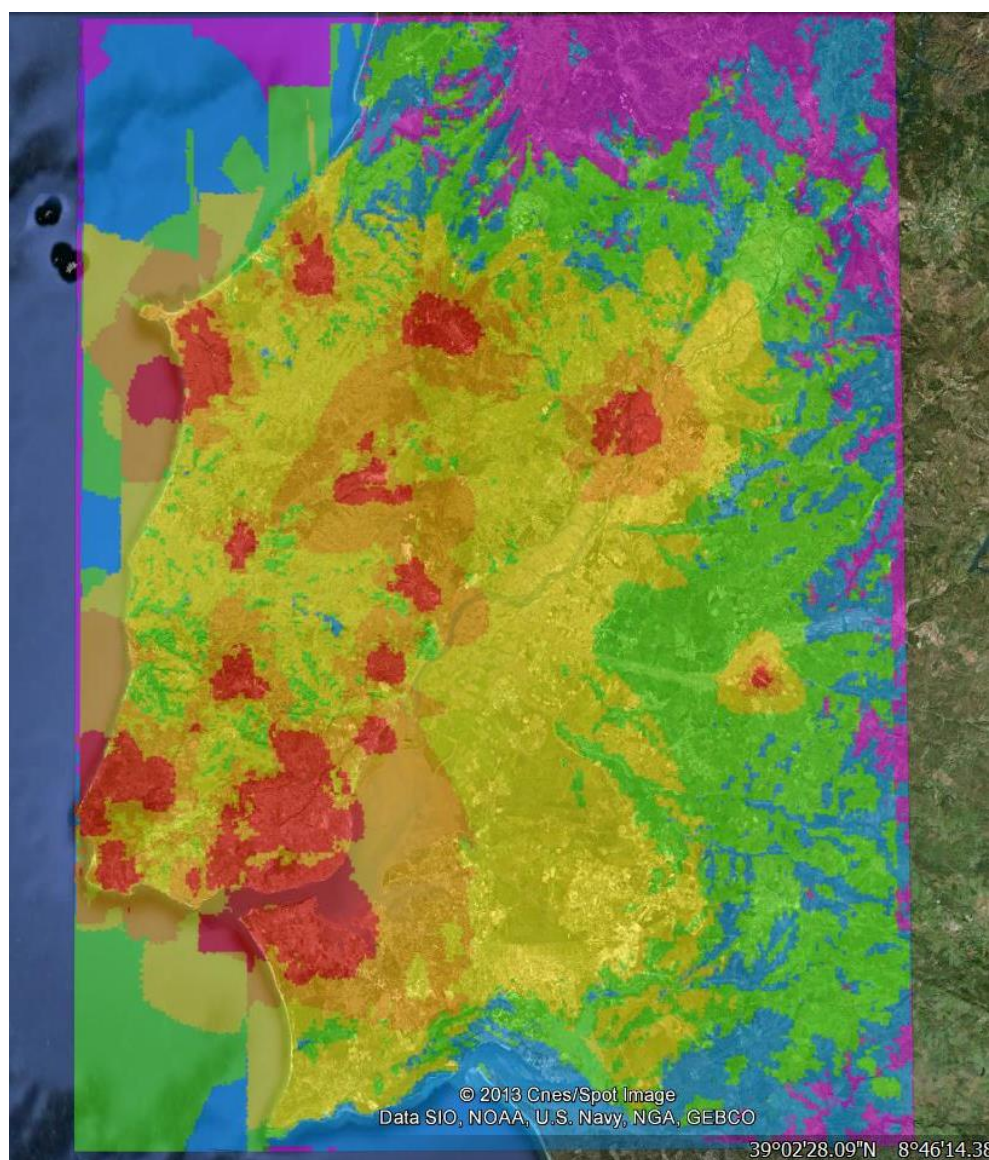


Figura 3.6 – Mapa de cobertura com menos 15 emissores

Tendo por base a configuração anterior com menos 15 emissores, foram feitas novas simulações variando desta vez o *downtilt* das antenas existentes. Esta variação consistiu numa diminuição gradual do *downtilt* com o intuito de observar as alterações na cobertura, e na tentativa de melhorar ainda mais os resultados até agora obtidos.

Feitos os testes com diferentes *downtilt*, os resultados obtidos não foram os esperados, pois só se obteve uma diferença notável aquando da utilização de um valor de *downtilt* de -20° . Na Figura 3.7 observa-se uma grande degradação da cobertura na zona em estudo, tornando esta solução inviável.

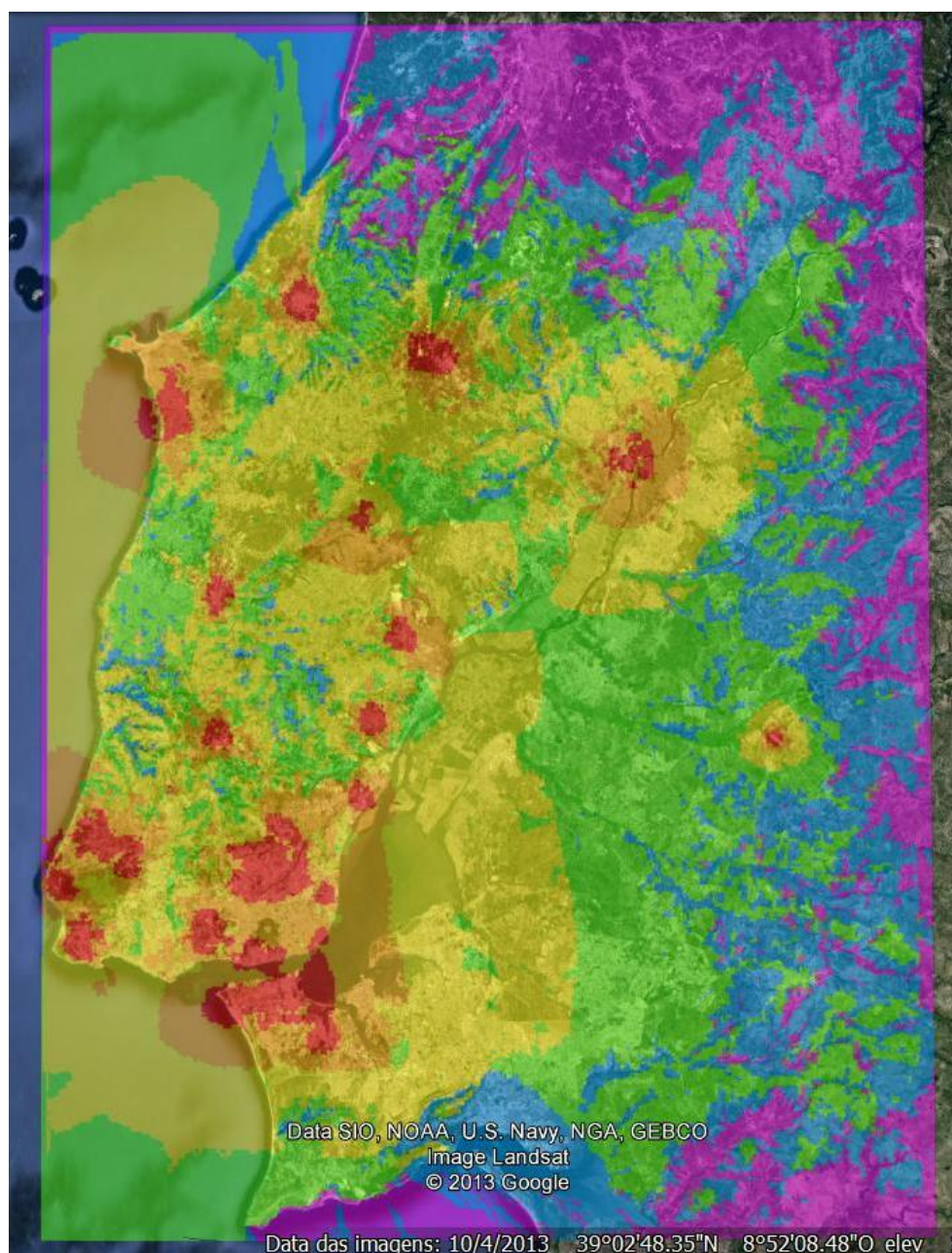


Figura 3.7 – Mapa de cobertura com alteração do *downtilt* de -20°

Como existem certas zonas sem cobertura, realizou-se dois novos testes, de forma a tentar resolver o problema. O primeiro passou pelo aumento da potência do emissor localizado em Cheleiros para 500 W, e assim tentar obter uma maior cobertura na zona envolvente. O segundo teste consistiu em inserir um novo emissor numa zona sem cobertura, o qual foi colocado na Encarnação com uma potência de 1400 W.

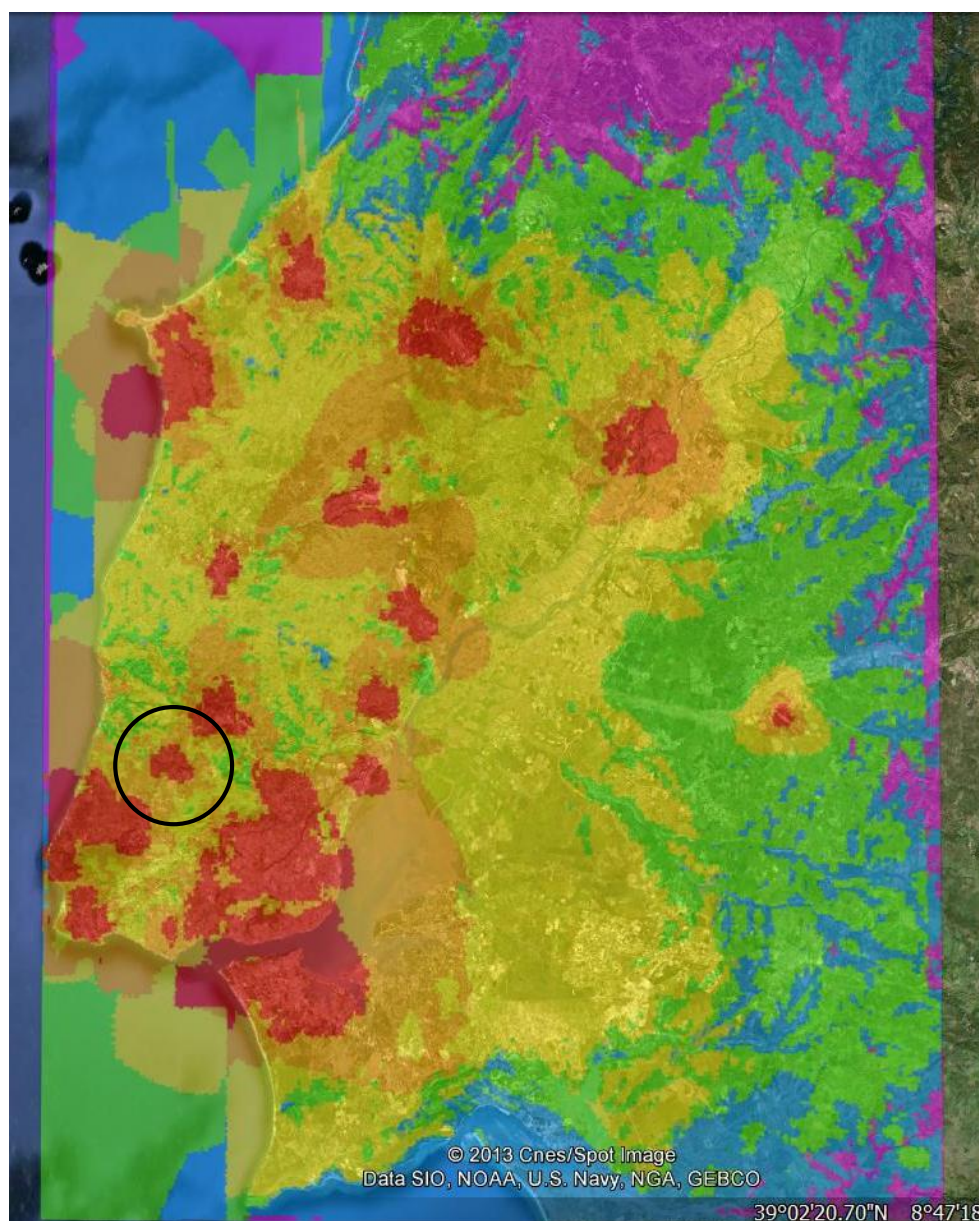


Figura 3.8 – Mapa de cobertura com nova potência em Cheleiros (500 W)

Com aumento da potência do emissor em Cheleiros notou-se uma melhoria na zona envolvente, aumentando a zona coberta, Figura 3.8, comparativamente com o mapa inicial, Figura 3.3.

Quanto a inserção do novo emissor, os resultados obtidos foram bastante mais satisfatórios, como se observa na Figura 3.9, pois conseguiu-se melhorar uma grande área geográfica, tornando-a numa zona com um bom nível de cobertura.

Com estes dois testes foi possível aumentar a zona coberta, tornando-se assim uma solução viável de utilizar na rede SFN actual para resolver os problemas de cobertura.

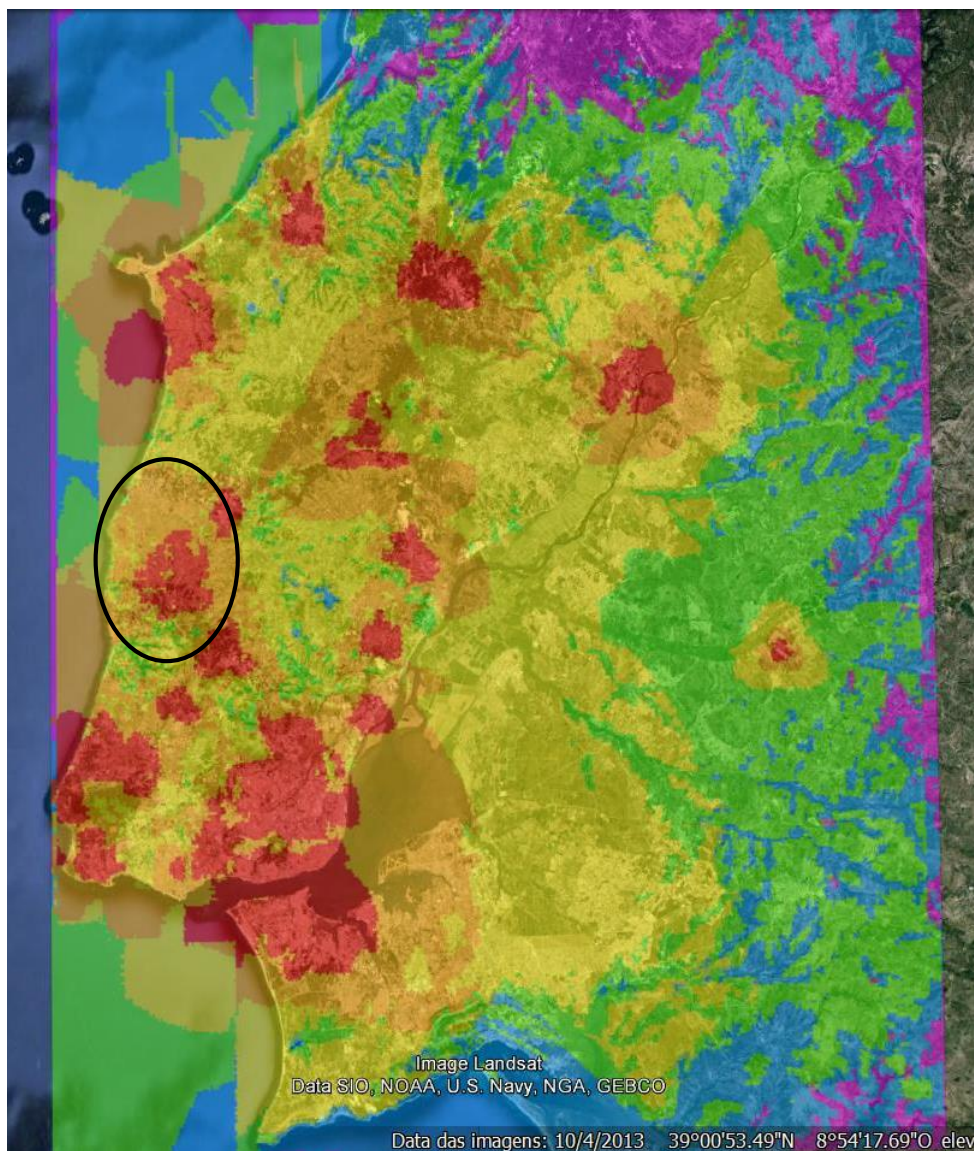


Figura 3.9 – Mapa de cobertura com novo emissor (Encarnação)

Num último teste alterou-se a potência de emissão dos diversos emissores com o objetivo de observar o impacto que poderia causar na cobertura. Esta variação consistiu em diminuir a potência em cerca de 1/3 ou 1/2 à potência inicial⁴. Pode-se observar na Figura 3.10, que com estas alterações houve uma melhoria nas zonas junto aos emissores, mas no entanto houve uma ligeira perda de zona coberta pela TDT. Assim, conclui-se que esta solução não deve ser utilizada em todos os emissores, mas sim apenas em casos em que exista uma saturação de sinal nos recetores.

⁴ As novas potências atribuídas estão presentes na Tabela C.2, Apêndice C.

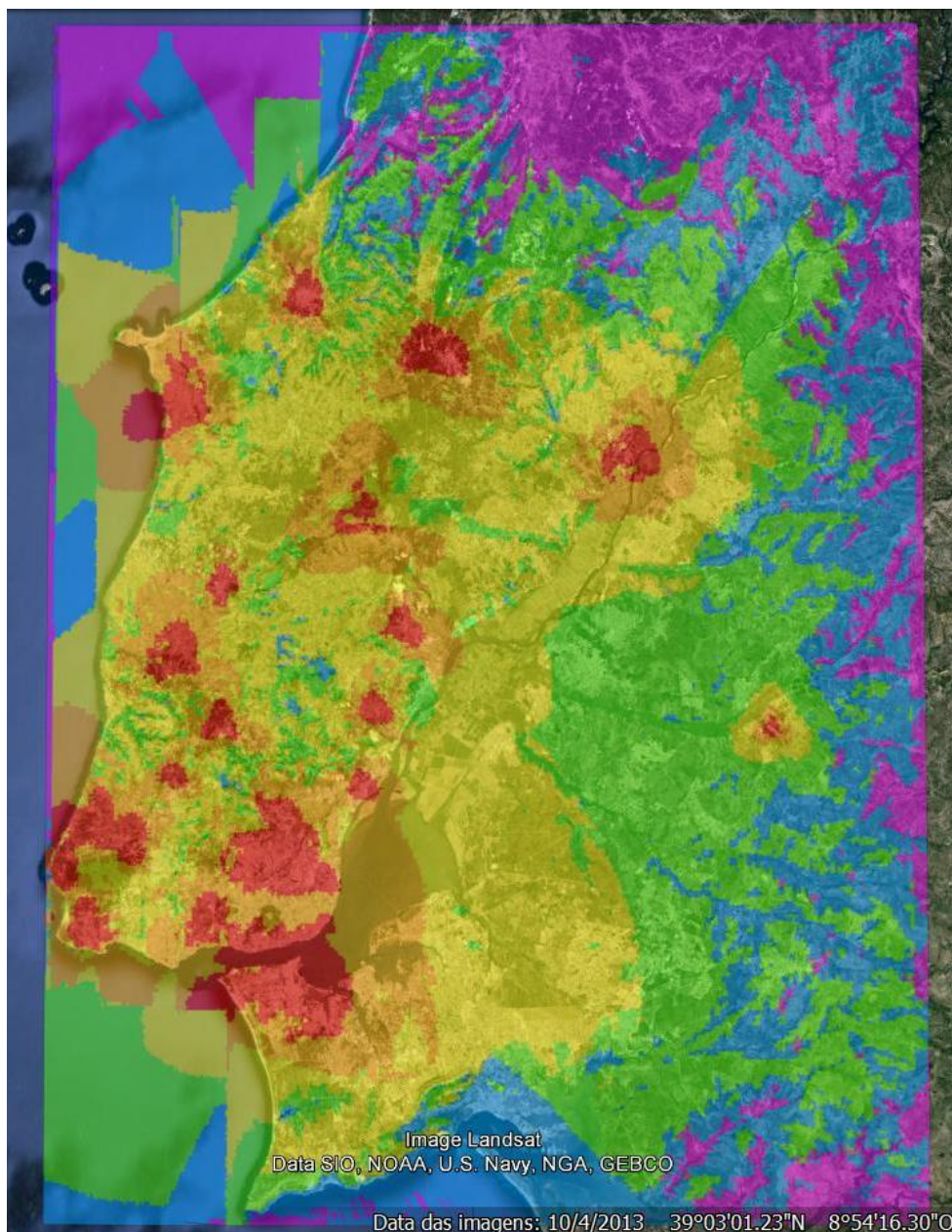


Figura 3.10 – Mapa de cobertura com menor potência de emissão

Pode-se assim concluir que com menos emissores dos que os existentes atualmente, e a inserção de novos em zonas sem cobertura e alterações na potência de emissão em alguns locais, podia-se resolver alguns problemas existentes em determinadas zonas. Assim, melhorava-se a qualidade de sinal, podendo diminuir-se as algumas das queixas existentes.

É verdade que a implementação de novos emissores é bastante cara e que por isso foram utilizados muitos dos emissores existentes da televisão analógica, mas devido a isso

sucederam inúmeras consequências para o utilizador final, tanto ao nível de qualidade como de custo.

3.4 Análise de interferência

O cálculo da interferência foi realizado para 3 configurações de rede distintas, para desta forma se poder observar as diferenças entre elas. Em cada uma das redes foi verificado quais as zonas onde o C/I era respeitado, e nas quais este não cumpria o requisito mínimo, definido como 20 dB [4].

Numa primeira situação foi feita a simulação com todos os emissores utilizando as características expressas nas Tabelas 3.6 e 3.7. A análise da Figura 3.11 permite concluir que as zonas apresentadas a verde cumprem esse requisito mínimo, no entanto existem diversas zonas representadas a roxo que não cumprem esse valor, resultando desta forma em interferência, o que limita a utilização deste tipo de rede.

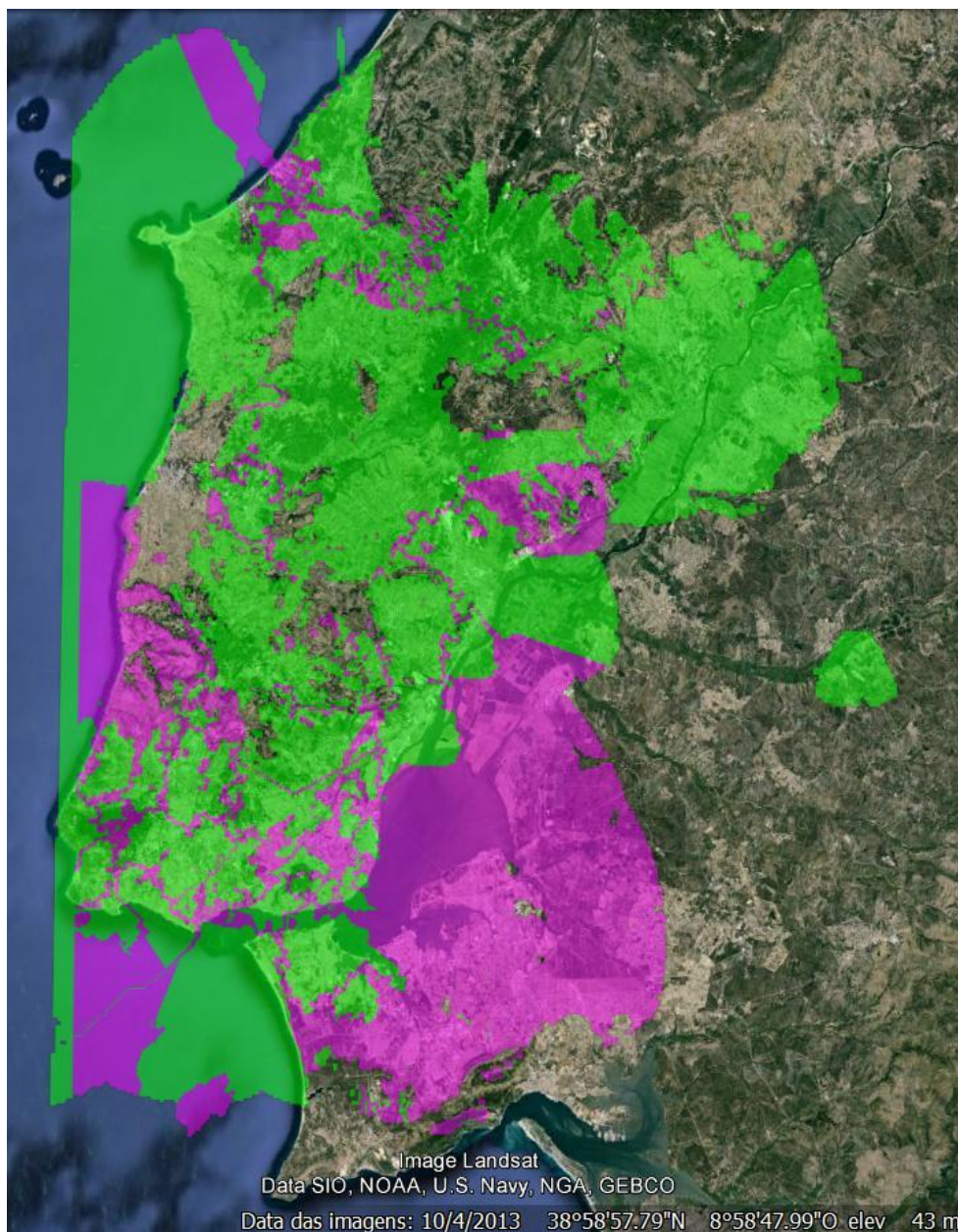


Figura 3.11 – Mapa de interferência da rede SFN

Um segundo estudo passou pela redução do número de emissores (menos 15), tal como aconteceu para a situação de estudo da cobertura. Neste caso, na Figura 3.12 observa-se uma diminuição da zona em que o C/I é cumprido. Assim, torna-se evidente que esta solução não é muito viável.

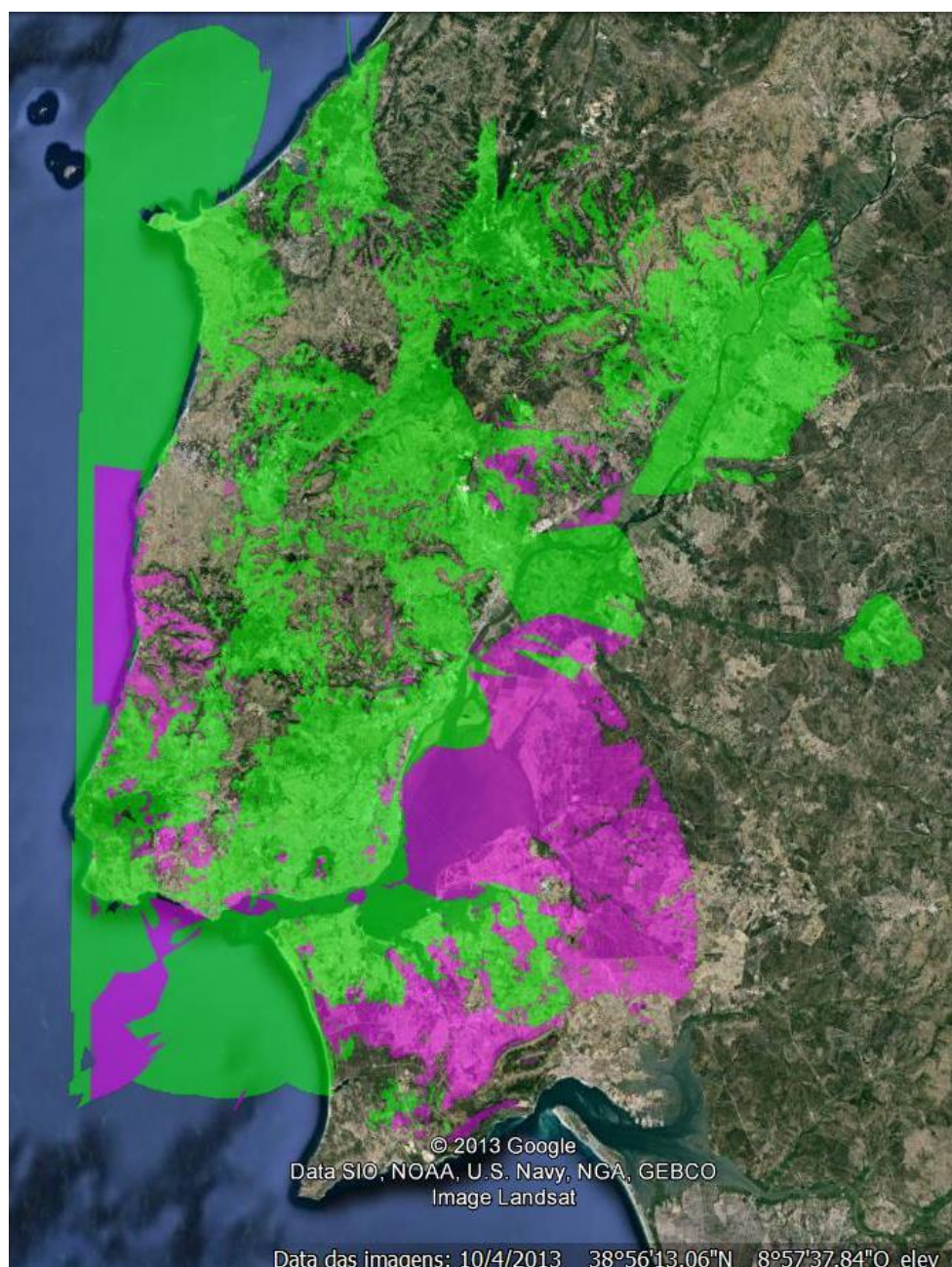


Figura 3.12 – Mapa de interferência com menos 15 emissores

Por fim, foi feito um estudo em que foi inserido um novo emissor (Encarnação), situação essa já realizada anteriormente no capítulo de análise à cobertura. Esta alteração provocou um aumento da região em que o C/I é no mínimo 20 dB, tornando essa configuração uma boa solução comparativamente às anteriores – Figura 3.13.

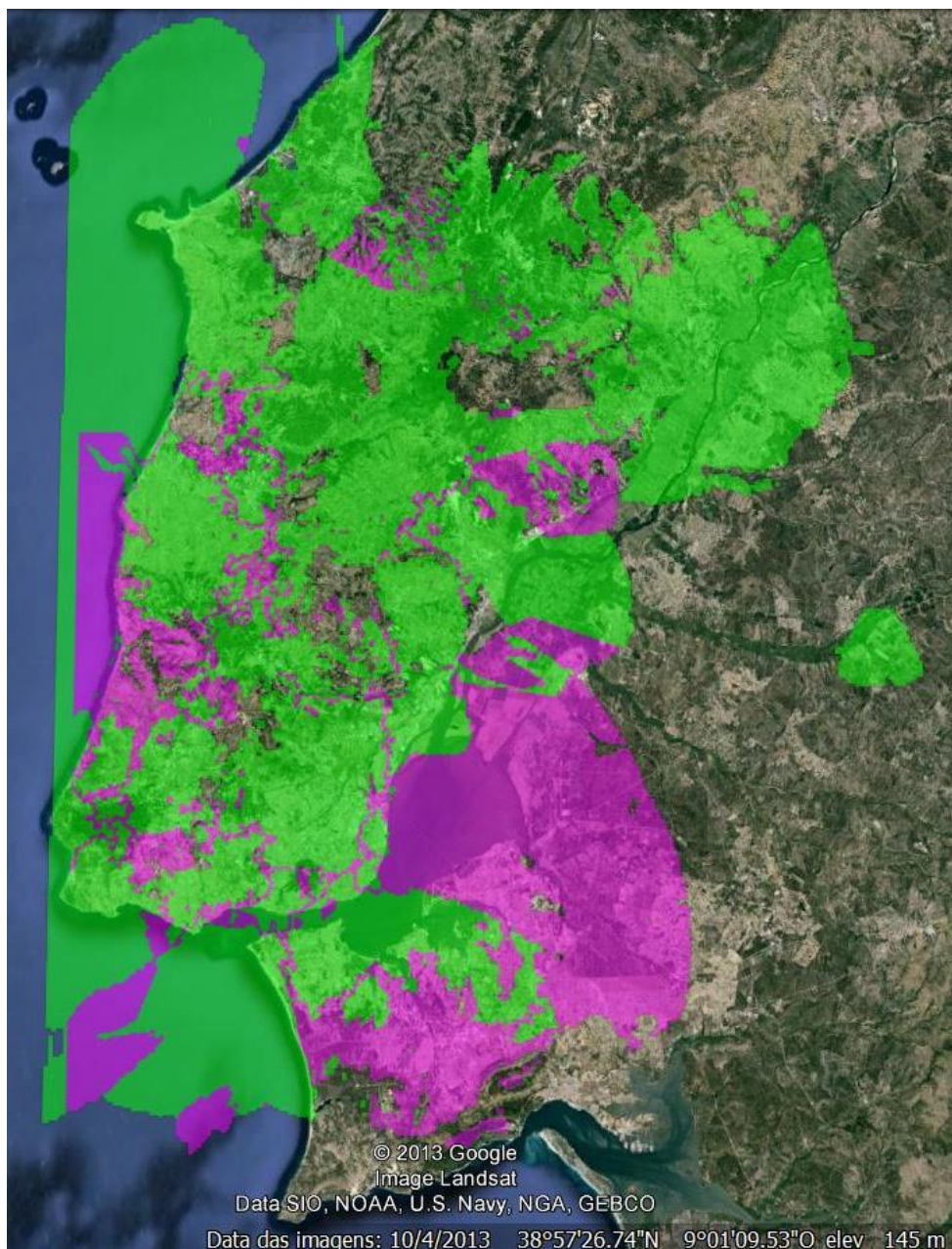


Figura 3.13 – Mapa de interferência com novo emissor (Encarnação)

Tal como era de esperar, existem certas regiões em que é recebido sinal de emissores localizados a mais de 67,1 km, provocando assim interferência nessas zonas. Assim, torna-se evidente que a utilização de uma rede SFN não foi desde início a melhor solução a adotar para a implementação da TDT em Portugal, a qual teve um grande investimento financeiro.

3.5 Solução de cobertura

Cabe à entidade detentora da rede TDT assegurar que nenhum emissor é captado a mais do que 67,1 km de distância, sendo esta princípio difícil de garantir. Normalmente é feita uma escolha criteriosa dos locais de emissão, sistema radiante e potência emitida, mas no entanto, existe uma variável na equação que não se consegue controlar. Trata-se da variabilidade intrínseca da atmosfera que provoca alterações significativas no alcance dos sinais rádio.

De acordo com [18], as falhas detetadas na rede TDT não são constantes e surgem com maior frequência nos dias mais quentes e durante a noite. Assim, as falhas existentes podem ser provocadas essencialmente pelo aparecimento de fenómenos naturais, que se torna mais evidente pelo facto da rede digital portuguesa funcionar em SFN.

Desta forma, as possíveis razões para o mau funcionamento da rede digital em Portugal continental são a utilização de uma rede SFN e a variabilidade do alcance do sinal devido a mudanças na atmosfera. Sob determinadas condições, os sinais das bandas VHF (*Very High Frequency*) e UHF podem ultrapassar a linha de vista e percorrer distâncias superiores ao previsto.

Para constatar que este fenómeno afeta Portugal, verificou-se na página do meteorologista William R. Herbun a previsão da propagação [19]. Nas Figuras 3.15 e 3.16 estão representadas as previsões para os dias 19 e 23 de Junho de 2013.

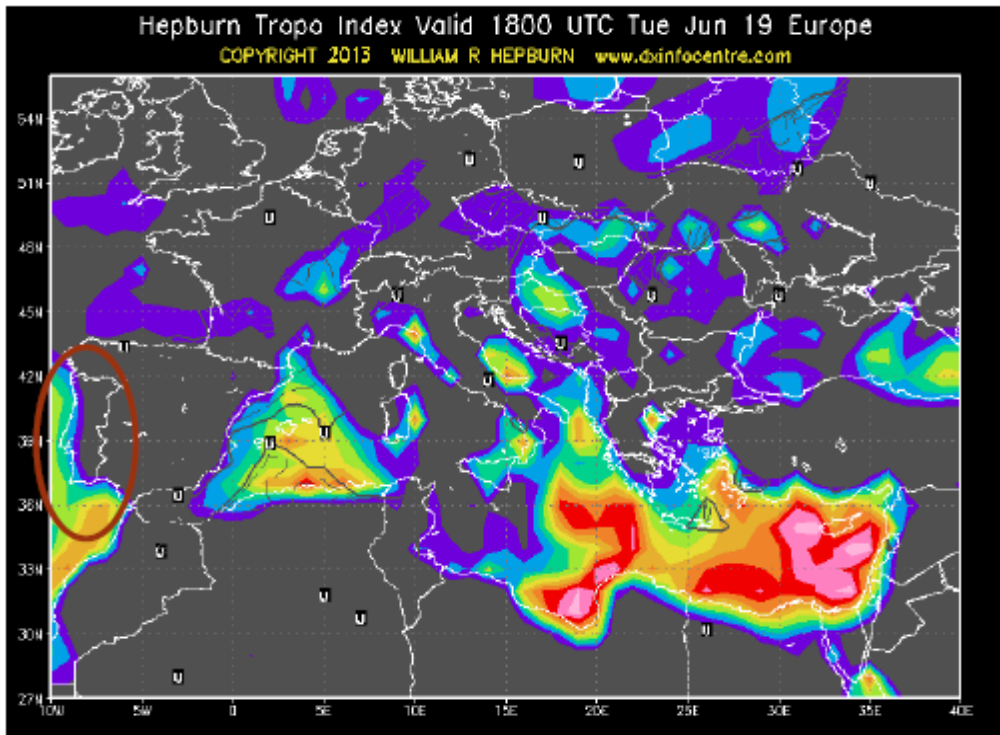


Figura 3.14 – Propagação melhorada no dia 19-06-2013 [19]

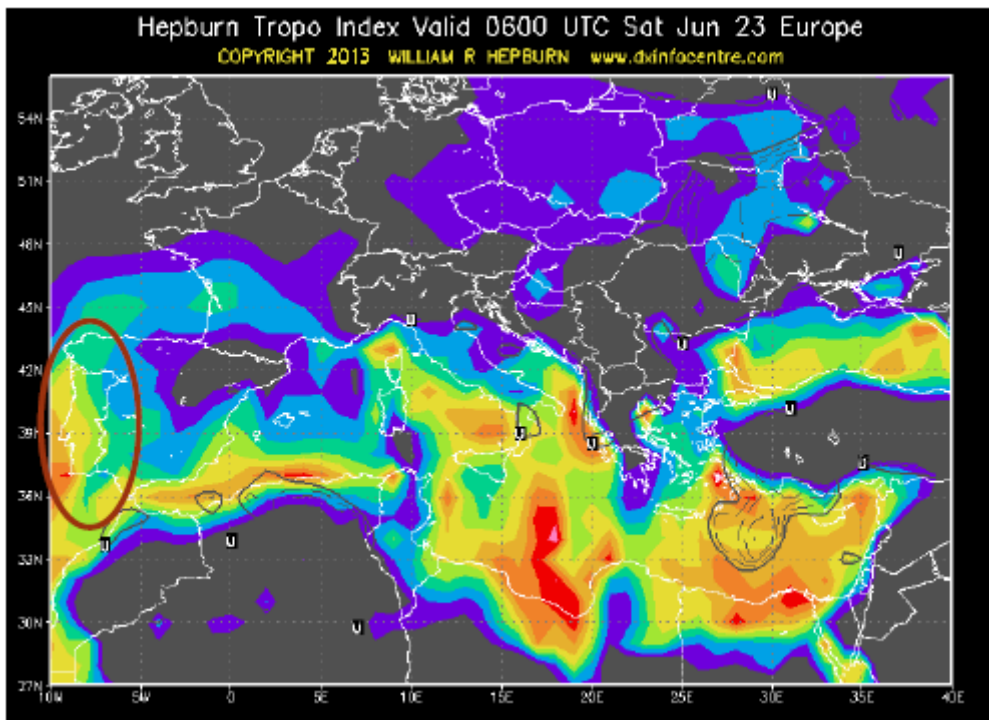


Figura 3.15 – Propagação melhorada no dia 23-06-2013 [19]

Legenda:

Low	1.4	2	3	4	5	6	7	8	9	10+
NIL	MARGL	FAIR	MDT	GOOD	STRONG	VRY STG	INTENSE	VRY INT	EXTREME	EXTREME

Pode-se verificar que Portugal, sobretudo a costa litoral, é muito afetada por propagação melhorada. Esta situação pode provocar falhas generalizadas na receção TDT, pois a distância percorrida pelos sinais emitidos podem ultrapassar largamente a margem de segurança de 67,1 km.

Outro aspeto a ter em conta na implementação de uma rede frequência única é o débito total atingido. Para reduzir os impactos da interferência inter-simbólica, uma das soluções é aumentar o intervalo de guarda e inserir bits de proteção de erro. Isto traz, conseqüentemente, uma redução do débito, conforme demonstra a Tabela 2.6.

Tendo em conta estes fatores, a solução para os problemas existentes na rede atual passa por adotar um modelo baseado numa rede multifrequência, na qual se poderia inclusivamente reutilizar alguns dos emissores existentes na atual rede SFN.

Capítulo IV

Rede MFN

Sendo a rede de frequência única ineficiente, torna-se necessário encontrar uma alternativa mais viável. Para isso optou-se por recorrer a uma rede digital de frequência múltipla, na qual são analisadas as vantagens e desvantagens, e feito um estudo de cobertura e interferência, por forma a comparar com os resultados obtidos na rede de frequência única.

4.1 Rede de Multifrequência

No âmbito da RRC-06 (*Regional Radiocommunication Conference* de 2006) ficou definido que em Portugal a banda dos 470 aos 862 MHz (banda IV e V), iria ser planeada apenas para utilizações de DVB-T, disponibilizando 49 canais radioelétricos distintos (21 a 69).

Antes do apagão a televisão analógica utilizava os canais 21 a 64 (exceto o canal 60), estando os restantes canais (60, 65 a 69) planeados para DVB-T, enquadrando os cenários possíveis para o lançamento da TV digital.

Tendo como objetivo adotar uma estratégia que permita obter alguma flexibilidade e

por forma a permitir enquadrar vários cenários futuros, adaptando o que ficou inscrito no plano ao que se pretender efetivamente realizar em Portugal, foram definidos, para além das 3 coberturas nacionais em redes de frequência única nos canais 60, 67 (alterado para 56) e 69, mais três tipos de cobertura a planear:

- Cobertura de âmbito nacional em redes multifrequência – Figura 4.1;
- Cobertura de âmbito distrital em redes multifrequência – Figura 4.2;
- Cobertura de âmbito local em redes multifrequência – Figura 4.3.



Figura 4.1 – Rede MFN Nacional [20]



Figura 4.2 – Rede MFN Distrital [20]

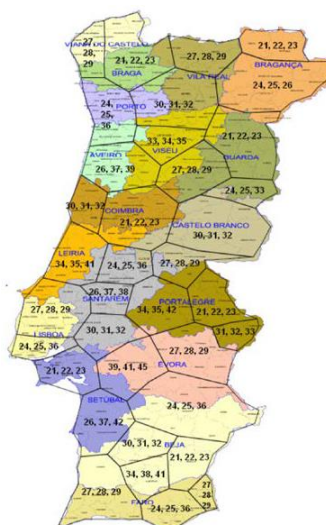


Figura 4.3 – Rede MFN Local [20]

Considerando apenas a rede MFN nacional, as divisões das zonas que no seu total perfazem o território nacional, foram dimensionadas para um raio de cerca de 67,1 km, a que corresponde o intervalo de guarda de 1/4 no modo 8k e foram estabelecidas tendo por base a localização dos principais centros emissores das redes analógicas.

Na Tabela 4.1 está representada a ocupação das bandas IV e V (banda de UHF) que correspondem a frequências entre os 470 e 862 MHz (canais 21 a 69). Estes dados foram retirados da página da ANACOM [1].

Comparação da Implementação da rede TDT em Frequência Única e Multifrequência

Tabela 4.1 – Relação de canais das bandas IV e V de UHF

Bandas IV e V: 470-820 MHz (canais 21 a 69) – UHF						
canal 21 470-478 MHz	canal 22 478-486 MHz	canal 23 486-494 MHz	canal 24 494-502 MHz	canal 25 502-510 MHz	canal 26* 510-518 MHz	canal 27 518-526 MHz
canal 28 526-534 MHz	canal 29 534-542 MHz	canal 30 542-550 MHz	canal 31 550-558 MHz	canal 32 558-566 MHz	canal 33* 566-574 MHz	canal 34* 574-582 MHz
canal 35 582-590 MHz	canal 36* 590-598 MHz	canal 37* 598-606 MHz	canal 38* 606-614 MHz	canal 39 614-622 MHz	canal 40* 622-630 MHz	canal 41* 630-638 MHz
canal 42* 638-646 MHz	canal 43 646-654 MHz	canal 44 654-662 MHz	canal 45* 662-670 MHz	canal 46* 670-678 MHz	canal 47** 678-686 MHz	canal 48* 686-694 MHz
canal 49* 694-702 MHz	canal 50 702-710 MHz	canal 51 710-718 MHz	canal 52 718-726 MHz	canal 53 726-734 MHz	canal 54* 734-742 MHz	canal 55* 742-750 MHz
canal 56* 750-758 MHz	canal 57 758-766 MHz	canal 58* 766-774 MHz	canal 59 774-782 MHz	canal 60 782-790 MHz	canal 61 790-798 MHz	canal 62 798-806 MHz
canal 63 806-814 MHz	canal 64 814-822 MHz	canal 65 822-830 MHz	canal 66 830-838 MHz	canal 67 838-846 MHz	canal 68 846-854 MHz	canal 69 854-862 MHz

Legenda:

- Cor verde – Rede SFN Nacional;
- Cor vermelha – Rede MFN Nacional;
- Cor azul e (*) – Rede MFN Local;
- Cor laranja e (*) – Rede MFN Distrital;
- Cor preta – Livre;
- (*) – Usado nos Açores;
- (*) – Usado na Madeira.

A escolha de redes de multifrequência justifica-se pelo facto deste tipo de redes não ser tão exigente em termos técnicos, com óbvias consequências a nível económico, em comparação com as redes de frequência única. Esta solução já foi adotada para resolver alguns problemas pontuais, como aconteceu com a deliberação da ANACOM de 18 de Maio de 2012 [21], que atribuiu uma licença temporária para o emissor de Monte da Virgem no canal 42, para o emissor da Lousã no canal 46 e para o emissor de Montejunto no canal 49.

4.1.1 Vantagens e Desvantagens

Com a utilização de uma rede multifrequência consegue-se uma maior robustez à interferência inter-simbólica resultante de deficiências no projeto da rede, ou ainda de fenómenos de propagação melhorada [19]. Outra vantagem, que é consequência indireta da primeira, é a possibilidade dum débito total superior, uma vez que o intervalo de guarda pode ser reduzido e o *code rate* pode ser aumentado, sem afetar a receção.

Contrariamente à rede SFN que utiliza apenas 1 canal, a rede MFN utiliza 16 canais, ocupando assim mais espectro eletromagnético, o que se torna uma desvantagem no que toca à eficiência espectral. No entanto, comparativamente com a rede analógica, é utilizado bem menos canais.

4.2 Cálculo do *Link Budget*

Com as sucessivas queixas da população, a ANACOM decidiu realizar uma consulta pública sobre a problemática deste mau funcionamento da rede TDT, deliberando em Março de 2013 alterações significativas da rede TDT portuguesa, que passará por:

- Integração definitiva do Canal 42 (Monte da Virgem), Canal 46 (Lousá) e Canal 49 (Montejunto) na rede TDT e criação de pequenas redes de frequência única, com base nestes três emissores principais;
- Proceder à instalação de novos emissores principais pelo território, utilizando frequências já previstas – Figura 4.4, criando-se também pequenas redes de frequência única;
- Nas zonas cobertas pelas referidas redes de frequência única, dar-se-á posteriormente o desligamento dos emissores do canal 56.

Resumindo, a configuração da nova rede TDT irá evoluir para uma rede de multifrequência constituída por pequenas redes de frequência única.

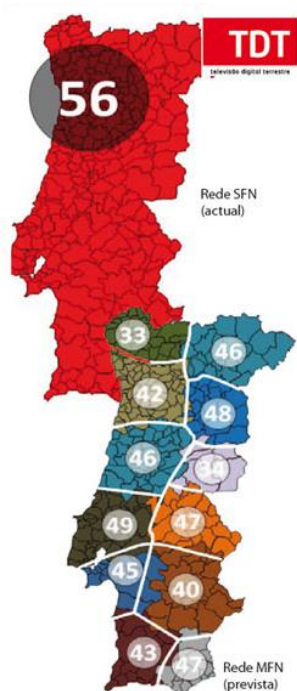


Figura 4.4 – Decisão da evolução da rede TDT em Portugal [22]

De forma a testar a rede multifrequência tanto ao nível de cobertura como de interferência, foram escolhidas 3 pequenas redes de frequência única que são:

- Canal 49 (698 MHz) – verde-escuro;
- Canal 47 (682 MHz) – laranja;
- Canal 45 (666 MHz) – azul;

Tal como sucedia no caso da rede SFN, os valores de potência variam consoante o emissor. Os valores utilizados nas 3 pequenas redes foram obtidos com base na informação apresentada em [16], sendo que em alguns deles foram utilizados valores de potência superiores.

No caso da zona correspondente ao canal 49, o menor valor de potência utilizado é 62,5 W (47,9 dBm) e o maior é de 8600 W (69,3 dBm). Na Tabela 4.2 apresenta-se o respetivo *link budget*.

Tabela 4.2 – Dimensionamento do *Link Budget* para a rede MFN no canal 49 (698 MHz)

Parâmetro	Valor	
Parâmetros Gerais		
Frequência central [MHz]	698	698
Largura de banda do canal [MHz]	8	8
Emissor		
Potência de emissão [dBm]	47,9	69,3
Ganho da antena de emissão [dBi]	14	14
Duplexer [dB]	0,5	0,5
Slant (polarização) [dB]	1,5	1,5
Conectores [dB]	0,6	0,6
Cabos [dB]	2	2
EIRP [dB]	57,3	78,7
Sensibilidade		
C/N exigido [dB]	20	20
Temperatura absoluta [K]	290	290
Constante de <i>Boltzmann</i> [J/K]	$1,3806503 \times 10^{-23}$	$1,3806503 \times 10^{-23}$
Densidade de ruído térmico [dBm]	-174	-174
Fator de ruído [dB]	6	6
Densidade de ruído do recetor [dBm]	-168	-168
Potência de ruído do recetor [dBm]	-99,2	-99,2
Margens		
Margem de LNF [dB]	8,4	8,4
Perdas penetração edifícios [dB]	18	18
Sensibilidade do recetor [dBm]	-52,8	-52,8
Ganho da antena de receção [dBi]	17	17
Intensidade de campo mínima [dBµV/m]	64,3	64,3

Na Tabela 4.3 apresenta-se os cálculos do *link budget* para o canal 47, em que a potência neste caso varia entre os 41,2 W (46,1 dBm) e os 4266 W (63,3 dBm).

Tabela 4.3 - Dimensionamento do *Link Budget* para a rede MFN no canal 47 (682 MHz)

Parâmetro	Valor	
Parâmetros Gerais		
Frequência central [MHz]	682	682
Largura de banda do canal [MHz]	8	8
Emissor		
Potência de emissão [dBm]	46,1	63,3
Ganho da antena de emissão [dBi]	14	14
Duplexer [dB]	0,5	0,5
Slant (polarização) [dB]	1,5	1,5
Conectores [dB]	0,6	0,6
Cabos [dB]	2	2
EIRP [dB]	55,5	78,8
Sensibilidade		
C/N exigido [dB]	20	20
Temperatura absoluta [K]	290	290
Constante de Boltzmann [J/K]	$1,3806503 \times 10^{-23}$	$1,3806503 \times 10^{-23}$
Densidade de ruído térmico [dBm]	-174	-174
Fator de ruído [dB]	6	6
Densidade de ruído do recetor [dBm]	-168	-168
Potência de ruído do recetor [dBm]	-99,2	-99,2
Margens		
Margem de LNF [dB]	8,4	8,4
Perdas penetração edifícios [dB]	18	18
Sensibilidade do recetor [dBm]	-52,8	-52,8
Ganho da antena de receção [dBi]	17	17
Intensidade de campo mínima [dBμV/m]	64,1	64,1

Por último, na zona onde é utilizado o canal 45, o valor de potência de emissão tem um mínimo de 45,9 W (46,6 dBm) e um máximo 8600 W (69,3 dBm) – Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Dimensionamento do *Link Budget* para a rede MFN no canal 45 (666 MHz)

Parâmetro	Valor	
Parâmetros Gerais		
Frequência central [MHz]	666	666
Largura de banda do canal [MHz]	8	8
Emissor		
Potência de emissão [dBm]	46,6	69,3
Ganho da antena de emissão [dBi]	14	14
Duplexer [dB]	0,5	0,5
Slant (polarização) [dB]	1,5	1,5
Conectores [dB]	0,6	0,6
Cabos [dB]	2	2
EIRP [dB]	56	78,7
Sensibilidade		
C/N exigido [dB]	20	20
Temperatura absoluta [K]	290	290
Constante de Boltzmann [J/K]	$1,3806503 \times 10^{-23}$	$1,3806503 \times 10^{-23}$
Densidade de ruído térmico [dBm]	-174	-174
Fator de ruído [dB]	6	6
Densidade de ruído do recetor [dBm]	-168	-168
Potência de ruído do recetor [dBm]	-99,2	-99,2
Margens		
Margem de LNF [dB]	8,4	8,4
Perdas penetração edifícios [dB]	18	18
Sensibilidade do recetor [dBm]	-52,8	-52,8
Ganho da antena de receção [dBi]	17	17
Intensidade de campo mínima [dBμV/m]	63,9	63,9

As características do emissor e recetor neste tipo de rede são as mesmas da SFN, com exceção feita na frequência. Nas Tabelas 4.5 e 4.6 é possível observar essas mesmas características.

Tabela 4.5 – Características dos emissores na rede MFN

Características do emissor	
Abertura horizontal antena	60°
Ganho da antena	14 dBi
Altura	20 m
Perdas totais	4,6 dB
<i>Downtilt</i>	2°
Polarização	Horizontal
Frequência central	698 MHz (canal 49) 682 MHz (canal 47) 666 MHz (canal 45)

Tabela 4.6 - Características do recetor na rede MFN

Características do recetor	
Abertura horizontal antena	36°
Ganho da antena	17 dBi
Altura	10 m
<i>Threshold</i>	75 dB μ V

Com base nas características usadas, o mapa de cobertura proporcionado por estes emissores pode ser observado na Figura 4.6, que consultando o mapa de cores da Figura 4.7, chega-se facilmente à conclusão que a taxa de cobertura de 95% é garantida. Desta forma, pode-se concluir que com o uso de menos emissores, embora alguns deles com maior nível de potência, consegue-se garantir o mesmo nível de cobertura.

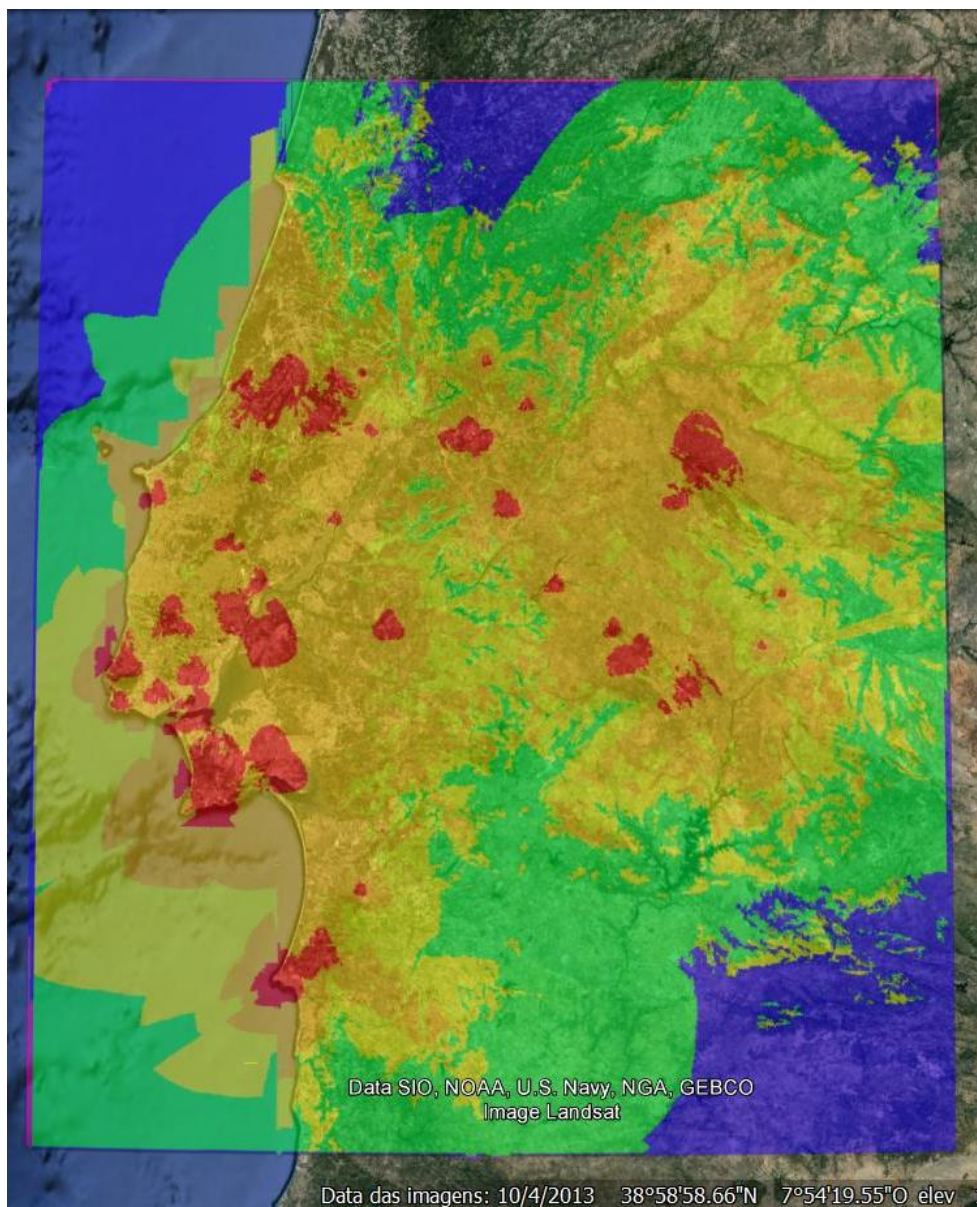


Figura 4.6 – Mapa de cobertura da rede MFN

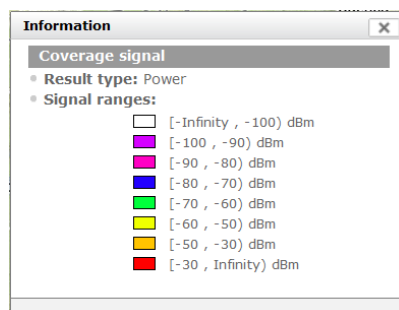


Figura 4.7 – Mapa de cores da cobertura em MFN

4.4 Análise de interferência

A análise de interferência da rede MFN seguiu os mesmos critérios da rede SFN, isto é, o valor de C/I é cumprido quando for no mínimo 20 dB. Na Figura 4.8 pode-se observar o resultado obtido após simulação.

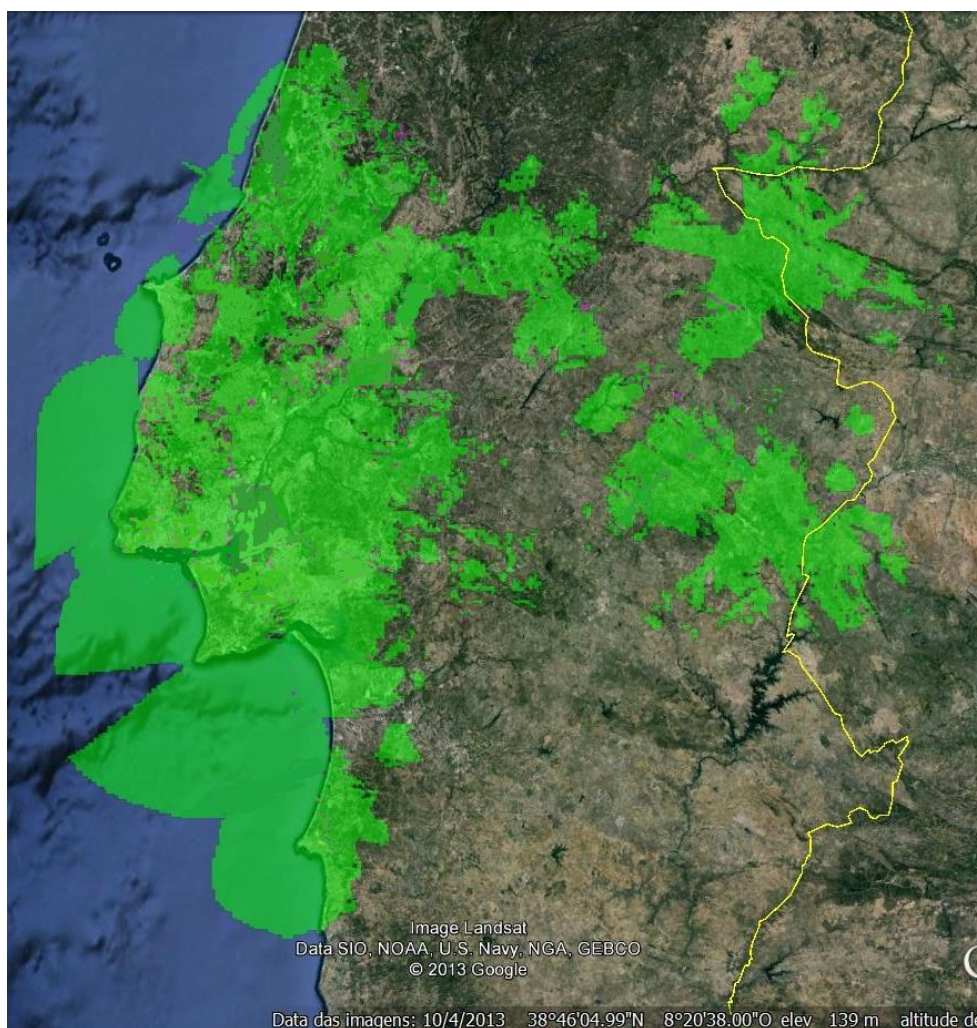


Figura 4.8 – Mapa de interferência da rede MFN

Em toda a zona de estudo o valor de C/I é no mínimo 20 dB, demonstrado assim a inexistência de interferência. Assim, é demonstrado que a implementação de uma rede multifrequência pode resolver alguns dos problemas existentes atualmente com a rede de frequência única, ainda que à custa de um aumento do número de canais, embora se use menos emissores.

Conclusão

Ao longo desta dissertação foi possível investigar a tecnologia associada à TDT, nomeadamente o DVB-T, a implementação realizada em Portugal e os problemas associados. A norma DVB-T traz consigo bastantes vantagens em relação à emissão analógica. Tem como principal característica a otimização da utilização do espectro radielétrico, libertando frequências que podem ser utilizadas em novas tecnologias, como é o caso do LTE (*Long Term Evolution*). Para além disso resolve alguns dos problemas associados à transmissão em meios terrestres, através da utilização de um tempo de guarda e código de correção de erros, em que os sinais recebidos com atraso, provocados por reflexões, não impossibilitam a receção. Esta característica permite a implementação de uma rede SFN, desde que sejam cumpridas as distâncias máximas entre emissores definidas pela norma.

Em Portugal, numa fase inicial, a rede TDT foi implementada recorrendo a uma rede de frequência única, utilizando o canal 56 UHF. No entanto, foram constantes os problemas de receção que se devem essencialmente a variabilidade das condições de propagação, levando ao aparecimento de interferência aquando da receção de sinais provenientes de emissores a distâncias superiores a 67,1 km.

Para procurar responder as causas que levam aos constantes problemas de receção de sinal, foram realizadas simulações através da aplicação *Xirio Online*. Apesar do esforço

em obter todos os parâmetros que permitissem a configuração da rede SFN à semelhança do que está atualmente implementado, nomeadamente junto da PT, entidade responsável pelo dimensionamento da rede, e da ANACOM, entidade reguladora, tal não foi possível devido a questões de confidencialidade. Esta situação obrigou a que as simulações fossem efetuadas com base em valores e características pré definidas pela aplicação para alguns parâmetros.

Independentemente dos dados utilizados, os resultados obtidos pela aplicação *Xirio Online* têm sempre que ser confirmados no terreno através de medições efetuadas com equipamentos específicos que conseguem decompor os sinais recebidos e verificar se contêm erros. Não se tratam de erros na aplicação de simulação, mas da existência de variáveis que não são previstas pela mesma. Uma destas variáveis é as mudanças na atmosfera que podem provocar alterações no comportamento dos sinais radielétricos, e fazer com que estes possam atingir distâncias muito superiores às normalmente previstas na aplicação.

Desta forma uma das possíveis soluções para os problemas de transmissão é a implementação de uma rede MFN, tirando partido da solução técnica já estudada e deliberada pela ANACOM. Esta solução eliminaria à partida qualquer tipo de ISI, e por outro lado, não haveria canais repetidos em zonas contíguas. Assim, a utilização deste tipo de rede é mais viável, pois eliminaria definitivamente os problemas de interferências e de falta de cobertura. Os resultados obtidos por simulação permitiram verificar que se consegue garantir uma área de cobertura de 95%, sem os problemas de interferência da rede SFN e utilizando menos emissores, embora alguns deles emitindo a uma potência superior.

A TDT é sem dúvida uma mais-valia, quer para os utilizadores quer para a eficiência espectral. A sua implementação pode e deve ser melhorada, principalmente com a utilização de uma rede MFN. Os custos da implementação poderiam ser substancialmente reduzidos se fossem usadas as infraestruturas existentes na rede atual. O incremento do número de canais UHF ocupados pela MFN quando comparado com a SFN é uma desvantagem, no entanto se compararmos com o que existia na rede analógica, e com o significativo aumento da largura de banda disponível para novos conteúdos, continua a oferecer uma enorme vantagem.

Referências

- [1] ANACOM. [Online]. Disponível: <http://www.anacom.pt/mobile/render.jsp?contentId=1063656&showAll=1>. [Acedido em Novembro de 2012].
- [2] ANACOM. [Online]. Disponível: <http://tdt.telecom.pt/quando/Default.aspx?code=XzX631>. [Acedido em Novembro de 2012].
- [3] ANACOM. [Online]. Disponível: http://www.anacom.pt/streaming/qnaf20092010_07042010.pdf?contentId=1019281&field=ATTACHED_FILE. [Acedido em Novembro de 2012].
- [4] Portugal Telecom. [Online]. Disponível: http://cms.comsoc.org/eprise/main/SiteGen/Uploads/Public/Docs_Chapter_Portugal/Events/Slides_Talk_11_2.pdf?previewstate=1&. [Acedido em Dezembro de 2012].
- [5] European Telecommunications Standards Institute 2004, “Final draft ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-06),” 2004.
- [6] [Online]. Disponível: http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/Additional_material/Transmissao_DVB.pdf. [Acedido em Dezembro de 2012].
- [7] European Telecommunications Standards Institute, “ETSI TS 101 154 V1.10.1 (2011-06),” 2011.
- [8] Paulo Marques e Nuno Cota. Slides de apoio à cadeira de Teledifusão Digital. DEETC, 2007/2008.
- [9] [Online]. Disponível: http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/ano2011_2012/Trabalhos_MEEC_2012/Artigo1/Website/redesf.html. [Acedido em Fevereiro de 2013].
- [10] [Online]. Disponível: http://www.oipf.tv/docs/BMCO/OIPF-BMCO-Mobile_Broadcast_Technologies_-_Link_Budgets--2011-04-19.PDF. [Acedido em Abril de 2013]
- [11] W.C. Jakes Jr. Microwave Mobile Communications. New York: John Wiley and

Sons, 1974.

[12] Binucci N. and Caselli M. Shadow Fading Margins for Omni, Three and Six Sectored Sites. TEI/TRB 00:006, 2000.

[13] Pedro Vieira. Slides de apoio à cadeira de Planeamento de Optimização de Redes Móveis. ADEETC, 2012.

[14] [Online]. Disponível: <http://www.xirio-online.com/>. [Acedido em Outubro de 2012].

[15] [Online]. Disponível: http://tdt.telecom.pt/empresas_profissionais/. [Acedido em Abril de 2013].

[16] [Online]. Disponível: <http://www.electronica-pt.com/mapa-emissores.php>. [Acedido em Abril de 2013].

[17] [Online]. Disponível: <http://tdt.telecom.pt/#lnkPasso2>. [Acedido em Abril de 2013].

[18] [Online]. Disponível: http://rr.sapo.pt/informacao_detalhe.aspx?fid=25&did=63710. [Acedido em Abril de 2013].

[19] [Online]. Disponível: http://www.dxinfocentre.com/tropo_eur.html. [Acedido em Fevereiro de 2013].

[20] [Online]. Disponível: <http://tdtportugal.files.wordpress.com/2013/05/consulta-anacom-evolucao-da-rede-tdt-contributo-blog-tdt-em-portugal-web.pdf>. [Acedido em Março de 2013].

[21] [Online]. Disponível: http://www.anacom.pt/streaming/TDT_licenciamento_temp_rede.pdf?contentId=1127410&field=ATTACHED_FILE. [Acedido em Fevereiro de 2013].

[22] [Online]. Disponível: <http://www.televes.com/pt-pt/servicios/descargas/informa/informa-55-abril-2013>. [Acedido em Abril de 2013].

[23] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, K. Fukuda, “*Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile radio service*”, *Rev. Elec. Commun. Lab.*, 16(9/10), 825-73. 1968.

[24] M. Hata, “*Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services*”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 29(3), 317-325, 1980.

[25] J. D. Parsons. *The Mobile Radio Propagation Channel*. New York: John Wiley and Sons, 1992.

[26] International Telecommunication Union. “*Propagation by diffraction*”, Recommendation ITU-R P.526-12 (02/2012).

Apêndice A

Modelos de Propagação

Os modelos de propagação são essenciais na estimação do sinal, dimensionamento da rede, previsão das zonas limites onde o nível de sinal é mínimo e as zonas onde pode haver interferência. Assim, é importante que os modelos de propagação se aproximem da realidade o melhor possível, para que se possam tornar ferramentas fidedignas e indispensáveis no planejamento de uma rede de telecomunicações.

Neste apêndice é dada uma breve descrição do modelo de *Okumura-Hata* e modelo de *Okumura-Hata* estendido com modelo de difração ITU-R P.526, uma vez que este último será o utilizado para as simulações de cobertura e interferência.

A.1 Modelo de *Okumura-Hata*

O modelo empírico proposto por *Okumura* [23] em 1968, baseado na análise e nas medições na banda [150 - 1500] MHz, tornando-se um dos modelos mais utilizados para a previsão da atenuação de propagação em áreas urbanas. O principal resultado do trabalho de *Okumura* foi um conjunto de curvas, que posteriormente *Hata* [24], em 1980, utilizou para determinar uma serie de relações empíricas que se aproximam dessas curvas.

Este modelo também apresenta uma gama de valores nos quais é válido, sendo os mesmos apresentados na Tabela A.1.

Tabela A.1 – Limites do modelo *Okumura-Hata*

Parâmetros	Valores
Frequência	150 MHz – 1500 MHz
Distância	1 – 20 km
Altura do Emissor	30 – 200 m
Altura do Recetor	1 – 10 m

O cálculo da atenuação de propagação, determinada pelo modelo *Okumura-Hata* [13 e 25], está descrita pela equação A.1.

$$P_L = A + B \log(d) + C \quad (\text{A.1})$$

onde A, B e C são fatores que dependem da frequência e da altura da antena de emissão e recepção, sendo dados pelas equações A.2 e A.3.

$$A = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - a(h_r) \quad (\text{A.2})$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log(h_t) \quad (\text{A.3})$$

onde h_t é a altura da antena do emissor, h_r a altura da antena do recetor, f é a frequência em MHz, d é a distância em km, $a(h_r)$ é o fator de correção para a altura do recetor e C um fator que depende do ambiente. O fator de correção $a(h_r)$ e fator C são obtidos pelas expressões A.4 - A.9.

1) Áreas urbanas

a. Cidade de pequena/média dimensão

$$a(h_r) = (1.1 \log(f) - 0.7)h_r - (1.56 \log(f) - 0.8) \quad (\text{A.4})$$

$$C = 0$$

b. Cidade de grande dimensão

$$a(h_r) = \begin{cases} 8.29(\log(1.54h_r))^2 - 1.1 & f \leq 200 \text{ Mhz} \\ 3.2(\log(11.75h_r))^2 - 4.97 & f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases} \quad (\text{A.5})$$

$$C = 0$$

2) Áreas suburbanas

$$a(h_r) = (1.1 \log(f) - 0.7)h_r - (1.56 \log(f) - 0.8) \quad (\text{A.6})$$

$$C = -2 \left[\log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 5.4 \quad (\text{A.7})$$

3) Zonas rurais

$$a(h_r) = (1.1 \log(f) - 0.7)h_r - (1.56 \log(f) - 0.8) \quad (\text{A.8})$$

$$C = -4.78 \log(f)^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \quad (\text{A.9})$$

Por norma este modelo é muito bom em meio urbano e suburbano, mas não tão bom em áreas rurais, pois não tem em conta a ondulação do terreno.

A.2 Modelo de *Okumura-Hata* estendido com modelo de difração ITU-R 526

Este modelo é baseado no método de *Okumura-Hata* para prever o valor de sinal num ponto. É, portanto, um modelo híbrido especialmente útil para analisar a propagação em redes móveis, pois tem em conta os efeitos de elementos determinísticos (terreno, edifícios, ruas, entre outros). Esta correção no modelo utiliza as perdas de difração calculadas utilizando a recomendação ITU-R P.526 [26] como uma referência. Na Figura A.1 pode-se comparar a cobertura de uma estação base utilizando cada um dos métodos.

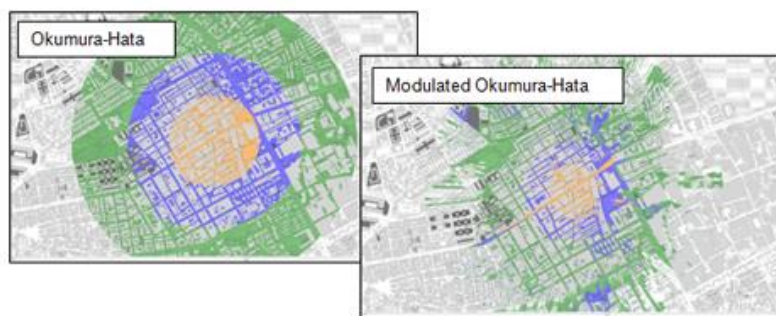


Figura A.1 – Comparação de cobertura entre o modelo de *Okumura-Hata* e *Okumura-Hata* estendido [14]

Apêndice B

Xirio Online

O *Xirio Online* é uma ferramenta desenvolvida pela Aptica e permite realizar simulações de cobertura em qualquer parte do mundo, tanto em zonas rurais como urbanas – Figura B.1.



Figura B.1 – *Xirio-Online* [14]

Para prever e providenciar a cobertura rádio é necessário identificar a localização do emissor, colocar a sua potência de saída, a frequência, o tipo de antena, o ganho da antena, a altura da antena, indicar as perdas causadas pelos cabos e conectores, entre outros. Além disso é necessário definir o tipo de cartografia e tamanho de área a utilizar, sendo também possível definir qual o *threshold* de sinal no recetor, o ganho, tipo e altura da antena.

Para os cálculos de propagação, nomeadamente da atenuação sofrida pelos sinais, é possível utilizar diversos modelos de propagação (*Deygout*, *Cost 231*, *Okumura-Hata*, ITU-R Rec. 526, etc), mas neste caso será usado o modelo de *Okumura-Hata* estendido pois foi o utilizado também pela Portugal Telecom.

B.1 Descrição da ferramenta

Na página principal tem-se uma barra de menus que contem as ações básicas do *Xirio Online* – Figura B.2.



Figura B.2 – Barra de menus [14]

As ações existentes são as seguintes:

Cria um novo estudo de simulação. Inicialmente é necessário selecionar o tipo de estudo (perfil, cobertura, multi-cobertura, rede de transporte e altura efetiva) desejável para o cálculo do serviço ou tecnologia – Figura B.3. As janelas seguintes permitem a configuração de uma série de parâmetros do estudo, do emissor, recetor e modelo de propagação.

A captura de tela da interface 'Create new study' do Xirio Online. O formulário está dividido em três seções: 'Choose a study type' com botões para Profile, Coverage, Multitransmitter coverage, Transport network e Effective height; 'Select a service or technology' com campos de seleção para Category, Subcategory e Service; e 'Studies templates' com uma mensagem de erro 'No template found'.

Figura B.3 – Criação de um estudo de simulação [14]

Exibe uma lista ordenada com todos os estudos armazenados, na qual pode ser feita uma procura pelo nome ou pelo tipo de estudo – Figura B.4. Após selecionado um estudo, é possível abri-lo ou remove-lo.

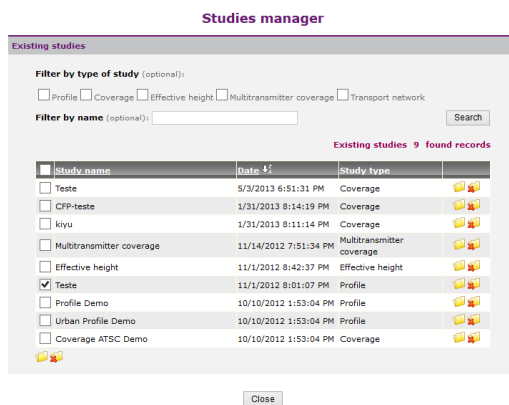



Figura B.4 – Gestor de estudos [14]

 Exibe uma lista ordenada com os resultados obtidos em cada estudo realizado – Figura B.5. Depois de selecionado um resultado, este pode ser aberto, apagado ou publicado a outro utilizador do *Xirio-Online*.

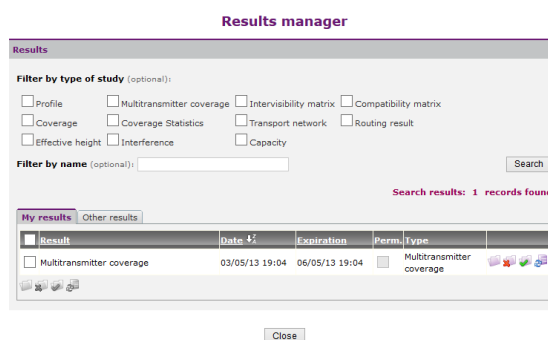



Figura B.5 – Gestor de resultados [14]

 Permite criar, editar e remover modelos predefinidos de elementos rádio (emissores, recetores, antenas, etc) – Figura B.6.

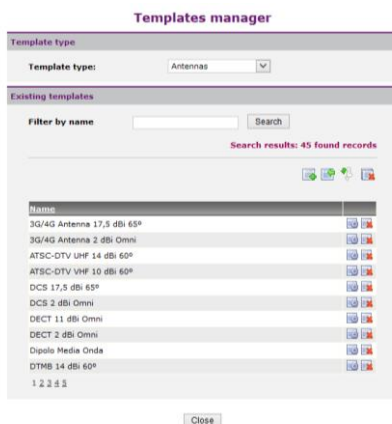





Figura B.6 – Gestor de modelos [14]

-  Possibilita a importação de resultados gerados com a ferramenta de planeamento rádio *Sirenet*.
-  Permite exportar resultados obtidos no *Xirio-Online* para a ferramenta *Sirenet*.
-  Exibe um painel de informações que mostra o dados relativos a um estudo, resultado, emissor, método de cálculo, entre outros – Figura B.7.

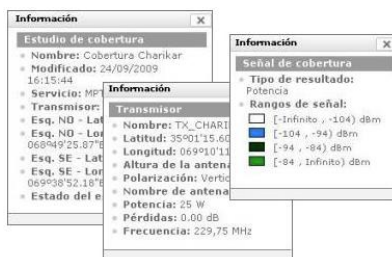






Figura B.7 – Painel de Informações [14]

-  Apresenta um painel de tarefas que contém os nomes, estado e progresso das ações, e os cálculos ainda em progresso.
-  Executa a atualização dos painéis informativos.
-  Permite publicar os resultados dos estudos com outros utilizadores.
-  Cria um ponto de interesse, que representa uma marca no mapa escolhida pelo utilizador no mapa. Esta marca é definida por um nome e coordenadas do local – Figura B.8.

POI properties

Point of Interest

Name: New point of interest

Content:

Characters remaining: 1024


Location information

Latitude: 00°00'00.00"N

Longitude: 00°00'00.00"E

Accept Apply Reload Cancel

Figura B.8 – Criação de ponto de interesse [14]

 Esta opção possibilita a criação de novos pontos de interesse, abrir e excluir pontos já existentes.

 Calcula a distância entre dois pontos escolhidos no mapa – Figura B.9.

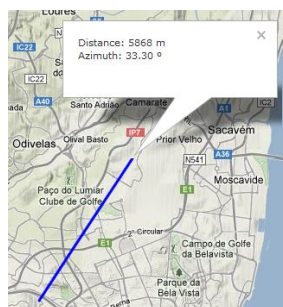



Figura B.9 – Cálculo da distância entre dois pontos [14]

 Exibe o perfil do terreno entre dois pontos escolhidos no mapa – Figura B.10.

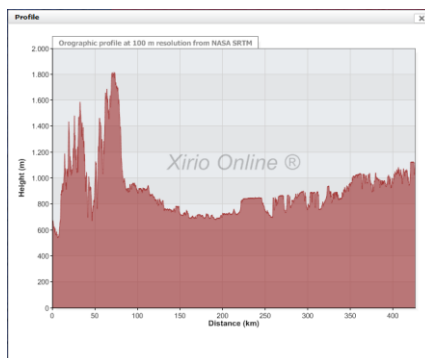


Figura B.10 – Perfil do terreno entre dois pontos [14]


 Mostra a altura acima do nível do mar do ponto selecionado no mapa – Figura B.11.



Figura B.11 – Altura acima do nível do mar [14]

B.1.1 Criação de um estudo de cobertura

O *Xirio-Online* tratando-se de uma ferramenta vasta a nível de estudos de simulação, torna-se difícil exemplificar para todos os casos existentes. Por isso, vai fazer-se uma descrição dos diversos passos para a realização de um estudo de cobertura em DVB-T. Desta forma, entende-se o funcionamento e configuração da ferramenta, sendo semelhante para todas as outras situações.

Começa-se por escolher o tipo de estudo e o serviço ou tecnologia que se pretende simular – Figura B.12. Após a escolha surge uma nova janela onde é possível configurar diversos parâmetros necessários ao estudo de cobertura – Figura B.13.

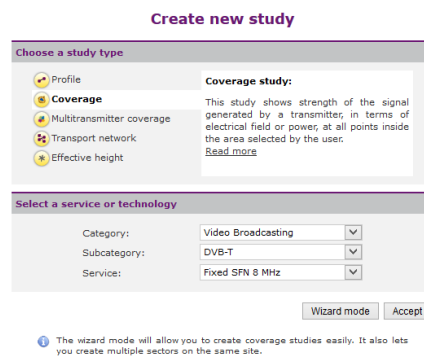


Figura B.12 – Criação de um estudo de cobertura em DVB-T [14]

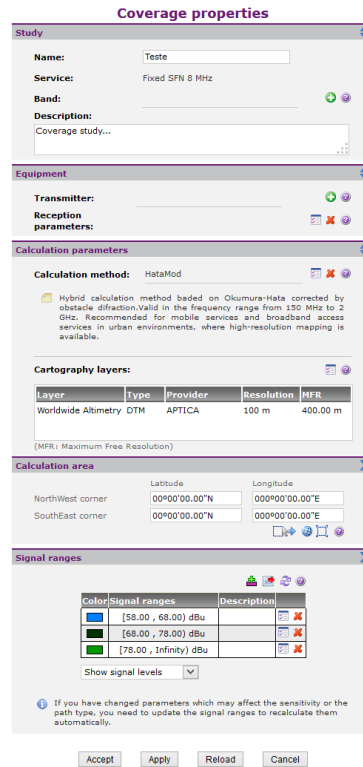


Figura B.13 – Parâmetros de cobertura [14]

Os parâmetros existentes centram-se ao nível do equipamento, parâmetros de cálculo, área de cálculo e gamas de sinal. Um dos parâmetros iniciais é a banda de frequência em que se define o espaçamento entre frequências, o início e fim de frequência e canais proibidos – Figura B.14.

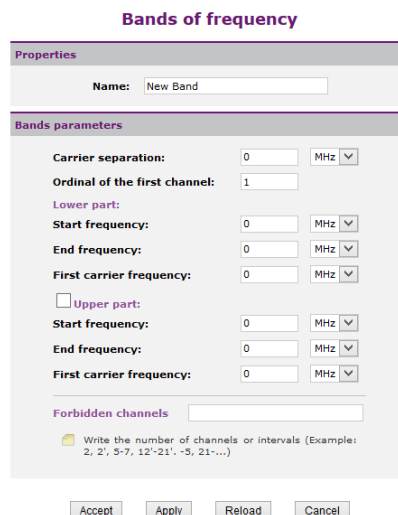


Figura B.14 – Banda de frequência [14]

Nas configurações do emissor é possível partir de um modelo existente – Figura B.15.

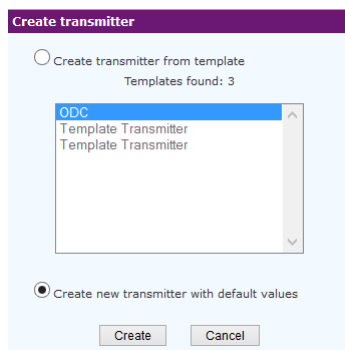





Figura B.15 – Criação do emissor [14]

Os dados de localização (latitude e longitude) podem ser inseridos manualmente usando um modelo, através do ícone , ou selecionando um ponto no mapa, pressionando previamente o ícone . Existe também uma calculadora  para converter as coordenadas geográficas em UTM, e vice-versa. Na Figura B.16 está representada as propriedades do emissor.

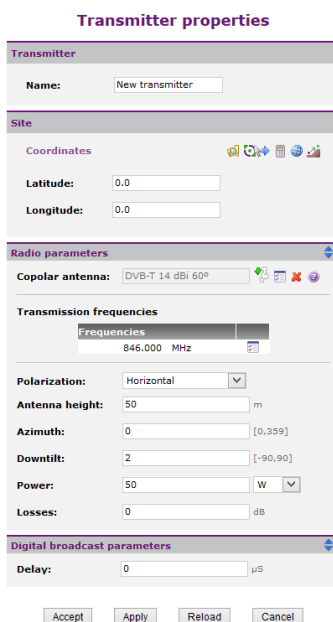



Figura B.16 – Propriedades do emissor [14]

A escolha e configuração do tipo de antena é feita através do ícone , onde é possível configurar o ganho e diagramas de radiação – Figuras B.17 e B.18.

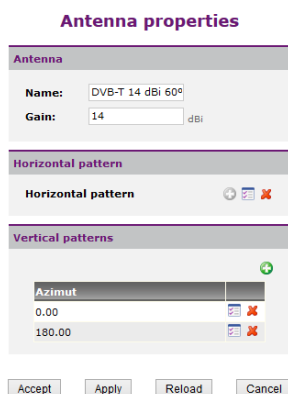


Figura B.17 – Propriedades da antena [14]

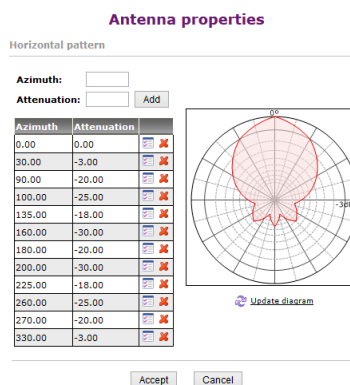


Figura B.18 – Diagrama de radiação [14]

É possível também definir o tipo de polarização a utilizar, altura, *azimuth*, *downtilt* e potência do emissor, bem como perdas relativas componentes utilizados como conectores, cabos, etc. Por último existe um campo para o atraso existente na transmissão digital.

Seguidamente é necessário definir os parâmetros rádio do recetor, embora este não tenha um local geográfico fixo – Figura B.19.

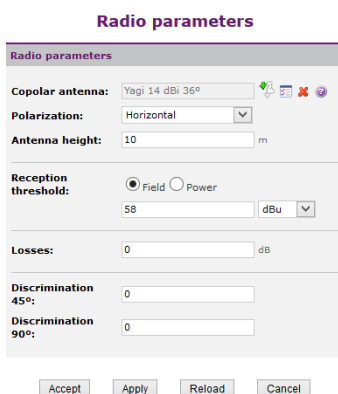


Figura B.19 – Parâmetros rádio do recetor [14]

Torna-se necessário definir o modelo de propagação apropriado ao estudo pretendido – Figura B.20. A escolha do modelo vai depender do tipo de tecnologia, das bandas de frequência e da qualidade da informação cartográfica disponível para modelar o terreno.

Calculation Method Properties

Calculation method

Name: HataMod

Propagation Method: Okumura-Hata Modulated

Hybrid calculation method based on Okumura-Hata corrected by obstacle diffraction. Valid in the frequency range from 150 MHz to 2 GHz. Recommended for mobile services and broadband access services in urban environments, where high-resolution mapping is available.

Resolution: 100 m/pixel

Basic parameters

K Factor: 1.333

Fading margin: 0

Properties of Okumura-Hata modified

Environment: Urban

City size: Small

Figura B.20 – Propriedades do modelo de propagação [14]

O *Xirio-Online* fornece uma panóplia de camadas de cartografia de diferentes tipos e resoluções – Figura B.21.

Layer Selection

Layers available in the system

Filter by Region:

Continent: All continents | Country: All countries | Region: All regions

Filter layers

Search Results: 309 found records

Select from this list the layers you want to use in the study calculations.

<input type="checkbox"/>	Name	Type	Resolution	Provider
<input type="checkbox"/>	Asia - Indonesia - Jakarta - RMS1	DTM	5.00 m RMS1	i
<input type="checkbox"/>	Europe - Balearic islands and peninsula	DTM	25.00 m APTICA	i
<input type="checkbox"/>	Europe - DSM - Intermap	DTM	5.00 m INTERMAP	i
<input type="checkbox"/>	Europe - DTM - Intermap	DTM	5.00 m INTERMAP	i
<input type="checkbox"/>	Europe - Spain - Canarian Islands	DTM	25.00 m APTICA	i

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...

Layers used in the study

<input type="checkbox"/>	Name	Type	Resolution	Provider	Cost
<input type="checkbox"/>	Worldwide Altimetry	DTM	100.00 m APTICA		0.00%

Figura B.21 – Camada de cartografia [14]

A definição da área onde se quer realizar os cálculos e sobre a qual serão obtidos os resultados, pode ser definida manualmente ou desenhado um retângulo no mapa com o auxílio do rato – Figuras B.22 e B.23. É possível fazer ajuste automático da área pela distância, nível de sinal ou nível de interferência – Figura B.24.

Calculation area

	Latitude	Longitude
Northwest corner	<input n"="" type="text" value="49°11'45.83"/>	<input e"="" type="text" value="016°33'42.80"/>
Southeast corner	<input n"="" type="text" value="47°30'35.21"/>	<input e"="" type="text" value="020°05'38.38"/>

Figura B.22 – Definição da área de cobertura manualmente [14]



Figura B.23 – Definição da área de cobertura no mapa [14]

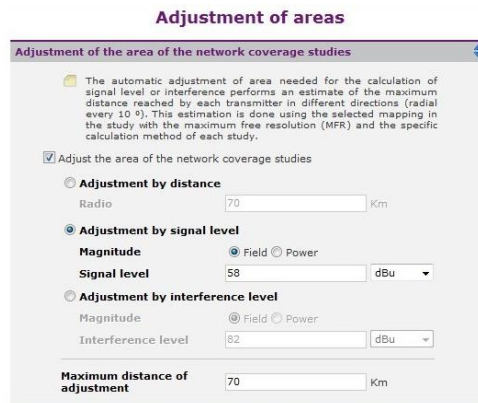


Figura B.24 – Ajustamento da área de cálculo [14]

Por último é possível criar, modificar ou eliminar gamas de sinal, que representam o nível de sinal obtido após simulação – Figura B.25. Encontra-se automaticamente definido 3 intervalos, cada um cobrindo uma determinada gama e representado por uma cor.



Figura B.25 – Gama de sinal [14]

Após concluída a configuração surge no painel de ações diversas possibilidades, consoante o que for selecionado na estrutura, isto é, carregando-se em “Teste” surgem as ações associadas, e assim sucessivamente – Figura B.26.

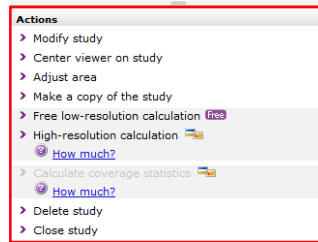
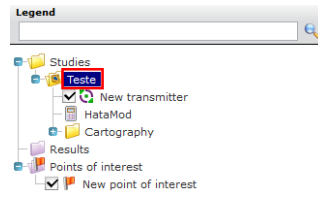


Figura B.26 – Painel de ações [14]

Para se realizar a simulação é necessário recorrer à ação ‘*Free low-resolution calculation*’. Os resultados não ficam visíveis após a simulação, é necessário selecionar ‘*Results*’ para que surge a ação que permita abri-los – Figura B.27.

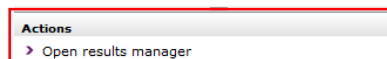
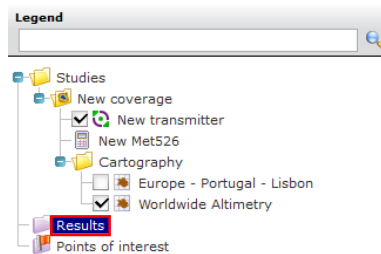


Figura B.27 – Selecionar resultados obtidos [14]

Com os resultados abertos pode-se observar o nível de sinal do emissor, tendo a possibilidade de ler o valor concreto em cada ponto – Figura B.28.

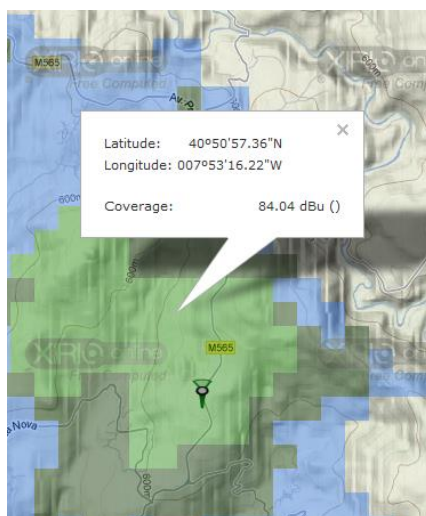


Figura B.28 – Nível de cobertura [14]

Apêndice C

Localização dos Emissores

Neste anexo apresenta-se as Tabelas C.1 – C5 com as localizações geográficas dos diversos emissores, potência e canal utilizado, tanto na rede SFN como MFN.

Tabela C.1 – Localização geográfica dos emissores na rede SFN

Localidade	Latitude	Longitude	Canal SFN	Potência
Aldeia de Juso	38°43'36.32"N	9°26'38.43"W	56	1300 W
Alenquer	39° 2'56.24"N	9° 0'52.30"W	56	490 W
Algueirão	38°48'28.77"N	9°19'57.26"W	56	1400 W
Almada	38°40'25.88"N	9°10'36.86"W	56	8600 W
Alverca	38°52'33.42"N	9°3'52.01"W	56	350 W
Arruda dos Vinhos	38°57'38.28"N	9°3'01.12"W	56	240 W
Azóia, Sintra	38°46'46.00"N	9°28'34.00"W	56	2500 W
Barcarena	38°44'12.46"N	9°16'28.86"W	56	1100 W
Benfica, Lisboa	38°44'25.98"N	9°11'32.61"W	56	1600 W
Bezerra	38°47'11.68"N	9°22'49.88"W	56	500 W
Cacém	38°45'35.59"N	9°18'22.68"W	56	1000 W
Caldas da Rainha	39°24'21.77"N	9° 8'4.55"W	56	1400 W
Caparica	38°39'34.71"N	9°14'7.56"W	56	1900 W
Cascais	38°41'58.07"N	9°25'25.68"W	56	2400 W
Cheleiros	38°53'3.02"N	9°19'23.75"W	56	12,3 W
Coruche	38°56'10.81"N	8°29'13.82"W	56	88,8 W
Cruz de Pau	38°37'3.78"N	9° 7'2.31"W	56	1200 W
Encarnação	39°0'42.90"N	9°19'0.69"W	56	500 W
Estoril	38°42'37.33"N	9°24'32.88"W	56	2000 W
Graça	38°43'32.61"N	9° 7'44.84"W	56	1500 W

Comparação da Implementação da rede TDT em Frequência Única e Multifrequência

Janas, Sintra	38°49'40.20"N	9°25'18.20"W	56	950 W
Castelo, Lisboa	38°42'53.95"N	9° 8'2.73"W	56	4800 W
Estrela, Lisboa	38°42'44.98"N	9° 9'34.31"W	56	1600 W
Restelo, Lisboa	38°42'39.19"N	9°12'40.12"W	56	5012 W
Trindade, Lisboa	38°42'41.59"N	9° 8'33.18"W	56	1259 W
Xabregas, Lisboa	38°43'30.58"N	9° 6'58.34"W	56	1500 W
Malveira	38°56'28.99"N	9°15'28.19"W	56	250 W
Monsanto, Lisboa	38°43'37.88"N	9°11'20.90"W	56	1700 W
Montejunto	39°10'25.51"N	9°3'33.49"W	56	500 W
Óbidos	39°21'26.74"N	9°8'35.44"W	56	1400 W
Odivelas	38°48'43.62"N	9°11'55.56"W	56	2900 W
Odivelas, Centro	38°47'10.43"N	9°10'53.46"W	56	2900 W
Olivais	38°46'14.67"N	9° 6'47.15"W	56	1500 W
Póvoa de St. Adrião	38°47'51.65"N	9°10'3.61"W	56	1900 W
Rio Maior	39°21'12.61"N	8°57'45.33"W	56	899,5 W
Santarém	39°14'06.11"N	8°41'08.61"W	56	1200 W
Sintra	38°47'59.61"N	9°22'59.07"W	56	1100 W
Torres Vedras	39°05'24.00"N	9°15'33.99"W	56	1400 W
Vale Verde, Peniche	39°17'41.64"N	9°18'51.85"W	56	2400 W
Vila Franca de Xira	38°57'13.08"N	8°59'22.79"W	56	112 W

Na Tabela C.2 são apresentadas as localizações dos emissores e as novas potências utilizadas num dos testes realizados na análise de cobertura em SFN.

Tabela C.2 – Localização geográfica dos emissores na rede SFN (novas potências)

Localidade	Latitude	Longitude	Canal SFN	Potência	Nova Potência
Aldeia de Juso	38°43'36.32"N	9°26'38.43"W	56	1300 W	1000
Alenquer	39° 2'56.24"N	9° 0'52.30"W	56	490 W	250
Almada	38°40'25.88"N	9°10'36.86"W	56	8600 W	5000
Alverca	38°52'33.42"N	9°3'52.01"W	56	350 W	150
Arruda dos Vinhos	38°57'38.28"N	9°3'01.12"W	56	240 W	100
Azóia, Sintra	38°46'46.00"N	9°28'34.00"W	56	2500 W	1200
Barcarena	38°44'12.46"N	9°16'28.86"W	56	1100 W	500
Caldas da Rainha	39°24'21.77"N	9° 8'4.55"W	56	1400 W	700
Caparica	38°39'34.71"N	9°14'7.56"W	56	1900 W	700
Cheleiros	38°53'3.02"N	9°19'23.75"W	56	12,3 W	500/150
Coruche	38°56'10.81"N	8°29'13.82"W	56	88,8 W	50
Cruz de Pau	38°37'3.78"N	9° 7'2.31"W	56	1200 W	500
Encarnação	39°0'42.90"N	9°19'0.69"W	56	1400W	500
Janas, Sintra	38°49'40.20"N	9°25'18.20"W	56	950 W	500
Restelo, Lisboa	38°42'39.19"N	9°12'40.12"W	56	5012 W	2500
Xabregas, Lisboa	38°43'30.58"N	9° 6'58.34"W	56	1500 W	600

Comparação da Implementação da rede TDT em Frequência Única e Multifrequência

Malveira	38°56'28.99"N	9°15'28.19"W	56	250 W	100
Montejunto	39°10'25.51"N	9°3'33.49"W	56	500 W	250
Odivelas	38°48'43.62"N	9°11'55.56"W	56	2900 W	1500
Olivais	38°46'14.67"N	9° 6'47.15"W	56	1500 W	800
Rio Maior	39°21'12.61"N	8°57'45.33"W	56	899,5 W	500
Santarém	39°14'06.11"N	8°41'08.61"W	56	1200 W	600
Sintra	38°47'59.61"N	9°22'59.07"W	56	1100 W	600
Torres Vedras	39°05'24.00"N	9°15'33.99"W	56	1400 W	700
Vale Verde, Peniche	39°17'41.64"N	9°18'51.85"W	56	2400 W	1200

Tabela C.3 – Localização geográfica dos emissores na rede MFN (canal 49 – 698MHz)

Localidade	Latitude	Longitude	Canal MFN	Potência	Zona
Abrantes	39°27'46.01"N	8°12'14.50"W	49	1400 W	7
Alcobaça	39°33'21.10"N	8°58'06.77"W	49	8600 W	7
Aldeia do Juso	38°43'36.32"N	9°26'38.43"W	49	8600 W	7
Arruda dos Vinhos	38°57'38.28"N	9°3'01.12"W	49	4600 W	7
Cacém	38°45'35.59"N	9°18'22.68"W	49	4600 W	7
Candeeiros	39°34'26.51"N	8°50'59.42"W	49	4600 W	7
Coruche	38°56'10.81"N	8°29'13.82"W	49	4600 W	7
Fátima	39°36'30.82"N	8°40'39.23"W	49	1400 W	7
Janas – Sintra	38°49'40.20"N	9°25'18.20"W	49	8600 W	7
Malveira	38°56'28.99"N	9°15'28.19"W	49	8600 W	7
Mira de Aire	39°31'55.00"N	8°43'52.80"W	49	3000 W	7
Monsanto, Lisboa	38°43'37.88"N	9°11'20.90"W	49	8600 W	7
Montejunto	39°10'25.51"N	9°3'33.49"W	49	500 W	7
Odivelas	38°48'43.62"N	9°11'55.56"W	49	4600 W	7
Ourém	39°38'32.57"N	8°35'30.05"W	49	62,5 W	7
Peniche	39°17'41.64"N	9°18'51.85"W	49	4600 W	7
Rio Maior	39°21'12.61"N	8°57'45.33"W	49	899,5 W	7
Santarém	39°14'06.11"N	8°41'08.61"W	49	1200 W	7
Trancão, T. Novas	39°29'4.91"N	8°33'39.46"W	49	1700 W	7

Tabela C.4 – Localização geográfica dos emissores na rede MFN (canal 47 – 682MHz)

Localidade	Latitude	Longitude	Canal MFN	Potência	Zona
Avis	39°3'13.20"N	7°53'26.08"W	47	1500 W	8
Bufão (P. de Sôr)	39°16'43.50"N	8° 4'18.90"W	47	2500 W	8
Campo Maior	39°1'38.05"N	7°5'9.42"W	47	41,2 W	8
Elvas	38°52'59.90"N	7°9'44.84"W	47	200 W	8
Estremoz	38°51'37.47"N	7°35'21.62"W	47	1000 W	8
Estremoz QE	38°51'16.40"N	7°36'22.50"W	47	4266 W	8
Mação	39°33'22.82"N	7°59'34.96"W	47	51,9 W	8
Marvão	39°23'41.55"N	7°22'42.52"W	47	1600 W	8
Portalegre	39°17'52.63"N	7°26'33.99"W	47	841 W	8
Sousel	38°55'50.12"N	7°41'10.11"W	47	65,8 W	8
Vila Viçosa	38°46'5.12"N	7°25'50.20"W	47	1000 W	8

Comparação da Implementação da rede TDT em Frequência Única e Multifrequência

Tabela C.5 – Localização geográfica dos emissores na rede MFN (canal 45 – 666MHz)

Localidade	Latitude	Longitude	Canal MFN	Potência	Zona
Alcácer do Sal	38°22'21.78"N	8°30'20.40"W	45	45,9 W	9
Almada	38°40'25.88"N	9°10'36.86"W	45	8600 W	9
Caparica	38°39'34.71"N	9°14'7.56"W	45	2000 W	9
Grândola	38°12'22.13"N	8°35'0.70"W	45	80 W	9
Palmela	38°33'23.02"N	8°54'27.56"W	45	4600 W	9
Santiago do Cacém	38° 1'11.40"N	8°41'48.00"W	45	795 W	9
Sesimbra	38°27'32.87"N	9°05'56.07"W	45	4600 W	9
Sines	37°57'10.98"N	8°50'31.97"W	45	1000 W	9
Volta da Pedra	38°34'30.39"N	8°53'58.53"W	45	1200 W	9