



Centro de Competências de Ciências Exactas
e de Engenharia

Sistema de Comunicações para as Ilhas Desertas



Maurício Anastácio Serrão Rodrigues

Novembro 2009



UNIVERSIDADE da MADEIRA

Centro de Competências de Ciências Exactas
e de Engenharia

Sistema de Comunicações para as Ilhas Desertas

Maurício Anastácio Serrão Rodrigues

Dissertação Submetida à Universidade da Madeira
para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
de Telecomunicações e Redes

Orientador: Doutor Joaquim Amândio Azevedo

Orientador: Doutor José Manuel Baptista

Novembro 2009

“A sabedoria não nos é dada. É preciso descobri-la por nós mesmos, depois de uma viagem que ninguém nos pode poupar ou fazer por nós.”

Marcel Proust

Resumo

Esta dissertação tem como principal objectivo, propor um sistema de comunicações para as Ilhas Desertas que vise atender às necessidades expostas pelo PNM - Parque Natural da Madeira. Localizadas a 22 milhas marítimas do Funchal, as ilhas Desertas não dispõem de cobertura da rede móvel GSM - *Global Standard for Mobile*, nem de qualquer outra infraestrutura de comunicações que permita a comunicação entre os vigilantes e a estação de serviço - doca. Esta falta de comunicação torna-se mais problemática aquando da realização de acções de fiscalização e vigilância, já que em caso de acidente não será possível pedir auxílio. Dada esta realidade propomos a criação de uma rede de rádio móvel terrestre para as Ilhas Desertas, com a instalação de vários repetidores UHF no topo das ilhas. O projecto desta rede será fundamentado com a realização de um estudo de cobertura para as três ilhas que incluirá a avaliação e análise de vários modelos de propagação. Esta análise é realizada com recurso a duas ferramentas de software, *Radio-Mobile* e *DifractionLoss*, tendo este último sido desenvolvido no âmbito desta dissertação. De forma a melhorar a cobertura da rede GSM na estação de serviço do PNM na Deserta Grande, sugerem-se duas soluções: a primeira consiste na instalação de um repetidor GSM de frequência deslocada e a segunda na instalação de uma NanoBTS. Além da falta de comunicação na área das ilhas Desertas, a falta de comunicação com a ilha da Madeira é também uma realidade. Perante esta situação sugere-se a criação de uma ligação por feixes hertzianos de alta frequência entre a estação de serviço do PNM na Deserta Grande e a sede do PNM, localizada na zona do Jardim Botânico na Ilha da Madeira. O projecto desta ligação apresenta um planeamento e dimensionamento de acordo com as necessidades apresentadas pelo PNM, assim como um estudo de propagação baseado num procedimento teórico e em simulações de software. É também proposto um sistema de videovigilância controlado remotamente com o objectivo de permitir a monitorização remota dos lobos-marinhos.

Palavras-chave:

Sistemas de Comunicação, Sistemas de Rádio Móvel Terrestre, Propagação Rádio, Difraccção.

Abstract

This dissertation has as its main objective to propose a communication system for the Desert Islands which aims to meet the needs exposed by the PNM - Madeira Natural Park. Located at 22 nautical miles from Funchal, the Deserted Islands are not covered by cellular network GSM - *Global Standard for Mobile*, or any other communication infrastructure to enable communication between the watchmen and the service station. This lack of communication becomes more problematic during activities of surveillance and monitoring. Given this fact we propose the creation of a land mobile network radio to the Desert Islands, with the installation of several UHF repeaters on top of the islands. This network project will be based on several coverage studies for the three islands that comprise the assessment and analysis of various propagation models. This analysis will be performed using two software tools, Radio-Mobile and DiffractionLoss, the latter having been developed within this dissertation. In order to improve the coverage of the GSM network at the PNM service station in Deserta Grande, we suggest two solutions: one is the installation of a GSM repeater with a frequency offset and the second is the installation of NanoBTS. Besides the lack of communication in the area of Desert Islands, the lack of communication with the island of Madeira is also a reality. In this situation we suggest the creation of a point-to-point connection between PNM service station in Deserta Grande and the headquarters of the PNM, located in Madeira. The project of this point-to-point connection will include a planning and design according to the needs presented by the PNM. This project will also include a propagation study based on a theoretical procedure and on software simulations. It is also proposed a system of video surveillance remotely controlled in order to allow remote monitoring of monk seals.

Keywords:

Communication Systems, Land Mobile Radio Systems, Radio Propagation, Diffraction.

Agradecimentos

A realização de todo o trabalho aqui apresentado constitui, para mim, uma grande preparação para a vida profissional e um forte contributo ao meu desenvolvimento como pessoa. Todo este trabalho só foi possível com o contributo de algumas pessoas, cujo agradecimento aqui pretendo expressar.

Ao **Parque Natural da Madeira**, principalmente a **Dra. Rosa Pires** pela forma como aceitou e encarou este projecto, por toda a sua disponibilidade e atenção, pelo apoio e interesse demonstrado.

Ao **Professor Doutor Joaquim Amândio Azevedo** e ao **Professor Doutor José Manuel Baptista**, orientadores da dissertação, por terem aceite este desafio, por terem acreditado, por terem exigido mais e melhor, pelo apoio, disponibilidade e conhecimentos partilhados.

À **Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território**, pela cedência dos mapas das Ilhas Desertas em formato digital e ao **Engenheiro Luís Antunes** pelo apoio facultado.

À **ANACOM**, principalmente ao **Engenheiro Nelson Melim** e ao **Engenheiro Laurindo Teles**, pelo apoio, disponibilidade e interesse.

Ao **Engenheiro Filipe Santos**, pelo apoio prestado ao longo dos últimos anos, pela amizade, pelos conhecimentos infindáveis e pela disponibilidade.

Ao **senhor Avelino Barrote - NAUCOM**, ao **engenheiro André Ferreira - BioSolar**, ao **engenheiro Carlos Magro - LREC**, ao **engenheiro Brian Turner - ARAYA**, ao **engenheiro Ray Sewell - Trango Systems** pelo apoio, atenção e interesse demonstrado.

Aos **vigilantes da Natureza, Elvío Rodrigues, Pedro Gouveia, Lourenço Alves e Martinho Pires**, pela recepção calorosa na Deserta Grande, pelo apoio prestado, pelo interesse e pela amizade oferecida.

Aos **amigos, colegas e funcionários da UMa** que me acompanharam ao longo dos últimos anos e que muito contribuíram para o que hoje sou.

Ao **Mágico, ao Chico** pela disponibilidade e apoio nas medições efectuadas na Ponta de São Lourenço.

Por último à minha **Família** que sempre acreditou em mim e apoiou sempre que necessário.

Índice

Índice	i
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	ix
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do projecto e motivação.....	1
1.2. Objectivos a atingir	2
1.3. Estrutura da tese	2
2. Enquadramento teórico.....	4
2.1. Sistemas de Rádio Móvel Terrestre - SRMT	4
2.1.1. Configuração SRMT	4
2.2. Modelos de Propagação	8
2.2.1. Modelo do espaço livre.....	8
2.2.2. Modelo de Difracção	9
2.2.3. Modelo de Epstein-Petterson.....	11
2.2.4. Modelo de Deygout	11
2.2.5. Modelo do ITU-R P530-12	13
2.2.6. Modelo de Egli	14
2.2.7. Modelo de Longley-Rice	15
2.3. Sistemas de feixes hertzianos.....	19
2.3.1. Descrição de uma ligação	19
2.3.2. Projecto teórico de um sistema de feixes hertzianos	20
2.4. Elementos de propagação	22
2.4.1. Zonas de Fresnel.....	22
2.4.2. Atenuação por O ₂ e Vapor de água	24
2.4.3. Atenuação causada pela chuva	26
2.4.4. Desvanecimento devido ao multi-percurso atmosférico	28
2.5. Ferramentas de <i>software</i>	29
2.5.1. Radio Mobile	29
2.5.2. Global Mapper 10.....	30
3. Software DiffractionLoss.....	32

3.1.	Estrutura e organização.....	32
3.2.	Aquisição e edição dos mapas	35
3.3.	Apresentação.....	37
3.4.	Funcionalidade.....	43
3.5.	Implementação dos modelos de propagação.....	47
4.	Projecto da rede rádio móvel para as Desertas.....	49
4.1.	Definição do sistema.....	49
4.2.	Legislação Portuguesa - SRMT	49
4.3.	Avaliação dos modelos de propagação	51
4.3.1.	Testes e ensaios do sistema de transmissão.....	51
4.3.2.	Medições e avaliação dos modelos de propagação	55
4.3.2.	Análise dos algoritmos e teste do DifrractionLoss	60
4.4.	Estudo de cobertura para as Ilhas Desertas.....	62
4.5.	Solução proposta.....	72
4.6.	Cobertura GSM na doca	78
4.6.1.	Repetidor GSM.....	78
4.6.2.	NanoBTS	80
5.	Projecto da ligação Madeira-Desertas	82
5.1.	Definição do sistema.....	82
5.2.	Opções de ligação	82
5.3.	Planeamento do Sistema	85
5.3.1.	Caracterização dos grupos de utilizadores e aplicações	85
5.3.2.	Dimensionamento da ligação.....	86
5.3.3.	Segurança.....	87
5.3.4.	Disponibilidade da ligação	87
5.3.5.	Perspectivas de evolução	88
5.3.6.	Locais de instalação dos emissores	88
5.4.	Legislação Portuguesa – Ligações ponto-a-ponto	89
5.5.	Cálculo da ligação.....	91
5.5.1.	Abordagem Teórica	91
5.5.2.	Simulação da ligação	95
5.6.	Solução proposta.....	98
6.	Conclusões e trabalho futuro	104
6.1.	Conclusões	104

6.2. Trabalho futuro	105
Referências	107
Anexo A – Parâmetros do modelo Longley Rice	110
Anexo B – Código desenvolvido para o DiffractionLoss	112
B1 - Código para a implementação da amostragem realizada ao perfil do terreno	112
B2 - Código para a implementação da modelo Deygout	114
B3 - Código para a implementação do modelo de Epstein-Pettersen	116
B4 - Código para a implementação do modelo ITU-R P530-12	117
B5 - Código para a implementação do modelo de Egli	118
B6 - Código para testegui.m	118
B7 - Código para testegui2.m	133
B8 - Código para cobertura.m.....	136
B9 - Código para config.m	144
B10 - Código para diffractionloss.m	145
B11 - Código para distance.m.....	146
B12 - Código para export.m	147
B13 - Código para getconfig.m.....	149
B14- Código para map.m.....	149
B15 - Código para getconfig.m.....	150
Anexo B16 - Código para raiofresnel.m	151
Anexo C – Resultados das simulações para o percurso 1,2 e 3	152
C1 – Perdas por difracção em dB para o percurso 1	152
C2 – Perdas por difracção em dB para o percurso 2.....	153
C3 – Perdas por difracção em dB para o percurso 3.....	154
Anexo D – Resultados das medições de perda e das respectivas simulações	156
D1 – Resultados das medições de perda e das respectivas simulações para a primeira fase de medições.....	156
D2 – Resultados das medições de perda e das respectivas simulações para a segunda fase de medições	157
Anexo E – Características dos equipamentos simulados para a ligação Madeira-Desertas	159
E1 – Características para o equipamento - “Araya – AI108-4958-O”	159
E2 – Características para o equipamento - “TrangoLink 6Ghz”	160
E3 – Características para o equipamento - “TrangoLink 11Ghz”	161

Anexo F – Diário de campo da visita às Ilhas Desertas	162
Anexo G – CD de instalação do Software DiffractionLoss.....	168

Índice de Figuras

Fig. 2-1 Sistema SMRT <i>Single-Site</i>	5
Fig. 2-2 Configuração <i>Multi-Site</i> com sistema de voto. a) Selecção do sinal mais forte. b) Comunicação com o repetidor seleccionado.	5
Fig. 2-3 Configuração <i>multisite simulcasting</i>	6
Fig. 2-4 Configuração <i>multisite multicasting</i>	6
Fig. 2-5 Esquema de ligação em cadeia de 2 repetidores	7
Fig. 2-6 Esquema de ligação de múltiplos repetidores numa configuração Y.	7
Fig. 2-7 Difraccção através de um obstáculo.	9
Fig. 2-8 Atenuação A_{ol} devido a um obstáculo em lâmina em função do parâmetro v [5].....	10
Fig. 2-9 Construção para o modelo de difracção Epstein-Petterson.....	11
Fig. 2-10 Construção para o modelo de difracção Deygout	12
Fig. 2-11 Caracterização do perfil para a aplicação dos factores correctivos. a) obstáculo principal é o m1. b) o obstáculo principal é o m2.	12
Fig. 2-12 Perda por difracção em ligações rádio sem linha de vista[9].	14
Fig. 2-13 Factor do Terreno vs Frequência[3].....	15
Fig. 2-14 Geometria de uma transmissão rádio com linha de vista obstruída por um ou mais obstáculos[11].....	17
Fig. 2-15 Factor de ajuste $V(0,5)$ para 8 regiões climáticas [11].....	18
Fig. 2-16 Esquema de blocos simplificado de uma ligação por feixes hertzianos	20
Fig. 2-17 Geometria da zona de Fresnel.....	22
Fig. 2-18 Zonas de Fresnel entre o emissor e o receptor.	23
Fig. 2-19 Horizonte de rádio para sistemas de feixes hertzianos.	24
Fig. 2-20 Atenuação especifica devido aos gases atmosféricos para uma pressão atmosférica de 1013 hPa, uma temperatura de 15 °C e uma concentração de vapor de água de 7,5 g/m ³ [17].....	25
Fig. 2-21 Janela principal do Radio Mobile e pormenor da análise de uma ligação ponto-a-ponto. Informação geográfica obtida a partir do site http://seamless.usgs.gov/index.php	30
Fig. 2-22 Visualização 3D do mapa da Região Autónoma da Madeira - Informação geográfica obtida a partir do sítio http://seamless.usgs.gov/index.php	31
Fig. 3-1 Construtor Gui no Matlab	33
Fig. 3-2 Organização e estrutura do DiffractionLoss.....	34
Fig. 3-3 Visualização do mapa no formato DXF no GlobalMapper.	35
Fig. 3-4 Visualização da grelha de elevação gerada pelo GlobalMapper.	36
Fig. 3-5 Modo “Análise Global”.	37

Índice de Figuras

Fig. 3-6 Visualização do mapa para selecção da localização do emissor e do receptor.....	38
Fig. 3-7 Módulo “Exportar Perfil”	38
Fig. 3-8 Modo “Análise de Perfil”	39
Fig. 3-9 Visualização da ligação em análise na figura 3-4 no Google Earth. A imagem das Ilhas Desertas resulta da importação do ortofoto das Ilhas Desertas.	39
Fig. 3-10 Modo "Análise de Cobertura".....	40
Fig. 3-11 Visualização do mapa de cobertura gerado pelo DiffractionLoss no GoogleEarth a 2D.	41
Fig. 3-12 Visualização do mapa de cobertura gerado pelo DiffractionLoss no GoogleEarth a 3D.	41
Fig. 3-13 <i>Layout</i> do módulo de configuração do DiffractionLoss.....	42
Fig. 3-14 Visualização do mapa das Ilhas Desertas a 2D.....	42
Fig. 3-15 Visualização do mapa das Ilhas Desertas a 3D.....	43
Fig. 3-16 Conversão das coordenadas geográficas para índices da matriz.	44
Fig. 3-17 Ilustração do problema em descobrir as coordenadas dos pontos por onde passa a recta que une dois pontos quaisquer de uma matriz	45
Fig. 3-18 Processo da 1ª amostragem do perfil do terreno entre TX e RX.	46
Fig. 3-19 Substituição do perfil de Fresnel pelos obstáculos dominantes.....	46
Fig. 3-20 Amostragem final do perfil do terreno entre TX e RX.....	47
Fig. 4-1 Esquema do sistema utilizado para efectuar as medições.....	51
Fig. 4-2 Navegador GPS eTrex Vista.....	52
Fig. 4-3 Antenas monopolo 469,5 MHz	52
Fig. 4-4 (a) - Um dipolo de $\frac{1}{4} \lambda$ acima de um plano condutor .(b) Equivalência de (a) a um dipolo de $\frac{1}{2} \lambda$ radiando no espaço livre	53
Fig. 4-5 Medição do coeficiente de reflexão (SWR) para as antenas monopolo $\frac{1}{4} \lambda$	53
Fig. 4-6 Diagrama de radiação da antena monopolo $\frac{1}{4} \lambda$ construída.	53
Fig. 4-7 Testes realizados nas imediações da Universidade da Madeira.....	54
Fig. 4-8 Testes realizados na Ponta de São Lourenço.	55
Fig. 4-9 Suporte para transporte da antena e do analisador de espectros.	55
Fig. 4-10 Transmissor 469,5 MHz montado na Deserta Grande. A localização do Transmissor é $32^{\circ}32'23,2N$ $16^{\circ}31'38,2W$	56
Fig. 4-11 Localização das medições efectuadas na Ilha da Deserta Grande	56
Fig. 4-12 Medições no topo do Ilha da Deserta Grande e previsões segundo os modelos em estudo.....	57
Fig. 4-13 Medições ao longo da costa Oeste do Ilha da Deserta Grande e previsões segundo os modelos em estudo.	58

Índice de Figuras

Fig. 4-14 Percentagem da ocorrência de erros de acordo com os vários modelos em estudo para as medições efectuadas nas Ilhas Desertas.	58
Fig. 4-15 Perda por difracção em dB - Percurso 1 - 5700m.	60
Fig. 4-16 Perda por difracção em dB, Percurso 2 - 3700m.	61
Fig. 4-17 Perda por difracção em dB, Percurso 3 - 2900 m.	61
Fig. 4-18 Resultado da simulação de cobertura no Ilha da Deserta Grande parao Radio-Mobile.	64
Fig. 4-19 Resultado da simulação de cobertura no Ilha da Deserta Grande parao DiffractionLoss.	64
Fig. 4-20 Cobertura visual a partir da Doca na Ilha da Deserta Grande.	65
Fig. 4-21 Diagrama de cobertura do repetidor instalado na Ilha da Deserta Grande.	65
Fig. 4-22 Previsão de cobertura - DiffractionLoss segundo o modelo do ITU-R P530-12, no calhau das areias pelo repetidor da figura 4-21.	66
Fig. 4-23 Diagrama de cobertura do repetidor instalado no Ilhéu Chão.	67
Fig. 4-24 Diagrama de cobertura do repetidor instalado na Ilha do Bugio.	67
Fig. 4-25 Diagrama de cobertura conjunta dos 3 repetidores.	68
Fig. 4-26 Diagrama cobertura do repetidor 4 instalado na Ilha da Deserta Grande.	69
Fig. 4-27 Diagrama cobertura dos 4 repetidores instalados nas Ilhas Desertas.	69
Fig. 4-28 Dispersão do sinal além da zona de interesse nas Ilhas Desertas.	70
Fig. 4-29 Resultado da simulação do link UHF entre o repetidor do Ilhéu Chão e o repetidor 1 da Ilha da Deserta Grande.	71
Fig. 4-30 Resultado da Simulação do link UHF entre o repetidor do Bugio e o repetidor 1 da Deserta Grande	71
Fig. 4-31 Resultado da Simulação do link UHF entre o repetidor 4 e o repetidor 1 da Ilha da Deserta Grande.	72
Fig. 4-32 Arquitectura da rede de rádio móvel das Ilhas Desertas.	75
Fig. 4-33 Esquema do mastro auto-suportado para suporte das antenas	77
Fig. 4-34 Esquema básico da ligação de um repetidor a uma BTS.	79
Fig. 4-35 Efeito de realimentação do repetidor.	79
Fig. 4-36 Esquema básico de ligação de um repetidor de frequência deslocada a uma BTS.	80
Fig. 4-37 Arquitectura NanoBTS[33].	80
Fig. 5-1 Ligação entre a Ilha da Madeira e as Ilhas Desertas com recurso a uma VPN através da Internet.	83
Fig. 5-2 Ausência de linha de vista da sede do PNM para a doca na Ilha da Deserta Grande.	83
Fig. 5-3 Ligação entre a Ilha da Madeira e as Ilhas Desertas com recurso a duas ligações de feixes hertzianos.	84
Fig. 5-4 Modelo de funcionamento da rede.	86

Índice de Figuras

Fig. 5-5 Cobertura visual no Funchal a partir da sede do PNM.	88
Fig. 5-6 Cobertura visual no Funchal a partir da doca na Ilha da Deserta Grande.....	88
Fig. 5-7 Propostas para a localização do ponto intermédio de ligação entre a sede do PNM e a doca.....	89
Fig. 5-8 Esquema de ligações e respectivas faixas de frequência a utilizar.	91
Fig. 5-9 Ligação B entre a localização 1 e a doca na Ilha da Deserta Grande.	96
Fig. 5-10 Variação da potência recebida em função da distância para a ligação B entre a localização 1 e a doca na Ilha da Deserta Grande.	96
Fig. 5-11 Torre de comunicações camuflada.....	100
Fig. 5-12 Torre de comunicações em metal.	100
Fig. 5-13 Arquitectura do sistema videovigilância.....	102

Índice de Tabelas

Tabela 2-1 Valores de k e α para as polarizações horizontal e vertical em função da frequência (Recomendação P.838 da ITU-R [18]).....	26
Tabela 2-2 Distribuição acumulada da intensidade da precipitação (em mm/h)[14]	27
Tabela 4-1 - Faixas de frequências para o território nacional reservadas a SRMT.....	50
Tabela 4-2 Largura de banda ocupada permitida por Faixa de Frequência.....	50
Tabela 4-3 Limites de potência para redes localizadas (fixas)	50
Tabela 4-4 Características do equipamento utilizado na simulação das medições efectuadas	57
Tabela 4-5 Erro médio e desvio padrão dos vários modelos simulados.....	59
Tabela 4-6 Características do equipamento utilizado nas simulações.....	63
Tabela 4-7 Características do sistema de comunicação para a interligação dos repetidores....	70
Tabela 4-8 Proposta 1 para a rede rádio móvel das Ilhas Desertas - <i>Duplex</i>	73
Tabela 4-9 Proposta 2 para a rede rádio móvel das Ilhas Desertas - <i>Simplex</i>	74
Tabela 4-10 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para as estações repetidoras	76
Tabela 4-11 Orçamento do equipamento de telecomunicações da rede móvel terrestre.....	77
Tabela 4-12 Orçamento para equipamento do sistema fotovoltaico da rede móvel terrestre...	78
Tabela 5-1 Comparação entre as duas soluções propostas.	84
Tabela 5-2 Caracterização dos grupos de utilizadores	85
Tabela 5-3 Dimensionamento da ligação entre a sede do PNM e a doca na Ilha da Deserta Grande.	87
Tabela 5-4 Utilizações de espectro isentas de licenciamento radioelétrico [29].....	89
Tabela 5-5 Excerto do QNAF 2008 - Redes e Serviços de comunicações electrónicas acessíveis ao público [29].....	90
Tabela 5-6 Cálculo horizonte de rádio para a localização 1 e 2.	91
Tabela 5-7 Equipamento seleccionado para as diferentes faixas de frequências	92
Tabela 5-8 Tabela resumo do cálculo efectuado para a localização 1.....	93
Tabela 5-9 Tabela resumo do cálculo efectuado para a localização 2.....	93
Tabela 5-10 Atenuação devido à chuva não excedida em mais de 0,01% do tempo para a ligação A e B.	94
Tabela 5-11 Probabilidade de desvanecimento em função da margem livre	95
Tabela 5-12 Caracterização dos sistemas criados para simulação no software " <i>Radio-Mobile</i> ".	96
Tabela 5-13 Resumo dos resultados de simulação da ligação A e B para a localização 1	97
Tabela 5-14 Resumo dos resultados da simulação da ligação A e B para a localização 2.....	97

Índice de tabelas

Tabela 5-15 Solução proposta para a ligação entre a Ilha da Madeira e a Ilha da Deserta Grande.	98
Tabela 5-16 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para a estação da ligação Madeira-Desertas instalada na doca.	101
Tabela 5-17 Orçamento do equipamento de comunicação para a ligação Madeira- Deserta Grande.	101
Tabela 5-18 Orçamento para sistema fotovoltaico a instalar na doca para a ligação Madeira - Deserta Grande	102
Tabela 5-19 Orçamento do equipamento de videovigilância	103
Tabela 5-20 Orçamento do sistema fotovoltaico para o sistema de videovigilância.....	103
Tabela 5-21 Orçamento total para o sistema de ligação entre a Ilha da Madeira e a Deserta Grande e para o sistema de videovigilância.	103

Lista de acrónimos

- AM - Modulação em Amplitude
- ANACOM - Autoridade Nacional de Comunicações
- BSC - Base Station Controller
- BTS - Base Transceiver System
- DRIGOT - Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território
- DTED - Digital Terrain Elevation Data
- DTMF - Dual Tone Multi Frequential
- DWG - extensão de arquivos de desenho em 2D e 3D nativa do software AutoCAD
- DXF - Drawing Exchange Format
- DXF - Data Exchange Format
- EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay Service
- ETSI - European Telecommunications Standards Institute
- FM - Modulação em Frequência
- GPS - Global Positioning System
- GSM - Global System for Mobile Communication
- GTOPO30 - Global Digital Elevation Model
- GUI - Guided User Interface
- ITU-R - Recomendação da União Internacional para as Telecomunicações
- JPEG - Joint Photographic Experts Group
- KML - Keyhole Markup Language
- KMZ - Keyhole Markup Language Zip
- NASA - National Geospatial-Intelligence Agency
- PIRE - Potência Isotrópica Radiada Equivalente
- PNM - Parque Natural da Madeira
- QAM - Modulação de Amplitude em Quadratura
- QNAF - Quadro Nacional de Atribuição de Frequências
- RX - Receptor
- SHP - Shape File
- SIG - Sistema de Informação Geográfica

SRMT - Sistemas Rádio Móveis Terrestres
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
SWR - Standing Wave Reflection
TETRA - Terrestrial Trunked Radio
TIN - MapInfo Professional Transaction *File*
TX - Emissor
UHF - Ultra High Frequency
USGS - U.S. Geological Survey
UTM - Projecção Universal Transversal de Mercator
VHF - Very High Frequency
VLAN - Virtual Local Area Network
WGS84 - World Geographic System

1. Introdução

Em pleno século XXI nunca foi tão fácil comunicar e estar ligado a tudo e a todos em qualquer lugar, existindo uma enorme necessidade de comunicação, por motivos de lazer e sociais ou por motivos profissionais. Um dos marcos mais importante na história das comunicações foi a invenção do telefone pelo italiano Antonio Meucci em 1876. O telefone evoluiu, assim como as centrais telefónicas que passaram a ser automáticas e em 1958 a Bells desenvolve o sinal do modem que possibilitava a transmissão de dados binários através das linhas de telefone. Anos mais tarde, em 1962, era lançado o primeiro satélite de comunicações da Telstar que servia as telecomunicações entre barcos em alto mar e entre estações terrestres. Os telefones evoluíam, mas a mobilidade era ainda inexistente. Em 1979 são testados os primeiros telefones móveis no Japão e em Chicago, em 1982, é inaugurado o serviço de email comercial entre 25 cidades. Por volta de 1990 aparece a Internet como hoje a conhecemos graças à Organização Europeia para a Investigação Nuclear. Hoje tem-se o VoIP – *Voice over IP*, televisão digital, televisão de alta definição, comunicações em tempo real a partir de qualquer parte do mundo, etc.

A necessidade de comunicar mais e melhor continua a promover um grande desenvolvimento da tecnologia no ramo das telecomunicações. Perante este cenário tecnológico é fundamental inovar e evoluir tirando partido das novas tecnologias e actualizar a forma como desempenhamos as nossas tarefas.

1.1. Enquadramento do projecto e motivação

As ilhas Desertas são constituídas por três ilhéus (Ilhéu Chão, Deserta Grande, e Bugio) situados a SE da Ilha da Madeira, no prolongamento para Sul da Ponta de São Lourenço, distando desta 11 milhas marítimas e 22 milhas marítimas do Funchal. A sua latitude é limitada pelos paralelos 32°24'05''N e 32° 35'20''N e a longitude pelos meridianos 16°27'45''W e 16°32'50''W.

A estação de serviço do Parque Natural da Madeira (PNM) nas Ilhas Desertas está localizada na Ilha da Deserta Grande, mais precisamente na Fajã da doca, tendo sido reconstruída recentemente em 2004. Esta estação alberga diariamente 365 dias por ano um pequeno grupo de vigilantes da Natureza (3 a 5), cuja principal função é a vigilância e fiscalização da Reserva Natural das Ilhas Desertas.

Durante as estadias que duram 15 dias, estes vigilantes permanecem nas Ilhas onde realizam tarefas de fiscalização e conservação, muitas vezes sem qualquer tipo de comunicação com a estação de serviço, o que em caso de acidente pode tornar-se muito perigoso já que não é possível pedir auxílio imediato.

A comunicação com a Ilha da Madeira a partir das Desertas é também muito difícil, sendo conseguida essencialmente via telemóvel, sofre de muitas limitações já que a cobertura na ilha é muito instável e deficiente não oferecendo garantias de se conseguir efectuar uma chamada num momento crucial como pode ser a ocorrência de um problema de saúde.

Assim, com este trabalho pretende-se projectar um sistema de comunicações para as Ilhas Desertas que vise a eliminação dos problemas anteriormente referidos relativamente à falta de comunicação nas ilhas.

Todo o trabalho apresentado neste documento foi desenvolvido no âmbito da dissertação apresentada à Universidade da Madeira, em Dezembro de 2009, para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Telecomunicações e Redes.

A realização deste projecto, em particular, deve-se essencialmente à vontade de desenvolver um trabalho com uma aplicação prática muito clara, que pudesse ser aplicado na resolução de um problema real e actual.

1.2. Objectivos a atingir

O presente trabalho tem como principais objectivos:

- Rede rádio móvel terrestre.
 - Analisar a legislação em vigor relativamente às redes rádio móveis;
 - Analisar e avaliar os modelos de propagação: Longley-Rice, Epstein-Petterson, Deygout, Egli e ITU-R P530-12;
 - Desenvolver um software de simulação para os modelos de Epstein-Petterson, Deygout, Egli e ITU-R P530-12;
 - Realizar um estudo de cobertura para as ilhas Desertas;
 - Propor uma solução para a falta de comunicação nas ilhas Desertas;
 - Propor uma solução para a melhoria da cobertura da rede GSM na estação de serviço do PNM na Deserta Grande;
- Ligação entre a ilha da Madeira e a Deserta Grande.
 - Dimensionar e caracterizar o sistema;
 - Analisar a legislação em vigor relativamente às ligações rádio ponto-a-ponto;
 - Realizar o projecto da ligação;
 - Propor uma solução para a ligação entre a ilha da Madeira e a Deserta Grande;
- Sistema de videovigilância para os lobos-marinhos.
 - Propor um sistema de videovigilância controlado à distância para a monitorização remota dos lobos-marinhos.

1.3. Estrutura da tese

O presente documento encontra-se estruturado em 6 capítulos, organizados da seguinte forma:

- **Capítulo 1 - Introdução** – Este capítulo tem como objectivo apresentar o contexto no qual se enquadra a presente dissertação, apresentando as motivações que levaram à realização da mesma e os objectivos a cumprir;
- **Capítulo 2 - Enquadramento teórico** – Neste capítulo é feita uma introdução à teoria necessária para a compreensão e justificação das várias opções tomadas durante o projecto e as ferramentas de *software* necessárias à realização do mesmo;

- **Capítulo 3 - Desenvolvimento do *software*** – Neste capítulo é apresentado o *software* desenvolvido para a análise e previsão das perdas por difracção associadas a um determinado percurso tendo por base a aplicação de alguns modelos de propagação;
- **Capítulo 4 - Projecto da rede rádio móvel para as Desertas** – Neste capítulo estão documentadas as várias fases do projecto da rede rádio móvel, desde a definição do sistema até à elaboração da proposta final. São ainda avaliados os vários modelos de propagação e os algoritmos desenvolvidos para a aplicação dos mesmos. Apresentam-se, também, duas soluções possíveis para o problema da falta de cobertura GSM na doca;
- **Capítulo 5 - Projecto da ligação Madeira-Desertas** – Neste capítulo estão documentadas as várias fases do projecto da ligação entre a ilha da Madeira e a Deserta Grande, desde a definição do sistema até à elaboração da proposta final;
- **Capítulo 6 – Conclusões e trabalho futuro** - Neste capítulo são expostas as conclusões finais do presente trabalho referenciando a sua contribuição para a área de projecto de sistemas de comunicações rádio. São, ainda, apresentadas algumas propostas relativamente a trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos.

2. Enquadramento teórico

Neste capítulo é feita uma revisão da literatura relativamente aos sistemas de rádio móvel terrestre, às diferentes tecnologias e configurações disponíveis. Posteriormente são apresentados os vários modelos de propagação e de difracção que servirão de base ao estudo de propagação a ser desenvolvido. Os sistemas de feixes hertzianos são também apresentados assim como o cálculo teórico a aplicar no seu projecto. Posteriormente enumera-se os principais elementos de propagação que devem ser tomados em conta no projecto destes sistemas. Por fim são apresentadas duas ferramentas de software fundamentais à realização de todo o projecto.

2.1. Sistemas de Rádio Móvel Terrestre - SRMT

Os Sistemas de Rádio Móvel Terrestre (SRMT) são tradicionalmente sistemas que permitem a comunicação entre uma base e diversos dispositivos móveis. São várias as identidades que usufruem deste tipo de sistemas, como por exemplo: Polícia, Bombeiros, Protecção Civil, Táxis, entre outros. De notar que estas redes também estão acessíveis ao público em geral principalmente com a utilização dos denominados *Walkie-Talkies*.

Os SRMT são diferentes dos Sistemas Móveis Celulares na medida em que funcionam com sistemas de rádio *Push-to-talk*. *Push-to-talk* é o nome dado aos dispositivos rádio móveis onde o utilizador tem de pressionar um botão para falar. Pode também ser referido como sendo half-duplex (ou simplex), o que por outras palavras significa que a comunicação só pode ser feita num sentido num determinado instante de tempo.

Inicialmente, os SRMT utilizavam a modulação em amplitude (AM) para transmitir voz[1]. No entanto, o AM era muito susceptível ao ruído o que degradava muitas vezes a qualidade da voz. Com o aparecimento da modulação em frequência (FM) a qualidade de recepção melhorou, sendo esta a modulação mais utilizada actualmente nos SRMT [1]. Um dos SRMT mais evoluídos é o *trunking*[1]. Nestes sistemas, os rádios envolvidos na comunicação estão constantemente negociando qual a frequência a utilizar aumentando a eficiência do serviço. Um dos sistemas *trunking* mais conhecido é o TETRA – *Terrestrial Trunked Radio*. Este standard de comunicação digital desenvolvido pelo ETSI – *European Telecommunications Standard Institute* permite a integração de comunicações de várias identidades numa mesma infra-estrutura, com total privacidade e segurança [1; 2].

Os SRMT podem utilizar uma só frequência ou uma dupla de frequências. Se for usada apenas uma frequência os utilizadores não poderão falar ao mesmo tempo que escutam, sendo este sistema é denominado *simplex*. Para aumentar a eficiência destas redes, alguns SRMT utilizam 2 frequências, uma para transmitir e outra para receber. Se nestas condições os rádios utilizados não forem capazes de transmitir e receber ao mesmo tempo o sistema é *half-duplex*. Se for possível receber e transmitir em simultâneo então o sistema denomina-se por *full-duplex* [1; 2].

2.1.1. Configuração SRMT

Os sistemas tradicionais de SRMT são organizados em vários repetidores com elevada potência de transmissão, o que permite alcançar grandes distâncias e cobrir grandes áreas com

um único repetidor. O repetidor recebe a comunicação do utilizador e retransmite a mesma comunicação com uma potência muito superior à emitida pelo terminal móvel.

O sistema mais básico é conhecido por ter uma configuração *Single-Site*. Esta configuração possui um único repetidor que retransmite as comunicações recebidas a partir dos terminais móveis. A figura 2-1 apresenta um esquema de um SRMT com uma configuração *Single-Site*[2].

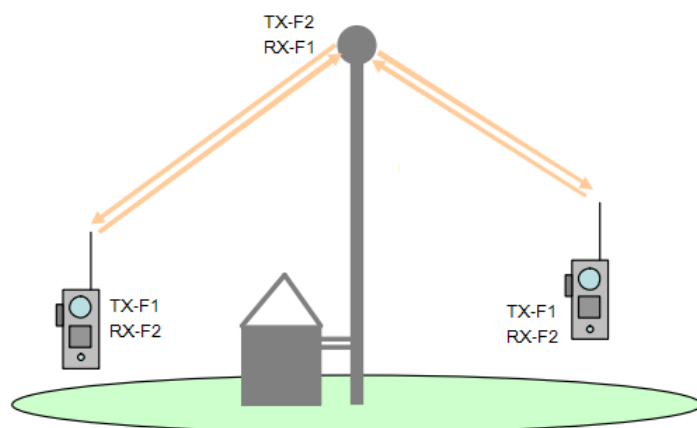


Fig. 2-1 Sistema SMRT *Single-Site*.

Se for necessária uma área de cobertura superior, é então necessário adoptar outro tipo de configuração. Uma das configurações possíveis é a *Voting System* [2]. Esta configuração possui vários repetidores espalhados pela área de interesse, que recebem as transmissões feitas a partir dos dispositivos móveis. Os sinais recebidos pelos repetidores são encaminhados para um controlador central que irá seleccionar o sinal mais forte, sendo depois retransmitido por um único repetidor. Esta configuração melhora a transmissão a partir do dispositivo móvel, sem a complexidade de ter múltiplos repetidores transmitindo em simultâneo [1]. A figura 2-2 apresenta um esquema de funcionamento deste tipo de configuração.

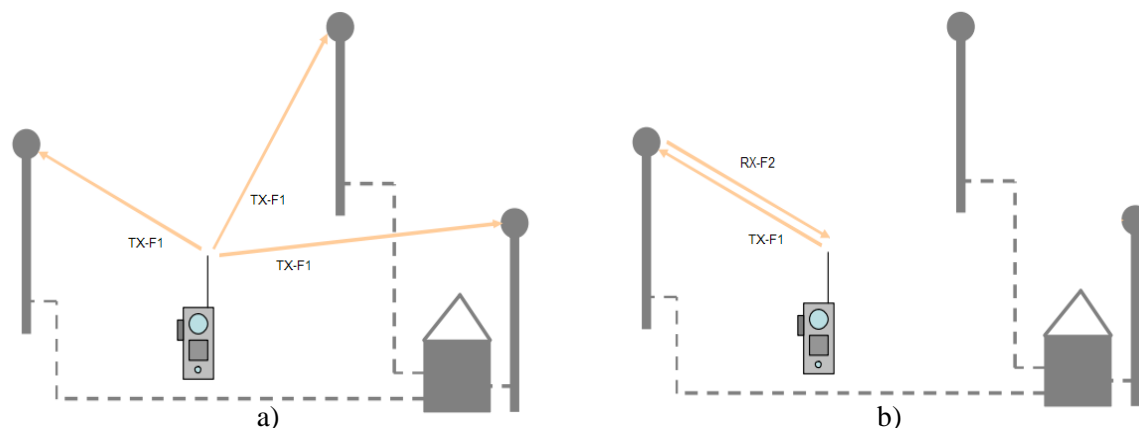


Fig. 2-2 Configuração *Multi-Site* com sistema de voto. a) Selecção do sinal mais forte. b) Comunicação com o repetidor seleccionado.

Outra configuração possível é a *Simulcasting* [1]. Nesta configuração todos os repetidores retransmitem a comunicação seleccionada pelo *Voting System*, ao contrário da anterior, em que apenas um repetidor transmite a comunicação. A transmissão em simultâneo por todos os

repetidores da rede só é possível graças à sincronização da frequência e da fase da comunicação transmitida. O facto da rede de repetidores transmitir em simultâneo, faz com que sejam necessários apenas dois canais de comunicação. Isto faz com que seja desnecessário o *roaming* nos terminais móveis e a conseqüente procura pelo repetidor mais próximo, o que permite reduzir o consumo de energia. Além das vantagens energéticas também o espectro é poupado sendo utilizada uma faixa muito estreita em todo o sistema. A figura 2-3 e a figura 2-4 Fig. 2-1 apresenta um esquema da configuração *Simulcasting*.

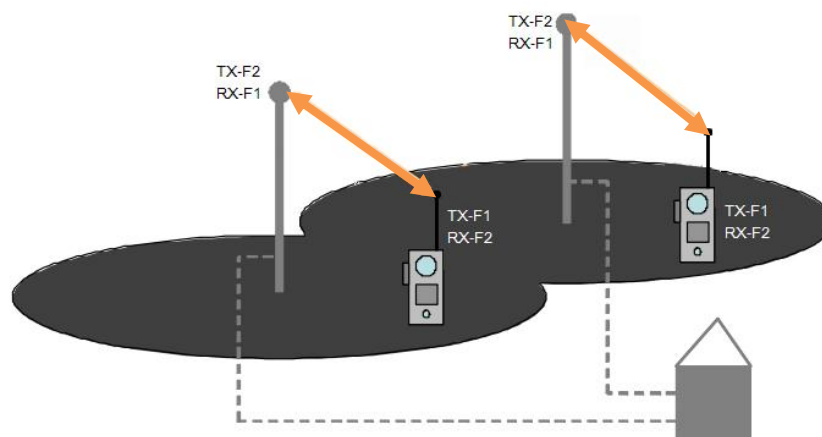


Fig. 2-3 Configuração multisite simulcasting.

A configuração *multicasting*, é em tudo semelhante à *simulcasting* com a diferença de que nesta configuração cada repetidor repete a comunicação recebida num canal diferente. Isto obriga a configurar nos terminais móveis os diferentes canais da rede e os identificativos de cada estação para que, ao deslocar-se da zona de cobertura do repetidor 1 para a zona do repetidor 2 (ver figura 2-4 Fig. 2-4), o dispositivo móvel saiba qual o canal a utilizar e com qual a estação deverá transmitir. Esta pesquisa por repetidores é feita sempre que o nível do sinal recebido desce abaixo do nível pré-estabelecido ou quando o terminal perde a comunicação com um repetidor [2] . A figura 2-4 apresenta um esquema da configuração *Multicasting*.

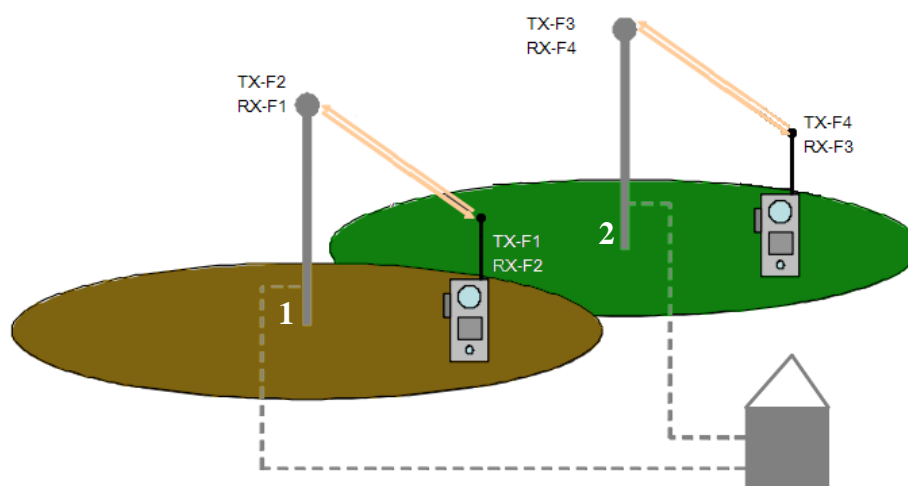


Fig. 2-4 Configuração multisite multicasting

Existem vários métodos disponíveis para interligar os repetidores de uma rede em cadeia, como por exemplo fibra óptica, linhas telefónicas ou através de feixes hertzianos na faixa UHF. Este último é o método mais utilizado. Esta ligação é activada sempre que um dos repetidores envolvidos na ligação recebe uma comunicação a partir de um dispositivo terminal. A figura 2-5 apresenta um esquema de uma rede com 2 repetidores ligados em cadeia. Sempre que o repetidor (1) recebe uma comunicação, ela é transmitida ao repetidor 2 através do *link* UHF e vice-versa.

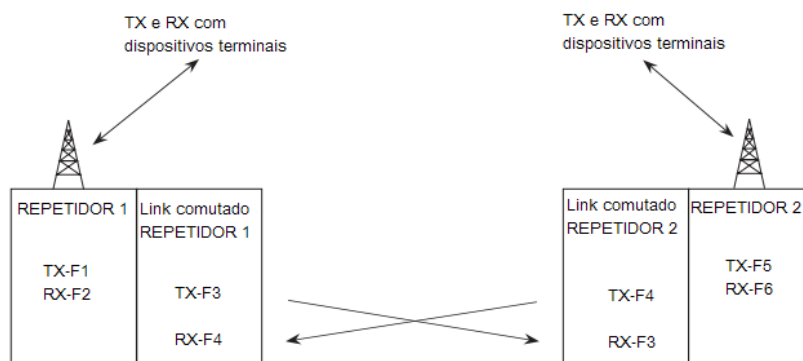


Fig. 2-5 Esquema de ligação em cadeia de 2 repetidores

A figura 2-6 apresenta um esquema de ligação de configuração Y [2]. Este tipo de configuração é utilizado quando o número de repetidores a ligar em cadeia é superior a 2. Nesta configuração é utilizado um elemento central que funciona como repetidor do *link* UHF ao qual se ligam todos os repetidores. Quando é efectuada uma transmissão a partir de um dispositivo terminal, os repetidores reencaminham a comunicação recebida para o repetidor do *link* UHF.

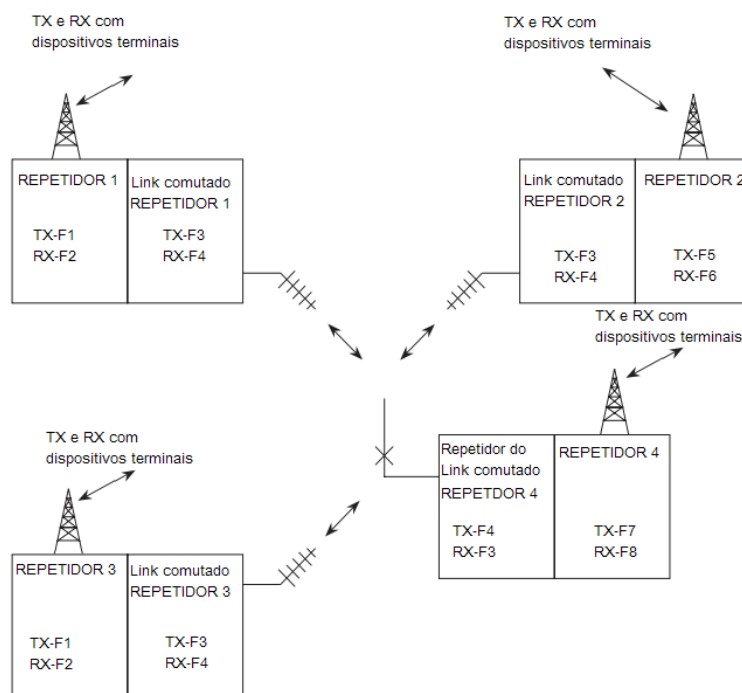


Fig. 2-6 Esquema de ligação de múltiplos repetidores numa configuração Y.

As comunicações recebidas são, então, analisadas pelo controlador, sendo posteriormente seleccionada aquela que apresentar o sinal mais forte. Depois de seleccionada a comunicação, esta é reencaminhada ao repetidor do *link UHF* que a transmite a todos os repetidores da rede.

Com a adição de equipamento DTMF (*Dual-tone, multi-frequency*) aos repetidores é possível desactivá-los até que sejam activados por um dispositivo terminal. Esta característica é muito importante em sistemas alimentados a baterias, já que permite poupar energia.

Existem, ainda, outras configurações possíveis para a interligação de repetidores. Por exemplo, é possível ter-se um SRMT interligado com outro SRMT num continente diferente, interligando os sistemas através de uma ligação à Internet. É possível, também, interligar um SRMT com a rede pública de telefones, permitindo efectuar e receber chamadas a partir dos rádios móveis desde que possuam um teclado numérico [2].

2.2. Modelos de Propagação

Para comunicações baseadas em cenários terrestres, as características do terreno afectam significativamente a propagação de ondas electromagnéticas. As características do terreno incluem apenas o relevo do terreno, não incluindo vegetação, edifícios ou outras estruturas construídas pelo homem. Quando o terreno é na sua maioria plano, devem ser considerados apenas os casos de reflexões múltiplas e difracção terrestre para distâncias superiores ao horizonte. Se o terreno possuir um relevo elevado, são produzidas perdas devido à ocorrência de difracção, sombreamento, bloqueio e reflexões múltiplas destrutivas mesmo a distâncias curtas.

Os modelos de rádio propagação, dada a sua natureza empírica, são desenvolvidos com base nos dados recolhidos para um cenário específico. Os dados recolhidos na maioria das vezes referem-se a valores medidos no local. Qualquer modelo exige que a quantidade de dados recolhida seja suficientemente grande, para que se possa prever com o máximo de precisão possível todos os tipos de situações passivas de ocorrem naquele determinado cenário.

Como todos os modelos empíricos, os modelos de rádio propagação não apresentam o comportamento exacto da ligação, mas sim, o comportamento mais provável naquela situação. O propósito de um modelo de propagação terrestre é fornecer uma medida média da perda existente na ligação em função da distância e das características do terreno. A variação média da perda devido a outros efeitos é tratada separadamente [3; 4].

2.2.1. Modelo do espaço livre

A perda no espaço livre é o elemento primário no que toca à propagação de sinais rádio. O seu valor depende apenas da distância e da frequência em uso. Na maioria das vezes, quando este modelo é aplicado em situações de espaço livre (inexistência de obstáculos entre o transmissor e o receptor), tem tendência a ser um modelo optimista. Verifica-se que o optimismo do modelo da perda no espaço livre aumenta com o aumento da distância.

O valor da perda no espaço livre pode ser calculado através da equação de Friis para o espaço livre, que pode ser escrita da seguinte forma [5]:

$$L = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.1)$$

onde G_T é o ganho da antena transmissora, G_R é o ganho da antena receptora, λ é o comprimento de onda em metros e d é a distância entre o transmissor e o receptor em metros.

A equação (2.1) pode ser expressa em dB da seguinte forma:

$$L_{dB} = -G_{TdB} - G_{RdB} - 20 \log(\lambda) + 20 \log(d) + 22 \quad (2.2)$$

A perda do espaço livre pode ser definida por:

$$F_{FSL} = -20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (2.3)$$

2.2.2. Modelo de Difracção

A Difracção é um fenómeno que permite a propagação das ondas para além do horizonte e o contorno dos obstáculos. Embora se verifique que a potência diminui de uma forma acentuada com o aproximar da zona de sombra, muitas das vezes é este pequeno sinal que permite as comunicações.

Quando uma frente de onda encontra um obstáculo cujas dimensões são da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda, aplica-se o princípio de Huygens que se baseia nas equações de Maxwell[5]:

“Todos os pontos de uma frente de onda podem ser considerados fontes secundárias que combinadas produzem uma nova frente de onda na direcção da propagação.”

Para se perceber como pode ser aplicado este princípio, seja o caso em que a frente de onda encontra um obstáculo. Observando a figura 2-7 é claro que para além do obstáculo existe apenas uma frente de onda plana CC' . A teoria de raios simples irá sugerir que na zona de sombra não existe qualquer campo electromagnético. Contudo o princípio de Huygens sugere que todas as frentes de onda originadas pelos pontos em BB' , ir-se-ão propagar na zona de sombra fazendo com que o campo electromagnético em cada ponto seja o resultado da interferência de todas as frentes de onda.

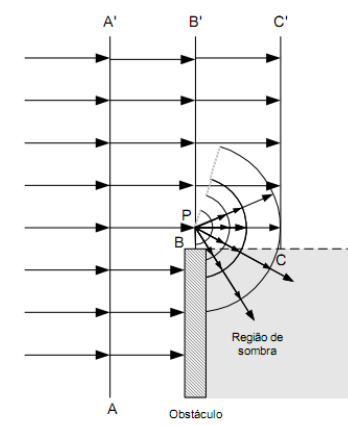


Fig. 2-7 Difracção através de um obstáculo.

Este “dobrar” aparente das ondas rádio devido a um obstáculo é conhecido por difracção[5].

O cálculo da atenuação provocada por muitos dos obstáculos reais só pode ser feito se estes forem aproximados por outros idealizados, em geral com comprimento ilimitado no sentido normal à direcção de propagação e espessura desprezável (obstáculos em lâmina- *Knife Edge*) ou espessura finita e topos arredondados de curvatura constante (obstáculos cilíndricos).

- **Obstáculo em lâmina isolado**

Considere-se um obstáculo formado por um semiplano normal à direcção de propagação. Considerando um caso ideal, pode-se caracterizar o obstáculo por um parâmetro adimensional conhecido como o parâmetro de difracção *Fresnel-Kirchhoff*, - v , dado por:

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} \quad (2.4)$$

em que h é a altura do obstáculo acima (sinal positivo) ou abaixo (sinal negativo) do raio directo entre antenas de emissão e recepção, d_1 e d_2 são as distâncias do obstáculo a ambas as antenas e λ é o comprimento de onda.

A atenuação suplementar (A_{ol}) devido ao obstáculo em dB é dada por [5]:

$$A_{ol} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\left[\frac{1}{2} + Ci(-v) \right]^2}{2} + \frac{\left[\frac{1}{2} + Si(-v) \right]^2}{2} \right\} \quad \text{dB} \quad (2.5)$$

onde v é o parâmetro definido na equação (2.4), Ci é a função coseno integral e Si é a função seno integral.

A função A_{ol} (dB) está representada graficamente na figura 2-8.

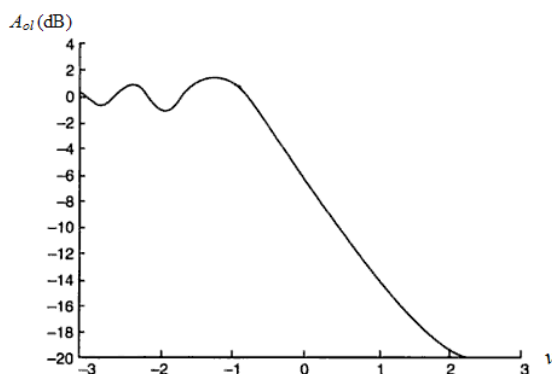


Fig. 2-8 Atenuação A_{ol} devido a um obstáculo em lâmina em função do parâmetro v [5].

Na maioria dos casos, o perfil do terreno entre o transmissor e o receptor não pode ser simulado com apenas um obstáculo, sendo por isso necessário encontrar métodos que permitam calcular as perdas por difracção num perfil com múltiplos obstáculos. Foi exactamente isso que Jacques Deygout sugeriu em 1966 [6], assim como Jess Epstein e Donald W. Petterson em 1953 [7].

2.2.3. Modelo de Epstein-Petterson

O modelo de Epstein-Petterson divide o perfil entre os vários obstáculos existentes, criando assim perfis parciais com um único obstáculo e calcula a atenuação de cada um deles. A atenuação total será dada pela soma das atenuações de cada um dos perfis parciais. Considere-se o percurso com 3 obstáculos apresentado na figura 2-9.

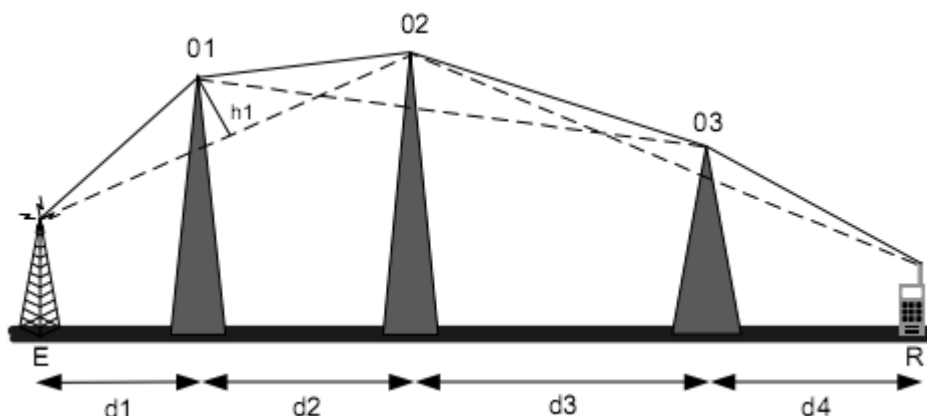


Fig. 2-9 Construção para o modelo de difração Epstein-Petterson.

O modelo pode ser aplicado da seguinte forma: inicialmente é desenhada uma linha desde o emissor 'E' até ao topo do obstáculo 02, sendo a perda do obstáculo 01 calculada a partir da equação (2.4) com a altura efectiva dada por $h1$. De uma forma análoga são calculadas as perdas devido aos obstáculos 02 e 03. Para o obstáculo 02 o perfil considerado é o 01-02-03 e para o obstáculo 03 o perfil considerado é o 02-03-R.

Para uma situação em que existam 2 obstáculos principais muito próximos é cometido um erro por excesso. Dada essa situação foi deduzida uma correcção que deverá ser aplicada no caso em que ambos os parâmetros v dos obstáculos sejam $\gg 1$ [5]. A correcção é somada à perda e é expressa em função de um parâmetro L' dado por [5]:

$$L' = \log_{10}(\operatorname{cosec} \alpha) \quad \text{dB} \quad (2.6)$$

onde para os obstáculos 1 e 2, $\operatorname{cosec} \alpha$ é dado por [5]:

$$\operatorname{cosec} \alpha = \left[\frac{(d_1 + d_2)(d_2 + d_3)}{d_2(d_1 + d_2 + d_3)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

Este modelo normalmente conduz a resultados optimistas, sendo que quando são utilizadas as correcções o resultado tende a ser mais realista [5; 7].

2.2.4. Modelo de Deygout

O modelo de Deygout introduz um novo conceito - obstáculo principal. A escolha do obstáculo principal é feita calculando o parâmetro v para cada um dos obstáculos como se os outros não existissem. O que tiver maior valor de v é o obstáculo principal e é calculada a sua

perda. O processo é depois replicado em cada um dos sub-percursos até que tenham sido considerados todos os obstáculos presentes. A figura 2-10 mostra a aplicação do modelo num percurso com três obstáculos.

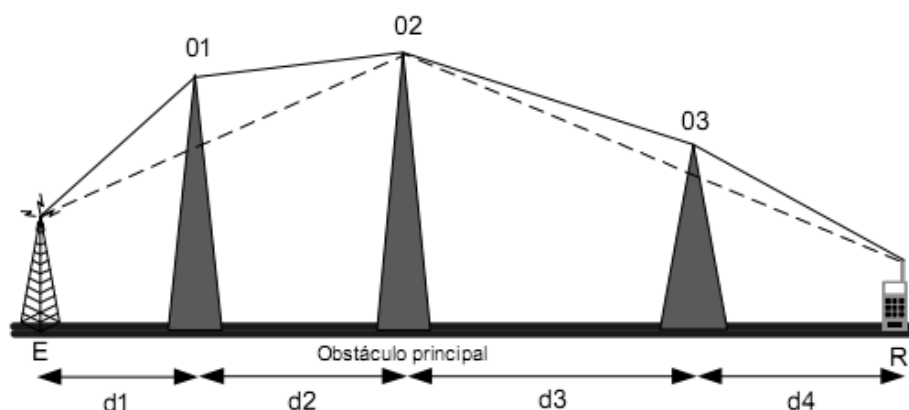


Fig. 2-10 Construção para o modelo de difracção Deygout

A precisão deste modelo aumenta quando existe um obstáculo claramente dominante em todo o perfil de terreno entre o emissor e o receptor e diminui com o aumento do número de obstáculos[5]. O modelo de Deygout apresenta uma concordância considerável com a teoria da difracção para dois obstáculos.No entanto, tem tendência a sobrestimar a perda em percursos onde outros modelos subestimam a perda [5; 6].

Dada esta realidade Deygout sugeriu a utilização de alguns factores de correcção que deverão ser utilizados em simultâneo com a aplicação do modelo em situações práticas. O factor de correcção deve ter em conta o espaçamento dos obstáculos e as respectivas alturas como mostra a figura 2-11[8].

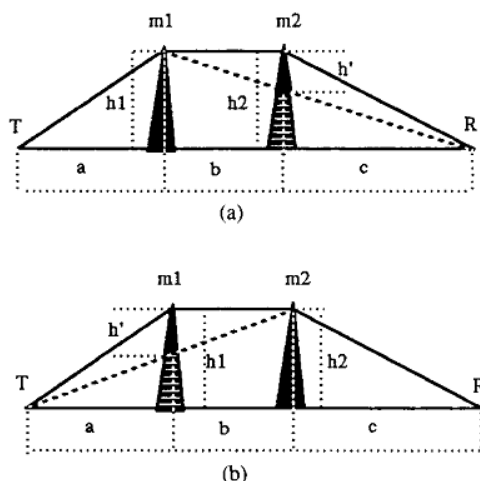


Fig. 2-11 Caracterização do perfil para a aplicação dos factores correctivos. a) obstáculo principal é o m1. b) o obstáculo principal é o m2.

Assim, o espaço é caracterizado por um ângulo α definido por:

$$\tan \alpha = \sqrt{\frac{b(a+b+c)}{ac}} \quad (2.8)$$

Sendo o factor de correcção dado por [8]:

$$TC = \left(12 - 20 \log_{10} \left(\frac{2}{1 - \frac{\alpha}{\pi}} \right) \right) \left(\frac{q}{p} \right)^{2p} \quad (\text{dB}). \quad (2.9)$$

onde p é dado por $\frac{h_1}{r_1} \sqrt{2}$, r_1 é dado por $\sqrt{\frac{\lambda a(b+c)}{a+b+c}}$, q é calculado a partir de $\frac{h_2}{r_2} \sqrt{2}$ e r_2 é dado por $\sqrt{\frac{\lambda c(a+b)}{a+b+c}}$.

A perda total corrigida, considerando 3 obstáculos, é então obtida pela seguinte equação:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 - TC_1 - TC_2 \quad (\text{dB}). \quad (2.10)$$

2.2.5. Modelo do ITU-R P530-12

As perdas por difracção num determinado percurso estão directamente relacionadas com o tipo de terreno e com a vegetação nele existente. Para um dado perfil de terreno, as perdas por difracção variam entre um valor mínimo obtido para um único obstáculo em forma de lâmina, com base no método de *Knife-edge*, e um valor máximo obtido para uma terra esférica. Estas perdas limite podem ser calculadas com base nos métodos apresentadas na recomendação ITU-R P549 [9].

A perda por difracção, considerando um terreno de agressividade média, pode ser aproximada pela seguinte equação [9]:

$$A_d = -20 \frac{h}{F_1} + 10 \quad (\text{dB}) \quad (2.11)$$

onde h é a diferença de alturas entre o maior obstáculo e a linha de vista. Se o obstáculo obstruir a linha de vista, então h é negativo e F_1 é o raio da primeira zona de Fresnel na localização do obstáculo.

sendo F_1 dado por:

$$F_1 = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fd}} \quad (\text{m}) \quad (2.12)$$

com f a frequência (MHz), d a distância entre o transmissor e o receptor (km) e d_1 e d_2 as distâncias desde os terminais até ao obstáculo (km).

A figura 2-8 mostra três gráficos que representam a perda estimada por difracção devido à rugosidade do terreno em função do quociente h/F . A curva B é a curva teórica da perda obtida pelo método de *Knife-edge* para um único obstáculo. A curva D é a curva teórica para terrenos suaves para a frequência de 6,5 GHz usando $4/3$ do raio da terra. A curva A_d é obtida pelo modelo do ITU-R P530 para propagação terrestre em terreno com rugosidade média, com base na equação (2.11).

Cada uma destas curvas representa a perda adicional à perda do espaço livre. Este modelo é geralmente considerado válido para perdas acima dos 15 dB, sendo todavia aceitável a sua extrapolação até 6 dB de perda como se pode verificar na figura 2-12.

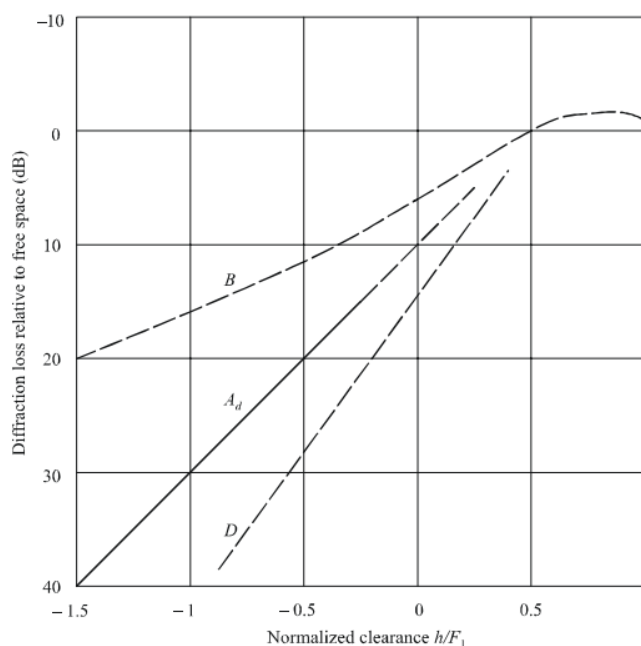


Fig. 2-12 Perda por difracção em ligações rádio sem linha de vista[9].

2.2.6. Modelo de Egli

O modelo de Propagação de Egli apesar de não ser um modelo universal é um modelo de utilização simples e coincidente com os dados empíricos, o que faz deste modelo uma escolha muito frequente para uma primeira análise. O modelo é descrito pela seguinte equação:

$$L_{50} = G_b G_m \left[\frac{h_b h_m}{d^2} \right]^2 \beta \quad (2.13)$$

em que G_b é o ganho da antena da base, G_m é o ganho da antena do rádio móvel, h_b a altura da antena da base em metros, h_m a altura da antena do rádio móvel em metros, d a distância entre os dois terminais em metros e $\beta = (40/f)^2$, com f a frequência em MHz.

Note-se que o modelo Egli apresenta o total da perda da ligação ao contrário de outros modelos que apresentam uma perda adicional à perda do espaço livre. Por outro lado, o modelo Egli é adequado para terrenos irregulares e não inclui as perdas por eventual vegetação existente. Assumindo uma distribuição log-normal da variação da altura do terreno Egli construiu uma família de curvas (ver figura 2-13) que apresentam o ajuste a adicionar à perda média da ligação, de acordo com a percentagem desejada de locais localizados sobre o círculo centrado na base com raio d [3].

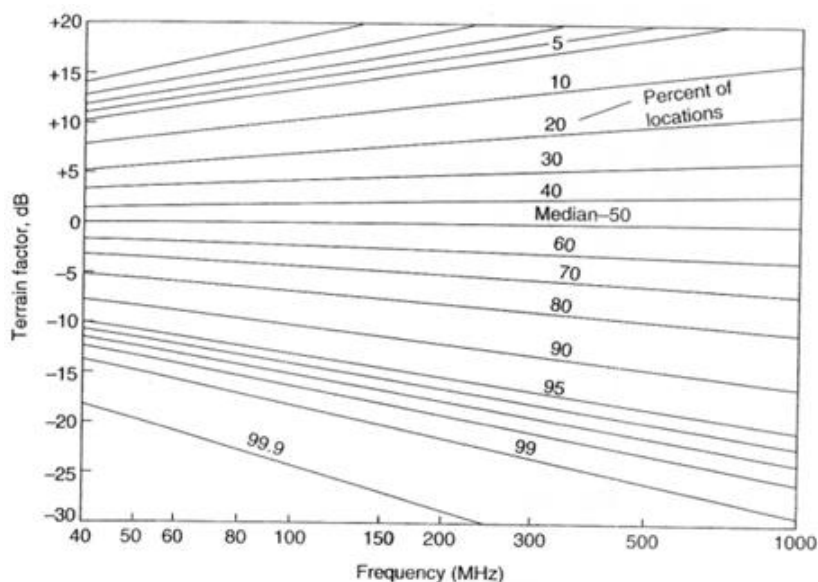


Fig. 2-13 Factor do Terreno vs Frequência[3].

2.2.7. Modelo de Longley-Rice

O modelo Longley-Rice é um modelo pormenorizado que foi desenvolvido nos anos 60 por A.G. Longley e P. L. Rice, tendo vindo a ser melhorado ao longo dos anos [3]. O modelo é baseado numa recolha de dados relativa à propagação de ondas rádio em terreno irregular. As medições foram feitas utilizando frequências a partir de 20 MHz até 10 GHz, com distâncias de 1 a 2000 km, com as antenas colocadas entre 0,5 e 3000 m para ambas as polarizações horizontal e vertical.

O modelo faz uso de dados relativos ao relevo do terreno, clima, características do solo e curvatura terrestre para o cálculo da propagação das ondas rádio. Dado o nível de detalhe do modelo e da complexidade das suas equações, este modelo é normalmente utilizado sob a forma de um programa de software.

Longley-Rice assume um modelo de propagação em linha de vista com apenas uma reflexão terrestre para locais próximos da antena transmissora. Para distâncias médias Longley-Rice assume uma dupla difracção com obstáculo em forma de lâmina e para distâncias superiores é utilizado um modelo de propagação troposférica. Estas distâncias são dependentes do perfil do relevo ao longo do percurso, da altura das antenas e da refractividade da atmosfera [3].

O modelo incorpora um parâmetro para caracterizar a variação da altitude, denominado por Δh . No Anexo A é apresentada uma tabela com as variáveis de entrada do modelo Longley-

Rice e os valores sugeridos. Os valores de Δh sugeridos são utilizados quando não estão disponíveis mapas digitais com o perfil do terreno [3; 10; 11].

O modelo Longley-Rice define 2 modos de operação:

- Modo de área;
- Modo Ponto-a-Ponto.

O modo de área é usado nos casos em que não é conhecido perfil do terreno no percurso entre o emissor e o receptor. São utilizados parâmetros estatísticos e ambientais no cálculo das perdas de propagação, sendo a variação da altitude dos obstáculos determinada através do parâmetro Δh .

O modo Ponto-a-Ponto utiliza mapas digitais com informação do relevo a partir dos quais é retirada a informação do perfil do terreno entre o emissor e receptor. Neste modo são também utilizados parâmetros estatísticos e ambientais no cálculo das perdas, de forma a prever a perda com o máximo de exactidão possível[12].

A perda inerente a um determinado percurso é dada pelo somatório entre a perda do espaço livre L_{bf} e a atenuação de referência A_{cr} . A perda do espaço livre é dada pela equação (2.3), enquanto que a A_{cr} é calculada através de 3 métodos distintos. Cada um destes métodos é característico do mecanismo de propagação predominante para cada das seguintes situações em particular: linha de vista; linha de vista obstruída por obstáculos e linha de vista obstruída pela curvatura da Terra.

Quando a antena emissora e receptora encontram-se em linha de vista o modelo de dois raios é usado para calcular a atenuação A_0 , A_1 e A_{L_s} , a distâncias específicas d_0 , d_1 e d_{L_s} inferiores à distância do horizonte, com d_0 a maior das distâncias à qual a atenuação A_0 é a mesma que para o espaço livre à mesma distância, d_1 é maior que d_0 mas inferior ao limite da distância para o qual é válido o modelo de dois raios e d_{L_s} a distância ao horizonte para uma terra plana. Estas três atenuações A_0 , A_1 e A_{L_s} são utilizadas para determinar o declive k_1 e k_2 da curva A_{cr} para distâncias $1 \leq d \leq d_{L_s}$ [11].

A curva A_{cr} é então dada por[11]:

$$A_{cr} = A_0 + k_1(d - d_0) + k_2 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (\text{dB}). \quad (2.14)$$

O método detalhado para o cálculo de k_1 e k_2 pode ser encontrado em [11]. Quando o valor de A_{cr} calculado for menor que 0 então $A_{cr} = 0$.

Para o caso em que a linha de vista entre o emissor e o receptor esteja obstruída por um ou mais obstáculos, o mecanismo de propagação dominante é a difracção.

A figura 2-14 representa a geometria utilizada pelo modelo de Longley-Rice neste tipo de situação.

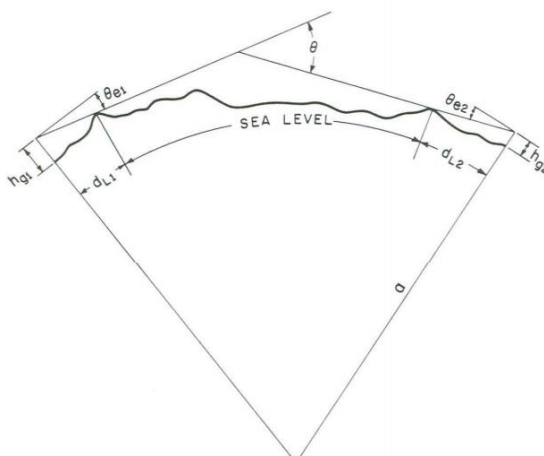


Fig. 2-14 Geometria de uma transmissão rádio com linha de vista obstruída por um ou mais obstáculos[11].

A atenuação por difracção é calculada combinando estimativas determinadas de duas formas diferentes, uma através da modelação do terreno em 2 obstáculos em forma de lâmina baseada na teoria de Fresnel-Kirchhoff e uma outra com base numa modificação do método de cálculo de difracção sobre terreno irregular desenvolvida por Vogler.

A perda por difracção é dada, então por [11; 13]:

$$A_d = (1 - w)A_k + wA_r \quad \text{dB} \quad (2.15)$$

onde o factor w é determinado empiricamente como uma função da frequência e do terreno dado por:

$$w = \left\{ 1 + 0.1 \left[\frac{\Delta h(d)}{\lambda} \left(\sqrt{\frac{h_{e1}h_{e2} + C}{h_{g1}h_{g2} + C}} + \frac{a\theta_e + d_L}{d} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{-1} \quad (2.16)$$

com $\frac{\Delta h(d)}{\lambda} \leq 1000$, $\Delta h(d)$ a irregularidade do terreno, λ o comprimento de onda, $h_{e1,2}$, $h_{g1,2}$ a são as alturas efectivas e estrutural das antenas respectivamente, medidas em metros, a é o raio efectivo da Terra, d_L é a distância ao horizonte, d é a distância para a qual são calculados os parâmetros A_k e A_r medido em quilómetros, θ_e é a soma em radianos dos ângulos de elevação. Instruções pormenorizadas de como calcular a altura efectiva podem ser encontradas em [11].

Para um terreno muito suave tem-se $w \cong 1$ e para terreno extremamente agressivo tem-se $w \cong 0$ [11].

Quando a distância total da ligação d ou a distância angular θ são elevadas ou em situações em que a curvatura da terra impede a linha de vista, a atenuação por dispersão A_d é dominante. Assim sendo, sempre que o produto da distância d em km pela distância angular θ for superior a 0,5 o modelo calcula a atenuação por dispersão. O valor da atenuação, nesta situação em particular será dado pelo menor valor entre a atenuação por difracção e por dispersão [11].

Para valores elevados do produto θd é assumida uma dependência linear da atenuação por dispersão com a distância. Sendo assim, A_s é calculada para duas grandes distâncias d_5 e d_6 sendo a curva entre os pontos (A_5, d_5) e (A_6, d_6) definida pela intersecção A_{es} e um declive m_s dados por:

$$A_{es} = A_5 - m_s d_5 \quad (\text{dB}); \quad (2.17)$$

$$m_s = \frac{A_6 - A_5}{d_6 - d_5} \quad \text{db/km} . \quad (2.18)$$

A atenuação de referência A_{cr} para qualquer distância superior a d_x é dada por:

$$A_{cr} = A_s = A_{es} + m_s d \quad (\text{dB}), \text{ para } d \geq d_x. \quad (2.19)$$

Além do cálculo da perda inerente a um determinado percurso, o modelo de Longley-Rice prevê ainda o cálculo de perdas associadas a fenómenos aleatórios e a previsão de erros e consequente probabilidade de funcionamento do serviço [11].

A atenuação calculada anteriormente A_{cr} é um valor que varia ao longo do tempo devido a fenómenos aleatórios, que não são possíveis de prever exactamente. O modelo de Longley-Rice descreve uma função $V(0,5)$ (ver figura 2-15) para períodos específicos de tempo e para as diferentes regiões climáticas do mundo que define a diferença entre o valor médio de atenuação ao longo do ano e A_{cr} . Esta função é ainda dependente da distância efectiva d_e em km.

Tendo em conta este novo factor, a atenuação média ao longo do ano $A(0,5)$ é dada por:

$$A(0,5) = A_{cr} - V(0,5) \quad (\text{dB}). \quad (2.20)$$

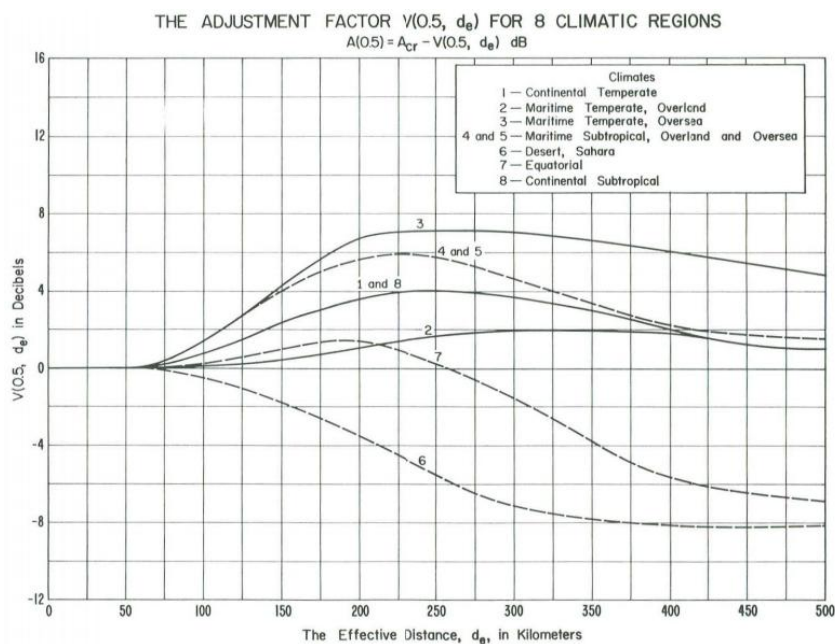


Fig. 2-15 Factor de ajuste $V(0,5)$ para 8 regiões climáticas [11].

Esta função de ajuste, $V(0,5)$, foi definida com base em medições efectuadas nos Estados Unidos, durante períodos de tempo superiores a um ano, verificando-se ainda que a atenuação máxima ocorre nos períodos de Inverno, especialmente durante as tardes e a atenuação mínima durante as manhãs do Verão.

Em ligações rádio o sinal recebido não segue sempre o mesmo percurso, resultando numa variação da potência do sinal recebido. O modelo de Longley-Rice contempla essa situação considerando um factor adicional denominado de - variação da localização, Y_L (dB).

Uma ligação rádio fornece um determinado nível de serviço satisfatório g_r se a relação sinal ruído R disponível exceder o nível mínimo dado por $R_r(g_r)$ para uma fracção de tempo q_T e para uma fracção de localização q_L .

O limite de ruído aceitável para um funcionamento satisfatório pode ser dado por:

$$R(q_T, q_L, Q) = R_o + Y_T + Y_L + Y_C \quad (\text{dB}). \quad (2.21)$$

com R_o o valor médio da relação sinal ruído; Y_T , Y_L e Y_C representam factores de segurança requeridos para atingir um funcionamento estável durante uma fracção de tempo q_T , para uma fracção de localizações q_L , com uma probabilidade Q . Y_T depende apenas de q_T , Y_L de q_L com q_T fixo e Y_C da probabilidade Q , com q_T e q_L fixos.

A definição das funções Y_T , Y_L e Y_C e o respectivo método de cálculo pormenorizado pode ser encontrado em [11].

2.3. Sistemas de feixes hertzianos

Os sistemas de feixes hertzianos são frequentemente utilizados para proporcionar uma ligação sem fios entre dois pontos separados de grandes distâncias. Estes sistemas podem ser criados como sendo a ligação principal ou como uma ligação de segurança caso falhe a ligação física, que poderá ser através de fibra óptica, rede telefónica ou internet falhe.

Este tipo de sistemas de comunicação são normalmente instalados em torres com dezenas de metros de altura, distanciadas por vezes até centenas de quilómetros. As taxas de transmissão variam desde alguns Kbps até centenas de Mbps.

O tipo de antenas mais adequado a estes sistemas são as antenas direccionais que por serem muito directivas permitem alcançar grandes distâncias.

2.3.1. Descrição de uma ligação

Num sistema de feixes hertzianos, com o digrama de blocos apresentado na figura 2-16, os terminais estão localizados em pontos elevados onde seja possível existir uma linha de vista que os una sem obstruções. A localização dos terminais deverá ser a mais próxima possível da origem e do destino do tráfego e de fácil acesso quer por viaturas quer por pessoas. O fornecimento de energia eléctrica deverá, também, ser um factor determinante na escolha da localização.

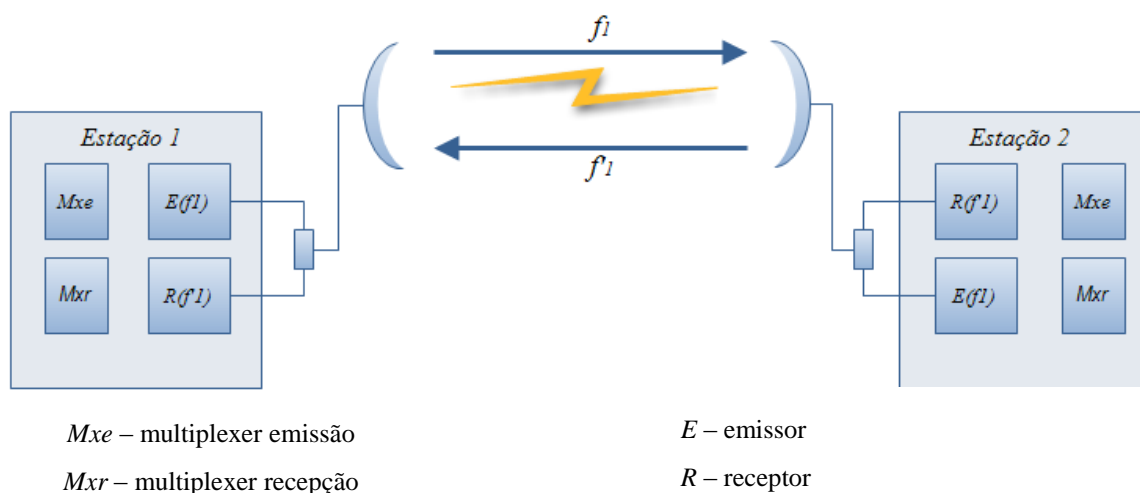


Fig. 2-16 Esquema de blocos simplificado de uma ligação por feixes hertzianos

Todos os emissores e receptores de cada estação utilizam na maioria dos casos a mesma antena directiva para transmitir e receber. A antena normalmente é instalada numa torre ou mastro, ligadas através de cabo coaxial ou guia de onda ao emissor e receptor respectivamente.

Para frequências superiores a 1 GHz, as antenas utilizadas são maioritariamente antenas parabólicas [14]. Devido à sua elevada directividade, é comum existir uma estrutura unida à antena para reduzir o efeito da diversidade e proteger das intempéries.

Nas frequências inferiores a 1 GHz normalmente utilizam-se antenas Yagi-Uda, ou helicoidais, isoladas ou em agrupamentos, com ou sem planos reflectores de acordo com a polarização, largura de banda ou ganho desejado [14].

2.3.2. Projecto teórico de um sistema de feixes hertzianos

O presente cálculo da ligação que se apresenta foi baseado no método apresentado para o cálculo de uma ligação através de feixes hertzianos em [14].

A largura de banda de Nyquist é dada por:

$$b_{rf} = \frac{f_b}{\log_2(m)} \quad (2.22)$$

com f_b o débito binário pretendido e m o factor de o m -QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), o que permite um factor de excesso de banda que obedece a:

$$\beta \leq \frac{b_{orf}}{b_{rf}} - 1 \quad (2.23)$$

com b_{orf} a largura de banda do canal e b_{rf} a largura de banda de Nyquist.

A recomendação F.634-3 do ITU-R “*Error performance objectives for real digital radio-relay links forming part of a high-grade circuit within an integrated services digital network*”

não é aplicável a ligações com menos de 280 km. No entanto, dada a inexistência de outro critério, admitir-se-á a sua aplicação neste caso específico. Sendo assim, a F.634-3 do ITU impõe que [14]:

A taxa de erros binários não exceda:

1. 10^{-6} durante mais de $0,4d/2500$ % de 1 minuto no pior mês;
2. 10^{-3} durante mais de $0,054d/2500$ % de 1 segundo no pior mês.

com d a distância em km.

A probabilidade de que a potência do sinal recebido p seja inferior a p_0 é dada, para o pior mês, em terreno médio, nas condições habituais na Europa Ocidental por [14],

$$P(p \leq p_0) = 1,4 \times 10^{-8} f d^{3,5} \frac{1}{m} \quad (2.24)$$

com $m = p_n/p_0$, sendo p_n a potência do sinal recebido em condições normais de propagação, isto é, sem desvanecimento, f é a frequência em MHz e d a distância em km.

A margem uniforme da ligação M_{ui} , em que o índice i se refere à cláusula da recomendação F.634-3 ITU-R considerada, é a diferença entre a relação portadora ruído sem desvanecimento C/N_0 e a relação portadora-ruído para atingir a taxa de erros desejada C/N_i [14]:

$$M_{ui} = \frac{C}{N_0} - \frac{C}{N_i} \quad (\text{dB}). \quad (2.25)$$

A relação portadora-ruído na entrada do desmodulador, C/N_0 , pode ser calculada da seguinte forma:

$$\frac{C}{N_0} = P_E - A_E - A_R + G_E + G_R - A_0 - A_a + 174 - 10 \log_{10}(b_{rf}) - Nf; \quad (2.26)$$

sendo P_E a potência à saída do emissor em dBm, A_E a perda do cabo da antena emissora, A_R a perda do cabo da antena receptora, G_E o ganho da antena emissora, G_R o ganho da antena receptora, A_0 a perda livre, A_a a atenuação suplementar devido à presença de O_2 e de vapor de água, b_{rf} a largura de banda de Nyquist e Nf o ruído à entrada do desmodulador

Considerando o efeito do desvanecimento selectivo, tem-se que [14]:

$$\frac{1}{m_i} = \frac{1}{m_{ui}} + \frac{1}{m_s} \quad (2.27)$$

sendo m_s estimado a partir da área da assinatura:

$$m_s = \frac{8000}{s} \quad (2.28)$$

s em MHz. Com a equação (2.27) pode-se calcular a margem real da ligação (M_i – dB ou m_i – linear) para cada uma das cláusulas.

A margem líquida M_{li} que o sistema oferece em relação aos objectivos estabelecidos é dada por [14]:

$$M_{li} = M_i - M_{oi} \quad (\text{dB}). \quad (2.29)$$

com M_{oi} o valor em dB de m obtido a partir da equação 2.24, substituindo os valores de P pelas probabilidades respectivas da 1ª e 2ª cláusula da recomendação F.634-3 ITU-R.

2.4. Elementos de propagação

2.4.1. Zonas de Fresnel

Considere-se o esquemático da geometria da zona de Fresnel representado na figura 2-17. O vector ER é a linha de vista entre o emissor e o receptor, sendo a distância que os separa dada por d_1+d_2 .

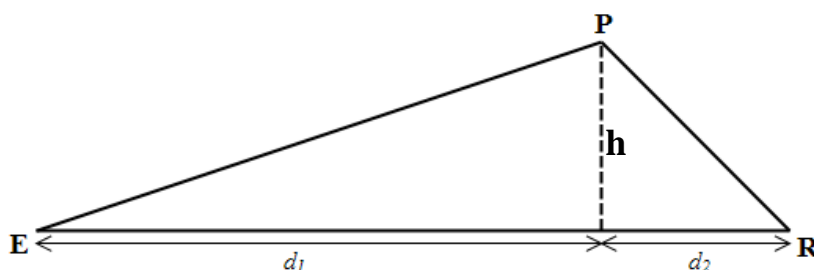


Fig. 2-17 Geometria da zona de Fresnel.

Se o ponto P for um obstáculo o sinal EPR ir-se-á combinar com o sinal directo ER em R. Dado que a distância percorrida por EPR é superior à percorrida por ER este sinal terá uma fase diferente de ER.

As distâncias do percurso directo e do percurso através do obstáculo são dadas por:

$$ER = d_1 + d_2$$

$$EPR = \sqrt{d_1^2 + h^2} + \sqrt{d_2^2 + h^2}$$

vindo que a diferença da distância dos percursos é dada por [14]:

$$\Delta = \sqrt{d_1^2 + h^2} + \sqrt{d_2^2 + h^2} - d_1 - d_2.$$

Se $h \ll d_1$ e $h \ll d_2$ pode-se usar a expansão binomial tornando a equação anterior em:

$$\Delta = \frac{h^2}{2d_1} + \frac{h^2}{2d_2}.$$

A diferença de fase devida a Δ é dada por:

$$\phi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda}.$$

Então

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h^2}{2} \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right) \quad (2.30)$$

As localizações dos pontos que vão originar reflexões destrutivas podem ser identificada definindo um termo h_n , dado por[14]:

$$h_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.31)$$

com n um número ímpar, isto devido ao facto de que quando n é ímpar a diferença do comprimento dos percursos em λ não é um valor inteiro.

Na figura 2-18 está representado um elipsóide de Fresnel entre um emissor e receptor.

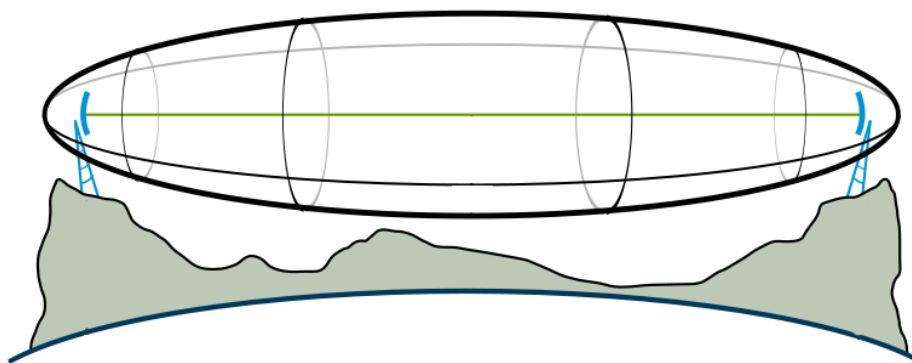


Fig. 2-18 Zonas de Fresnel entre o emissor e o receptor.

Na maioria dos casos tenta-se garantir a inexistência de obstáculos na primeira zona de Fresnel. Se tal não for possível, a obstrução máxima não poderá ser superior a 40%, caso contrário a potência do sinal recebido será drasticamente reduzida. Igualmente importante é garantir que os obstáculos não estejam colocados perto das elipsóides de ordem ímpar, já que estes também irão contribuir negativamente[3; 14]

Outro factor também importante para o sistema de feixes hertzianos, principalmente para grandes distâncias, é o horizonte de rádio. Em telecomunicações, o horizonte de rádio é tido como o lugar geométrico dos pontos nos quais os raios directos de uma antena são tangentes à superfície da Terra, como mostra a figura 2-19.

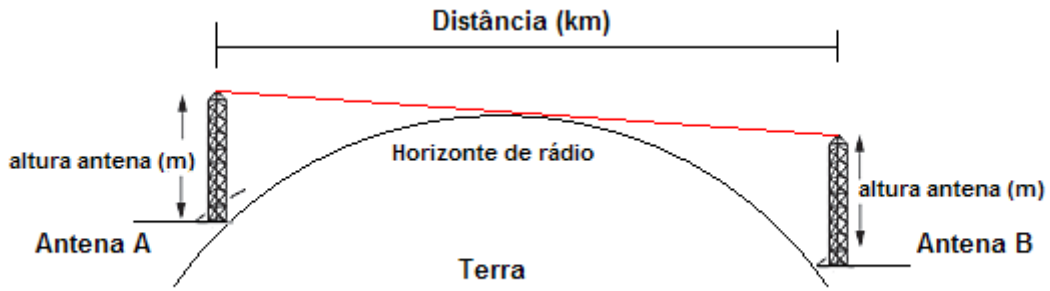


Fig. 2-19 Horizonte de rádio para sistemas de feixes hertzianos.

Se a Terra fosse uma esfera perfeita e não houvesse anomalias na atmosfera, a distância máxima teórica entre duas antenas que garante a cobertura visual é dada por[15]:

$$D = 3.569 \times \sqrt{h_1} + 3.569 \times \sqrt{h_2} \quad \text{Km} \quad (2.32)$$

com h_1 e h_2 a altura absoluta da antena transmissora e receptora, respectivamente em m.

2.4.2. Atenuação por O₂ e Vapor de água

Os gases atmosféricos, em particular o oxigénio, o vapor de água, o nevoeiro e a chuva são responsáveis por uma atenuação suplementar nos percursos de um feixe hertziano.

A atenuação atmosférica é mínima numa janela que se estende até cerca de 10 GHz. Até aos 2 GHz pode-se mesmo desprezar a atenuação salvo situações de grandes distâncias. Entre 2 e 13 GHz é suficiente considerar o efeito da chuva intensa, que é muitas vezes o factor determinante na ligação.

Para um percurso de comprimento d , o valor da atenuação suplementar devida à presença da atmosfera A_a expressa em dB é dada por [14; 16]

$$A_a = \int_0^d [\gamma_o(x) + \gamma_w(x)] dx \quad (2.33)$$

com x o comprimento do raio directo e γ_o e γ_w os coeficientes da atenuação por unidade de comprimento devido ao oxigénio e ao vapor de água, respectivamente

Nos percursos terrestres é usual simplificar a equação (2.33) já que não existe uma variação apreciável dos coeficientes de atenuação ao longo do percurso[14]:

$$A_a = (\gamma_{o0} + \gamma_{w0})d \quad (2.34)$$

Para altitudes até 5 km as atenuações específicas, do ar seco, γ_o e do vapor de água γ_a , em dB/km podem ser estimadas com uma precisão de $\pm 15\%$ para frequências inferiores ou iguais a 57 GHz γ_o é dado por[16]:

$$\gamma_o = \left[\frac{7,27r_t}{f^2 + 0,351r_p^2r_t^2} + \frac{7,5}{(f - 57)^2 + 2,44r_p^2r_t^5} \right] f^2 r_p^2 r_t^2 \times 10^{-3}; \quad (2.35)$$

com f a frequência em GHz, r_p dado por $\frac{p}{1013}$ com p a pressão atmosférica em hPa e r_t dado por $\frac{288}{273+T}$ com T a temperatura em graus centígrados.

A atenuação do vapor de água, γ_w é dada por [16]:

$$\begin{aligned} \gamma_w = & \left[3,27 \times 10^{-2} r_t + 1,67 \times 10^{-3} \rho \frac{r_t^7}{r_p} + 7,7 \times 10^{-4} f^{0.5} \right. \\ & + \frac{3,79}{(f - 22,235)^2 + 9,81r_p^2r_t} \\ & + \frac{11,73r_t}{(f - 183,31)^2 + 11,85r_p^2r_t} \\ & \left. + \frac{4,01r_t}{(f - 325,153)^2 + 10,44r_p^2r_t} \right] f^2 \rho r_p r_t \times 10^{-4}; \end{aligned} \quad (2.36)$$

onde ρ é a quantidade de vapor de água g/m^3 e r_p e r_t são calculados da mesma forma que na equação (2.35) onde foram definidos.

Importante salientar que na equação (2.36) ρ não pode exceder o valor da saturação à temperatura considerada [14; 16].

Normalmente, os valores da atenuação podem ser calculados a partir das curvas da figura 2-20.

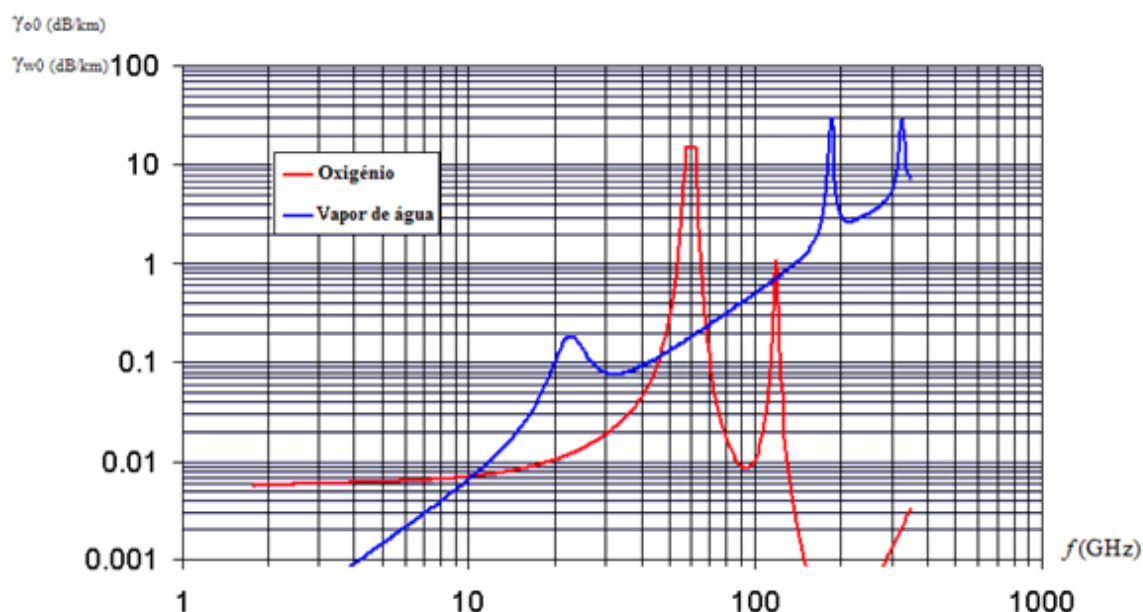


Fig. 2-20 Atenuação específica devido aos gases atmosféricos para uma pressão atmosférica de 1013 hPa, uma temperatura de 15 °C e uma concentração de vapor de água de 7,5 g/m³[17].

2.4.3. Atenuação causada pela chuva

A atenuação causada pela chuva é dada em função da taxa de pluviosidade, que é medida em milímetros por hora (mm/h), e pela percentagem de tempo, normalmente referente a um ano, em que esse valor é excedido. Por exemplo, uma taxa de pluviosidade de 0,001% indica que a taxa de pluviosidade é excedida em 0,001% do ano, ou seja, 5-3 min durante um ano.

O cálculo da atenuação causada pela chuva por unidade de comprimento pode ser calculado com base na equação (2.53) [14; 18]:

$$\gamma_r = kRi^\alpha; \quad (2.37)$$

onde k e α são funções da frequência e Ri é taxa de pluviosidade dada em mm/h.

Utilizando a distribuição das dimensões das gotas de chuva proposta por Laws e Parsons para intensidades de precipitação inferiores a 50 mm/h, considerando uma temperatura de 20 °C e admitindo uma forma de elipsóide achatada para as gotas de chuva, é possível obter os valores para k e α para a polarização vertical e horizontal a partir da tabela 2-1 [14; 18;19].

Tabela 2-1 Valores de k e α para as polarizações horizontal e vertical em função da frequência (Recomendação P.838 da ITU-R [18])

Frequência (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0,0000387	0,0000352	0,912	0,880
2	0,000154	0,000138	0,963	0,923
4	0,000650	0,000591	1,121	1,075
6	0,00175	0,00155	1,308	1,265
7	0,00301	0,00265	1,332	1,312
8	0,00454	0,00395	1,327	1,310
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
12	0,0188	0,0168	1,217	1,200

Para uma polarização linear inclinada τ em relação à horizontal e um ângulo de fogo θ , os valores de k e α são obtidos das seguintes relações aproximadas[18]:

$$k = \frac{k_H + k_V + (k_H - k_V)(\cos \theta)^2 \cos 2\tau}{2}; \quad (2.38)$$

$$\alpha = \frac{k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V)(\cos \theta) \cos 2\tau}{2k}. \quad (2.39)$$

A recomendação P.837-1 da ITU-R “*Characteristics of precipitation for propagation modelling*” divide a terra em regiões climáticas e apresenta para cada uma delas uma distribuição acumulada de intensidades de precipitação[14].

A tabela 3-1 apresenta os valores de precipitação correspondentes ao território Português. No arquipélago da Madeira a zona corresponde é a k.

Tabela 2-2 Distribuição acumulada da intensidade da precipitação (em mm/h)[14]

Intensidade da Precipitação (mm/h)		Percentagem do tempo no ano em que o valor da intensidade de precipitação é excedido
Zona H	Zona K	
2	1,5	1
4	4,2	0,3
10	12	0,1
18	23	0,03
32	42	0,01
55	70	0,003
83	100	0,001

Para calcular a atenuação devido à chuva, não excedida mais de p por cento do tempo é necessário usar um outro procedimento[14].

Inicialmente calcula-se o comprimento eficaz do percurso que pode ser obtido através da seguinte equação:

$$d_{ef} = \frac{d}{1 + \frac{d}{35 \exp(-0,015 Ri_{0,01})}} \quad (2.40)$$

onde d é a distância em km e $Ri_{0,01}$ é a intensidade de precipitação ultrapassada apenas durante 0,01% do tempo. Posteriormente, calcula-se a atenuação devida à chuva não excedida mais de 0,01% do tempo através da equação (2.57).

$$A_r^{(0,01)} = \gamma_r d_{ef} \quad (2.41)$$

com γ_r a atenuação provocada pela chuva por unidade de comprimento dado pela equação (2.27) e d_{ef} é o comprimento do percurso eficaz obtido através da equação (2.40)

Finalmente, pode-se calcular a atenuação devido à chuva, não excedida mais de p por cento tempo, anualmente dada por:

$$A_r^{(p)} = A_r^{(0,01)} 0,12 p^{-(0,546 + 0,043 \log_{10} p)} \quad (2.42)$$

onde p é a probabilidade desejada ($0,001 < p < 1$) e $A_r^{(0,01)}$ é a atenuação devido à chuva não excedida em mais de 0,01% do tempo, definida pela equação (2.41).

Os valores de atenuação relativos a percentagens de tempo para o mês mais desfavorável p_m podem ser calculados utilizando a seguinte relação proposta na Recomendação P.841 da ITU-R, sendo válida para $1,9 \times 10^{-4} < p_m < 7,8$:

$$p = 0,3p_m^{1,15} \quad (2.43)$$

2.4.4. Desvanecimento devido ao multi-percurso atmosférico

O desvanecimento devido ao multi-percurso atmosférico é muito importante no projecto de feixes hertzianos. Este efeito ocorre predominantemente em áreas com elevados índices de humidade, durante o período nocturno sendo que áreas costeiras são particularmente susceptíveis.

A recomendação P.530-10 da ITU-R “*Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems*” apresenta um modelo para o cálculo dos efeitos de desvanecimento.

O factor geoclimático K é obtido a partir da seguinte equação [5; 20]:

$$K = 10^{-4,2-0,0029dN_1}; \quad (2.44)$$

onde dN_1 é o gradiente de refractividade da zona geográfica.

A inclinação da ligação é calculada a partir da equação seguinte [5; 20]:

$$|\varepsilon_p| = \frac{|h_r - h_e|}{d}; \quad (2.45)$$

com h_r e h_e a altura acima do nível médio do mar em metros das antenas receptoras e emisoras, respectivamente, e d a distância em km entre as antenas.

Finalmente a probabilidade de um desvanecimento com o valor de A (dB) é dada por[5; 20]:

$$p = Kd^{3,0} (1 + |\varepsilon_p|)^{-1,2} 10^{(0,033f - 0,001h_L - \frac{A}{10})} \% \quad (2.46)$$

onde h_L é o mínimo entre h_r e h_e .

Este modelo é valido para frequências até 45 GHz, sendo a frequência mínima de aplicabilidade do modelo calculada a partir de[5; 20]:

$$f_{min} = \frac{15}{d} \quad \text{GHz}$$

com d a distância da ligação em km.

2.5. Ferramentas de *software*

A utilização de ferramentas de *software* no apoio e na realização de projectos de comunicações é cada vez mais indispensável. Com o desenvolvimento da tecnologia GPS, torna-se extremamente útil a utilização de sistemas de informação geográfica para projectos de comunicações. De igual modo, a utilização de ferramentas de simulação de sistemas rádio oferece ao projectista a possibilidade de testar um determinado sistema em condições muito próximas às reais.

2.5.1. Radio Mobile

O Radio Mobile é um *software* de distribuição gratuita para simulação de sistemas rádio de média e longa distância em terreno irregular[12]. Para tal utiliza perfis geográficos (mapas de elevação), combinados com a especificação do equipamento a utilizar. O modelo de propagação utilizado pelo Radio Mobile é modelo de Longley-Rice, apresentado no capítulo 2 em 2.2.7.

Os mapas utilizados no Radio Mobile podem ser de três tipos: SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), GTOPO30 (*Global digital elevation model*) e DTED (*Digital Terrain Elevation Data*). Caso o utilizador não possua mapas detalhados da zona que pretende simular. Estes podem ser descarregados gratuitamente no sítio <http://seamless.usgs.gov/index.php>. Na Europa a resolução destes mapas é de 3 arc sec - 90 m, estes mapas foram distribuídos como parte do programa SRTM. O programa SRTM é um projecto entre NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) para digitalizar toda a superfície da Terra localizada entre 60° N e 56°S. Para os EUA estão disponíveis mapas com uma resolução de 1 arc sec, 30 m [21].

O Radio Mobile possui uma enorme panóplia de opções que permitem realizar diversas análises e estudos desde: estudos de cobertura rádio e visual, ligações ponto-a-ponto, análises de rotas, interferências entre estações e visualização de diagramas de radiação

Na figura 2-21 foi importado para o Radio-Mobile o mapa da Região Autónoma da Madeira, incluindo o Porto Santo e as ilhas Desertas, a resolução, como já foi referido anteriormente é de 90m.

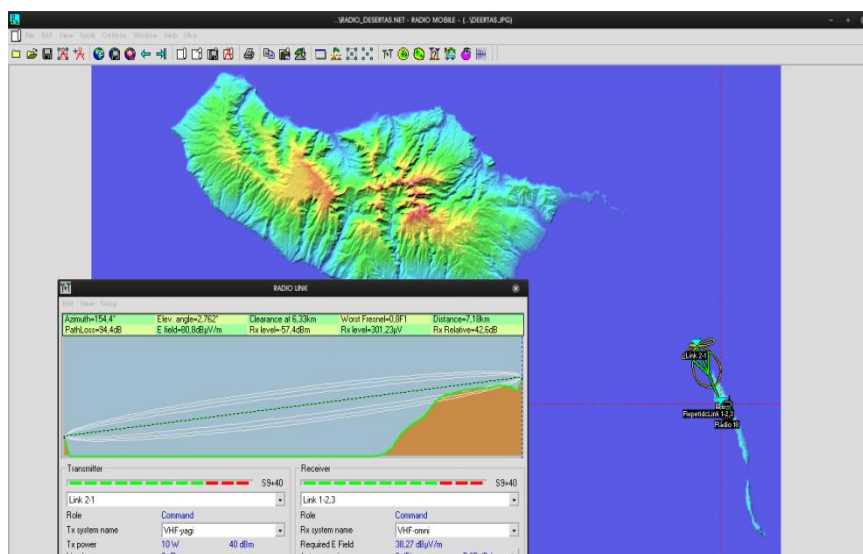


Fig. 2-21 Janela principal do Radio Mobile e pormenor da análise de uma ligação ponto-a-ponto. Informação geográfica obtida a partir do site <http://seamless.usgs.gov/index.php>.

O download do software pode ser efectuado gratuitamente em <http://www.cplus.org/rmw/>. Neste mesmo sítio encontra-se um guia de instalação do software assim como um guia detalhado para uma primeira simulação. Informação detalhada sobre o software e o seu funcionamento pode ser encontrada em [12; 22].

2.5.2. Global Mapper 10

O Global Mapper é um software de fácil utilização e rápido processamento capaz de responder às mais diversas necessidades SIG (Sistemas de Informação Geográfica)[23]. É um excelente software que permite a visualização dos mais populares formatos, vectoriais e de dados de elevação, sendo capaz de converter, importar e exportar dados em vários formatos (SHP, KMZ, DWG, DXF, etc.), realizar reprojeções para diversos sistemas de coordenadas (UTM, Geográfica e outros), gerar curvas de nível automaticamente e modelos de elevação (TIN e GRID) através de pontos 3D.

O Global Mapper permite, ainda, o acesso a variadas fontes de imagens, mapas topográficos e grelhas de terreno online, o que por outras palavras significa acesso completo à base de dados de imagens de satélite USGS e mapas topográficos TerraServer USA sem qualquer custo.

A aquisição do software pode ser realizada através do sítio: <http://www.globalmapper.com/>. No referido sítio está ainda disponível uma versão demo [23].

A imagem 2-22 ilustra o resultado da importação do mapa da região Autónoma da Madeira obtido a partir de <http://seamless.usgs.gov/index.php> e a visualização a 3D do mesmo.

2-Enquadramento teórico

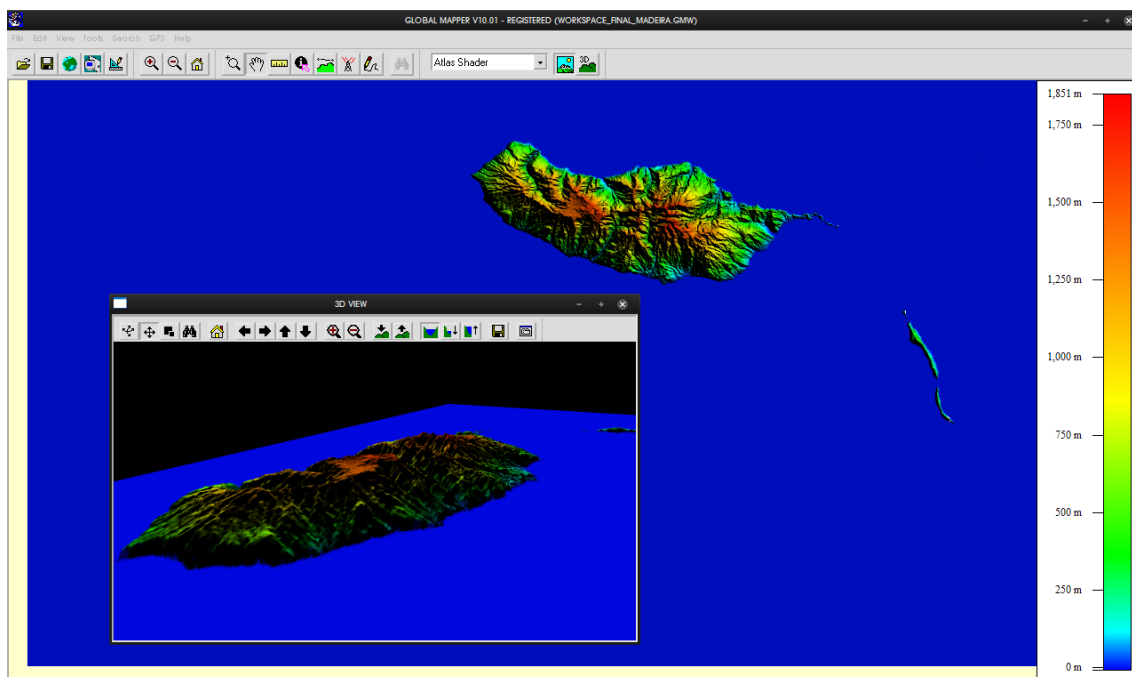


Fig. 2-22 Visualização 3D do mapa da Região Autónoma da Madeira - Informação geográfica obtida a partir do sítio <http://seamless.usgs.gov/index.php>.

3. *Software* DifrractionLoss

Neste capítulo é feita uma descrição do *software* “Difrractionloss” desenvolvido em ambiente Matlab. Inicialmente é feita uma apresentação da estrutura e organização do software. De seguida apresenta-se o processo de aquisição e edição dos mapas topográficos. Posteriormente, faz-se uma apresentação aos vários modos de funcionamento do DifrractionLoss, assim como aos métodos responsáveis pelo processamento geográfico no DifrractionLoss. Finalmente é referido o modo como foram implementados os vários modelos de difracção.

3.1. Estrutura e organização

O DifrractionLoss é um software que permite prever as perdas causadas pelo fenómeno da difracção devido à existência de obstáculos naturais, baseando-se na aplicação de vários modelos de difracção e na informação do perfil do terreno. O programa permite ainda a realização de estudos de cobertura para uma determinada área.

O DifrractionLoss está organizado em vários módulos. Esta organização em módulos permite que qualquer utilizador, minimamente familiarizado com a programação em Matlab, possa modificar separadamente as funções de acordo com as suas necessidades, sem que para isso haja necessidade de alterar todo o código. Alguns dos algoritmos utilizados no *software* foram desenvolvidos por utilizadores do Matlab e publicados no repositório “*Matlab Central Files*”. Este repositório contém milhares de algoritmos com as mais variadas aplicações, muitos deles com o propósito de adicionar funcionalidades que deveriam estar disponíveis no Matlab e não estão. Os algoritmos publicados no repositório e utilizados no DifrractionLoss são os seguintes:

- Bresenham.m

Esta função recebe como parâmetros uma matriz e um par de coordenadas. Como resultado é retornado um perfil 2d da linha recta que une as coordenadas especificadas inicialmente.

- ellipse.m

Desenha uma ellipse no gráfico activo. Recebe como parâmetros o semi-eixo maior, semi-eixo menor, ângulo de inclinação e as coordenadas do centro.

- GEplot.m

Exporta ficheiros *.kmz que podem ser abertos no Google Earth permitindo desenhar uma determinada curva. A sintaxe é idêntica à sintaxe do comando plot, com a diferença que o x é a Latitude e o y a Longitude na projecção WGS84.

- hline.m

Desenha uma linha horizontal no gráfico activo. Recebe como parâmetros a coordenada y.

- vline.m

Desenha uma linha vertical no gráfico activo. Recebe como parâmetro a coordenada x

- knifeedgefresnelvdb.m

Calcula a perda por difracção devido à presença de um obstáculo em forma de lâmina. Recebe como parâmetro o valor de v .

- `localmaximum.m`

Retorna os índices dos máximos locais contidos no vector recebido como parâmetro.

- `saveplotwithingui.m`

Exporta o gráfico activo para uma imagem no formato JPEG (*Joint Photographs Experts Group*).

- `utm2deg.m`

Converte coordenadas no formato UTM (*Universal Transverse Mercator*) para o formato em Graus. Recebe como parâmetros as coordenadas no formato UTM e a zona UTM.

- `xticklabel_rotate.m`

Permite adicionar `xtick_labels` e `ytick_labels` nos eixos de um gráfico com um ângulo específico. Recebe como parâmetros os `labels` e o ângulo pretendido.

A interface gráfica do *DifractionLoss* foi criada a partir do Guide - Construtor GUI (Guided User Interface) no MatLab. Este construtor tem uma filosofia *drag-and-drop*, bastando apenas arrastar os controlos desejados para a área de trabalho e organizar a interface da forma pretendida. Na figura 3-1 é apresentado o aspecto do construtor GUI no Matlab.

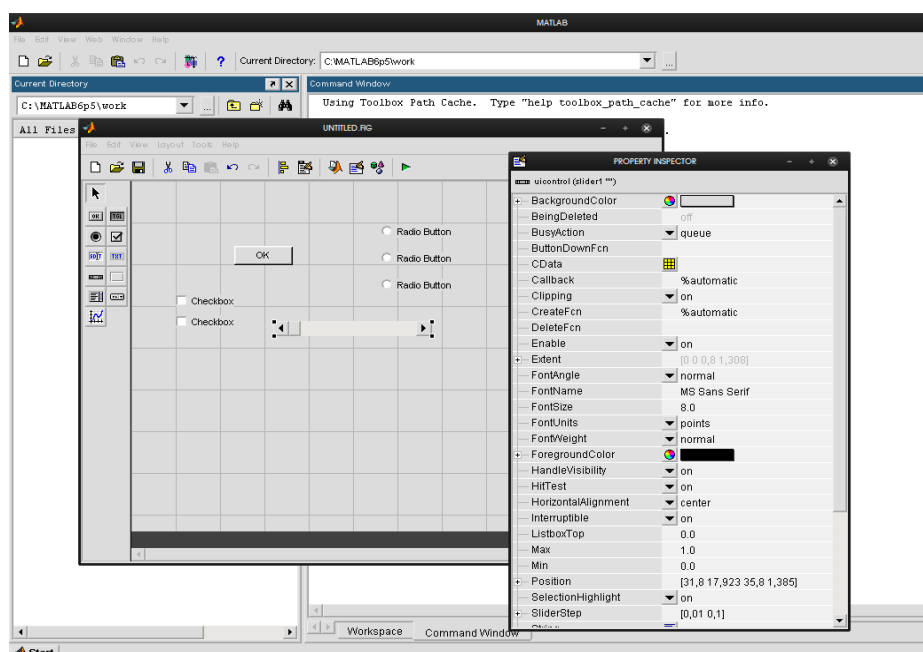


Fig. 3-1 Construtor Gui no Matlab

Quando se procede à gravação do GUI o Matlab automaticamente cria um ficheiro com o nome "`nomegui.m`". Este é o ficheiro responsável pela inicialização e manipulação dos controlos existentes no GUI. Cada controlo presente no GUI possui várias rotinas de atendimento denominadas *Callbacks*. Algumas destas rotinas são geradas automaticamente quando o GUI é criado e outras são criadas quando solicitado pelo programador. As *Callbacks* são as funções que vão atender à interação do utilizador com o GUI. O acesso aos controlos

e às suas propriedades é feito através das estruturas denominadas *handles*. Os *handles* funcionam como apontadores para um determinado controlo.

No anexo B é apresentado todo o código desenvolvido para a aplicação DifractionLoss. A estrutura e dependência entre os vários módulos que constituem o DifractionLoss estão ilustradas na figura 3-2.

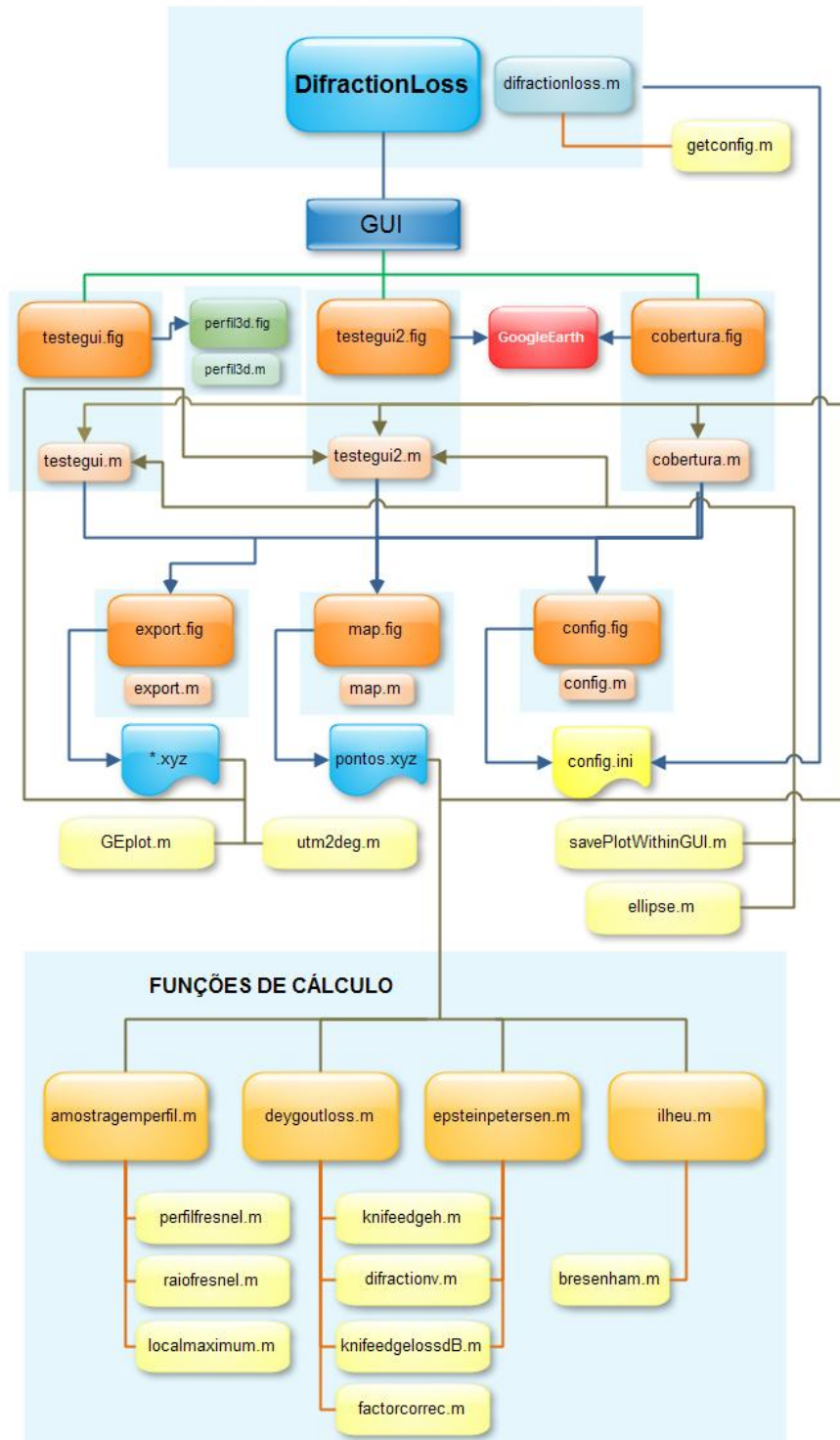
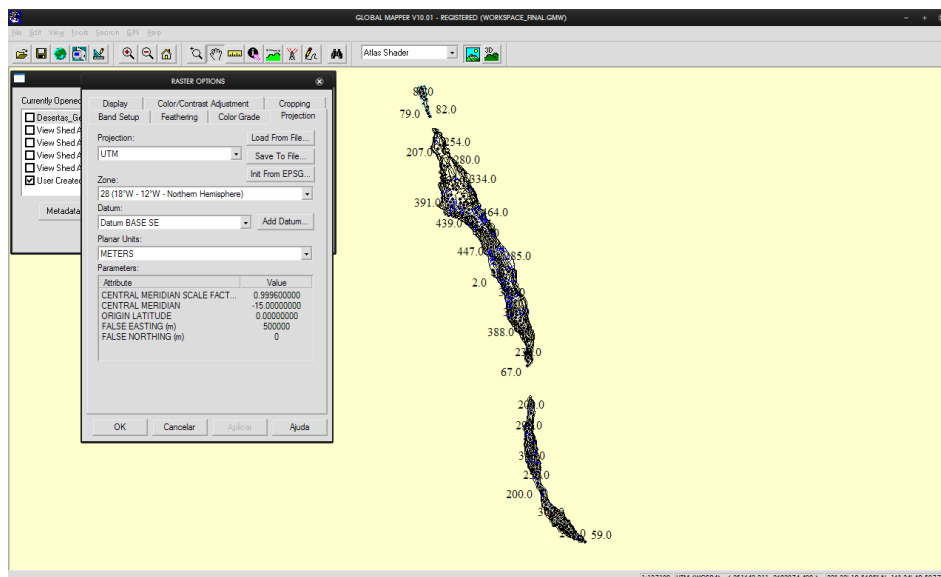


Fig. 3-2 Organização e estrutura do DifractionLoss.

3.2. Aquisição e edição dos mapas

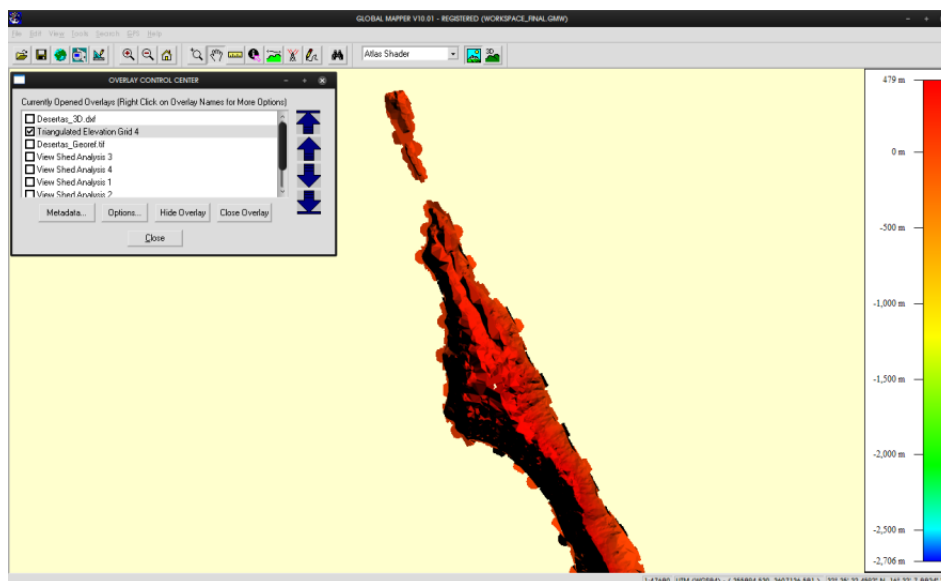
Não estando disponível publicamente informação geográfica digital das Ilhas Desertas com resolução razoável, foi necessário requerer à Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território (DRIGOT) os mapas digitais das ilhas Desertas. Os mapas foram cedidos com uma resolução elevada no formato DXF, sendo necessário a utilização de um *software* GIS para a manipulação e o tratamento dos mapas. O SIG utilizado foi o “Global Mapper”. Para além dos mapas, foram também cedidas ortofotos das Ilhas Desertas. A ortofoto é uma representação fotográfica de uma região da superfície terrestre, na qual todos os elementos apresentam a mesma escala, livre de erros e deformações. A importação do ficheiro cedido pela DRIGOT para o “GlobalMapper” é directa. Contudo a sua localização geográfica só se torna correcta quando é configurado o *datum* usado pela DRIGOT que é o Datum BASE SE PortoSanto, cuja configuração encontra-se detalhado no site do Instituto Geográfico Português. O aspecto do mapa carregado, ainda sem edição é o apresentado na figura 3-3.



Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-3 Visualização do mapa no formato DXF no GlobalMapper.

A visualização do mapa contempla apenas as linhas de cota e a respectiva cota, não sendo portanto possível visualizar o relevo das ilhas. Para gerar o relevo, é necessário criar uma grelha de elevação a partir do ficheiro carregado. Esta pode ser gerada a partir do centro de controlo de camadas (*Alt+c*). É necessário seleccionar a área em questão, bastando, para isso desenhar um rectângulo que englobe as três ilhas, através do menu de opções da exportação. Após a exportação da grelha de relevo, surge no controlo de camadas uma nova camada “*Triangulated Elevation Grid*” cujo aspecto é o apresentado na figura 3-4.



Informação Geográfica cedida pela Direção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-4 Visualização da grelha de elevação gerada pelo GlobalMapper.

Antes de se proceder à exportação do mapa para o DiffractionLoss é necessária a conversão da projecção para o datum UTM WGS84, para que a manipulação e leitura da informação seja a correcta. Para o “Radio Mobile” o mapa deverá ser criado utilizando o “BILL”, com o datum Geográfico WGS84.

O formato UTM é uma projecção cartográfica cilíndrica do esferóide terrestre em 60 cilindros secantes à superfície da Terra, ao longo dos meridianos em zonas múltiplas de 6 graus de longitude e estendendo-se de 80 graus de latitude Sul a 84 graus de latitude Norte. A grande vantagem na utilização destas coordenadas prende-se com o facto de elas utilizarem um sistema de coordenadas que é métrico e cartesiano próprio para cada zona. Por exemplo para o Arquipélago da Madeira a zona UTM é a 28. Ao utilizar as coordenadas UTM N-S com 7 dígitos e E-O com 6 dígitos consegue-se uma precisão de 1 metro entre pontos distintos[24].

Para exportar o mapa seleccionou-se então **File** ➔ **Export raster and elevation data** ➔ **Export elevation grid xyz**. Na janela de opções de exportação a separação de colunas deverá ser “tab”. A distância de amostragem convém ser um número inteiro, por exemplo 10 m e as unidades verticais deverão ser exportadas em metros. Finalmente selecciona-se a área a exportar e finaliza-se a exportação com o botão OK. Se a área para exportação contiver alguma porção sem informação da elevação, estes pontos não serão exportados.

O ficheiro exportado com o formato “xyz” deverá conter três colunas, longitude latitude e elevação. O tamanho do ficheiro será tanto menor quanto maior for a distância de amostragem.

A importação do ficheiro para o Matlab é feita com o seguinte comando:

```
mapa=load("nomeficheiro.xyz");
```

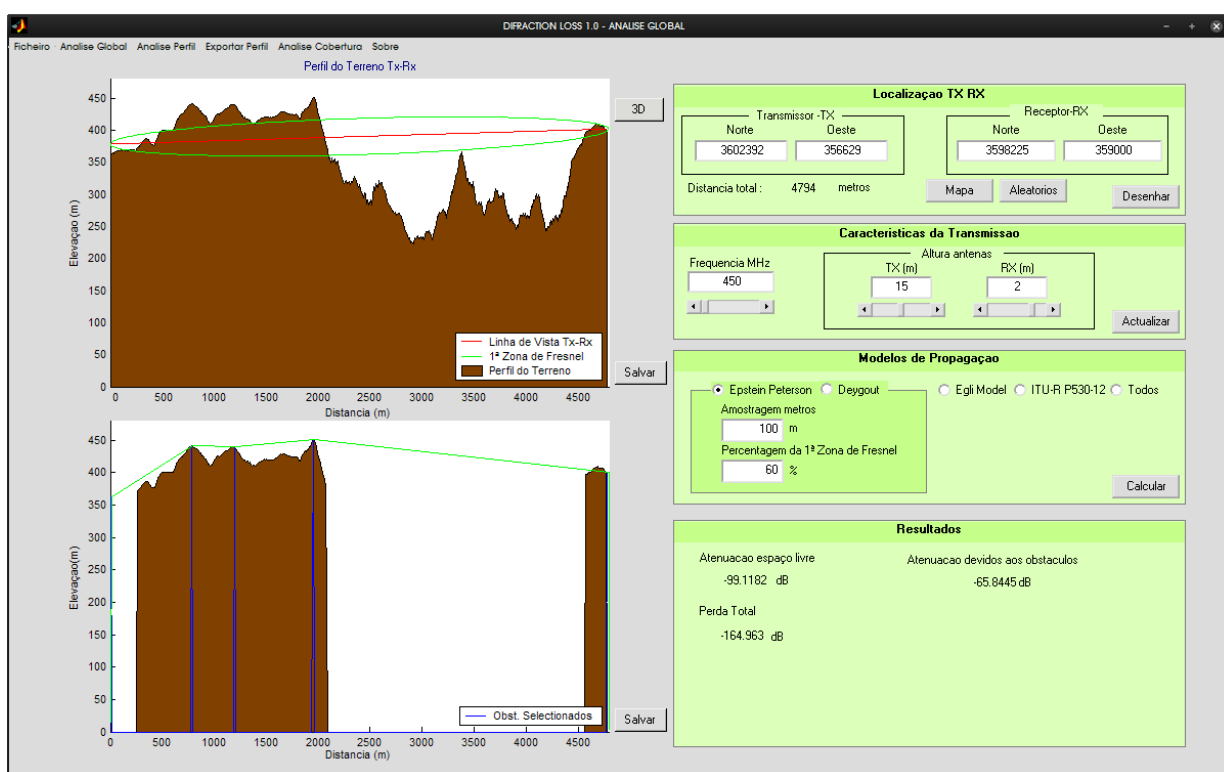
A execução do comando anterior cria uma matriz com o nome *mapa*, com as três colunas do ficheiro importado na memória do Matlab.

Feito o carregamento do mapa para o Matlab o acesso ao mapa e o respectivo tratamento é efectuado da mesma forma que para uma matriz.

3.3. Apresentação

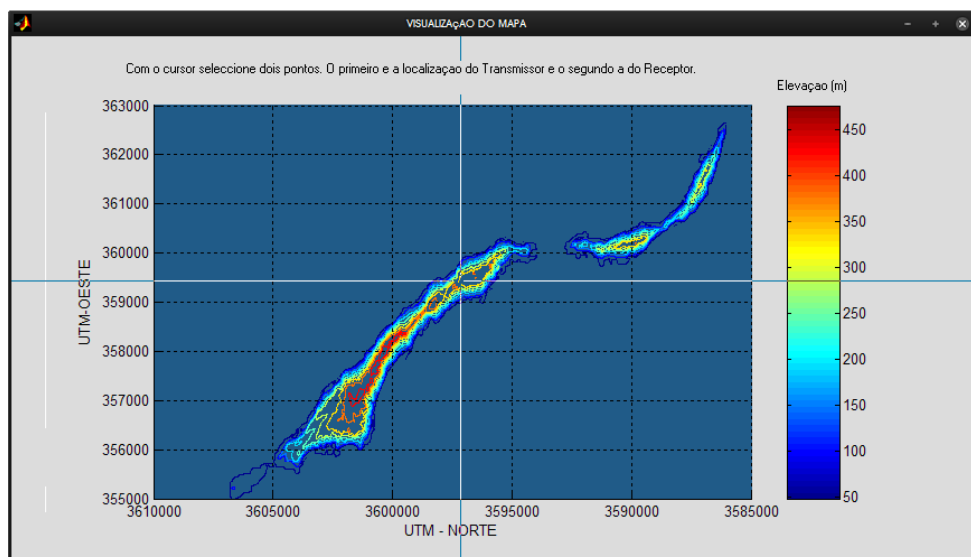
O programa está organizado em 3 principais modos de funcionamento: Análise Global, Análise Perfil e Análise de Cobertura.

O modo “Análise Global” permite analisar o perfil entre dois pontos quaisquer do mapa previamente importado. A localização dos pontos pode ser feita de duas formas, inserindo directamente as coordenadas dos pontos no formato UTM ou seleccionando dois pontos com o cursor a partir da visualização do mapa. É possível especificar o valor da frequência em análise e a altura das antenas. Na representação gráfica do perfil do terreno é adicionada a representação da linha de vista assim como da elipsóide da 1ª zona de Fresnel para fins elucidativos. Na figura 3-5 e 3-6 estão representados, respectivamente, o *layout* do modo “Análise Global” e “Visualização do Mapa”.



Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-5 Modo “Análise Global”.



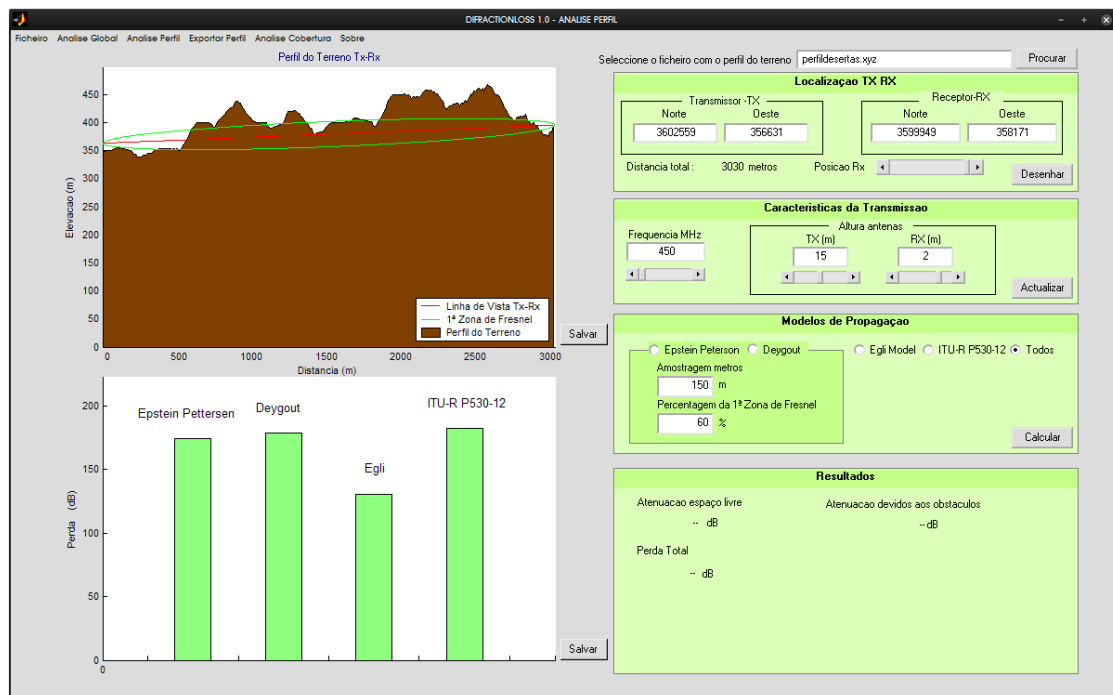
Informação Geográfica cedida pela Direção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-6 Visualização do mapa para selecção da localização do emissor e do receptor.

O modo “Análise de Perfil” permite analisar as perdas por difracção ao longo de um determinado percurso, importado a partir de um ficheiro previamente criado através da opção “Exportar Perfil”. A opção “Exportar Perfil” permite seleccionar a localização do emissor e do receptor, juntamente com o intervalo da amostragem que define a distância entre os pontos exportados. As opções disponíveis neste modo são as mesmas do modo “Análise Global” no que respeita à configuração do sistema, à excepção do cursor de posição que permite deslocar a posição do receptor ao longo do percurso seleccionado. O *layout* da opção “Exportar Perfil” e do modo “Análise Perfil” estão representados na figura 3-7 e 3-8, respectivamente.

Fig. 3-7 Módulo “Exportar Perfil”

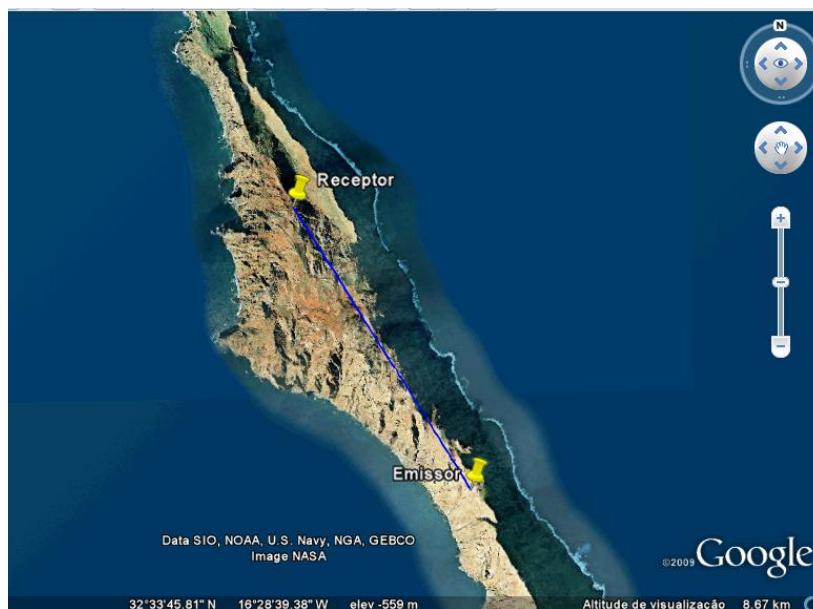
3-Desenvolvimento do software DiffractionLoss



Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-8 Modo “Análise de Perfil”.

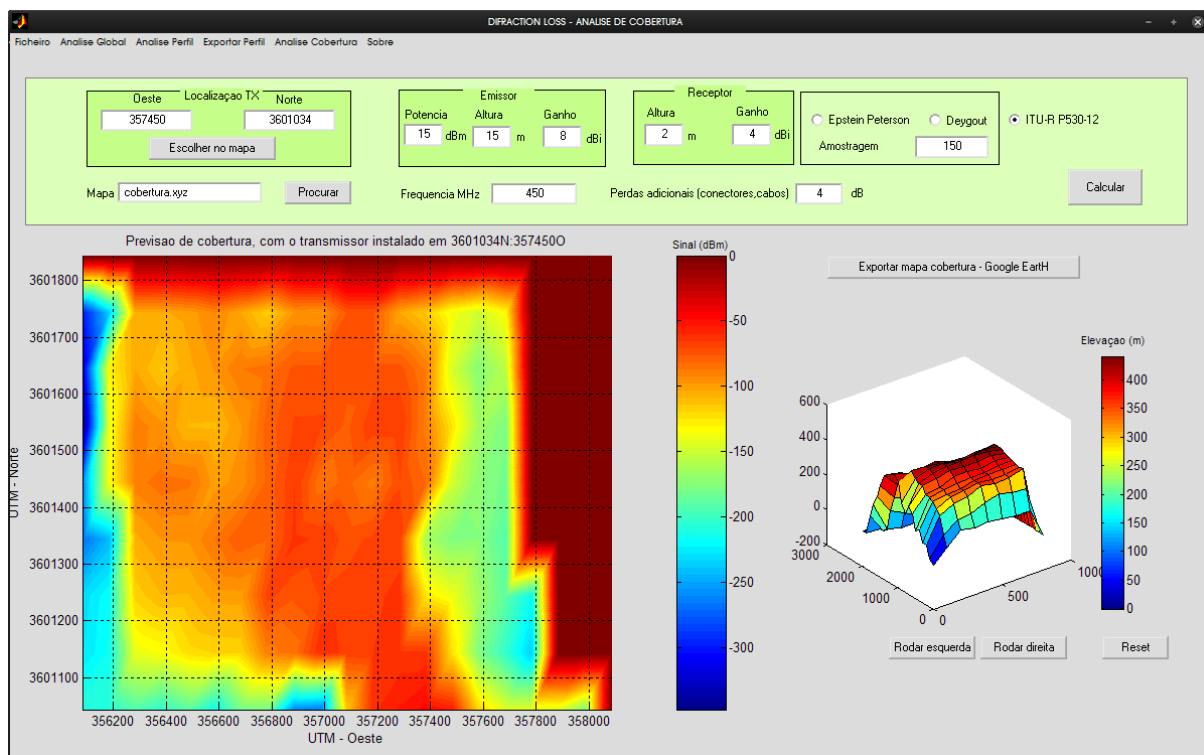
Neste modo também está disponível uma opção que permite exportar a ligação para o Google™ Earth, permitindo visualizar a localização da ligação de forma realista.



Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-9 Visualização da ligação em análise na figura 3-4 no Google Earth. A imagem das Ilhas Desertas resulta da importação do ortofoto das Ilhas Desertas.

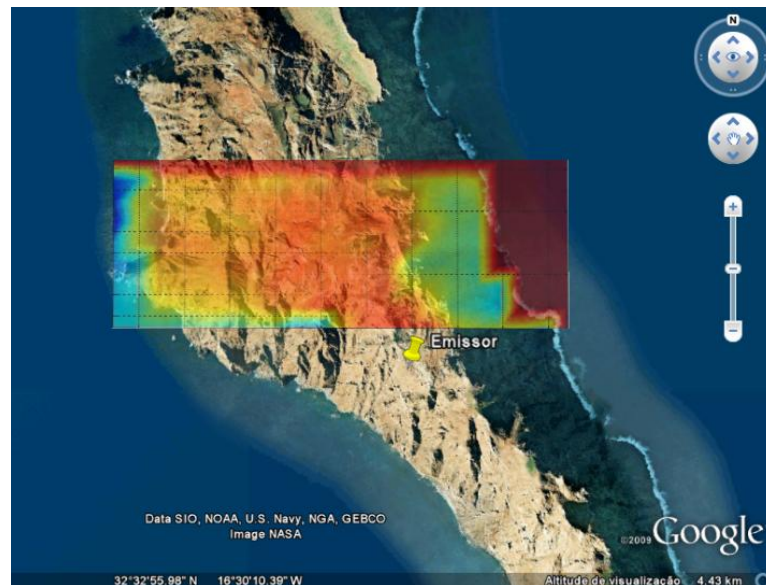
O modo “Análise de Cobertura” permite realizar estudos de cobertura para uma determinada área. Esta análise apresenta a previsão do sinal recebido de acordo com as características do sistema definidas pelo utilizador. A análise efectuada é, exactamente, a mesma que a efectuada nas situações anteriores, sendo que neste caso, a análise é feita para todos os pontos da área escolhida. Além das características do sistema disponíveis no modo “Análise Global” e “Análise de Perfil”, na “Análise de Cobertura” é possível indicar a potência de transmissão e o ganho das antenas assim como a perda inerente aos cabos e conexões. Além do mapa de cobertura, é ainda apresentada o relevo da zona em estudo em 3D. Na figura 3-10 é possível visualizar o resultado da execução da “Análise de Cobertura” para uma determinada área.



Informação Geográfica cedida pela Direção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

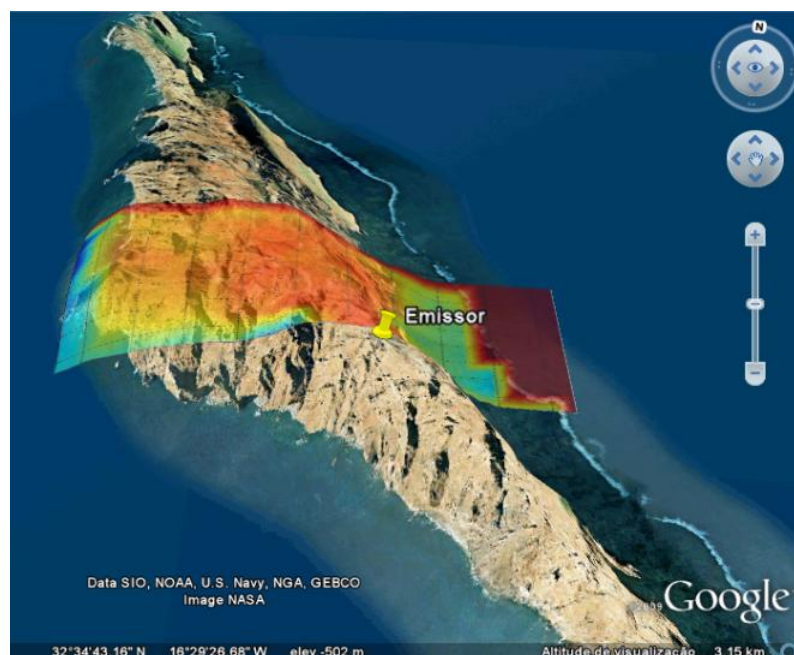
Fig. 3-10 Modo "Análise de Cobertura".

Neste modo está disponível uma opção de exportação do mapa de cobertura para o GoogleTM Earth, permitindo visualizar o estudo de cobertura directamente sobre a área em estudo. O processo de exportação requer que o utilizador efectue um *print-screen* do mapa de cobertura e guarde a imagem na directoria de instalação do *DifractionLoss*. Estas instruções são indicados pelo *DifractionLoss* durante a exportação. A figura 3-11 e 3-12 ilustram, respectivamente a visualização do mapa de cobertura do GoogleTM Earth em 2D e 3D.



Informação Geográfica cedida pela Direção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-11 Visualização do mapa de cobertura gerado pelo DifrractionLoss no GoogleEarth a 2D.



Informação Geográfica cedida pela Direção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-12 Visualização do mapa de cobertura gerado pelo DifrractionLoss no GoogleEarth a 3D.

A opção de “Configuração” permite configurar o mapa sobre o qual serão realizados todos os cálculos. A configuração do mapa consiste em especificar os limites do mapa relativamente à longitude e latitude, assim como o valor da amostragem (distância entre pontos do mapa). Ver figura 3-13.

3-Desenvolvimento do software DifraccionLoss

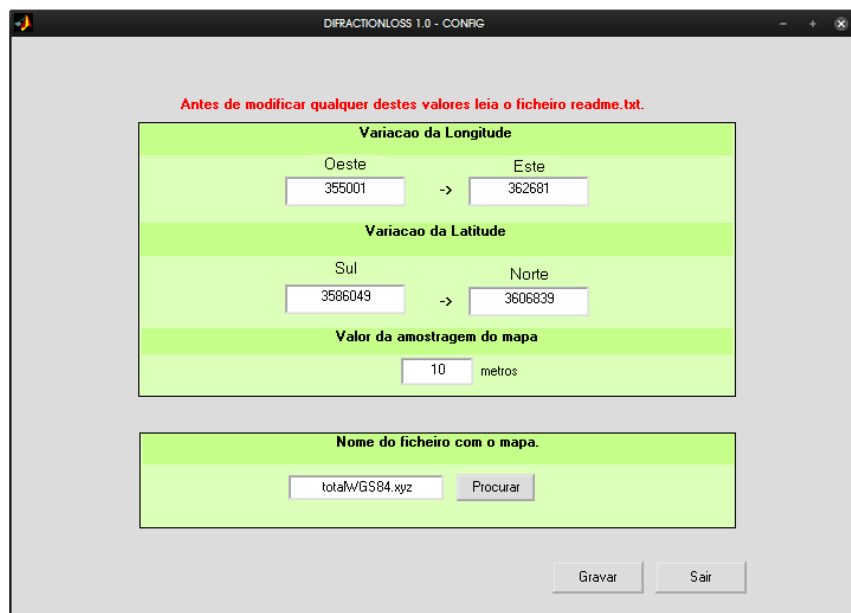


Fig. 3-13 Layout do módulo de configuração do DifraccionLoss.

Outra opção disponibilizada pelo DifraccionLoss é a visualização do mapa configurado a 2D e a 3D. É possível a interação com os mapas utilizando os controlos de câmara e visualização criados por defeito pelo Matlab. Na figura 3-14 e 3-15 estão representadas as duas visualizações das Ilhas Desertas geradas pelo DifraccionLoss a 2D e 3D, respectivamente.

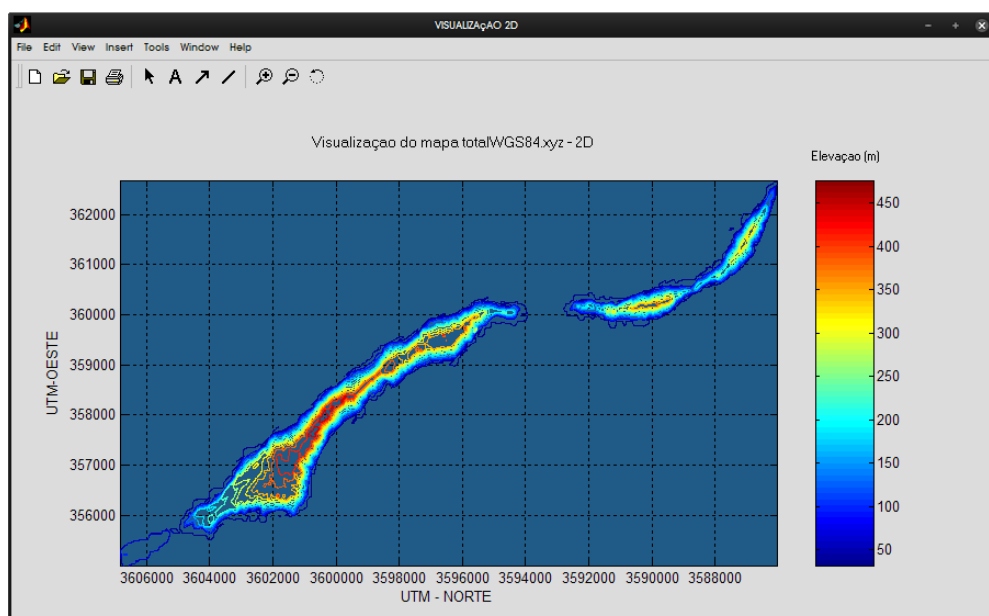
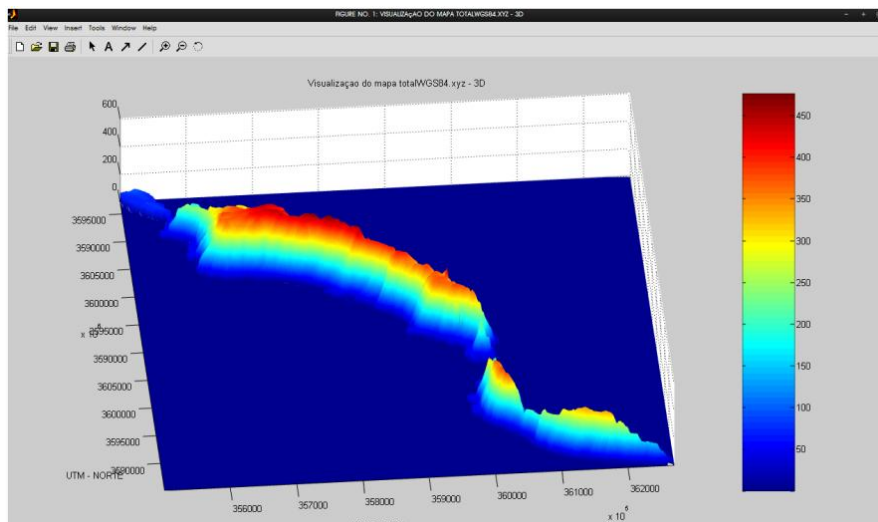


Fig. 3-14 Visualização do mapa das Ilhas Desertas a 2D.





Informação Geográfica cedida pela Direção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-15 Visualização do mapa das Ilhas Desertas a 3D.

O software *DifractionLoss* pode ser instalado a partir do CD que se encontra no anexo G. A versão disponibilizada contém o mapa da ilha da Madeira com uma resolução de 3 *ARC seconds* (90m).

3.4. Funcionalidade

O núcleo do funcionamento do *DifractionLoss* consiste na matriz com a informação da elevação do terreno pretendido.

O mapa no formato “xyz” é importado com a execução do código indicado anteriormente. Após a importação com sucesso, são criados 3 vectores longitude, latitude e altitude. Por vezes os mapas contêm pontos com altitude negativa, devido à interpolação que é feita para preencher os pontos sem cota. Desta forma e para evitar erros, todos os pontos cuja altitude seja negativa foram transformados numa altitude nula (0 m).

```
%importar o mapa
load('nomeficheiro.xyz');
%leitura do ficheiro para vectores na memoria
x=nomeficheiro(:,1);
y=nomeficheiro(:,2);
z=nomeficheiro(:,3);
%para corrigir erros de conversao todos os pontos com z<0 sao alterados
para 0
    for i=1:length(z)
        if(z(i)<0)
            z(i)=0;
        end
    end
end
```

O próximo passo consiste na criação do mapa. Para tal, é então necessário criar uma matriz cuja dimensão deverá ser igual ao número de pontos contidos na área exportada, de acordo

com a amostragem realizada. Os pontos que não estejam contidos no ficheiro exportado serão considerados com altitude 0 m. A fórmula para calcular o número de pontos é a seguinte:

Sendo *long0* o menor valor da longitude e *long1* o maior valor da longitude, o mesmo para *lat1* e *lat0*, mas para a latitude, e com a *amostragem* o espaço em metros entre amostras da exportação vem:

```
j=fix((long1-long0)/amostragem)+1;
w=fix((lat1-lat0)/amostragem)+1;
A=zeros(j,w);
```

Para preencher a matriz com a informação da altitude, é necessário converter um determinado ponto geográfico definido pelas duas coordenadas (N,O) para um elemento da matriz (j,w). Esta conversão é necessária pois todos os cálculos e consultas ao mapa serão feitos com base nos índices da matriz (j,w) e não nas coordenadas. Uma solução encontrada consistiu na normalização de todas as coordenadas e respectiva conversão para os índices da matriz. O processo é descrito da seguinte forma.

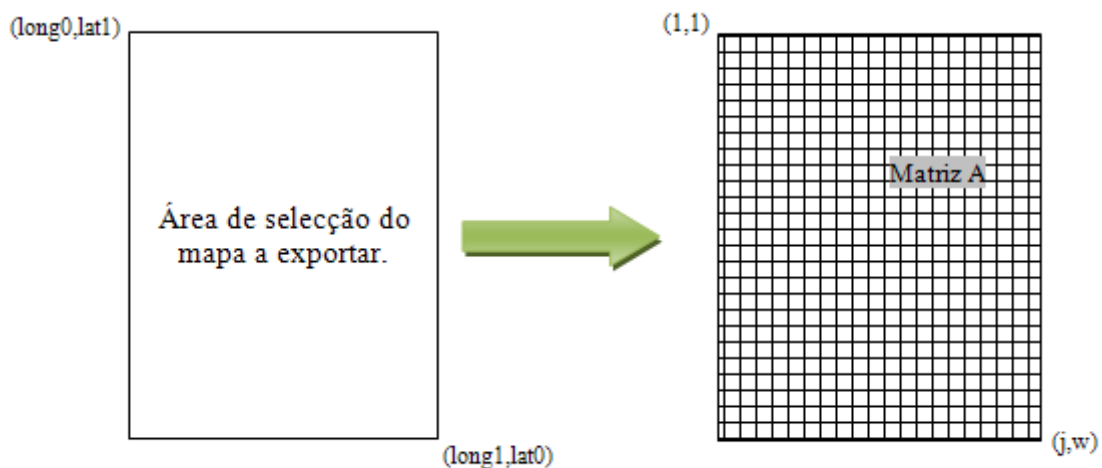


Fig. 3-16 Conversão das coordenadas geográficas para índices da matriz.

```
for i=1:length(x)
    x(i)=fix((x(i)-long0)/amostragem);
    y(i)=fix((y(i)-lat0)/amostragem);
end
```

Os vectores *x* e *y* agora em vez do par de coordenadas (longitude, latitude) contêm o índice respectivo do elemento da matriz *A*. O passo seguinte consiste no preenchimento da matriz com os valores da elevação. Tal é conseguido com o seguinte ciclo:

```
for i=1:length(x)
    a=x(i);
    b=y(i);
    A(a,b)=A(a,b)+z(i);
end
```

Para recuperar a coordenada geográfica de dois pontos quaisquer da matriz *A*, basta efectuar a operação inversa ou seja:

```

longitude=fix(x(i)*amostragem+long0;
latitude=fix((y(i)*amostrame+lat0;

```

A função *surf* permite a visualização do mapa em 3D e a sua manipulação relativamente ao ângulo de visualização. Note-se que, caso a matriz seja de grandes dimensões este processo poderá ser demorado e irá exigir grandes quantidades de processamento e de memória RAM do computador. A função *contour* permite a visualização do mapa a 2D com uma grande particularidade, que é a possibilidade de desenhar linhas de cota de acordo com as especificações indicadas.

Tendo conseguido importar o mapa para o Matlab, o problema agora reside em percorrer os elementos da matriz entre dois pontos quaisquer da forma mais aproximada possível a uma recta, para poder desenhar o perfil do terreno. Este problema é traduzido pelo esquema da figura 3-17.

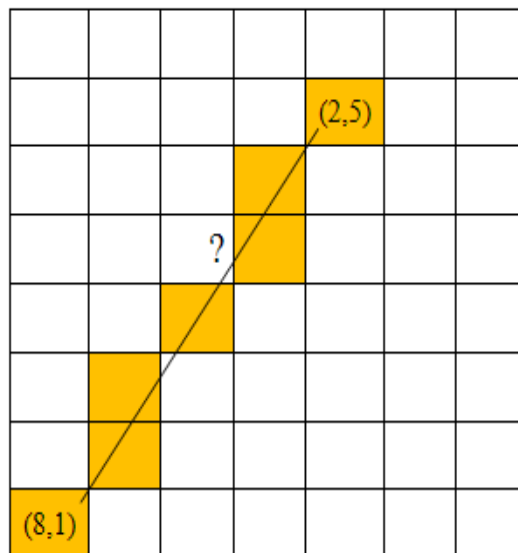


Fig. 3-17 Ilustração do problema em descobrir as coordenadas dos pontos por onde passa a recta que une dois pontos quaisquer de uma matriz.

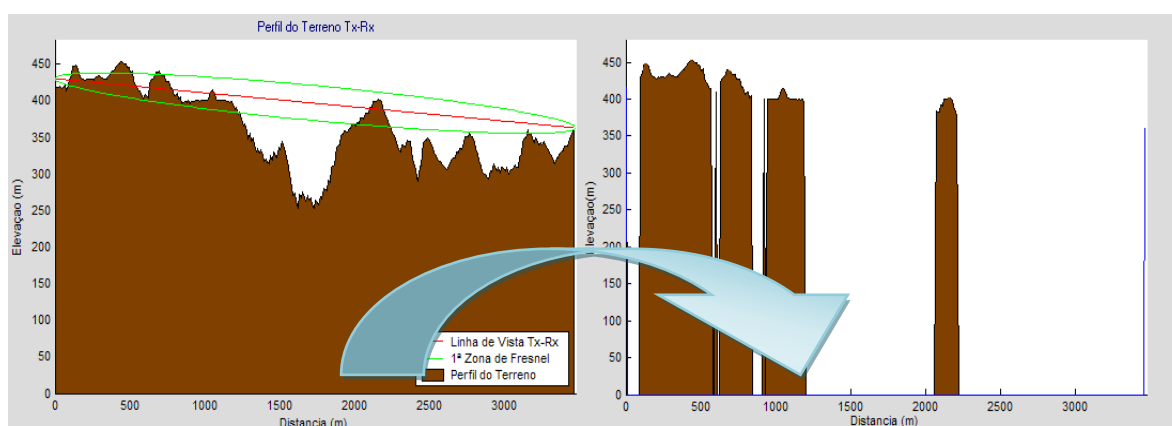
A solução para este problema foi descoberta por Jack E. Bresenham em 1962, engenheiro da IBM, tendo ficado a solução conhecida por *Bresenham's line algorithm*.

Dadas as coordenadas de dois pontos num plano xy, o algoritmo calcula as coordenadas dos pontos que permite desenhar a forma mais aproximada a uma recta que une os dois pontos. Este algoritmo apesar de ter sido criada há já algum tempo é ainda muito usado em computação gráfica dada a sua simplicidade [25].

Sendo um algoritmo muito utilizado, foi fácil encontrar a sua implementação em Matlab pelo que não houve necessidade de programá-lo de novo. A solução encontrava-se publicada no repositório do Matlab "*Matlab Central - Files*".

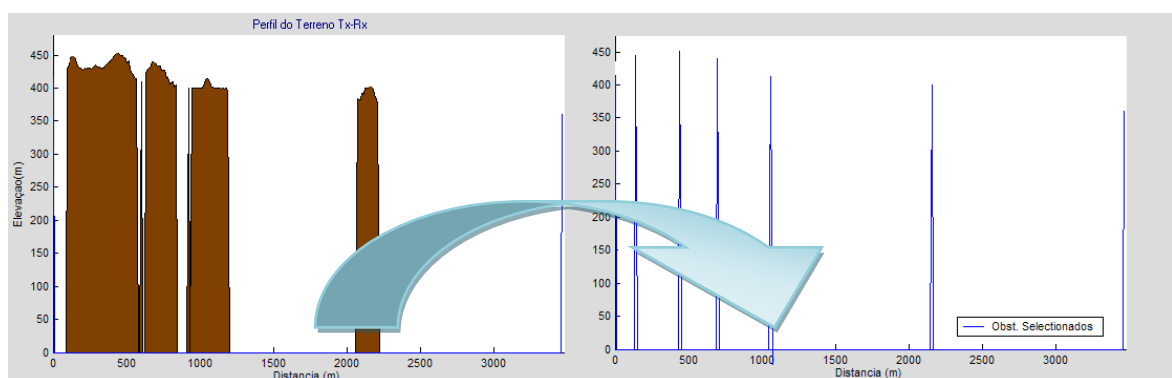
O próximo passo consiste na amostragem do perfil do terreno e na selecção dos obstáculos principais. Este processo foi inspirado no processo de selecção apresentado em [26] e baseia-se no seguinte:

1. O primeiro nível de amostragem consiste em eliminar todo o perfil do terreno que não interfere com os 60% da primeira zona de Fresnel entre TX e RX. O resultado da aplicação desta filtragem é apresentado na figura 3-18.
2. O segundo nível de amostragem baseia-se na substituição do perfil previamente amostrado em máximos locais com um determinado intervalo de amostragem definido pelo utilizador. O resultado está representado na figura 3-19.
3. Se for considerado o perfil nesta fase de amostragem como sendo o final, o resultado da aplicação dos modelos seria muito pessimista já que seriam considerados obstáculos desnecessários (ver figura 3-20). Por esta razão procede-se a uma última amostragem que consiste em eliminar os obstáculos que não interfiram com 60% da 1 zona de Fresnel, simulando o emissor no obstáculo anterior e o receptor no obstáculo seguinte (figura 3-20).



Informação Geográfica cedida pela Direção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-18 Processo da 1ª amostragem do perfil do terreno entre TX e RX.



Informação Geográfica cedida pela Direção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 3-19 Substituição do perfil de Fresnel pelos obstáculos dominantes.

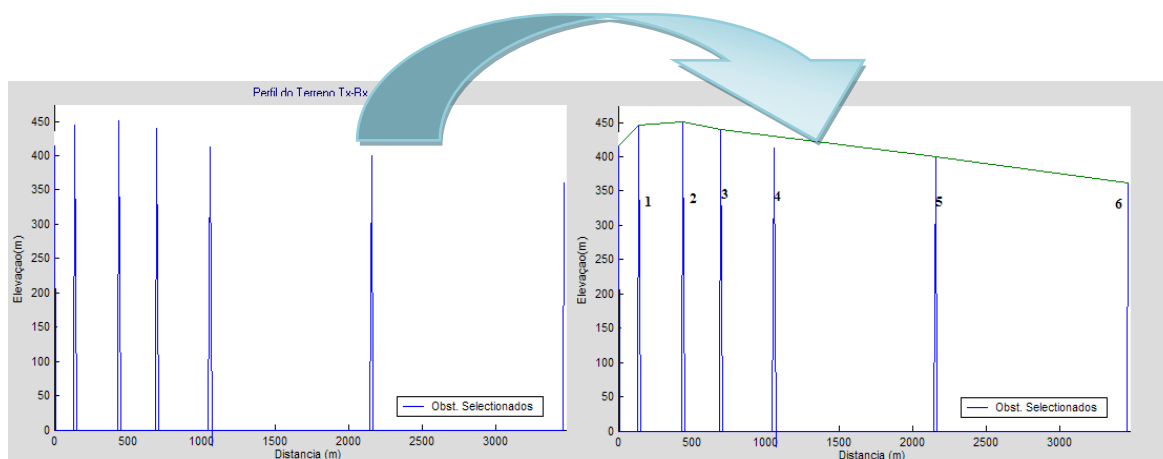


Fig. 3-20 Amostragem final do perfil do terreno entre TX e RX.

Observando a figura 3-20 pode-se verificar-se que o obstáculo 4 não é considerado no percurso final, já que não obstrui a primeira zona de Fresnel em mais de 40% entre o obstáculo 3 e 5. Após o perfil do terreno entre TX e RX estar amostrado e os obstáculos reduzidos a obstáculos em forma de lâmina, conhecidos como “*Knife Edges*”, estão reunidas as condições para aplicar os modelos de difracção. O código responsável por toda a amostragem do perfil do terreno está presente no anexo B1.

3.5. Implementação dos modelos de propagação

Foram implementados no *software* os modelos de Epstein-Petterson, Deygout, Egli e o modelo de difracção do ITU-R P530-12. O modelo de Epstein-Petterson e de Deygout foram escolhidos por serem amplamente utilizados como referência no estudo da difracção sobre obstáculos. O modelo de difracção do ITU foi escolhido por utilizar apenas um único obstáculo em todo o percurso para calcular a perda de difracção e o modelo de Egli por não utilizar quaisquer informação do terreno para calcular a perda inerente. Estes surgiram como alternativas possíveis, já que a teoria por de trás destes modelos é totalmente diferente dos modelos anteriores. Ao incluir estes modelos no *software* tornou-se possível compará-los e verificar quais os que melhor se adaptavam à geografia das Ilhas Desertas.

O modelo de Deygout implementado é um modelo modificado, já que ao contrário de se considerar todos os obstáculos, considera-se apenas os 3 que mais contribuem para a atenuação. Esta modificação deve-se principalmente a duas razões: uma foi a redução da complexidade da algoritmo e do tempo de execução; a outra foi que a aplicação do modelo de Deygout, quando são considerados muitos obstáculos, tem a tendência a apresentar perdas muito superiores às reais. Por esta razão é comum as implementações deste modelo utilizarem um determinado critério para limitar o número de obstáculos. A razão para este critério em particular e não um outro, deve-se ao modo de como devem ser aplicados os factores correctivos, sugeridos pelo próprio Jaques Deygout [8; 27; 28].

O processo de selecção dos obstáculos para o modelo modificado de Deygout consiste em calcular o parâmetro v , definido na equação (2.4), para todos os obstáculos como se os restantes não existissem. O obstáculo com maior valor de v é considerado como sendo o obstáculo principal. O processo é repetido para todos os obstáculos à direita e à esquerda do principal. Este procedimento dá origem, respectivamente, ao obstáculo seleccionado à

esquerda e à direita. O código criado para a implementação do modelo de Deygout encontra-se no anexo B2.

O modelo de Epstein-Petterson foi implementado sem qualquer modificação. Após ser realizada a amostragem do perfil do terreno entre TX e RX, o algoritmo calcula a perda de cada um dos obstáculos de acordo com o processo descrito na secção 2.2.3. O código criado para a implementação do modelo de Epstein-Petterson encontra-se no anexo B3.

Para a aplicação do modelo de difracção do ITU-R P530-12, o processo é também linear e directo. Calcula-se a recta que une os dois terminais TX RX, sendo feita uma pesquisa relativamente ao ponto do terreno que possui uma maior altura relativamente à linha de vista. Depois de encontrado o ponto basta aplicar o processo descrito no capítulo 2 para calcular a perda adicional devido à difracção. O código responsável pela aplicação do modelo do ITU-R P530-12 encontra-se no anexo B4.

O modelo de Egli tem também uma aplicação linear, visto este modelo não ter em conta quaisquer aspectos do terreno entre TX e RX. Uma vez que todos os restantes modelos calculam a perda do percurso sem ter em conta o ganho das antenas, considerou-se o ganho das antenas tanto do transmissor e do receptor como sendo unitário para manter a mesma coerência. O código responsável pela aplicação do modelo de Egli encontra-se no anexo B5.

4. Projecto da rede rádio móvel para as Desertas

Neste capítulo é apresentado o projecto da solução proposta para a rede de rádio móvel das Ilhas Desertas. Os modelos de propagação apresentados no capítulo 2 são comparados com as medições efectuadas na Deserta Grande e são avaliadas as respectivas previsões de cada modelo. Após a avaliação dos modelos é apresentado o estudo de propagação realizado para as Ilhas Desertas. Por fim, é apresentado o problema da falta de cobertura da rede GSM na doca e as possíveis soluções para este problema.

4.1. Definição do sistema

Antes de se iniciar o projecto da rede, era fundamental fazer um levantamento das características que o sistema deve apresentar, assim como das aspirações dos membros do PNM, que são quem vão beneficiar com uma hipotética implementação do sistema. Do levantamento de requisitos efectuado com alguns membros do PNM, definiu-se as seguintes características para a rede de rádio móvel:

- A área de cobertura da rede deve incluir todos os ilhéus que compõem as Ilhas Desertas e uma área marítima até 200 m da costa, perfazendo uma área total de aproximadamente 55,0 Km². Foram identificadas as zonas onde seria indispensável a cobertura da rede de comunicações e outras onde a cobertura não seria muito importante;
- O número máximo de utilizadores em simultâneo na rede está entre 4 e 6, sendo um fixo e os restantes móveis, devendo ser salvaguardada a possibilidade do número de utilizadores crescer.
- A comunicação entre utilizadores poderia ser *simplex*, devendo, todavia ser avaliado o custo/benefício inerente à implementação de um sistema *duplex*;
- O número de repetidores a instalar deveria ser reduzido ao mínimo possível para garantir o menor impacto ambiental possível, garantido uma cobertura eficiente.
- Os mastros onde seriam instaladas as antenas deveriam também ter em conta o impacto ambiental, pelo que não deveriam exceder os 15 m de altura sendo que no Bugio estariam limitadas a 5 m. No Chão deveria ser utilizado o actual farol para instalar a antena, evitando assim a instalação de uma nova estrutura.

4.2. Legislação Portuguesa - SRMT

A ANACOM – Autoridade nacional das comunicações em Portugal reserva para as redes privadas de serviço móvel terrestre 4 faixas de frequências entre os 68 MHz e os 470 MHz, com um espaçamento entre canais de 12,5 kHz [29]. Na Tabela 4-1 são apresentadas as faixas de frequência reservadas aos SRMT.

4-Projecto da rede rádio móvel para as Desertas

Tabela 4-1 - Faixas de frequências para o território nacional reservadas a SRMT.

Faixas de Frequência	Afastamento	Espaçamento entre canais
68,000-87,500 MHz	10,525 MHz Tx Base superior ao Tx Móvel	12,5 kHz
148,000-174,000 MHz	4,6 MHz Tx Base superior ao Tx Móvel	12,5 kHz
440,000-450,000 MHz	5,0 MHz Tx Base inferior ao Tx Móvel	12,5 kHz
450,000-470,000 MHz	10,0 MHz Tx Base superior ao Tx Móvel	12,5 kHz

As redes privadas podem operar em modo de funcionamento *simplex*, *semi-duplex* ou *duplex*, sendo essencialmente utilizadas para as comunicações rádio. Podem, também, ser utilizadas para a transmissão de dados, podendo ser utilizada qualquer uma das bandas apresentadas na tabela 4-1 [29].

A largura de banda ocupada permitida para emissão é a apresentada na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 Largura de banda ocupada permitida por Faixa de Frequência.

Largura de banda ocupada kHz	Faixa de Frequência
12,5	VHF (80 e 160 MHz) e UHF (440-470 MHz)
20	VHF (40 MHz)
25	VHF (80 e 160 MHz) e UHF (450-470 MHz)

A potência de transmissão também é regulamentada pela ANACOM que estipulou os limites indicados na Tabela 5-3 de acordo com as faixas de frequência e com o tipo de equipamento [29].

Tabela 4-3 Limites de potência para redes localizadas (fixas)

Caracterização das Estações – Redes localizadas (fixas)			
Frequências MHz	Limites máximos de potência	Tipo de Antena	Espaçamento entre canais
40,680	5 W p.a.r	Externa - est. Base	20 kHz
	25 W p.a.r*	Integrada - portáteis	
169,175	5 W p.a.r	Externa - est. Base	25 kHz
	25 W p.a.r*	Integrada - portáteis	
468,1125	2 W p.a.r	Externa - est. Base	12,5 kHz
	25 W p.a.r*	Integrada - portáteis	
468,1250	2 W p.a.r	Externa - est. Base Integrada - portáteis	

	25 W p.a.r*		
469,275	5 W p.a.r	Externa - est. Base	25 kHz
	25 W p.a.r*	Integrada -portáteis	

* Para estações fixas equipadas com repetidores

Outras das imposições feitas pela ANACOM é de que todas as estações da rede que funcionem em canal partilhado utilizem um dispositivo de temporização de emissão que limite a emissão contínua a 1 minuto com um tempo de recuperação de 10 segundos. O tom de protecção na emissão e na recepção também é obrigatório, caso seja utilizado um canal partilhado ou seja imposto pela ANACOM por razões de gestão do espectro electromagnético[29].

A faixa de frequências escolhida para o projecto da rede de rádios móveis foi a faixa UHF (450-470 MHz). Esta escolha foi motivada pela disponibilidade de uma maior largura de banda nesta faixa, o que possibilitaria a implementação de novos serviços como, por exemplo envio de SMS, sinais de controlo, localização remota por GPS, bloqueio remoto, entre outros. Estes serviços estão disponíveis com a utilização da tecnologia digital que será utilizada em detrimento da desactualizada analógica.

Os SRMT estão sujeitos a licenciamento pelo que qualquer rede desta natureza deverá estar devidamente licenciada pela ANACOM e por consequência sujeito ao pagamento de uma taxa anual.

4.3. Avaliação dos modelos de propagação

4.3.1. Testes e ensaios do sistema de transmissão

Antes de realizar as medições nas ilhas Desertas que servirão de base ao estudo de propagação a realizar para aquelas ilhas, assim como à avaliação da aplicação dos vários modelos em estudo, foi fundamental realizar alguns ensaios na Ilha da Madeira. Estes ensaios têm como objectivo averiguar a cobertura do sistema, a autonomia da bateria e do analisador de espectros, assim como ganhar experiência no manuseamento e montagem do equipamento.

O equipamento utilizado para efectuar as medições é o apresentado na figura 4-1.

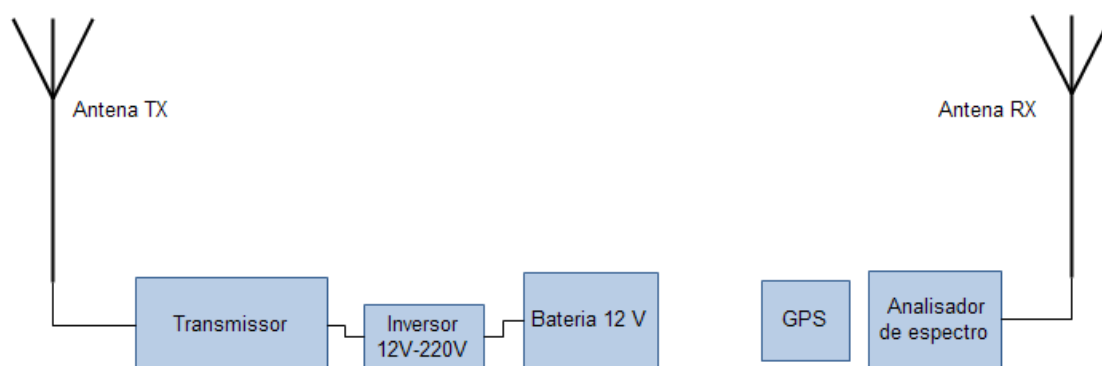


Fig. 4-1 Esquema do sistema utilizado para efectuar as medições

O emissor foi configurado para a frequência dos 469,5 MHz com uma potência máxima de 32 dBm, durante um período de 30 segundos, após o qual a potência diminui para 13 dBm, sendo alimentado por uma bateria de gel de 12 V.

O navegador de GPS utilizado para registar a localização geográfica da medição é o eTrex Vista HCx (Figura 4-2). Por ser compatível com o sistema de correcção de GPS europeu – EGNOS, este equipamento possui um grau de sensibilidade elevado. Outras das principais características de que o equipamento dispõe são: ecrã a cores, bússola electrónica, altímetro, informação lunar e solar.



Fig. 4-2 Navegador GPS eTrex Vista

Por não se dispor de antenas para a frequência 469,5 MHz, foram construídas duas antenas monopolo de $\frac{1}{4} \lambda$ (ver Figura 4-3).



Fig. 4-3 Antenas monopolo 469,5 MHz

O elemento radiante foi construído recorrendo a um fio de cobre de raio 0,5 mm sendo o plano condutor construído a partir de uma placa de alumínio. Idealmente as dimensões do plano terra deveriam ser superiores a $\frac{1}{2} \lambda$, no entanto, por questões de mobilidade e de construção o plano terra é de dimensões inferiores, medindo cerca de 16 cm.

Quando colocada sobre um plano de terra condutor, uma antena monopolo de $\frac{1}{4} \lambda$ excitada por uma fonte na sua base apresenta o mesmo diagrama de radiação que um dipolo de $\frac{1}{2} \lambda$ no espaço livre[30]. Tal pode ser entendido pela teoria das imagens que possibilita substituir o plano condutor pela imagem do monopolo de $\frac{1}{4} \lambda$, (ver Figura 4-4 (b)), no entanto, a potência radiada é metade da radiada pelo dipolo já que a radiação está limitada ao semi-espaço superior [30].

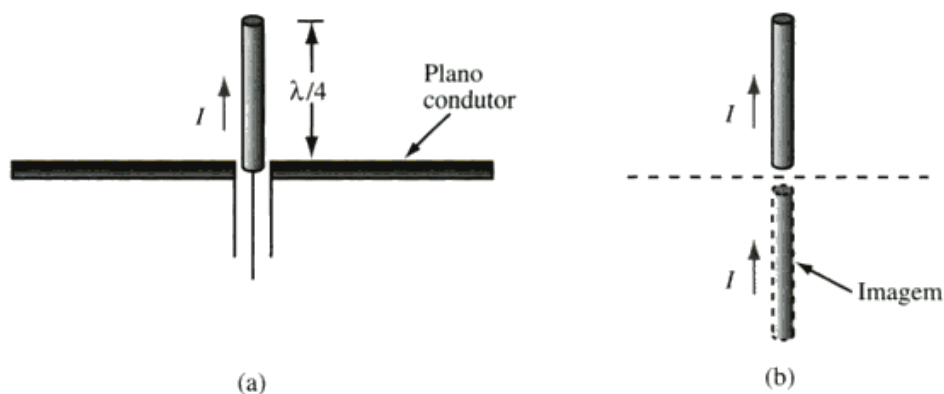


Fig. 4-4 (a) - Um dipolo de $\frac{1}{4} \lambda$ acima de um plano condutor .(b) Equivalência de (a) a um dipolo de $\frac{1}{2} \lambda$ radiando no espaço livre .

Como se pode verificar pela figura 4-5 valor do SWR (*Standing Wave Ratio*) medido para as antenas, foi de 1,54 e 1,5 respectivamente para as antenas (a) e (b).

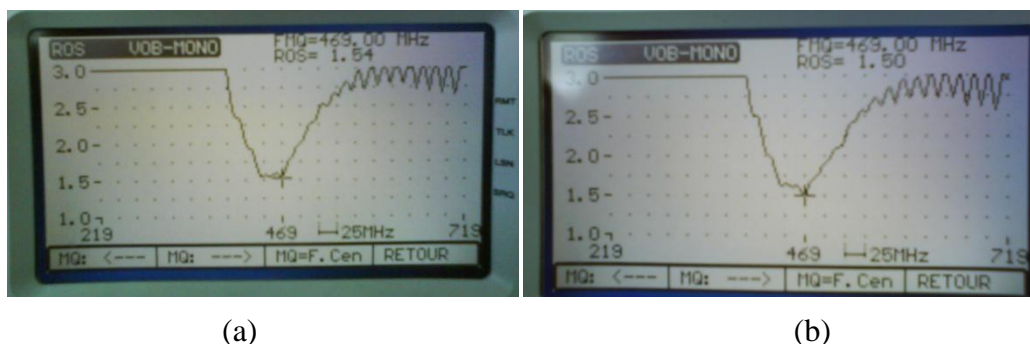


Fig. 4-5 Medição do coeficiente de reflexão (SWR) para as antenas monopolo $\frac{1}{4} \lambda$.

Procedeu-se à medição do diagrama de radiação da antena (a), com ambas as antenas elevadas do solo cerca de 4 m. Esta medição foi realizada no exterior de modo a evitar a maioria das reflexões existentes em ambientes interiores. O resultado das medições é apresentado na figura 4-6.

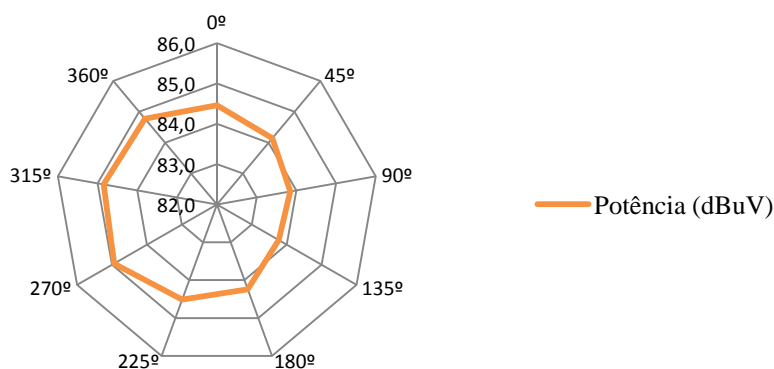


Fig. 4-6 Diagrama de radiação da antena monopolo $\frac{1}{4} \lambda$ construída.

Tratando-se de duas antenas iguais, o cálculo do ganho das antenas pôde ser efectuado com base na equação (2.1) que pode ser reescrita da seguinte forma:

$$L = G_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (4.1)$$

com $G_2 = G_t \times G_e$, o ganho conjunto das duas antenas.

Foram efectuados medições ao longo de 6 m em intervalos de 0,5m com ambas as antenas elevadas do solo cerca de 4m. Mediu-se a perda inerente a cada um dos cabos utilizados, tendo-se obtido valores de 2,16 dB e 1,76 dB, respectivamente para o cabo da antena emissora e receptora. Tendo o valor da perda nos cabos e considerando as antenas localizadas no espaço livre, o ganho total do sistema pode ser dado pela média das diferenças entre a perda medida e a perda do espaço livre. Vindo a verificar-se que o ganho das antenas era de 0,35 dB.

O baixo valor do ganho das antenas poderá dever-se ao método utilizado para a medição do mesmo, que não foi o mais adequado, por falta de equipamento calibrado e a falta de uma sala adequada a este tipo de medições. Outra possível razão poderá ser as dimensões utilizadas.

Foram realizados dois testes distintos ao sistema, um nas imediações da Universidade da Madeira e um outro na Ponta de São Lourenço. Este último apresenta um raio de medição muito superior ao encontrado no teste realizado nas imediações da Universidade.

Os resultados das medições efectuadas apresentam-se na figura 4-7 e 4-8, respectivamente. Junto de cada ponto de medição apresenta-se o valor da perda calculada. A localização geográfica dos locais onde foram efectuadas as medições foram guardados no receptor GPS, o que permitiu importar todos os pontos de medição para o Google™ Earth.



Fig. 4-7 Testes realizados nas imediações da Universidade da Madeira.



Fig. 4-8 Testes realizados na Ponta de São Lourenço.

4.3.2. Medições e avaliação dos modelos de propagação

Com os sistemas de teste testados, procedeu-se à realização das medições na Deserta Grande. As medições nas Desertas foram divididas em duas fases: a primeira contemplaria apenas medições no topo da Deserta Grande e a segunda apenas medições no mar junto à costa do lado Oeste da ilha. No Anexo F está disponível o diário de campo.

O sistema montado foi em tudo idêntico ao já testado, com a antena emissora a ser instalada num mastro telescópico a cerca de 3,5 m do solo. Para facilitar a deslocação com o equipamento de receção foi adaptada uma estrutura de suporte para à bolsa de transporte, ficando as mãos livres para manusear o navegador GPS e tomar nota das medições, como se pode ver pela figura 4-9. O sistema montado foi o da figura 4-10.



Fig. 4-9 Suporte para transporte da antena e do analisador de espectros.



Fig. 4-10 Transmissor 469,5 MHz montado na Deserta Grande. A localização do Transmissor é 32°32'23,2N 16°31'38,2W.

A primeira fase de medições contemplou cerca de 22 medições num raio máximo de 1000 m. O raio máximo das medições não foi superior, devido ao horário que não nos permitia percorrer uma distância maior para as medições e depois retornar em segurança à estação de serviço. A segunda fase, junto à costa contemplou cerca de 34 medições num raio máximo de 7960m. A figura 4-11 apresenta a localização dos pontos de medição.

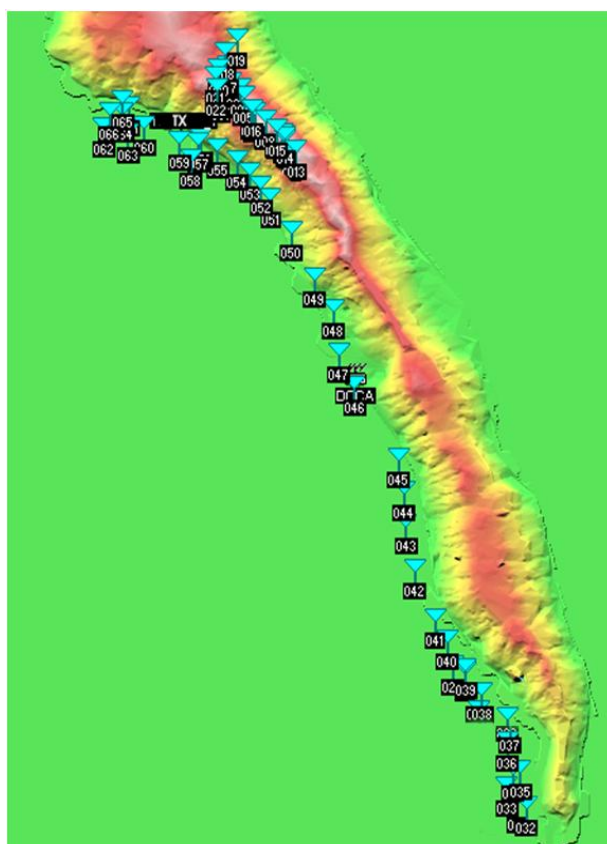


Fig. 4-11 Localização das medições efectuadas na Ilha da Deserta Grande

Com a importação dos pontos para o respectivo mapa, notou-se um ligeiro desvio da orientação do mesmo, já que alguns dos pontos não estavam sendo projectados no local esperado. Foi necessário, então, projectar de novo o mapa com base em dois pontos conhecidos e identificáveis no mapa, a estação de serviço e o pico mais alto das desertas. Idealmente a re-projecção do mapa deveria ser realizada com base em mais pontos, contudo tal não foi possível, já que não se disponha de mais pontos conhecidos. Por esta razão poderá existir alguma incoerência nos locais onde foi efectivamente medido o sinal e o local onde será simulado o mesmo ponto. Estima-se que depois da correcção o erro seja inferior a 50 m nos piores casos.

Com base nas coordenadas geográficas dos pontos de medição, procedeu-se à simulação dos vários modelos em estudo (Longley-Rice, Epstein-Petterson, Deygout, Egli e ITU-R P530-12) a fim de comparar com os valores obtidos através das medições.

Na Tabela 4-4 é descrito o sistema criado para simular as medições efectuadas nas Ilhas Desertas. Uma vez que nesta simulação apenas interessava quantificar as perdas inerentes ao percurso, são apenas referidas as condições de instalação das antenas, nomeadamente a altura e a localização onde estavam instaladas e a frequência em uso.

Tabela 4-4 Características do equipamento utilizado na simulação das medições efectuadas

Frequência	469.5 MHz
Altura da antena transmissora	3,5 m
Altura da antena receptora	1,5 m

Os resultados das medições e simulações referentes à 1ª fase de medições encontram-se no Anexo D1, estando o respectivo gráfico representado na figura 4-12.

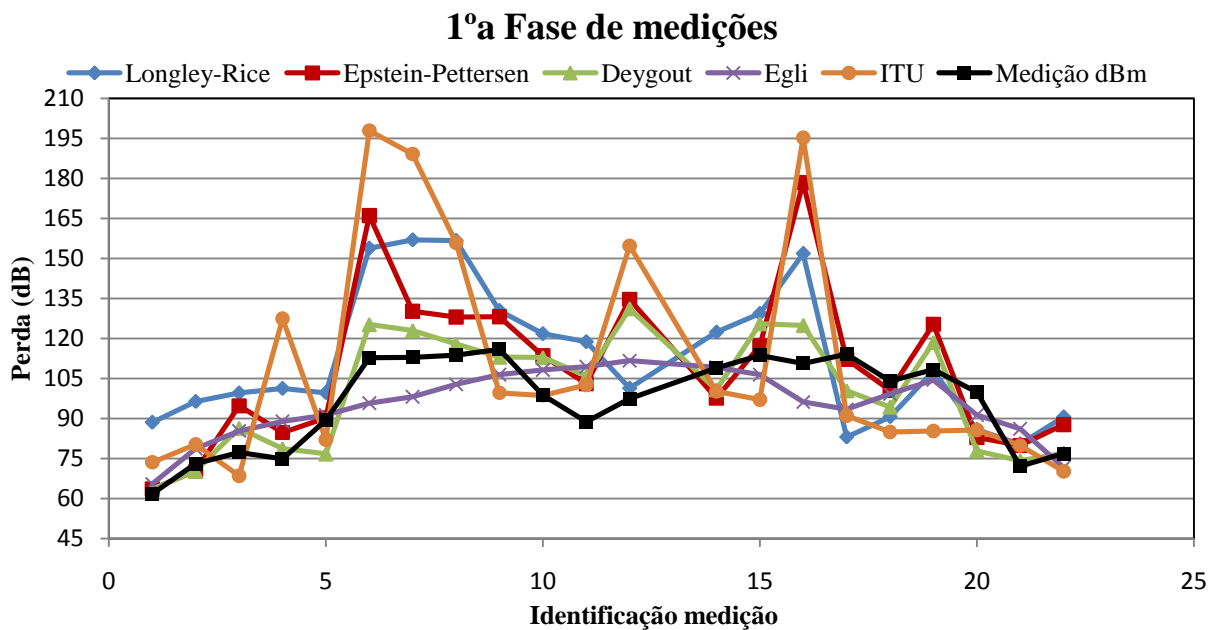


Fig. 4-12 Medições no topo do Ilha da Deserta Grande e previsões segundo os modelos em estudo

Os resultados das medições e simulações da 2ª fase encontram-se no Anexo D2, estando o gráfico das medições representado na figura 4-13.

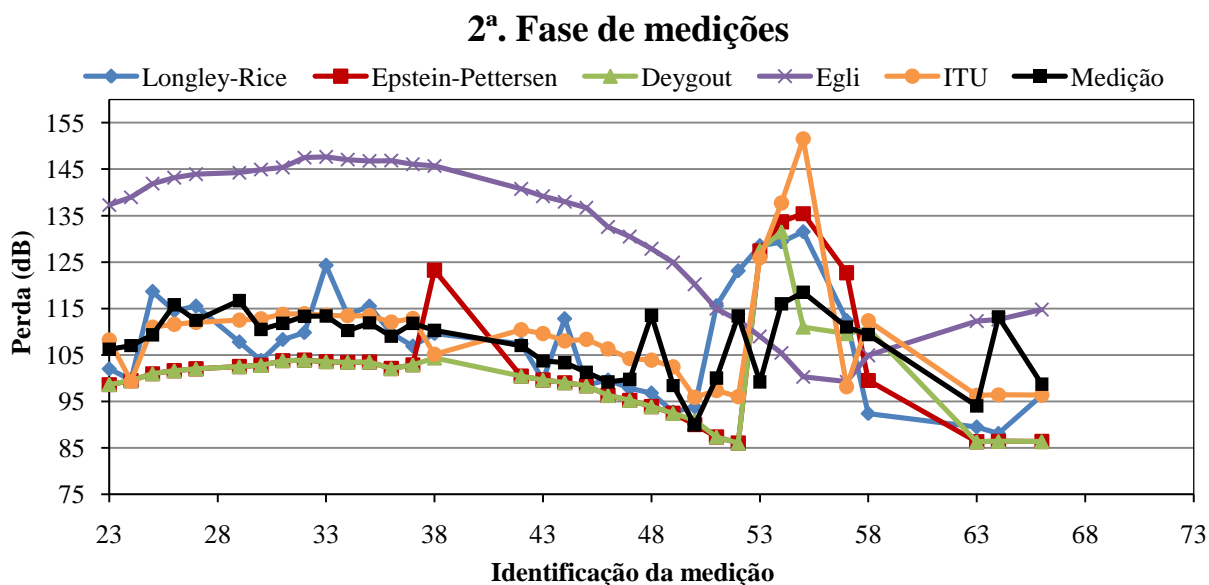


Fig. 4-13 Medições ao longo da costa Oeste do Ilha da Deserta Grande e previsões segundo os modelos em estudo.

No gráfico da figura 4-14 é possível verificar a percentagem de ocorrência de erros nas simulações realizadas relativamente às medições efectuadas.

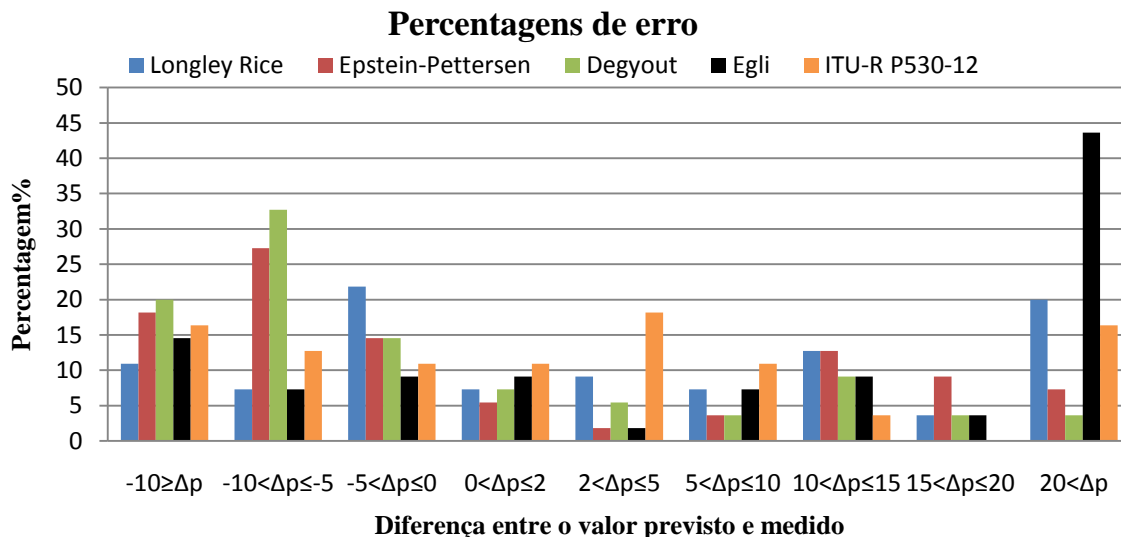


Fig. 4-14 Percentagem da ocorrência de erros de acordo com os vários modelos em estudo para as medições efectuadas nas Ilhas Desertas.

A Tabela 4-5 apresenta os resultados compilados do cálculo do erro médio e desvio padrão dos vários modelos simulados.

Tabela 4-5 Erro médio e desvio padrão dos vários modelos simulados.

	Longley-Rice	Epstein-Petterson	Deygout	Egli	ITU-R P530-12
Erro médio	0,17	-5,56	-6,92	23,07	1,86
Desvio padrão	10,18	11,52	9,75	16,31	10,19

Analisando os gráficos das figuras 4-13 e 4-14 verifica-se que a curva dos valores de perda previstos pelos vários modelos apresentam no geral um comportamento que aproxima-se pouco do da curva de medições. Para o modelo de Longley Rice as previsões estão distribuídas pelo excesso e pelo defeito sendo que de acordo com o gráfico da figura 4-14, 61% das previsões foram pessimistas. Contudo 50% das previsões apresentam um desvio inferior a 10 dB relativamente aos valores medidos. A perda em excesso prevista pelo modelo de Longley-Rice acontece principalmente para situações em que o receptor está localizado próximo a um obstáculo de dimensões consideráveis que impede a linha de vista.

O modelo de Egli é um modelo maioritariamente pessimista, já que cerca de 75% das previsões são excessivas. Destas previsões excessivas, 57% ultrapassam a medição em valores superiores a 20 dB. Outra característica deste modelo é apresentar um comportamento totalmente distinto do apresentado pela curva de medições, esta situação é causada pelo facto deste modelo utilizar como parâmetro apenas a distância, ignorando o perfil do terreno.

Quando às previsões dos modelos de Epstein-Petterson e do Deygout, estas são coerentes entre si quando o número de obstáculos seleccionados pelo modelo de Epstein-Petterson é menor ou igual a 3. Quando o número de obstáculos seleccionado é superior aos seleccionados pelo modelo de Deygout, as previsões deste último tendem a ser inferiores face às previstas pelo modelo de Epstein-Petterson.

As perdas previstas pelo modelo do ITU-R P1530-12 são excessivas quando existe um obstáculo de grande dimensão, ou um desnível acentuado no percurso directo entre o transmissor e o receptor. Relativamente ao optimismo ou excesso apresentado pelas previsões deste modelo verifica-se que 60% são excessivas.

Verificou-se um maior desvio das previsões dos vários modelos para as medições efectuadas no topo da ilha do que para as medições efectuadas no mar junto às encostas, ao contrário do que era esperado. Pressupõe-se que os desvios das previsões fossem superiores para as medições efectuadas no mar junto as encostas, já que se estaria perante condições de propagação desfavoráveis.

Nenhum dos modelos mostra ser capaz de lidar com o caso especial da propagação junto das encostas ao nível do mar, ou para o caso em que existem grandes obstáculos nas proximidades do ponto considerado. Acabando por considerar perdas excessivas face aos valores medidos.

Analisando a tabela 4-5, verifica-se que os modelos que apresentam menor erro médio são o modelo de Longley Rice e o modelo de ITU-R- P530-12, o que está de acordo com o evidenciado na figura 4-14. No que diz respeito ao desvio padrão, existe uma menor discrepância entre os vários modelos, sendo o menor valor apresentado pelo modelo de Deygout, seguido do modelo de Longley Rice e do ITU-R P530-12. Com base nestes resultados optou-se por seleccionar os modelos de Longley Rice e do ITU-R P530-12 para servir de suporte ao estudo de propagação para as Ilhas Desertas.

4.3.2. Análise dos algoritmos e teste do DiffractionLoss

Para completar a análise dos modelos e verificar a sua coerência, procedeu-se a um estudo do cálculo de perdas por difracção ao longo de 3 perfis de terreno aleatórios localizados na Deserta Grande. O *software* utilizado foi o “PropagationLoss” para o modelo de Epstein-Petterson, Deygout, Egli e do ITU-R P530-12. Para a aplicação do modelo de Longley-Rice utilizou-se o “Radio Mobile”.

Simulou-se então um sistema de comunicações a funcionar na frequência dos 469,5 MHz com o emissor instalado a uma altura de 15 m e o receptor a uma altura de 2 m do solo. Os valores de perda apresentados representam apenas as perdas por difracção e a perda do espaço livre, não tendo sido consideradas quaisquer outras perdas ou ganhos. Os resultados obtidos para os três percursos são apresentados no Anexo C, os respectivos gráficos são apresentados nas figuras 4-15, 4-16 e 4-17, respectivamente.

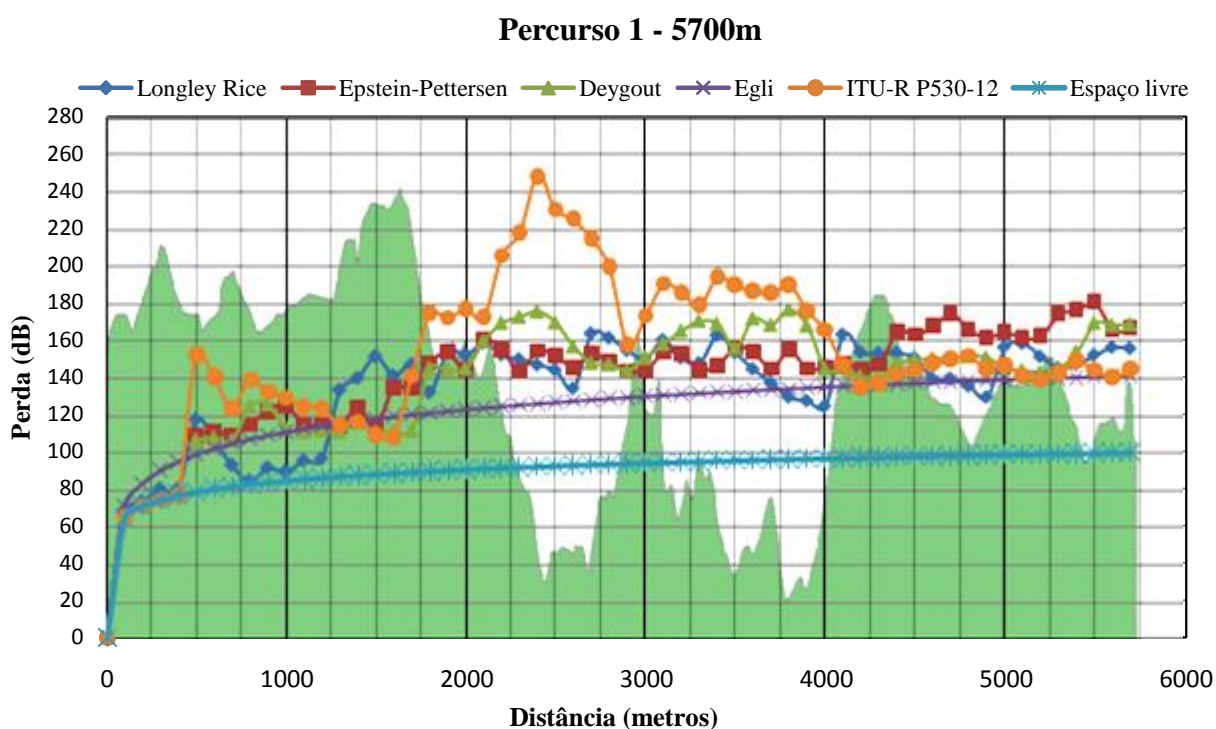


Fig. 4-15 Perda por difracção em dB - Percurso 1 - 5700m.

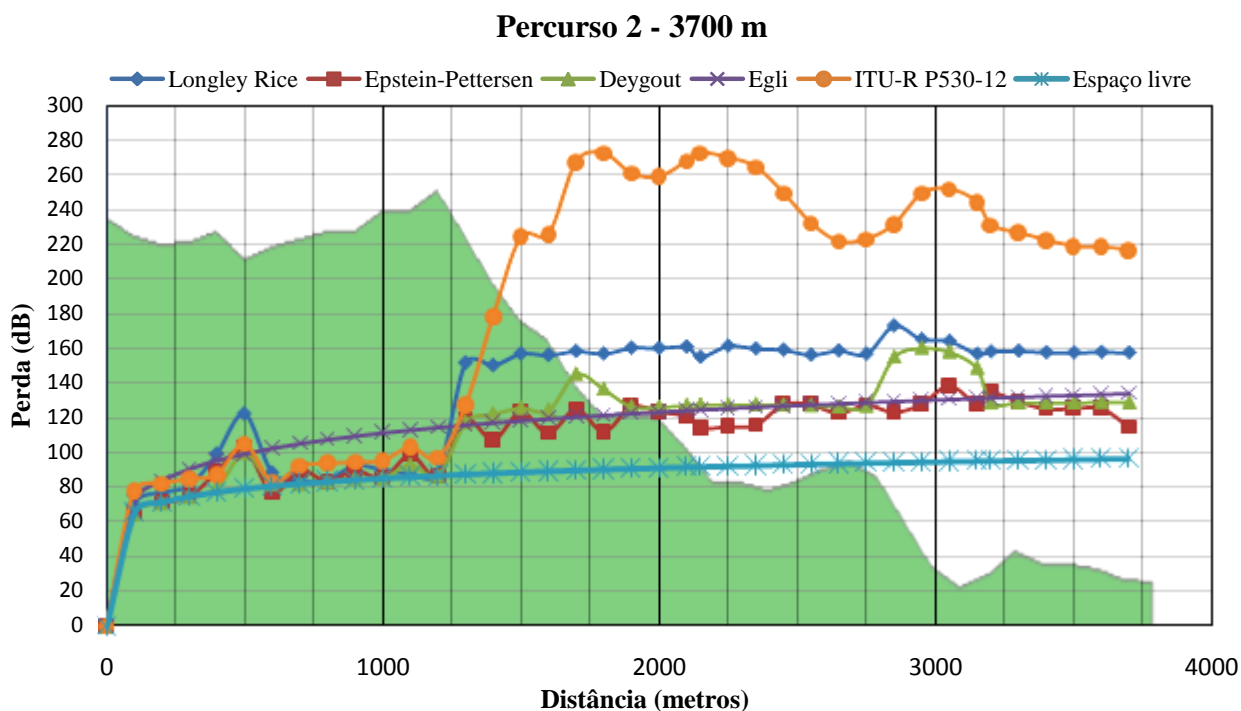


Fig. 4-16 Perda por difracção em dB, Percurso 2 - 3700m.

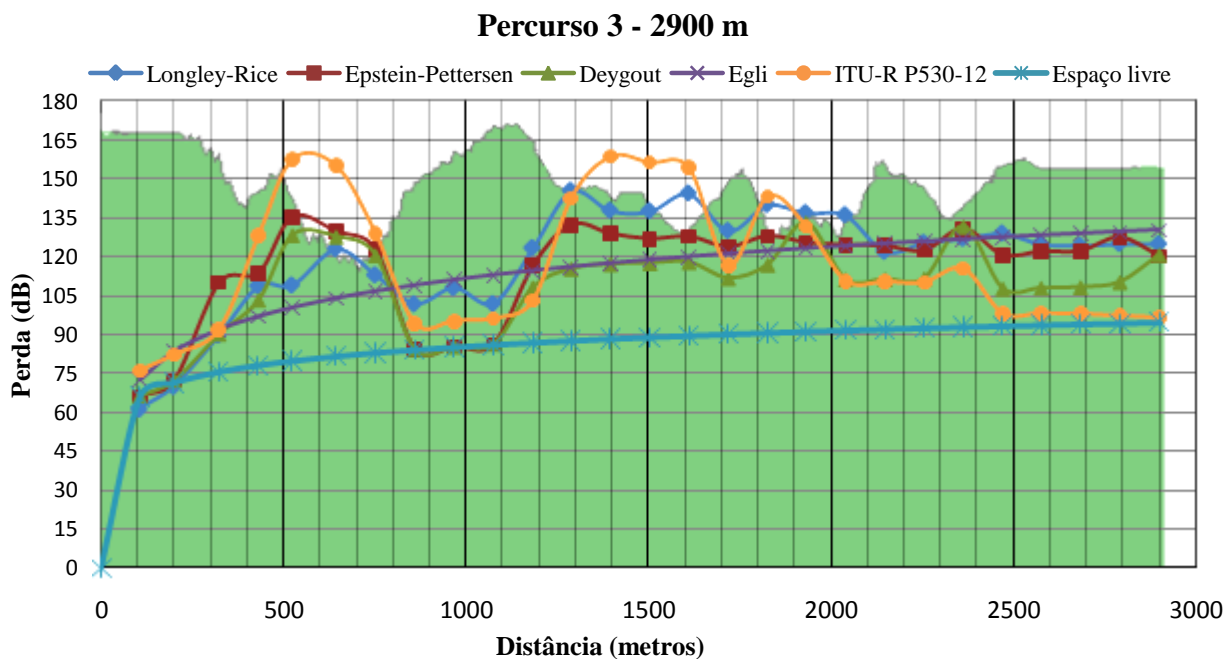


Fig. 4-17 Perda por difracção em dB, Percurso 3 - 2900 m.



Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Observando os gráficos das figuras 4-15, 4-16 e 4-17 depreende-se, em primeiro lugar que a curva relativa ao modelo do ITU-R P530-12 destaca-se das restantes, principalmente no percurso 2. Esta situação deve-se ao facto de neste percurso existir um desnível considerável entre o TX e o RX a partir dos 1500 m sensivelmente. Isto faz com que a altura dos obstáculos face à linha que une TX a RX aumente notavelmente, incitando uma estimativa de perdas por difracção excessiva, comparativamente aos restantes modelos analisados. Este comportamento está de acordo com os resultados encontrados durante a análise das medições, ficando evidente o pessimismo deste modelo em zonas de grande declive ou obstruções elevadas face à linha de vista. Não obstante, este modelo apresenta uma coerência evidente face as variações da elevação do terreno.

Os modelos de Epstein-Petterson, Deygout e de Longley-Rice apresentam um comportamento semelhante face à variação do terreno, comportamento esse menos coerente quando comparado com o modelo do ITU-R P530-12. Esta falta de coerência face à variação do terreno é muito dependente do intervalo de amostragem utilizado pelo algoritmo responsável pela selecção dos obstáculos. Além deste factor, no modelo de Deygout a limitação do número de obstáculos também causa alguma incoerência com o terreno.

Relativamente às perdas previstas pelo modelo de Longley-Rice, este tende a apresentar valores de perda superiores face aos apresentados por Epstein-Petterson e Deygout. Entre estes últimos dois modelos não é evidente nenhuma relação de superioridade no que toca às previsões de perda. O desnível entre TX e RX nestes modelos não origina um aumento de perdas tão evidente como acontece com o modelo do ITU-R P530-12.

Quanto ao modelo de Egli, verifica-se claramente que é independente da variação do terreno, apresentado um comportamento comparável à curva do espaço livre. As previsões de perdas são superiores ao espaço livre fruto da sua natureza estatística, algo já verificado na comparação com as medições efectuadas na secção 4.3.2.

4.4. Estudo de cobertura para as Ilhas Desertas

O estudo de propagação para as ilhas das Desertas tem como principal objectivo compreender o fenómeno da propagação de ondas rádio nas Ilhas Desertas, permitindo, desta forma, dimensionar um sistema que cumpra com os requisitos inicialmente definidos.

Inicialmente, efectuou-se uma simulação para a área da Deserta Grande, utilizando duas ferramentas de simulação distintas Radio-Mobile e o DiffractionLoss. Esta simulação teve como principal objectivo comparar as principais diferenças entre os dois modelos seleccionados e procurar compreender como se propaga o sinal no mar, principalmente num raio até 200 m da encosta.

As características do equipamento do simulador (potência de transmissão, sensibilidade, tipo de antena e respectivos ganhos) foram definidas com base nas características de equipamentos normalmente utilizados neste tipo de redes [31].

A tabela 4-6 apresenta um resumo das características do equipamento simulado para o estudo de propagação para as Ilhas Desertas.

Tabela 4-6 Características do equipamento utilizado nas simulações.

	Repetidor	Rádio móvel
Frequência	450-470 MHz	450-470 MHz
Polarização Antenas	Vertical*	Vertical*
Potência Transmissão	12 dBW	5 dBW
Perda cabos+conectores	3dB	0
Ganho Antena	6 dBi	4 dBi
P.A.R	13,85 dBW	6,85 dBW
P.A.R.	24,3 W	5 W
Sensibilidade Recepção	0,25 μ V*	0,4 μ V*
Altura da antena	15 m	2 m

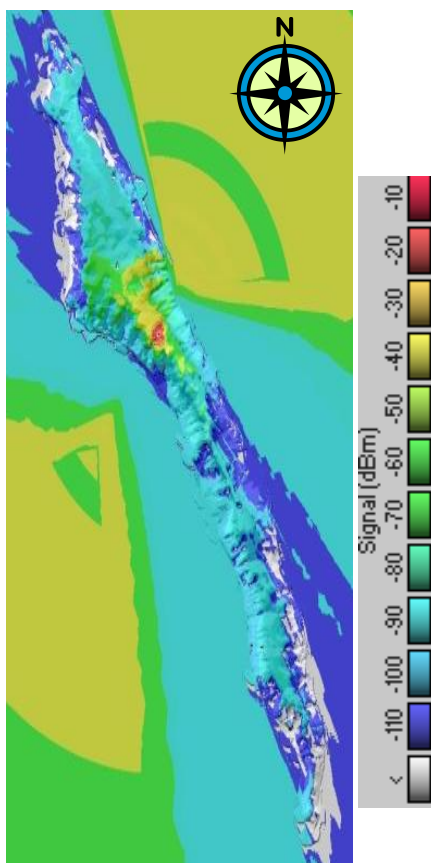
* Não disponível nas opções de configuração da simulação no DifraccionLoss


O processo de como efectuar a simulação no Radio-Mobile não será aqui descrito, remetendo-se essa explicação para [12] e [22].

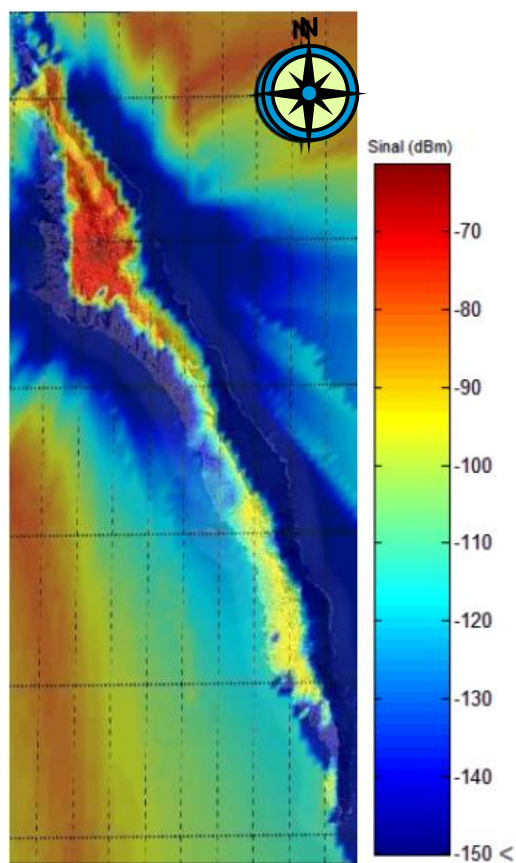
Simulou-se um repetidor instalado no local definido pelas coordenadas 3601596N-357085O. Nesta primeira simulação pretende-se, essencialmente, avaliar as principais diferenças entre os dois modelos seleccionados e procurar compreender como se propaga o sinal no mar principalmente num raio de 200 m da encosta. Na figura 4-18 e 4-19 estão presentes os resultados da simulação para o modelo de Longley Rice e para o modelo do ITU-R P 1530-12, respectivamente.

Analisando os resultados da simulação constata-se uma concordância na selecção das zonas, de maior perda, zonas a cinzento na figura 4-18 e zonas a azul-escuro e azul-claro na figura 4-19. Para a zona do topo da Deserta Grande ambas as estimativas prevêm potências superiores a -90 dBm na maioria do terreno. As zonas no mar junto às encostas da ilha apresentam-se como sendo zonas muito problemáticas, dado o grande declive das encostas ali existentes. Isso provoca uma zona de sombra que se estende até uma determinada distância a partir da encosta. Essa distância é variável e é tanto maior quanto maior for o declive e a altura da encosta adjacente, na direcção do transmissor.

A análise das figuras 4-18 e 4-19 revela um outra característica importante da simulação, que é a resolução dos mapas de cobertura gerados. Analisando as figuras verifica-se que a resolução é muito superior para os mapas gerados a partir do DifraccionLoss, assim como também a transição entre os vários níveis de potência é mais suave no DifraccionLoss que no Radio-Mobile.



 Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.




 Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 4-18 Resultado da simulação de cobertura no Ilha da Deserta Grande parao Radio-Mobile.

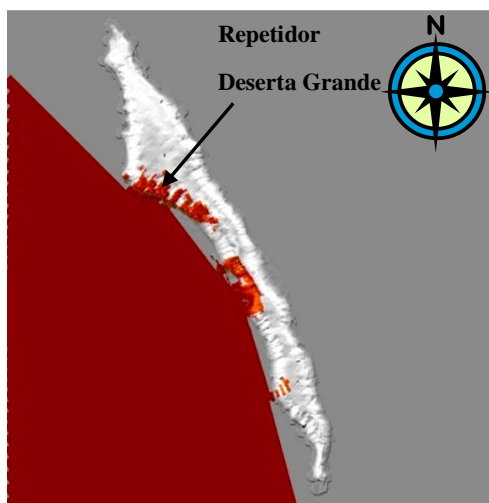
Fig. 4-19 Resultado da simulação de cobertura no Ilha da Deserta Grande parao DiffractionLosss.


Realizou-se outras simulações, desta vez, para as três ilhas. Coloucou-se um repetidor no ponto mais alto das Desertas, localizado na Deserta Grande. Verificou-se que um único repetidor não seria suficiente para cobrir toda a área das Ilhas Desertas, existindo um grande número de zonas de sombra, como, por exemplo, na zona norte e sul da Deserta Grande e grande parte do Bugio, assim como a maior parte da zona marítima junto às encostas da Deserta Grande. Consequentes simulações e averiguações através da visualização das Ilhas Desertas a 3D, permitiram concluir que para cobrir satisfatoriamente as zonas marítimas junto à costa até um raio de 200 m, o número mínimo de repetidores a instalar seria de 3. Para este número de repetidores a melhor localização encontrada foi a seguinte: Repetidor-1 - instalado na Deserta Grande – 32°32'23,2''N e 16°31'38,2''O; Repetidor 2 – instalado no Ilhéu Chão - 32°35'53,2''N e 16°33'37,4''O; Repetidor 3 – instalado no Bugio - 23°24'06,1''N e 16°27'55,1''O;

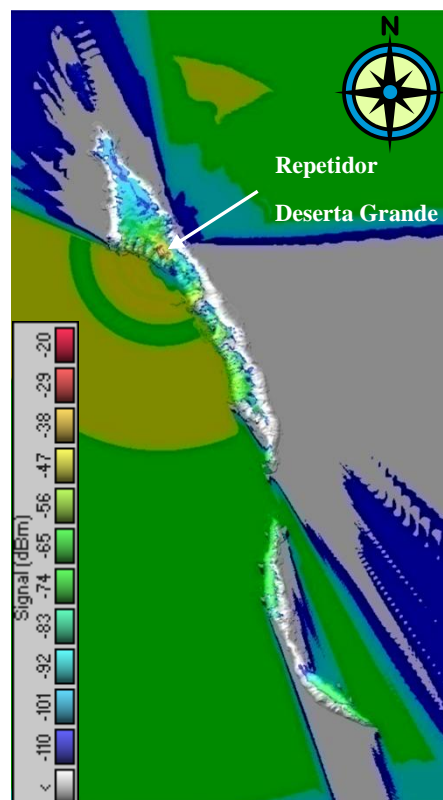
Optou-se primeiro por otimizar a cobertura na zona da doca, visto ser nesta zona que os vigilantes permanecem a maior parte do tempo. Estando a doca a uma cota de sensivelmente 10m junto à encosta a forma mais segura de se garantir que esta zona fica coberta por uma potência superior a -100 dBm consiste em instalar um repetidor com linha de vista para a doca. Para averiguar as localizações com linha de vista para a doca procedeu-se a uma análise de cobertura visual a partir da mesma, sendo esta análise apresentada na figura 4-20.

Na figura 4-20 a zona sombreada representa as zonas com cobertura visual a partir da doca. Como se verifica, existem várias localizações com linha de vista para a doca. Porém o local a seleccionar devia oferecer condições de acesso e de instalação do equipamento, o que não se verifica em todas as localizações assinaladas.

A localização do repetidor no local assinalado na figura 4-21 foi obtida por tentativas e erros na procura da melhor posição. Esta localização oferece várias vantagens tais como: facilidade de instalação, já que fica próximo a um planalto onde é possível a um helicóptero aterrar, cobertura visual de toda a zona da Doca e da maior parte do topo da ilha, e uma cobertura parcial do sul do Bugio e da costa Oeste e Sul.



 Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.




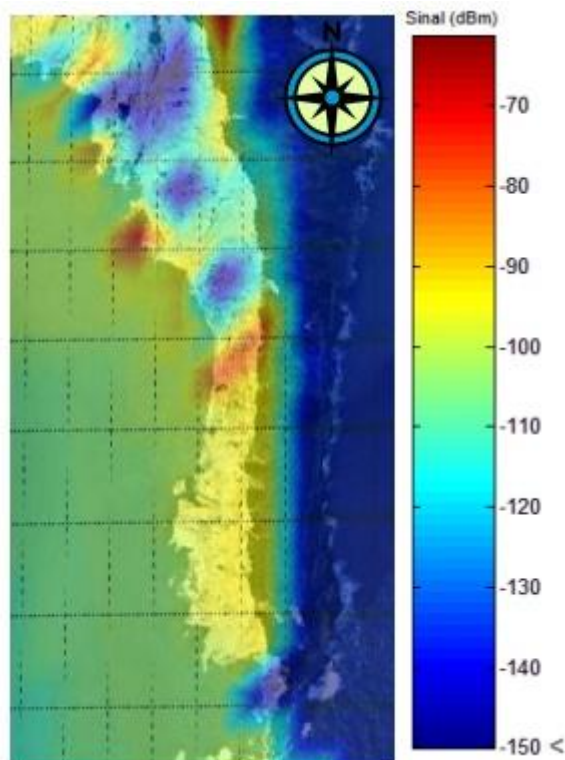
 Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 4-20 Cobertura visual a partir da Doca na Ilha da Deserta Grande.

Fig. 4-21 Diagrama de cobertura do repetidor instalado na Ilha da Deserta Grande.

A zona do calhau das areias, está semi-rodada por íngremes encostas que dificultam a penetração do sinal no local. No entanto, com a localização escolhida para o repetidor da figura 4-21 foi possível otimizar a cobertura nesta zona de elevada importância.



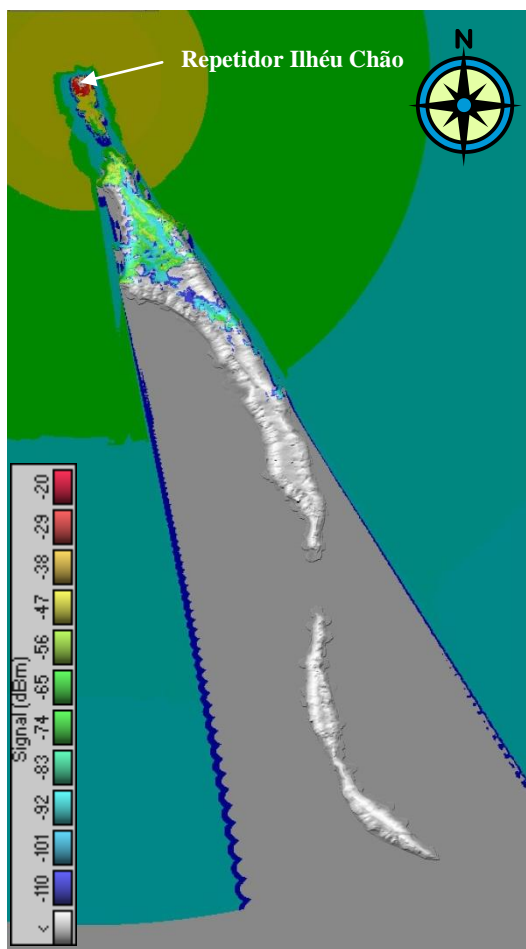
Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 4-22 Previsão de cobertura - DiffractionLoss segundo o modelo do ITU-R P530-12, no calhau das areias pelo repetidor da figura 4-21.

O repetidor do Ilhéu Chão, de acordo com o estabelecido inicialmente seria instalado no farol existente, reaproveitando assim as instalações existentes, evitando a introdução de novas infra-estruturas e minimizando o impacto ambiental da instalação. Na figura 4-23 visualiza-se a previsão de cobertura para o repetidor instalado no farol do Ilhéu Chão.

Para o Bugio, a instalação do repetidor está limitada a uma pequena área, já que o acesso à restante ilha é muito perigoso devido as encostas quase verticais, o que invalidaria operações de manutenção técnica e instalação do equipamento. Além desta limitação, por ser uma ilha muito frequentada por aves marinhas, principalmente a conhecida e ameaçada Freira do Bugio, houve uma preocupação em não projectar um mastro para instalar a antena muito alto tendo sido estabelecido um limite de 5 m. Para compensar a pouca altura do mastro simulou-se o repetidor no ponto mais alto da zona disponível.

Com a observação das figuras 4-21, 4-23 e 4-24 constata-se que os três repetidores complementam-se entre si, culminando num nível de cobertura para a maioria das zonas de interesse superior a -100 dBm, continuando a existir algumas zonas de sombra em algumas reentrâncias da encosta, onde a comunicação terá de ser feita um pouco mais para fora. Como é o caso da costa a Este da Deserta Grande, estas zonas são identificadas no mapa pela ausência de coloração e azul escuro.




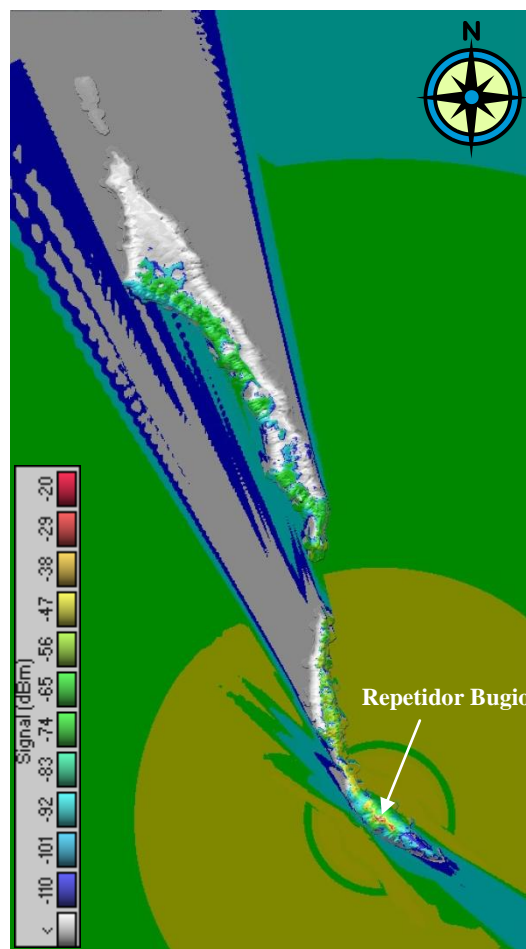
 Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 4-23 Diagrama de cobertura do repetidor instalado no Ilhéu Chão.




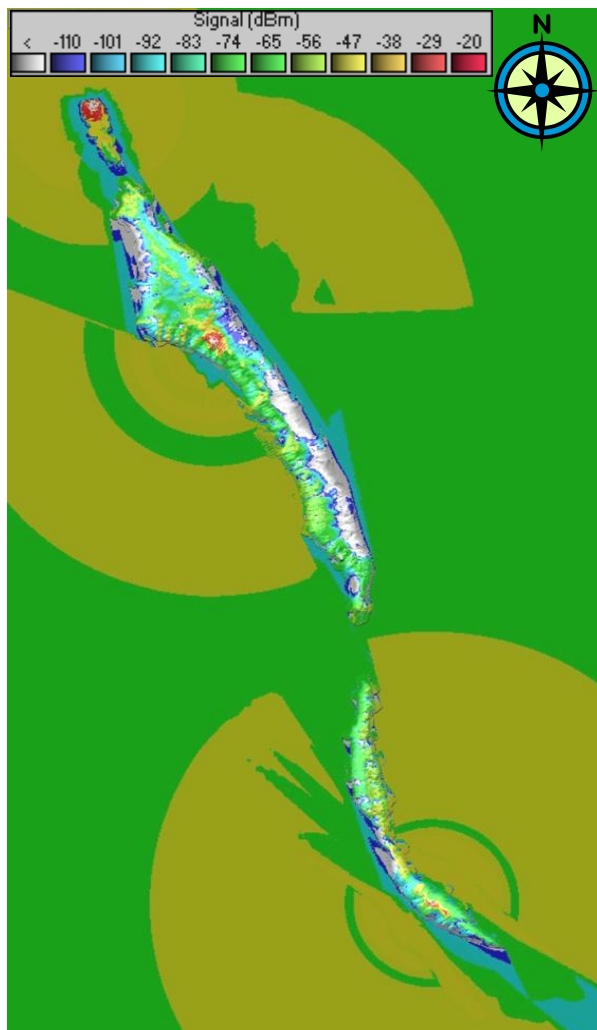
 Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 4-24 Diagrama de cobertura do repetidor instalado na Ilha do Bugio.

A figura 4-25 apresenta o diagrama de cobertura conjunto dos 3 repetidores nas Ilhas Desertas.

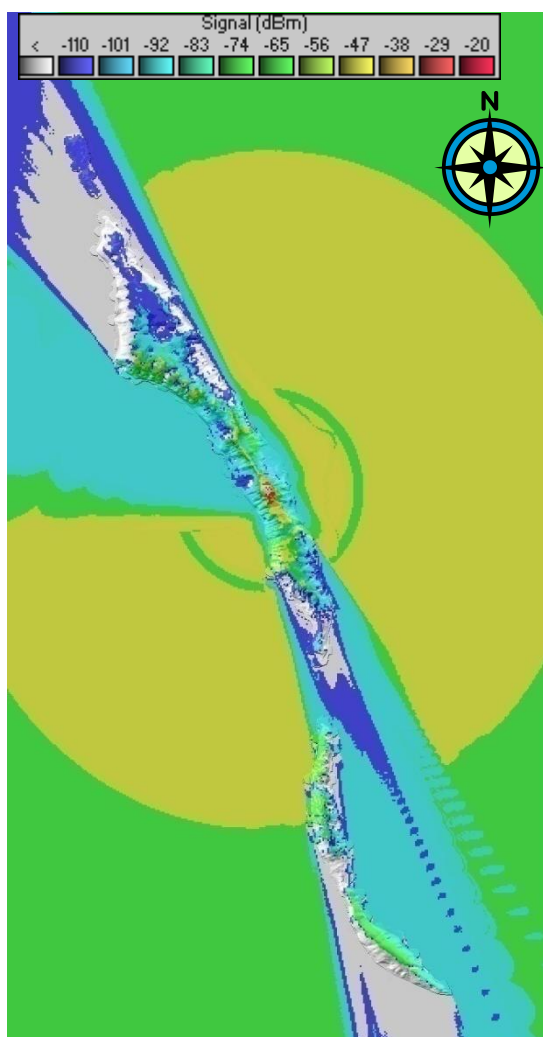
Como se pode verificar na figura 4-25, na zona junto à costa Este da Deserta Grande a cobertura oferecida pelos 3 repetidores é reduzida, o que irá obrigar os vigilantes a se afastarem da costa para conseguirem comunicar. Para melhorar a cobertura a Este da Deserta Grande, na impossibilidade de aumentar a potência, sugere-se a instalação de mais um repetidor no centro da ilha, mais propriamente em $32^{\circ}24'59,3''N$ $16^{\circ}29'38,9''O$. A cobertura prevista para o repetidor n.º 4 pode ser visualizada na figura 4-26.



Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 4-25 Diagrama de cobertura conjunta dos 3 repetidores.

A cobertura conjunta da nova configuração com 4 repetidores, representada na figura 4-27, oferece melhorias consideráveis na ordem dos 20 dBm, em média, relativamente à configuração anterior principalmente do lado Este e na zona Sul da Deserta Grande, onde se constata agora uma maior penetração do sinal na área marítima junto à costa.




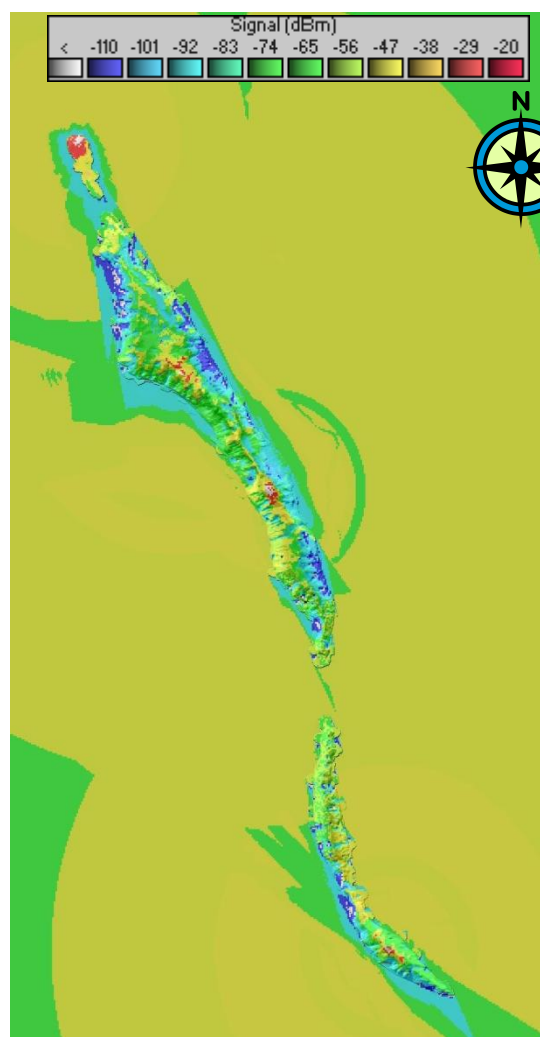
 Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 4-26 Diagrama cobertura do repetidor 4 instalado na Ilha da Deserta Grande.




 Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Fig. 4-27 Diagrama cobertura dos 4 repetidores instalados nas Ilhas Desertas.

Dada a natureza do relevo das Ilhas Desertas, é fundamental utilizar-se potências elevadas, para que o sinal consiga penetrar nas praias e áreas marítimas junto à costa, ainda que a área de cobertura oferecida seja superior a área pretendida.

Esta necessidade levanta dois problemas, o primeiro está relacionado com o consumo de energia que será proveniente de um sistema fotovoltaico enquanto o segundo problema, bem mais delicado e de difícil resolução, está relacionado com a dispersão do sinal além da zona de interesse. Relativamente ao consumo de energia, dado o comportamento inteligente do repetidor que só entrará em funcionamento quando houver uma comunicação prevê-se uma necessidade energética facilmente satisfeita. No que toca à dispersão do sinal além da zona de interesse, idealmente a propagação do sinal deveria ser restringida à zona das Ilhas Desertas num raio máximo de 200m da costa. No entanto, tal situação é impossível de acontecer de tal modo que grande parte da zona marítima entre as Ilhas Desertas e a ilha Madeira assim como

também do Porto Santo irá ficar coberta pela rede de comunicações. Na Madeira, como se pode ver pela figure 4-28, os concelhos onde se deverá verificar uma maior penetração do sinal são, Funchal, Santa Cruz e Machico.

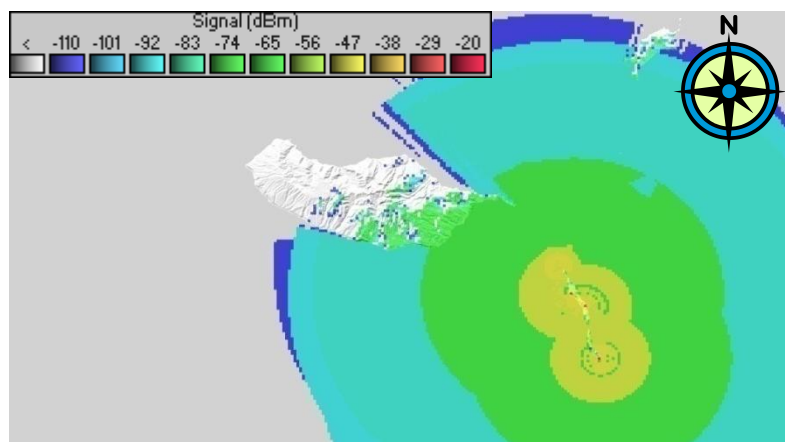


Fig. 4-28 Dispersão do sinal além da zona de interesse nas Ilhas Desertas.

O problema da dispersão do sinal além da zona de interesse poderá ser atenuado, substituindo as antenas omnidireccionais dos repetidores por três antenas sectoriais de 120°, com um ligeiro ângulo de inclinação. Esta substituição, além reduzir a dispersão de sinal, irá também aumentar a concentração de sinal na zona de interesse.

Como foi evidenciado no capítulo 2, para que os repetidores possam funcionar em conjunto como se uma só rede se tratasse é necessário que estejam interligados de alguma forma. A solução proposta consiste na interligação dos vários repetidores através de 3 links VHF numa tipologia do tipo Y, com o repetidor da Deserta Grande equipado com uma antena omnidireccional localizado no centro da tipologia os restantes estarão equipados com uma antena direccional. Ver o esquema da figura 2-6.

Sendo assim procedeu-se igualmente à simulação do sistema de interligação, com as características apresentadas na tabela 4-7.

Tabela 4-7 Características do sistema de comunicação para a interligação dos repetidores

	Repetidor-2 Ilhéu Chão	Repetidor-1 Deserta Grande	Repetidor-3 Bugio	Repetidor-4 Deserta Grande
Frequência	145-174 MHz	145-174 MHz	145-174 MHz	145-174 MHz
Polarização Antenas	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Potência Transmissão	3 W	5 W	3W	0,5 W
Sensibilidade Recepção	7,08 μ V	7,08 μ V	7,08 μ V	7,08 μ V
Antena	Yagi	Omnidireccional	Yagi	Yagi
Ganho Antena	14 dBi	8 dBi	14 dBi	10 dBi
Altura da antena	15 m	15 m	5 m	15 m
Perda cabo+conectores	3dB	3 dB	2 dB	3 dB

Para a interligação do Repetidor do Ilhéu Chão com o repetidor da Deserta Grande, obteve-se os resultados, apresentados na figura 4-29.

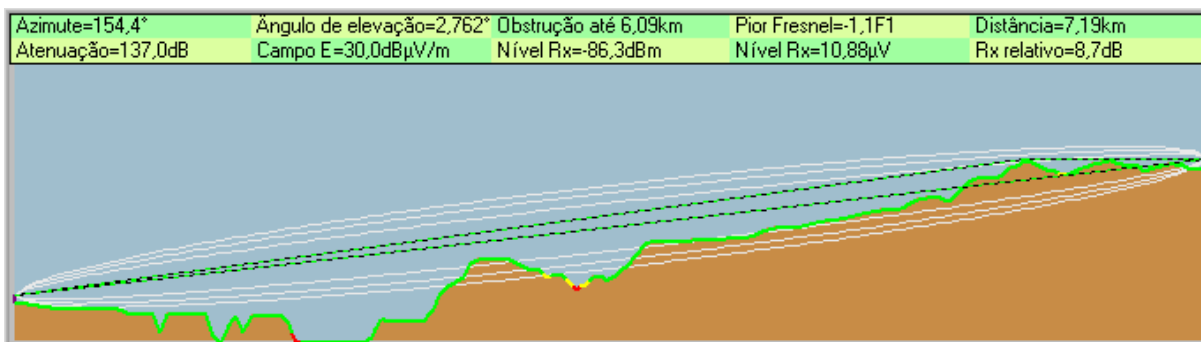


Fig. 4-29 Resultado da simulação do link UHF entre o repetidor do Ilhéu Chão e o repetidor 1 da Ilha da Deserta Grande.



Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Devido à localização do repetidor na Deserta Grande, não é possível garantir a desobstrução da primeira Zona de Fresnel como seria aconselhado o que provoca uma perda adicional. No entanto, as vantagens para a rede de rádios móveis com esta localização do repetidor acabam por ser superiores, justificando assim a escolha. A simulação estima um sinal recebido no controlador instalado na Deserta Grande com a potência de -86,3 dBm, oferecendo uma margem de 8,7 dB para 95% das situações. Note-se que esta ligação será apenas estabelecida quando houver comunicação na rede.

Para a ligação entre o repetidor do Bugio e o repetidor da Deserta Grande os resultados são melhores apesar da distância ser superior, devido ao facto desta ligação encontrar-se completamente desobstruída na primeira zona de Fresnel. Os resultados para esta simulação apresentam-se na figura 4-30.

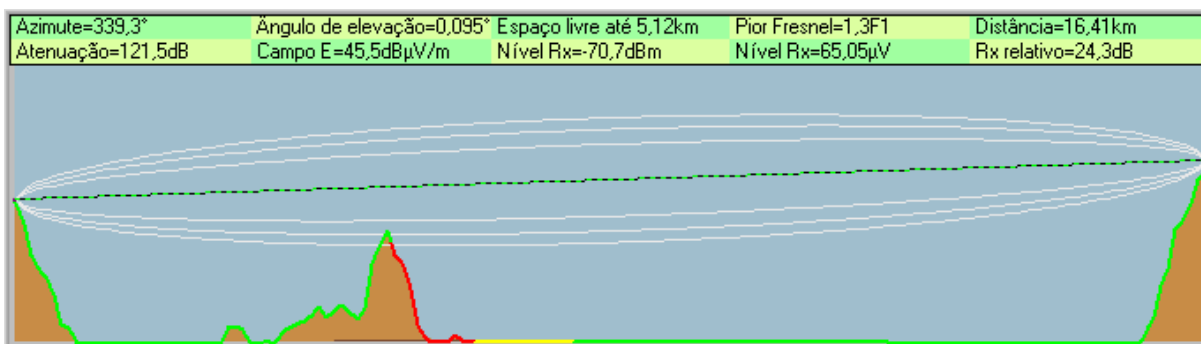


Fig. 4-30 Resultado da Simulação do link UHF entre o repetidor do Bugio e o repetidor 1 da Deserta Grande



Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Para esta transmissão estima-se uma potência de -70,7 dBm no sinal recebido pelo controlador na Deserta Grande, com uma margem de 24,3 dB para 95% das situações.

Para a ligação do repetidor 4 à rede de repetidores foi feito o mesmo estudo, verificando-se que os valores adoptados até aqui para a potência de transmissão e para o ganho da antena nesta situação estariam sobredimensionados. Por esta razão, diminuiu-se a potência de transmissão de 5 para 0,5 W e o ganho da antena de 14 para 10 dBi, resultando num nível de sinal recebido de 68,3 dBm pelo repetidor 1. Os resultados obtidos para esta simulação são os apresentados na figura 4-31.

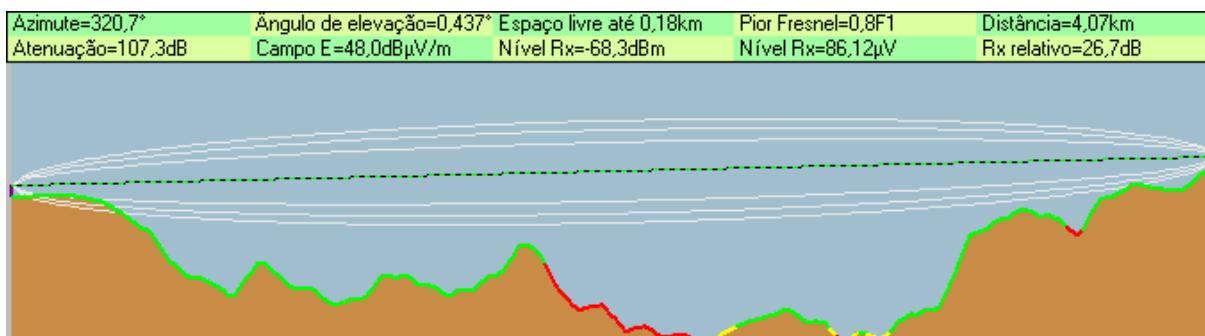


Fig. 4-31 Resultado da Simulação do link UHF entre o repetidor 4 e o repetidor 1 da Ilha da Deserta Grande.



Informação Geográfica cedida pela Direcção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território.

Os efeitos da absorção por vapor de água e oxigénio, assim como a atenuação devido à chuva e o desvanecimento não foram considerados já que nas frequências em questão estes efeitos são praticamente nulos.

4.5. Solução proposta

A solução proposta vem colmatar as necessidades de comunicação reportadas pelo PNM, nas Ilhas Desertas. A solução é baseada na instalação de repetidores VHF no topo das três ilhas, todos eles interligados entre si através de 3 links UHF. Esta interligação irá permitir aos repetidores funcionarem em conjunto invés de funcionarem isolados entre si. Todo o sistema permanecerá em *stand-by* até que seja detectada alguma tentativa de comunicação. Nesse momento o sistema entra em funcionamento, providenciando uma utilização racional e poupada da energia disponível. Toda a energia será providenciada pelos sistemas fotovoltaicos instalados para o efeito, fornecendo em conjunto com as baterias 3 a 5 dias de autonomia sem sol. A rede será digital, sugerindo-se o modo de funcionamento simplex, visto os custos inerentes a um funcionamento duplex serem consideravelmente superiores. O sistema deverá apresentar uma configuração *simulcasting*, que permitirá obter melhores prestações em zonas de difícil penetração do sinal e uma utilização do espectro mais reduzida diminuindo assim a licença de utilização.

A doca estará equipada com um rádio fixo, enquanto os membros do PNM disporão de rádios móveis. Apesar do projecto dizer respeito apenas à área das Ilhas Desertas, a solução proposta possibilita uma futura interligação com uma rede semelhante para a Madeira, assim como a interligação com a rede pública de telefones possibilitando a realização de chamadas para a rede pública a partir dos rádios móveis.

Propõe-se duas soluções, a primeira, é a solução que melhor cumpre com os objectivos traçados no início do projecto não olhando a imposições financeiras e a segunda uma solução

4-Projecto da rede rádio móvel para as Desertas

que cumpre com os objectivos de forma satisfatória, mas com uma performance inferior à solução anterior.

A tabela 4-8 apresenta um resumo do sistema proposto para a primeira solução, enquanto a solução mais económica é apresentada na tabela 4-9.

Tabela 4-8 Proposta 1 para a rede rádio móvel das Ilhas Desertas - Duplex

Proposta 2 para SRMT das Ilhas Desertas		
Faixa de Frequência	450-470 MHz	
Modo de funcionamento	Simplex	
Modo de configuração de repetidores	Simulcasting	
Número de repetidores	4	
Localização Repetidores	Repetidor 1 – Deserta Grande - 32°32'23,2''N 16°31'38,2''O Repetidor 2 – Ilhéu Chão – 32°35'53,2''N 16°33'37,4''O Repetidor 3 – Bugio – 23°24'06,1''N 16°27'55,1''O Repetidor 4 – Deserta Grande – 32°30'47,1''N 16°30'06,0''O	
Potência na saída do transmissor	Repetidor 1 – 15,84 W Repetidor 2 – 15,84 W Repetidor 3 – 14,84 W Repetidor 4 – 15,84 W	
Perdas (cabos+conectores)	Repetidor 1 – 3 dB Repetidor 2 – 3 dB Repetidor 3 – 2 dB Repetidor 4 – 3 dB	
Antena	Omnidireccional - 6 dBi	
P.A.R	25 W	
Altura do mastro para suporte das antenas	Repetidor 1 – 15 m Repetidor 2 – 15 m Repetidor 3 – 5 m Repetidor 4 – 15 m	
Sistema de interligação dos repetidores		
Faixa de frequências	145-174 MHz	
Número de canais	2	
Repetidor 1	Potência na saída do transmissor	5 W
	Perdas (cabos+conectores)	3 dB

4-Projecto da rede rádio móvel para as Desertas

	Antena	Omnidireccional – 8 dBi
	P.A.R.	9,64 W
Repetidor 2	Potência na saída do transmissor	5 W
	Perdas (cabos+conectores)	3 dB – Repetidor2 2dB – Repetidor 3
Repetidor 3	Antena	Yagi 14 dBi
	P.A.R.	23,03 W
Repetidor 4	Potência na saída do transmissor	0,5 W
	Perdas (cabos+conectores)	2 dB
	Antena	10 dBi
	P. A.R.	1,53 W

Tabela 4-9 Proposta 2 para a rede rádio móvel das Ilhas Desertas - *Simplex*

Proposta 2 para rede rádio móvel das Ilhas Desertas	
Faixa de Frequência	450-470 MHz
Modo de funcionamento	<i>Simplex</i>
Modo de configuração dos repetidores	<i>Simulcastings</i>
Número de repetidores	3
Localização Repetidores	Repetidor 1 – Deserta Grande - 32°32'23,2''N 16°31'38,2''O Repetidor 2 – Ilhéu Chão – 32°35'53,2''N 16°33'37,4''O Repetidor 3 – Bugio – 23°24'06,1''N 16°27'55,1O
Potência na saída do transmissor	Repetidor 1 – 15,84 W Repetidor 2 – 15,84 W Repetidor 3 – 17 W
Perdas (cabos+conectores)	Repetidor 1 – 3 dB Repetidor 2 – 3 dB Repetidor 3 – 2 dB
P.A.R.	25 W
Antena	Omnidireccional - 7 dBi
Altura do mastro para suporte das antenas	Repetidor 1 – 15 m Repetidor 2 – 15 m Repetidor 3 – 5 m
Sistema de interligação dos repetidores	
Faixa de frequências	145-174 MHz

	Número de canais	2
Repetidor 1	Potência na saída do transmissor	5 W
	Perdas (cabos+conectores)	2 dB
	Antena	Omnidirecional – 6 dBi
	P.A.R	9,64 W
Repetidor 2 Repetidor 3	Potência na saída do transmissor	5 W
	Perdas (cabos+conectores)	3 dB – Repetidor2 2dB – Repetidor 3
	Antena	Yagi 14 dBi
	P.A.R	23,03 W

Na figura 4-32 está esquematizada a arquitectura da rede para 4 repetidores.

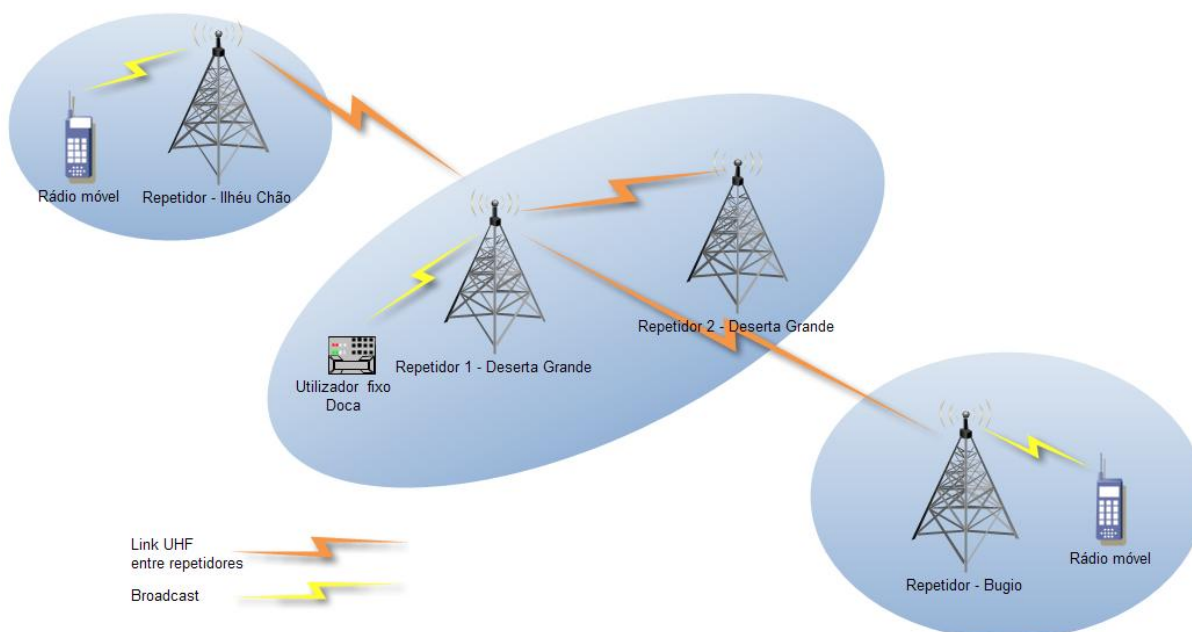


Fig. 4-32 Arquitectura da rede de rádio móvel das Ilhas Desertas.

A energia necessária ao funcionamento dos vários sistemas deverá provir de sistemas fotovoltaicos. A utilização de geradores eólicos irá acarretar custos adicionais com as torres de instalação e um maior impacto visual. A experiência com um pequeno gerador eólico instalado na doca, revela que este tipo de estruturas são muito prejudiciais às aves que chocam com as pás em movimento acabando por morrer. Os painéis solares poderão ser montados no solo ou no mastro de suporte das antenas, devendo ser avaliada qual a solução que oferece um maior aproveitamento solar. O sistema deverá ser dimensionado para garantir uma autonomia de funcionamento de 3 a 5 dias sem sol.

A tabela 4-10 apresenta um possível dimensionamento para o sistema fotovoltaico a instalar para cada estação repetidora.

Tabela 4-10 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para as estações repetidoras

Dimensionamento do sistema fotovoltaico para as estações repetidoras			
Repetidor			
	Corrente	Período de actividade	A-h /dia
Transmissão	8,0 A x 2,4 h	10,0%	19,2
Recepção	1,9 A x 2,4 h	10,0%	4,6
Stand-by	0,5 A x 24 h	100%	12,0
Controlador	0,2 A x 24 h	100%	4,8
Total			40,6 A-h/dia
Voltagem			12 V
Potência			487,2 W-h/dia
Potência ×1,5¹			730,8 W-h/dia
Dimensionamento Painel Solar			
Horas de sol diárias²	5		
Potência necessária obter dos painéis solares	146,16 W-h		
Quantidade de painéis solares	2 x 80 W		
Dimensionamento Baterias			
Autonomia	3 dias	5 dias	
Capacidade necessária	182,7 Ah	304,5 Ah	
Controlador de Carga	20 A -12V		

¹ Factor compensatório para perdas do sistema.

² Fonte: Atlas da Radiação Solar do Arquipélago da Madeira, Laboratório Regional de Engenharia Civil

Para a instalação das antenas sugere-se a utilização de mastros auto-suportados de aço galvanizado, com a inclusão de uma escada para a instalação e manutenção das antenas – ver figura 4-33. Para que os mastros possam suportar os ventos fortes, que por vezes assolam o topo das desertas, de acordo com indicações dos vigilantes do PNM, os mastros deverão ficar fixos a uma sapata de betão construída de acordo com as normas em vigor para este tipo de estruturas.

Dada a presença de cabras na Deserta Grande, aconselha-se a construção de uma vedação em redor da instalação com o objectivo de proteger todo o equipamento de possíveis danos.

Todo o equipamento activo deverá ser instalado num armário de comunicações próprio para o efeito, assim como as baterias e demais equipamento eléctrico.

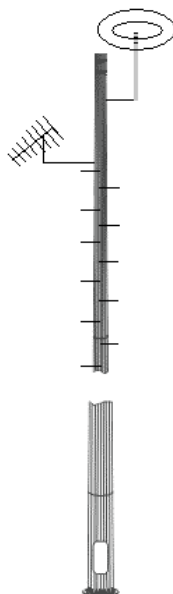


Fig. 4-33 Esquema do mastro auto-suportado para suporte das antenas

De seguida apresenta-se um orçamento relativo ao equipamento activo para a instalação da rede de comunicações VHF baseado num pedido formalizado à empresa NAUCOM-Equipamentos de Navegação e Telecomunicações, (ver tabela 4-11).

Tabela 4-11 Orçamento do equipamento de telecomunicações da rede móvel terrestre.

Qtd	Descrição	Preço Unit	Preço Total
4	Estações repetidoras VHF digital ICOM IC-FR5100 para a faixa dos 400–470MHz, 25W de potência, modo digital ou analógico/digital, alimentação a 230Vac ou 12V	2.250,00 €	9.000,00 €
4	Links em UHF para pôr os repetidores a funcionar em simultâneo, antenas, controladores, cabos coaxiais e respectivas fichas	2.300,00 €	9.200,00 €
4	Antenas VHF PROCOM para repetidores c/ 20 m de cabo e respectivas fichas	330,00 €	1.320,00 €
1	Rádios VHF digitais, ICOM IC-F5062D para a faixa dos 400–470MHz, 25W de potência, display alfanumérico para visualização de mensagens escritas e identificações.	600,00 €	600,00 €
4	Rádios portáteis VHF digitais, ICOM IC-F3162DS para a faixa dos 400-470MHz, 5W de Potência.	590,00 €	2.360,00 €
		Total s/IVA	26.080,00 €

Um outro orçamento relativo ao equipamento de maior dimensão necessário para o sistema de energia fotovoltaica com base num pedido formalizado à empresa BIOSOLAR – Energias Renováveis é apresentado na tabela 4-12.

Tabela 4-12 Orçamento para equipamento do sistema fotovoltaico da rede móvel terrestre.

	Qtd	Descrição	Preço Unit	Preço Total
Rede móvel Terrestre	8	Módulos fotovoltaicos 80W	381,00 €	3.048,00 €
	4	Regulador Isoler 10D	107,65 €	430,60 €
	4	Estruturas módulos fotovoltaicos	340 €	1.360,00 €
	8	Baterias 12V-250Ah (fechadas de Gel)	532,00 €	4.256,00 €
			Total s/IVA	9.100,60 €

4.6. Cobertura GSM na doca

A cobertura GSM na doca é diminuta, na maioria das vezes até inexistente, não permitindo aos residentes e visitantes da ilha estabelecer qualquer contacto para o exterior através do telemóvel.

Sendo o número de pessoas fixas na doca muito pouco representativo, as operadoras não têm muito interesse em resolver a situação. A única operadora que se mostrou sensível à situação, após contactos efectuados pelo PNM, foi a TMN que direccionou uma das suas antenas para as Desertas com o intuito de melhorar a situação, situação essa que até melhorou mas pouco. Perante esta necessidade e o desafio lançado pelo PNM em avaliar formas de resolver o problema propõe-se duas soluções: instalação de um repetidor GSM de frequência deslocada ou a instalação de uma nano-célula na doca.

4.6.1. Repetidor GSM

Numa rede GSM o termo BTS “*Base Transceiver Station*” denomina o equipamento rádio responsável pela ligação rádio entre a rede e os dispositivos móveis.

A inclusão de um repetidor GSM numa rede tem como principal objectivo aumentar a área efectiva de cobertura de uma determinada BTS. Esta solução é vantajosa face à instalação de uma nova BTS, quer em termos de custos, quer em tempo de instalação. Na figura 4-34 está representado um esquema básico de ligação de um repetidor a uma BTS. O repetidor recebe os sinais emitidos pela BTS doadora, amplificando-os e repetindo-os na nova área de serviço. Quando um utilizador usa o telemóvel nesta nova área, o repetidor recebe os sinais emitidos do telemóvel, amplifica-os e retransmitindo-os para a BTS [32].

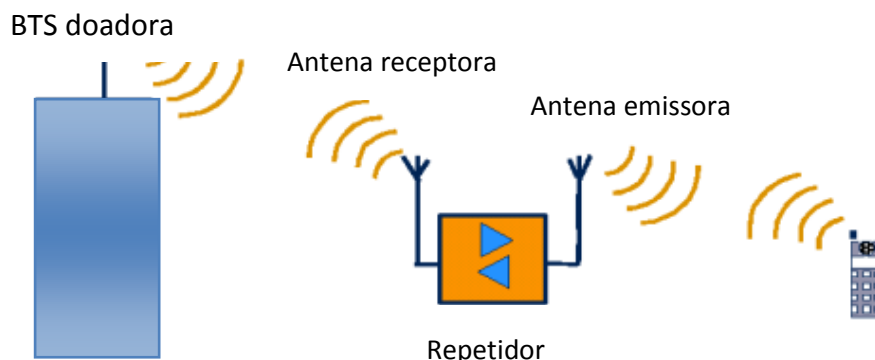


Fig. 4-34 Esquema básico da ligação de um repetidor a uma BTS.

A utilização de um repetidor funcionando da forma apresentada na figura 4-34 tem algumas limitações, nomeadamente, no ganho disponível já que ao ser usada a mesma frequência na recepção e transmissão pelo repetidor, poderá surgir um efeito de realimentação (ver figura 4-35). Um outro problema presente neste tipo de repetidores está relacionado com a inserção de ruído em outras BTS vizinhas da doadora.

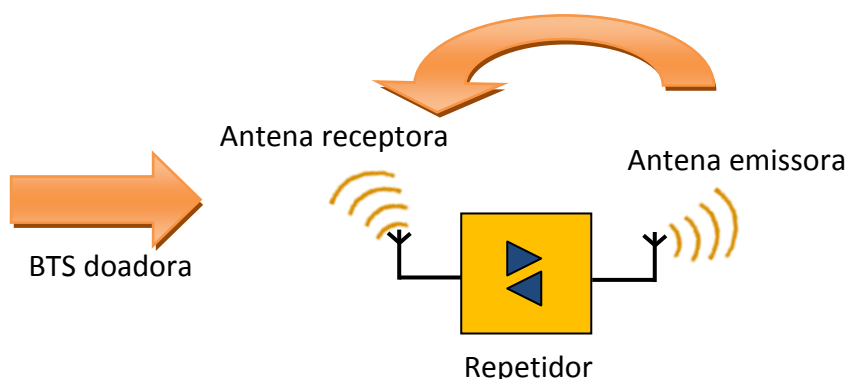


Fig. 4-35 Efeito de realimentação do repetidor.

A solução para os problemas enunciados passa pela utilização de um repetidor de faixa deslocada. Este tipo de repetidor consiste em duas unidades: Unidade BTS e Unidade Remota. A Unidade BTS fica localizada nas proximidades da BTS doadora, estando ligada a esta de uma forma directa. Esta unidade terá como principal função transmitir as frequências das portadoras da BTS doadora para o repetidor numa frequência diferente, eliminando assim quaisquer interferências com outras BTS. A unidade remota recebe o sinal recebido pela Unidade de BTS transportando-o para a frequência de ligação com os dispositivos móveis. O mesmo processo ocorre no sentido contrário. Desta forma toda a interface aérea entre a BTS doadora e o repetidor fica livre de quaisquer interferências, permitindo maiores ganhos e reduzindo as interferências em BTS vizinhas [32].

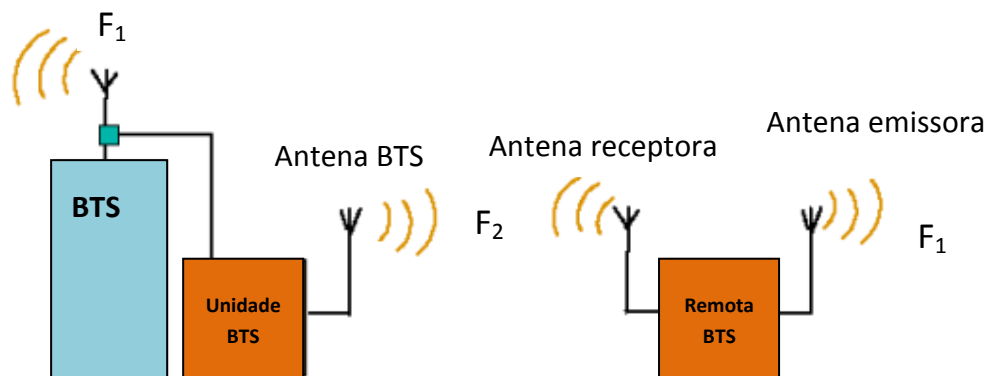


Fig. 4-36 Esquema básico de ligação de um repetidor de frequência deslocada a uma BTS.

As principais desvantagens desta solução prendem-se com o custo associado à instalação do repetidor que é relativamente elevado face ao repetidor do tipo da figura 4-34 e ao consumo de energia que nesta situação em particular é muito limitada, o que podia invalidar assim a sua utilização na doca.

4.6.2. NanoBTS

As NanoBTS funcionam de forma análoga às BTS comuns contudo são de muito menores dimensões e suportam dezenas de utilizadores em simultâneo [33].

Como em todas as BTS, também as NanoBTS precisam estar ligadas à BSC – *Base Station Controller*. Ao contrário das BTS, que se ligam às BSC através de linhas alugadas ou por uma ligação de feixes hertzianos, as NanoBTS comunicam com as BSC utilizando a Internet. Esta característica torna as NanoBTS numa solução muito versátil, de rápida implementação e com um custo muito menor face à utilização de repetidores [33].

Um esquema da arquitectura das NanoBTS é apresentado na figura 4-37.

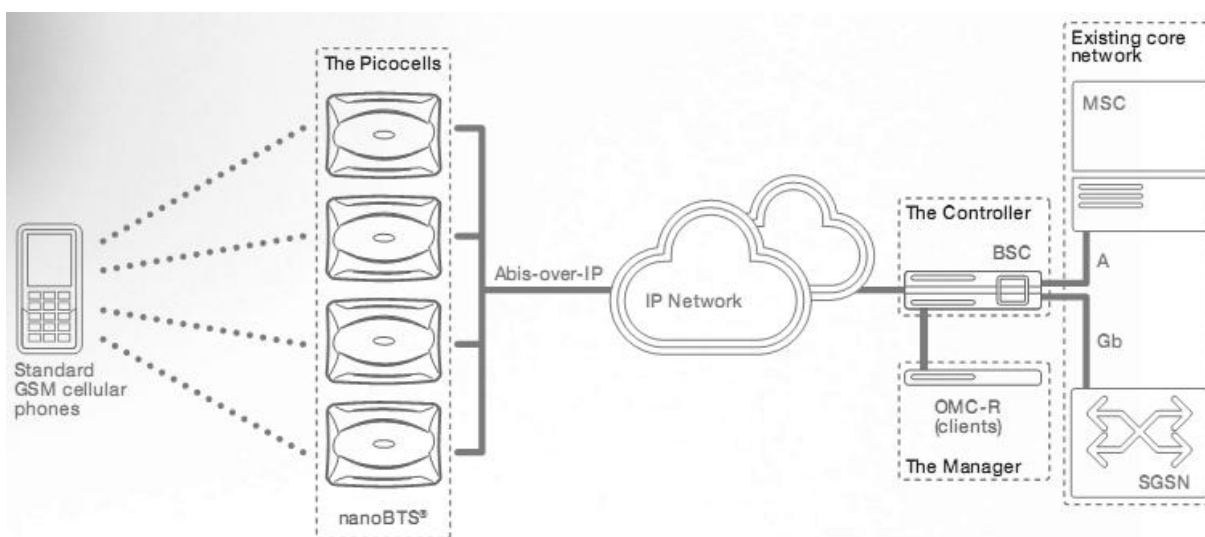


Fig. 4-37 Arquitectura NanoBTS [33].

As vantagens das NanoBTS face aos repetidores usuais são inúmeras, principalmente quando a área que se pretende oferecer cobertura é interior ou remota. As NanoBTS, ao contrário dos repetidores, possuem os seus próprios canais de tráfego, possuem um consumo de energia muito inferior e a sua instalação requer apenas uma ligação à internet.

Qualquer uma das soluções apresentadas permite uma melhoria considerável da cobertura da rede GSM na doca. No entanto, pode-se afirmar que para o caso da doca em específico a solução das NanoBTS é uma solução versátil, de rápida instalação e baixo consumo. Todavia esta solução estará sempre dependente da disponibilização de um acesso à internet na doca.

Não foi objectivo do trabalho apresentar o projecto de uma solução para o problema da falta de cobertura GSM, mas sim apresentar algumas soluções para o problema. Numa situação em que depois se venha verificar o interesse na adopção de uma destas soluções, esta terá de ser alvo de um estudo e um projecto detalhado.

5. Projecto da ligação Madeira-Desertas

Neste capítulo apresenta-se o projecto da ligação entre a Ilha da Madeira e as Ilhas Desertas. Inicialmente são avaliadas as várias opções para a realização da ligação procedendo-se depois ao projecto em detalhe da solução mais adequada de acordo com os requisitos encontrados. Posteriormente será feito o dimensionamento da rede de acordo com as necessidades de largura de banda.

5.1. Definição do sistema

O primeiro passo no projecto da ligação entre a Ilha da Madeira e as Ilhas Desertas consistiu no levantamento das necessidades e aspirações do PNM relativamente à utilização desta ligação. Identificou-se as seguintes necessidades para a ligação:

- A rede local da sede do PNM e a futura rede da doca na Deserta Grande deveriam estar interligadas de forma transparente ao utilizador, possibilitando a partilha de ficheiros, impressoras e aplicações;
- A rede deveria oferecer suporte à transmissão de vídeo em tempo real. O número de câmaras de vídeo foi inicialmente estimado em 4, devendo a ligação oferecer margem para o aumento deste número;
- O suporte à tecnologia VoIp e Vídeo-Conferência deveria ser também garantido pela rede, de forma a comutar a grande falta de comunicação actualmente existente entre os vigilantes da doca e a sede do PNM;
- A ligação devia ainda contemplar a ligação à Internet, providenciando assim serviços como Web, e-mail e IM (*Instant Messaging*);
- O número de utilizadores da rede interna estimados para a doca são 2. Contudo, a ligação além de um possível aumento deste número devia ainda contemplar a possibilidade de no futuro poder oferecer um acesso à internet aos investigadores e visitantes, o que no total não seria superior a 10.

5.2. Opções de ligação

A sede do PNM está localizada no Jardim Botânico, mais propriamente em 32°39'42.00"N 16°53'47.40"O e dista da doca na Deserta Grande de aproximadamente 40 Km, sendo que 75% desta distância é sobre o mar.

Actualmente é possível concretizar a ligação entre a sede do PNM e a doca recorrendo a várias tecnologias. A primeira dessas tecnologias é baseada no acesso à Internet por satélite. Esta solução baseia-se na configuração de uma VPN – Rede Privada Virtual através da Internet, o que permitirá a interligação da rede local da sede do PNM com a rede da doca, tal como é esquematizado na figura 5-1.

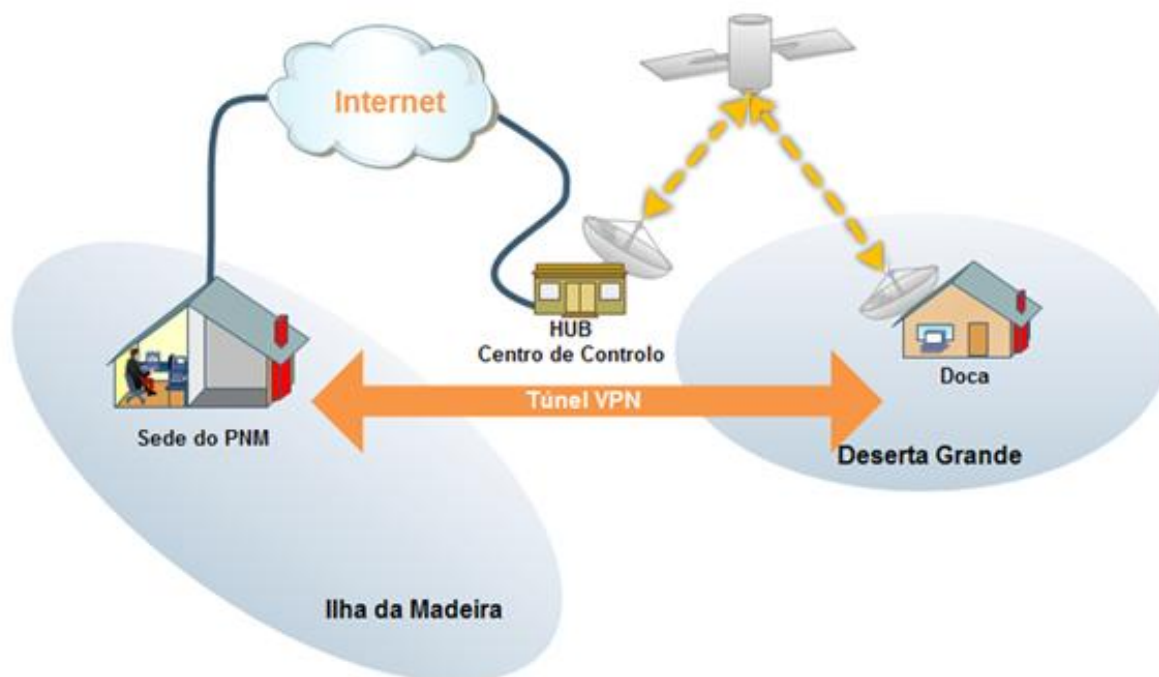


Fig. 5-1 Ligação entre a Ilha da Madeira e as Ilhas Desertas com recurso a uma VPN através da Internet.

As vantagens desta tecnologia prendem-se essencialmente com a facilidade de instalação, custo de aquisição (1800,00€ [34]) e a configuração da ligação. Do outro lado tem-se fortes limitadores nomeadamente a largura de banda disponível (máxima 1024/256 Kbps), atrasos consideráveis em aplicações de tempo real e a existência de mensalidades elevadas (293,00€ por utilizador) quando comparadas com as mensalidades cobradas por fornecedores de internet comuns para velocidades semelhantes.

Uma outra forma de Interligar a sede com a doca passa pela criação de uma ligação através de feixes hertzianos entre a sede do PNM e a doca na Deserta Grande, que não poderá ser directa já que a sede do PNM não possui linha de vista com a doca, como se pode comprovar com a figura 5-2.



Fig. 5-2 Ausência de linha de vista da sede do PNM para a doca na Ilha da Deserta Grande.

Dadas estas circunstâncias, a única forma de conseguir a ligação através de feixes hertzianos é pela criação de um ponto intermédio num local que possua linha de vista tanto para a sede como para a doca (ver figura 5-3).

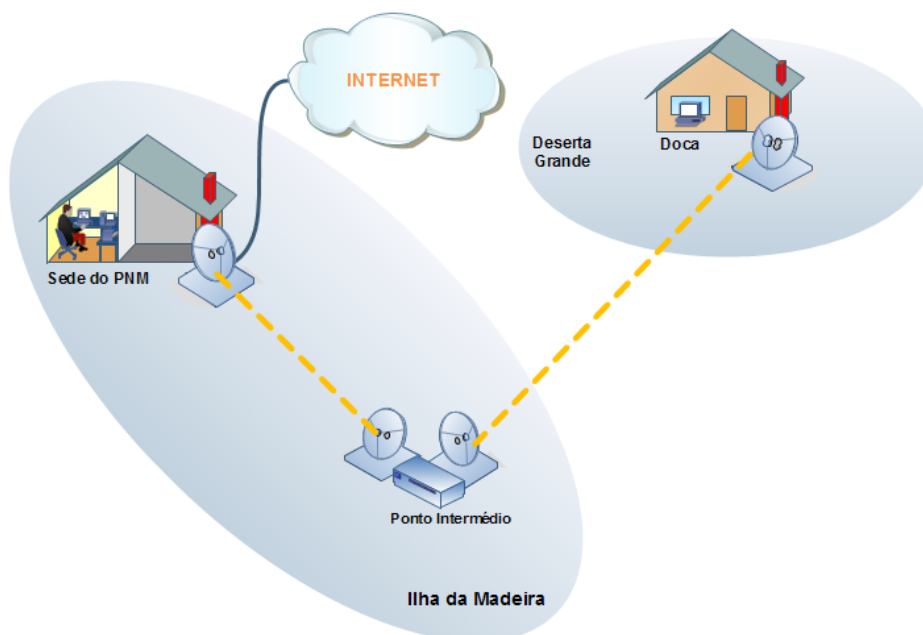


Fig. 5-3 Ligação entre a Ilha da Madeira e as Ilhas Desertas com recurso a duas ligações de feixes hertzianos.

Algumas das vantagens desta arquitectura passam pela criação de um sistema totalmente independente de operadoras com capacidade para larguras de banda elevadas superiores a 54 Mbps, atrasos muito baixos na ordem de 0,1ms, expansão da rede local de forma nativa não sendo por isso necessário recorrer a VPNs e a possibilidade de definir prioridades entre o tráfego. Por outro lado, o custo associado ao sistema é bastante elevado.

Esta configuração necessita da criação de um ponto intermédio para completar a ligação o que implicará uma nova ligação aumentando o custo total. Outra solução passa pela utilização de um circuito privado alugado para interligar a sede do PNM com o ponto intermédio. Esta solução acarreta igualmente custos que têm de ser balanceados com a execução da ligação por intermédio de feixes-hertzianos a fim de se verificar qual a melhor.

A Tabela 5-1 apresenta uma comparação entre as duas soluções propostas para a ligação da sede do PNM com a estação de serviço das Ilhas Desertas.

Tabela 5-1 Comparação entre as duas soluções propostas.

	Solução A: Internet via Satélite	Solução B: Ligação através de feixes-hertzianos
Custo aquisição equipamento	1800,00€	18532,00 €
Largura de banda máxima (download/upload)	2024/512 Kbps	31.000 Kbps full duplex
Atraso médio	< 800-900 mS	<100 µS

Mensalidade	293,00€	Sem mensalidade. Pagamento de anuidade à ANACOM.O O Custo é variável.
--------------------	---------	---

A largura de banda para a solução A-Internet Via Satélite é muito reduzida face às necessidades encontradas na análise de requisitos. O elevado atraso é também um forte condicionante principalmente em aplicações de tempo real. Por outro lado o custo de instalação é muito inferior ao da solução B, contudo apresenta uma mensalidade com um valor elevado. No que toca à solução B, os atrasos são muito menores e a largura de banda superior, no entanto o custo de aquisição é elevado. Com base nesta análise conclui-se que para respeitar a análise de requisitos e as intenções do PNM a melhor solução passa pela configuração de uma ligação, entre a sede do PNM e a estação de serviço nas Ilhas Desertas, através de feixes hertzianos.

5.3. Planeamento do Sistema

A identificação de grupos de utilizadores, de aplicações e o dimensionamento da ligação são tarefas fundamentais para que se perceba quais as necessidades de largura de banda da ligação e que tipo de protocolos o sistema deverá suportar para cumprir com os requisitos.

5.3.1. Caracterização dos grupos de utilizadores e aplicações

G1 – Grupo de utilizadores do PNM – estação de serviço na Ilha da Deserta Grande: Este grupo de utilizadores inclui todos os vigilantes, investigadores e outros membros do PNM que permaneçam na doca, a uma dada altura. Este grupo terá acesso à rede interna do PNM, aplicações de vídeo-conferência, videovigilância, correio electrónico e Internet.

G2 – Grupo de visitantes: Este grupo de utilizadores inclui todos os visitantes e investigadores externos aos PNM que permaneçam na doca. Este grupo terá somente acesso à Internet, sendo negado o acesso às restantes aplicações disponíveis ao G1.

G3 – Grupo de utilizadores do PNM – sede Ilha da Madeira: Este grupo de utilizadores inclui todos os membros do PNM localizados na sede. Este grupo terá acesso à rede interna do PNM, Aplicações de vídeo-conferência, videovigilância, correio electrónico e Internet.

A tabela 6-1 apresenta a caracterização do grupo de utilizadores em função da sua dimensão, da sua localização na infra-estrutura e dos serviços de comunicação utilizados.

Tabela 5-2 Caracterização dos grupos de utilizadores

Id.	Descrição	Nº	Local	Aplicação	Arq.	Tráfego*	Dest. Tráfego	Id. Dest
G1	Membros do PNM	5	Doca	E-mail	TCP/IP	BE	Serv. E-mail PNM	S1
				www geral	TCP/IP	BE	Proxy WWW PNM	S1
				Ficheiros	NetBEUI	AD	Servidor Fich. PNM	S1
				Videoconferência P-P	TCP/IP	CM	Grupo 3	G3
				VoIP	TCP/IP	CM	PABX IP PNM	P1

				Videovigilância	TCP/IP	CM	Serv. Vídeo	S2
G2	Visitantes	5	Doca	www geral	TCP/IP	BE	Proxy WWW PNM	S1
G3	Membros do PNM	12	Sede	E-mail	TCP/IP	BE	Serv. E-mail PNM	S1
				www geral	TCP/IP	BE	Proxy WWW PNM	S1
				Ficheiros	NetBEUI	AD	Servidor Fich. PNM	S1
				Videoconferência p.p	TCP/IP	CM	Grupo 2	G2
				VoIP	TCP/IP	CM	PABX IP PNM	P1
				Videovigilância	TCP/IP	CM	Serv. Vídeo	S2

*BE- Best Effort | CM- Continuos Media | AD- Adaptative

A figura 5-4 apresenta um modelo simplificado do funcionamento da rede após interligação da doca com a sede do PNM.

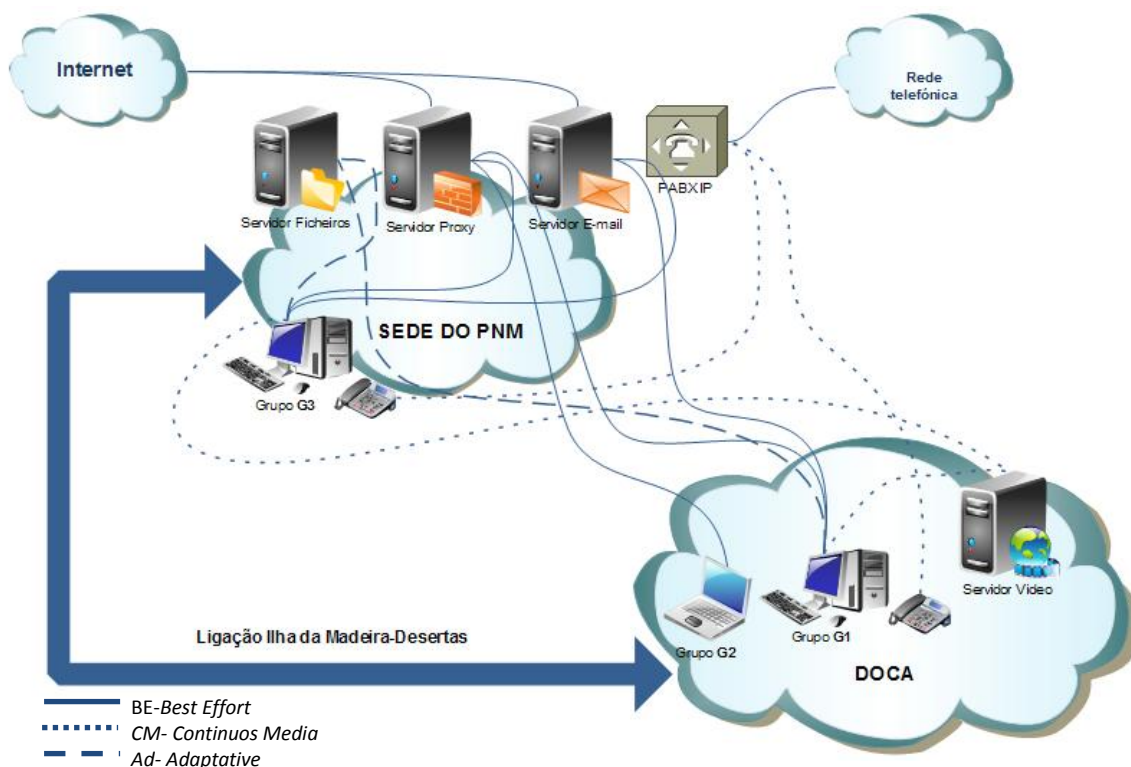


Fig. 5-4 Modelo de funcionamento da rede

5.3.2. Dimensionamento da ligação

O dimensionamento da ligação pretende quantificar a largura de banda necessária acomodar para o correcto funcionamento das aplicações identificadas anteriormente. Por outro lado é com base do dimensionamento da ligação que se estabelecem margens de evolução para um possível aumento de utilizadores ou da adição de novas aplicações. Na tabela 5-2 é apresentado o dimensionamento efectuado para esta ligação.

Tabela 5-3 Dimensionamento da ligação entre a sede do PNM e a doca na Ilha da Deserta Grande.

Aplicação	Débito Normal [kbps]	Débito excepção [kbps]	Número fluxos a montante	Número fluxos a jusante	Factor de simultaneidade	Débito total p/ aplicação [kbps]
Consulta E-mail	56	384	12	10	0,75	420,00
Transac. www	256	512	12	10	0,75	1920,00
Voip	100	150	5	1	1,00	100,00
Videovigilância	4900	9600	4	4	1,00	19600,00
Vídeo-Conferência	384	1000	1	1	1,00	384,00
Trans. fich. LAN	160	8000	12	5	0,75	600,00
Trans. fich. Internet	128	256	10	10	0,75	960,00
Necessidade total de débito na ligação agregada [kbps]						23.984,00
Capacidade mínima da ligação (maior dos débitos de excepção suportado) [kbps]						9.600,00
Margem de débito para evolução [kbps]						76.016,00
Especificação de débito da ligação agregada [kbps]						100.000,00
Taxa nominal de utilização normal da ligação agregada [%]						23,98%
Taxa nominal de utilização de excepção da ligação agregada [%]						78,19%

Perante o dimensionamento apresentado na tabela 5-2 pode-se afirmar que com um débito de 100.000 kbps, consegue-se suportar as necessidades de largura de banda apresentadas pelas respectivas aplicações mesmo em situações de excepção, sendo ainda garantida uma margem de evolução que se prevê ser suficiente face às perspectivas futuras do trabalho a ser desenvolvido na doca.

5.3.3. Segurança

A ligação entre os dois extremos deverá ser devidamente protegida, garantindo a confidencialidade e a restrição de acesso por parte de estranhos. Relativamente à restrição do acesso à rede interna por parte dos visitantes, sugere-se a implementação de duas VLANS (*Virtual Local Area Networks*) uma para os visitantes e outra para os membros do PNM.

Todo o equipamento envolvido na ligação deverá estar equipado com um sistema auxiliar de energia (UPS) de acordo com as necessidades do equipamento. O acesso físico às infra-estruturas deverá ser limitado, estando estas devidamente protegidas com uma vedação adequada e se possível equipadas com equipamento de vigilância.

5.3.4. Disponibilidade da ligação

Segundo a recomendação F.557-3 da ITU-R “*Availability Objective for Radio-Relay Systems*” a disponibilidade de uma ligação com ≈ 40 km deverá rondar os 99,995% do tempo [35]. Para se conseguir atingir valores de disponibilidade tão elevados é necessário que o sistema projectado ofereça margens de funcionamento suficientes para compensar os efeitos do desvanecimento e da chuva que são os mais problemáticos neste tipo de ligações.

5.3.5. Perspectivas de evolução

A ligação projectada deve garantir uma margem de evolução para novas aplicações ou um aumento do número de utilizadores. Não se prevê o aumento de utilizadores do grupo G1 definido na tabela 5-1, todavia o número de utilizadores do grupo G2 poderá aumentar assim como as necessidades de largura de banda das aplicações ou até mesmo a introdução de novas aplicações, justificando assim a guarda de uma margem de evolução. Essa margem de evolução é limitada pelas características do equipamento.

5.3.6. Locais de instalação dos emissores

Como ficou evidenciado na secção 5.2, não existe linha de vista entre a sede do PNM e a doca, obrigando assim a que a ligação através de feixes hertzianos seja constituída por dois segmentos. A localização do ponto intermédio torna-se por isso importante já que terá que garantir linha de vista tanto para a sede como para a doca.

Fez-se então uma análise de cobertura visual a partir da sede do PNM e da doca, com recurso ao Radio Mobile apresentado na secção 2.5.2. Posteriormente, importou-se os resultados no Google™ Earth, figura 5-5 e 5-6, respectivamente. Na figura 5-5 as zonas a sombreado representam a cobertura visual a partir das instalações da sede do PNM e na figura 5-6 as zonas sombreado a verde representa a cobertura visual a partir da doca na Deserta Grande.



Fig. 5-5 Cobertura visual no Funchal a partir da sede do PNM.

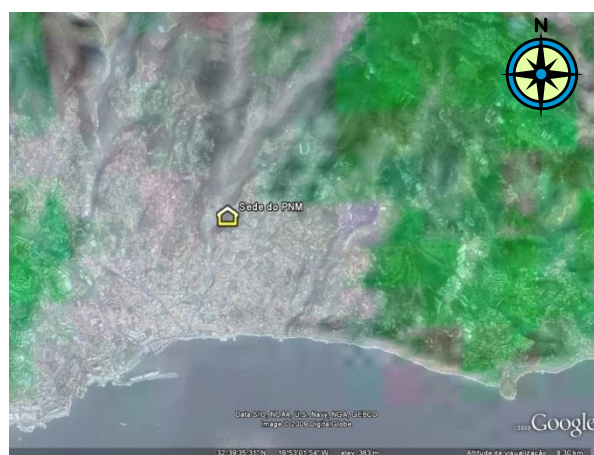


Fig. 5-6 Cobertura visual no Funchal a partir da doca na Ilha da Deserta Grande.

Observando as figuras 5-5 e 5-6, verifica-se que existem duas potenciais áreas para a localização do ponto intermédio, são elas a Nordeste da sede do PNM na zona do Estádio Eng. Rui Alves e a Este na zona do Palheiro Golf. Outras zonas oferecem igualmente cobertura visual à sede e a doca. Contudo, apresentam distâncias superiores e não serão consideradas.

Visitas aos locais e as inspecções visuais permitiram apresentar duas propostas para a localização do ponto intermédio, são elas:

Localização 1: 32°40'5.32"N 16°53'6.45"O Cota: 611 m

Localização 2: 32°39'10.68"N 16°52'23.10"O Cota: 480 m

Na figura 5-7 estão representadas as localizações propostas para a localização do ponto intermédio.

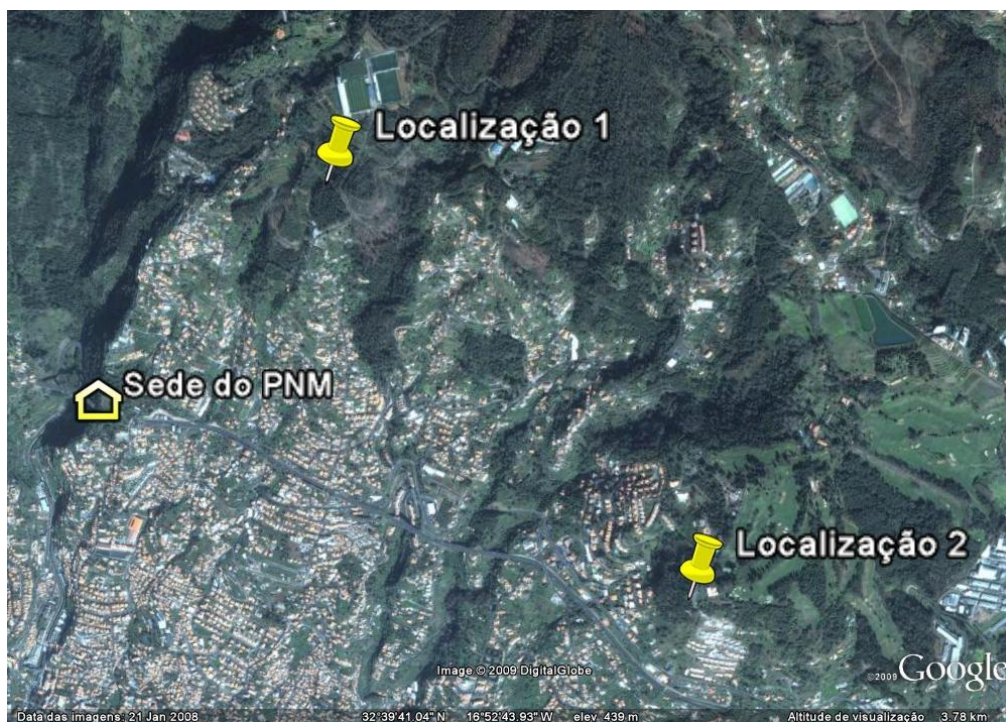


Fig. 5-7 Propostas para a localização do ponto intermédio de ligação entre a sede do PNM e a doca.

5.4. Legislação Portuguesa – Ligações ponto-a-ponto

As ligações Ponto-a-Ponto podem utilizar essencialmente dois grupos de frequências: um isento de licença e o outro dependente de licença.

O grupo de frequências isento de licença, passivo de ser utilizado em ligações ponto a ponto, é apresentado na tabela 5-4 [29]:

Tabela 5-4 Utilizações de espectro isentas de licenciamento radioelétrico [29].

Aplicação	Faixas de Frequências	Potência ou intensidade de campo	Tipo de antena	Espaçamento entre canais	“Duty Cycle”
Sistemas de acesso sem fios/ Redes locais via rádio (WAS/RLAN)	2400-2483,5 MHz	100 mW p.i.r.e.	Dedicada/Integrada	Ocupação de toda a faixa	bps > 256 kbps
	5150-5350 MHz	200 mW p.i.r.e.			
	5470-5725 MHz	1 W p.i.r.e.	Dedicada	Ocupação de toda a faixa	
	17,1 – 17,3 MHz	100 mW p.i.r.e.			

Observando a tabela 5-4, verifica-se que a faixa de frequências mais atractiva é a dos 5470-5725 MHz já que o valor da potência máxima permitida é superior.

Para o segundo percurso cuja distância é de 37300m para a localização 2 e 39000 m para a localização 1, de agora em diante referido como ligação B, é completamente impossível utilizar uma das frequências isentas de licenciamento, dado que os limites de potência são muito baixos. Para um percurso de 39000 m, considerando a frequência de 6 Ghz a perda é de 139.9 dB. Sendo por isso necessário a utilização de potências superiores. Uma solução possível é adoptar uma faixa de frequências sujeita a licenciamento. A Tabela 5-5 apresenta algumas das faixas de frequência de interesse para a ligação B [29].

Tabela 5-5 Excerto do QNAF 2008 - Redes e Serviços de comunicações electrónicas acessíveis ao público [29].

Serviço Fixo – Ligações Ponto-Ponto				
Faixas de Frequências	Direitos de utilização exigíveis	Tipo de Utilização	Âmbito de utilização	Processo de atribuição
6 GHz (Baixa) (5925 – 6425MHz) ERC/REC14-02 Anexo 1	NÃO	(2)	g	Acessibilidade de plena
11 GHz (10,7 – 11,7 GHz) ERC/REC 12-06 Rec3	NÃO	(2)	g	
18 GHz (17,7 – 19,7 GHz) UIT-R F.595 Anexos 3 e 4	NÃO	(2)	g	

(2) Faixa partilhada com outros utilizadores

g - delimitação geográfica: utilização de um canal/frequência numa área determinada e bem delimitada, por estações de radiocomunicações como, por exemplo, estações fixas, estações de radiodifusão e estações terrenas.

Correlacionando a tabela 5-4 com os planos de frequência propostos pelo ITU-R disponíveis em [14], verifica-se em princípio que é possível estabelecer a ligação B na faixa dos 6 GHz ou dos 11 GHz. Para a ligação A utilizar-se-á a faixa de frequências 5470-5725 MHz, tirando vantagem assim da isenção de licenciamento. Na Figura 5-8 está representado um esquema das ligações e respectivas frequências de funcionamento.

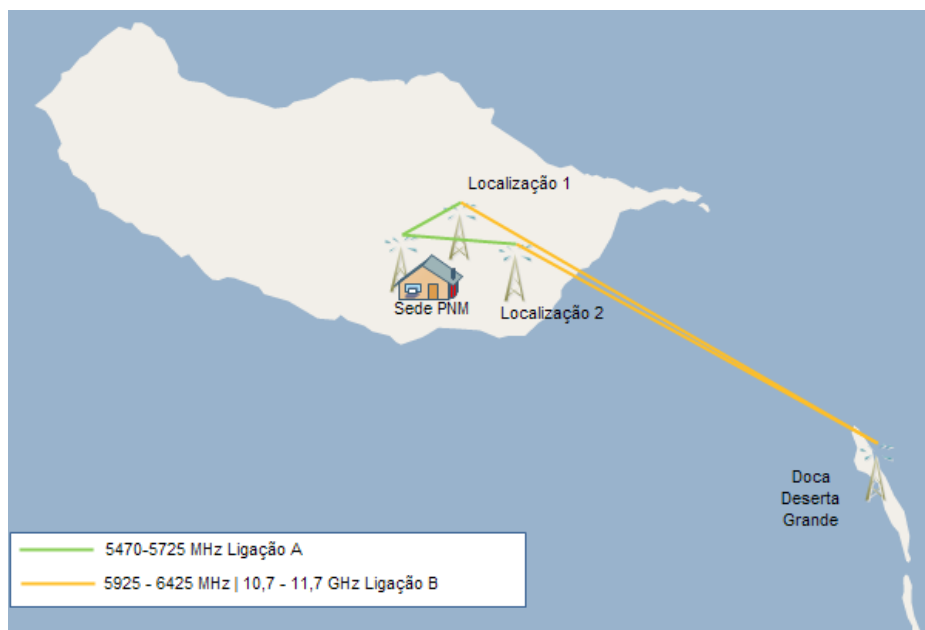


Fig. 5-8 Esquema de ligações e respectivas faixas de frequência a utilizar.

5.5. Cálculo da ligação

5.5.1. Abordagem Teórica

Para a ligação A, dada a curta distância, não se coloca o problema do horizonte de rádio. O mesmo não se passa para a ligação B, já que com 39 Km é aconselhável averiguar a distância de horizonte para esta ligação. Vindo então que, com base na equação (2.32), os resultados são os apresentados na Tabela 5-6.

Tabela 5-6 Cálculo horizonte de rádio para a localização 1 e 2.

	Distância horizonte rádio Tx - Madeira	Distância horizonte rádio Rx- Deserta Grande	Total distância rádio horizonte
Localização 1			
$h_1 = 626 \text{ m}$	89.29 km	17.84 km	107.135 km
$h_2 = 25 \text{ m}$			
Localização 2			
$h_1 = 495 \text{ m}$	79.40 km	17.84 km	97.24 km
$h_2 = 25 \text{ m}$			

Como se pode constatar através da Tabela 5-6, nenhuma das localizações apresenta limitações face à distância do horizonte de rádio.

Os cálculos relativamente ao método apresentado em 2.3.2 foram realizados para a frequência central de cada uma das faixas de frequência em questão. Considerou-se em cada terminal a utilização de 20 m de cabo coaxial.

A atenuação atmosférica foi calculada para uma situação típica de inverno: temperatura ambiente 10 °C, 283,15K, pressão atmosférica 1013hPa e quantidade de vapor de água no ar 1,5 gm³.

Os valores adoptados para a potência de emissão estão de acordo com a legislação em vigor e os equipamentos adoptados como referência, homologados para a CEE. Na tabela 5-7 são apresentados os respectivos equipamentos. Os equipamentos foram seleccionados de acordo com as exigências de larguras de banda e débitos apresentadas na secção 5.3.2. As características detalhadas dos equipamentos estão disponíveis no anexo E.

Tabela 5-7 Equipamento seleccionado para as diferentes faixas de frequências

Faixa de Frequências	Modelo do Equipamento	Fabricante
5470-5725 MHz	AI108-4958-O	AIRAYA
6425-7110 MHz	TrangoLInK giga® 6 Ghz	TRANGO Systems
10,7 – 11,7 GHz	TrangoLInK giga® 11 Ghz	TRANGO Systems

Na tabela 5-6 e 5-7 são apresentados os cálculos efectuados para a ligação utilizando a localização 1 e a localização 2, respectivamente, segundo a metodologia apresentada na secção 2.3.2.

Para o cálculo da margem uniforme da ligação M_{ui} (equação 2.25) a relação portadora-ruído C/N_i com i o índice da cláusula da recomendação F.634-3 ITU-R, foi obtida a partir da equação definida por [14] :

$$ber = \frac{2}{\log_2(m)} \frac{\sqrt{m} - 1}{\sqrt{m}} \operatorname{erfc}(z); \quad (4.2)$$

com m o m-QAM, erfc a função de erro complementar e z definido por:

$$z = \frac{\sqrt{c_{\sqrt{m}}/n}}{\sqrt{m} - 1}; \quad (4.3)$$

Com $c_{\sqrt{m}}/m$ o quociente entre a potência da portadora da modulação \sqrt{m} – ASK e a potência de ruído em radiofrequência.

O parâmetro N_f é um valor característico do equipamento. No entanto, este não é definido pelo fabricante na documentação disponibilizada, pelo que utilizar-se-á os valores apresentados em [14] :

- $N_f = 5$ dB na banda dos 6 GHz;
- $N_f = 7$ dB na banda dos 11 GHz.

Visto que também o parâmetro s relativamente aos equipamentos considerados é um valor desconhecido, utilizar-se-á os valores apresentados em [14]

- $s = 1$ MHz.

Tabela 5-8 Tabela resumo do cálculo efectuado para a localização 1

Tabela Resumo				
		Localização 1		
Variável	Unidade	Ligação A	Ligação B	
		5,6 Ghz 5470-5725 Mhz	6GHz 5925 – 6425 MHz	11GHz 10715-10945 MHz
F.central	MHz	5600	6175,00	10780,00
m_{01}		0,09	513,22	895,96
m_{02}		0,70	3801,66	6636,74
M_{01}	dB	-10,25	27,10	29,52
M_{02}	dB	-1,55	35,80	38,22
P_E	dBm	10,00	22,00	22,00
$A_E + A_R$	dB	2,80	3,00	4,40
$G_E = G_R$	dB	23,00	39,00	40,40
A_0	dB	109,64	140,03	144,87
A_a	dB	0,01	0,36	3,90
$10\log_{10}(brf)$	dB	73,34	73,34	73,42
N_f	dB	0,00	5,00	7,00
C/N_0	dB	45,60	53,76	45,40
C/N_1	dB	31,00	26,50	26,50
C/N_2	dB	28,00	22,00	22,00
M_{u1}	dB	14,60	27,26	18,90
M_{u2}	dB	17,60	31,76	23,40
M_s	dB	39,03	39,03	39,03
M_1	dB	14,58	26,98	18,86
M_2	dB	17,55	31,01	23,28
M_{11}	dB	24,83	-0,12	-10,66
M_{12}	dB	19,10	-4,79	-14,93

Tabela 5-9 Tabela resumo do cálculo efectuado para a localização 2

Tabela Resumo				
		Localização 2		
Variável	Unidade	Ligação A	Ligação B	
		5,6 Ghz 5470-5725 Mhz	6GHz 5925 – 6425 MHz	11GHz 10715-10945 MHz
F.central	MHz	5600,00	6175,00	10780,00
m_{01}		0,44	459,11	801,49
m_{02}		3,24	3400,82	5936,97
M_{01}	dB	-3,59	26,62	29,04
M_{02}	dB	5,10	35,32	37,74
P_E	dBm	10,00	22,00	22,00
$A_E + A_R$	dB	46,00	139,65	2,20
$G_E = G_R$	dB	2,80	3,00	4,40
A_0	dB	114,97	139,65	144,49
A_a	dB	0,02	0,35	3,73
$10\log_{10}(brf)$	dB	73,34	73,34	73,42

N_f	dB	0,00	5,00	7,00
C/N_0	dB	40,27	54,16	45,96
C/N_1	dB	31,00	26,50	26,50
C/N_2	dB	28,00	22,00	22,00
M_{u1}	dB	9,27	27,66	19,46
M_{u2}	dB	12,27	32,16	23,96
M_s	dB	39,03	39,03	39,03
M_1	dB	9,26	27,36	19,41
M_2	dB	12,25	31,35	23,83
M_{11}	dB	12,85	0,74	-9,63
M_{12}	dB	7,15	-3,97	-13,91

A análise da tabela 5-8 e 5-8 mostra que para a ligação A, para qualquer uma das localizações, apresenta margens positivas sendo que para a localização 1 esta margem é superior cerca de 11,95 dB.

No que toca à ligação B, para a localização 1 na faixa dos 6 GHz a margem M_{11} é na prática a suficiente para cumprir com os requisitos da 1ª cláusula da recomendação F.634-3 do ITU-R. Todavia a 2ª cláusula não é cumprida apresentando uma margem negativa de -4,79 dB. Para a localização 2 apesar do aumento da M_{12} , esta continua negativa enquanto a M_{11} é agora positiva. Para a faixa dos 11 GHz tanto a M_{11} como a M_{12} são ambas negativas para a localização 1, situação essa que se repete para a localização 2, ainda que nesta as margens sejam ligeiramente superiores.

Sendo assim, conclui-se com base na recomendação F.634-3 do ITU-R, que a faixa dos 6 GHz e a localização 2 são a melhor combinação para realizar a ligação B. Esta análise não estaria completa se não fossem avaliados os efeitos da atenuação devido à chuva e os efeitos do desvanecimento.

A atenuação da chuva foi calculada, de acordo com o apresentado na secção 2.4.3, para uma intensidade de pluviosidade de 42 mm/h – Chuva Intensa não excedida em 99,99% do tempo durante um ano. A margem de precipitação é dada pela diferença entre a margem uniforme M_{u2} é a atenuação em dB da chuva. Na ausência de informação local precisa foram utilizados os dados divulgados pelo ITU-R P838.1 [18]. Na tabela 5-10 são apresentados os cálculos para o cálculo da atenuação da chuva.

Tabela 5-10 Atenuação devido à chuva não excedida em mais de 0,01% do tempo para a ligação A e B.

Atenuação devido à chuva não excedida em mais de 0,01% do tempo Db						
Ligação	Faixa de Frequências	Polarização da antena	Localização 1		Localização 2	
			Atenuação dB	Margem precipitação dB	Atenuação dB	Margem precipitação dB
A	5,6 GHz	Horizontal	0,157	17,44	0,284	11,98
		Vertical	0,120	17,48	0,217	12,05
B	6GHz	Horizontal	3,76	28,00	3,66	28,50
		Vertical	2,87	28,89	2,79	29,37

11 GHz	Horizontal	22,67	0,73	22,07	1,89
	Vertical	19,10	4,30	18,59	5,37

A análise da Tabela 5-10 permite concluir que a atenuação devido à chuva é apenas determinante para a ligação B na faixa dos 11 GHz onde a chuva intensa introduz grandes atenuações na ordem dos 20 dB, resultando numa margem livre muito baixa não garantindo a disponibilidade da ligação em situações de chuva intensa ou muito forte. Para a faixa dos 6 GHz esta atenuação é muito inferior não ultrapassando os 4 dB, oferecendo assim margens de funcionamento muito superiores, na ordem dos 28 dB.

O desvanecimento é um outro efeito muito determinante em ligações de grande distância. O método utilizado para calcular os efeitos deste fenómeno é o apresentado na secção 2.4.4. A margem disponível para efeitos de desvanecimento é dada pela margem uniforme M_{u2} , calculada na tabela 5-7 e 5-8. Os resultados estão resumidos na tabela 5-11.

O método em questão utilizado para caracterizar os efeitos do desvanecimento define uma frequência mínima para a qual pode ser aplicado, que para o caso da ligação A é superior a 5,6 GHz. Contudo, na falta de um outro método utilizar-se-á o presente método.

Tabela 5-11 Probabilidade de desvanecimento em função da margem livre

Probabilidade de desvanecimento em função da margem livre					
Ligação	Faixa de Frequências	Localização 1		Localização 2	
		Margem livre dB	Probabilidade	Margem livre dB	Probabilidade
A	5,6 GHz	19,60	$9,34 \times 10^{-9}$	14,2	$6,30 \times 10^{-8}$
B	6 GHz	31,76	0,00051	32,16	0,00041
	11GHz	23,40	0,0048	23,96	0,0037

Observando a tabela 5-11 constata-se que as probabilidades de desvanecimento face às margens previstas na ligação A são insignificantes. Na ligação B são muito baixas sendo aproximadamente 10 x superior na faixa dos 11 GHz.

Com base nos resultados obtidos no cálculo efectuado anteriormente conclui-se que a melhor faixa de frequências para a ligação B é a faixa dos 6 GHz. Para a ligação A, a faixa dos 5,6 GHz, que está isenta de licença, é uma escolha acertada. Quanto à localização do ponto intermédio sugere-se a localização 2, por ser aquela tem melhores margens de funcionamento tanto para chuva intensa como para o desvanecimento devido aos efeitos de multipercurso.

5.5.2. Simulação da ligação

Os sistemas para a simulação foram configurados de modo a aproximar ao máximo as características dos dispositivos reais. O sistema é simulado sobre o mapa da Região Autónoma da Madeira, com uma resolução de 3 *ARC seconds* (90 m) disponibilizado gratuitamente em [21].

A tabela 5-12 resume os sistemas simulados para cada equipamento em particular.

Tabela 5-12 Caracterização dos sistemas criados para simulação no software "Radio-Mobile".

Equipamento	Banda Freqüência MHz	Potência transmissão dBm	Limiar recepção dBm ¹	Tipo de Antena	Ganho Antena dBi	P.I.R.E. W
AI108-4958-O	5470- 5725	7	-69	Parabólica	23	1,0 ²
TrangoLink Giga 6GHz	5925-6425	22	-75	Parabólica	39	398,1
TrangoLink Giga 11GHz	10715-10945	22	-76	Parabólica	37,1	257,4

¹ O Threshold do sistema foi definido para o nível que permite alcançar o débito binário desejado, sendo que qualquer um dos sistemas admite um funcionamento até perto dos -90 dBm, com uma performance inferior à desejada.

² 1 W é o p.i.r.e. máximo autorizado pela ANACOM para esta banda de frequência.

Nas tabelas 5-13 e 5-14 estão resumidos os resultados da simulação para a ligação A e B. Na figura 5-9 está representada a visualização no *Radio-Mobile* da ligação B entre a localização 1 e a doca na Deserta Grande para a frequência 6 GHz, enquanto na figura 5-10 está representada a variação da potência do sinal recebido em função da distância para a mesma ligação.

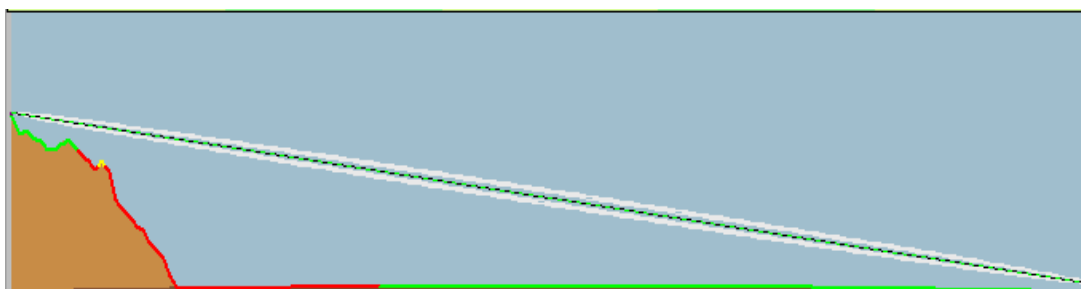


Fig. 5-9 Ligação B entre a localização 1 e a doca na Ilha da Deserta Grande.

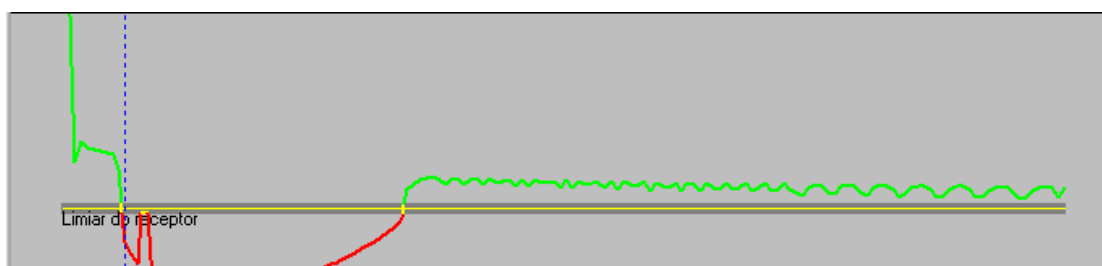


Fig. 5-10 Variação da potência recebida em função da distância para a ligação B entre a localização 1 e a doca na Ilha da Deserta Grande.

Na figura 5-9 a cor do contorno do relevo é verde para uma potência estimada superior à mínima especificada e vermelha para uma potência estimada inferior.

Tabela 5-13 Resumo dos resultados de simulação da ligação A e B para a localização 1

Tabela Resumo Resultados				
Variável		Localização 1		
		Ligação A		Ligação B
		5,6 Ghz	6GHz	11GHz
		Unidade	5470-5725 Mhz	5925 – 6425 MHz
Distância	Km	1,3	39,0	39,0
Desvio Elevação	m	326,20	570,30	570,30
Raio mínimo Fresnel	m	16,8F1	5,8F1	7,7F1
Perda espaço Livre	dB	109,80	140,0	144,90
Perda por Obstrução	dB	1,10	1,90	-3,70
Perda estatística	dB	2,0	17,30	9,90
Perda Total	dB	113,0	159,30	151,10
Ganho do Sistema¹	dB	119,40	169,0	166,20
Margem do sistema acima do threshold para 99% do tempo e 70% das situações	dB	6,40	14,70	11,80

¹ O ganho do sistema é o mesmo para ambos os sentidos TX-RX e RX-TX

Tabela 5-14 Resumo dos resultados da simulação da ligação A e B para a localização 2

Tabela Resumo Resultados				
Variável		Localização 2		
		Ligação A		Ligação B
		5,6 Ghz	6GHz	11GHz
		Unidade	5470-5725 Mhz	5925 – 6425 MHz
Distância	Km	2,40	37,30	37,30
Desvio Elevação	m	192,30	431,60	431,60
Raio mínimo Fresnel	m	14,5F1	5,2F1	6,9F1
Perda espaço Livre	dB	115,0	139,60	144,50
Perda por Obstrução	dB	-0,90	-4,60	-2,90
Perda estatística	dB	0,20	3,30	9,90
Perda Total	dB	114,30	138,50	151,50
Ganho do Sistema¹	dB	119,0	169,0	166,20
Margem do sistema threshold para 99% do tempo 70% das situações	dB	5,10	16,70	13,70

¹ O ganho do Sistema é o mesmo para ambos os sentidos TX-RX, RX-TX

Observando as Tabelas 5-13 e 5-14, pode-se desde logo constatar uma concordância com a abordagem teórica anterior relativamente à existência de uma margem superior na ligação A para a localização 1 e na ligação B para a localização 2. Para a ligação A em ambos os casos é esperada uma margem positiva, sendo 1,3 dB superior na localização 1. No que toca a ligação B a adopção da faixa dos 6 GHz e a localização 2 continua a ser apontada como a melhor opção, visto oferecer margens superiores nas mesmas condições. A margem do sistema foi calculada de acordo com o modelo de *Longley-Rice* que define um método de cálculo para a variação da potência recebida ao longo do tempo e para as várias situações possíveis.

5.6. Solução proposta

A solução proposta vai de encontro ao cumprimento de todos os objectivos inicialmente traçados para esta ligação. Propõe-se a criação de uma ligação através de feixes hertzianos entre a sede do PNM e a doca na Deserta Grande. A ligação é constituída por dois segmentos, o primeiro segmento com uma distância total de 2400 m, que liga a sede do PNM à localização 2 definida na secção 5.3.6. Neste segmento sugere-se a utilização de uma frequência isenta de licenciamento 5470-5725 MHz. O segundo segmento com uma distância de 37240 m liga a localização 2 à doca na Ilha da Deserta Grande, funcionando na faixa de frequências dos 5925 – 6425 MHz. A utilização desta frequência está sujeita a um pedido de licenciamento a ANACOM e ao pagamento de uma taxa anual de utilização. O valor é calculado com base na distância e na localização do equipamento emissor e receptor. A largura de banda prevista para a ligação entre a sede do PNM e a doca é de 100 Mbps, considerando o equipamento sugerido.

A tabela 5-13 resume a proposta apresentada assim com outros pormenores relacionados com o equipamento.

Tabela 5-15 Solução proposta para a ligação entre a Ilha da Madeira e a Ilha da Deserta Grande.

Solução proposta para a ligação entre a Ilha da Madeira e a Ilha da Deserta Grande		
Ligação A		
Faixa de Frequência		5470-5725 MHz
Distância		2400 m
Emissor	Localização	Sede do PNM 32°39'42,0''N 16°53'47,4''W
	Altura da antena	15 m
	Tipo de Antena	Antena Parabólica
	Ganho da Antena	23 dBi
	Orientação Antena	Elevação - 5,13° Azimute - 113,8°
	Potência de transmissão	10 dBm
	P.I.R.E.	1 W

5-Projecto da ligação Madeira-Desertas

Receptor	Localização	Palheiro Golfe 32°39'10.68"N 6°52'23.10"W
	Altura da antena	15 m
	Tipo de Antena	Antena Parabólica
	Ganho da Antena	23 dBi
	Orientação Antena	Elevação - -5,15°
		Azimute - 293,8°
	Potência de transmissão - TX	10 dBm
	P.I.R.E.	1 W
Ligação B		
Faixa de Frequências 5925 – 6425 MHz		
Distância 37240 m		
Emissor	Localização	Palheiro Golfe 32°39'10.68"N 6°52'23.10"W
	Altura da antena	15 m
	Tipo de Antena	Antena Parabólica
	Ganho da Antena	39 dBi
	Orientação Antena	Elevação - -0,8151°
		Azimute – 114,3°
	Potência de transmissão - TX	22dBm
	P.I.R.E.	630 W
Receptor	Localização	Doca – Deserta Grande 32°30'51,8''N 16°30'37,4'' W
	Altura da antena	15 m
	Tipo de Antena	Parabólica
	Ganho da Antena	39 dBi
	Orientação Antena	Elevação - -0,4795°
		Azimute – 294,5°
	Potência de transmissão - TX	22 dBm
	P.I.R.E.	630 W

Para a sede do PNM, visto esta estar inserida no Jardim Botânico, sugere-se a utilização de torres camufladas disfarçadas de árvores de uma das espécies presentes na área para montagem e suporte das antenas. Este tipo de torres envolve um custo acrescido, mas tem uma elevada redução no impacto ambiental. Na figura 5-11 e 5-12 observa-se a diferença de impacto ambiental originada pela torre de comunicações.

Para a localização 2, o impacto ambiental originado pela instalação de uma torre de comunicações comum é inferior. Nesse caso não se justifica a opção da torre camuflada.



Fig. 5-11 Torre de comunicações camuflada.



Fig. 5-12 Torre de comunicações em metal.

Para a doca na Deserta Grande a situação é ainda mais sensível, no que toca à torre de comunicações, já que nas Desertas não existem quaisquer árvores. Senso assim, sugere-se a instalação da antena na própria encosta junto à doca, evitando assim erguer uma torre de 15 m que certamente originaria um grande impacto. A cobertura de protecção da antena poderá ser pintada ou disfarçada com uma estrutura falsa em forma de rocha, camuflando toda a estrutura tornando a presença desta quase indetectável.

Para o sistema de comunicações instalado na sede do PNM não se prevê a utilização de energia proveniente de fontes renováveis para alimentar o sistema de comunicação dada a disponibilidade de energia eléctrica a partir da rede. O mesmo passa-se para o sistema instalado na localização 2. Para a doca é indispensável a utilização de energia proveniente de fontes renováveis já que esta é a única fonte de energia nas Ilhas. Sugere-se então que a instalação do sistema de energia seja feita como um complemento do sistema já existente, o que resultará numa redução de custos e numa utilização mais eficiente do sistema. Na tabela 5-16 é apresentado um possível dimensionamento para o sistema fotovoltaico a instalar.

Tabela 5-16 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para a estação da ligação Madeira-Desertas instalada na doca.

Dimensionamento do sistema fotovoltaico para a estação da ligação Madeira-Desertas instalado na doca			
Estação emissora			
	Corrente	Período actividade	A-h /dia
Transmissão/Recepção/Stand-by	1,87 A	100%	45
Total			45,0 A-h/dia
Voltagem			48 V
Energia			2160 W-h/dia
Energia ×1,5			3240 W-h/dia
Dimensionamento do Painel Solar			
Horas de sol diárias	5		
Potência necessária obter dos painéis solares	648 W-H		
Potência total	4 x 175 W		
Dimensionamento Baterias			
Autonomia	3 dias Ah	5 dias	
Capacidade necessária	202,5 Ah	337,5 Ah	
Controlador de Carga	10 A -48V		

A Tabela 5-17 apresenta um orçamento do equipamento de comunicações não muito detalhado para a solução proposta. Este orçamento foi conseguido com base em pedidos dirigidos a duas empresas, *Trango Systems-Fixed Microwave Communication Systems*, *ARAYA – Outdoor wireless bridges*.

Tabela 5-17 Orçamento do equipamento de comunicação para a ligação Madeira- Deserta Grande.

Ligação Madeira-Desertas	Qtd	Descrição	Preço Unit	Preço Total
	2	WirelessGRID™ (antena incluída)	1920,00 €	3.840,00 €
	2	TrangoLLnK giga® 6 GHz (antena incluída)	7.266,00 €	14.532,00 €
	Total s/IVA			18.372,00 €

Na Tabela 5-18 é apresentado o custo total do equipamento necessário ao sistema fotovoltaico a instalar para fornecer energia ao sistema de transmissão instalado nas Ilhas Desertas.

Tabela 5-18 Orçamento para sistema fotovoltaico a instalar na doca para a ligação Madeira - Deserta Grande

Ligação Madeira-Desertas	Qtd	Descrição	Preço Unit	Preço Total
	4	Módulos fotovoltaicos 175 W	773,00 €	3092,00 €
	1	Regulador Isoler 20D	165,00 €	430,60 €
	2	Baterias 12V-250Ah (fechadas de Gel)	532,00 €	1.064,00 €
	1	Regulador Steca Tarom 440 -48V	396,00 €	396,00 €
		Total s/IVA	4982,60 €	

Um dos grandes objectivos a cumprir com a criação da ligação entre a sede do PNM e a doca na Deserta Grande é possibilitar a videovigilância remota dos lobos-marinhos. Uma solução possível baseia-se na instalação de câmaras de vídeo em locais apropriados para monitorizar os lobos marinhos, efectuando-se a transmissão de vídeo através de rádio frequência para a doca. As imagens seriam armazenadas durante um período pré-determinado no servidor de vídeo, estando disponível em tempo real em toda a rede local e Internet se desejado. Tanto o sistema de transmissão de vídeo via rádio como a própria câmara de vídeo são alimentados por um sistema fotovoltaico próprio.

A figura 5-13 apresenta a arquitectura proposta para o sistema de videovigilância.

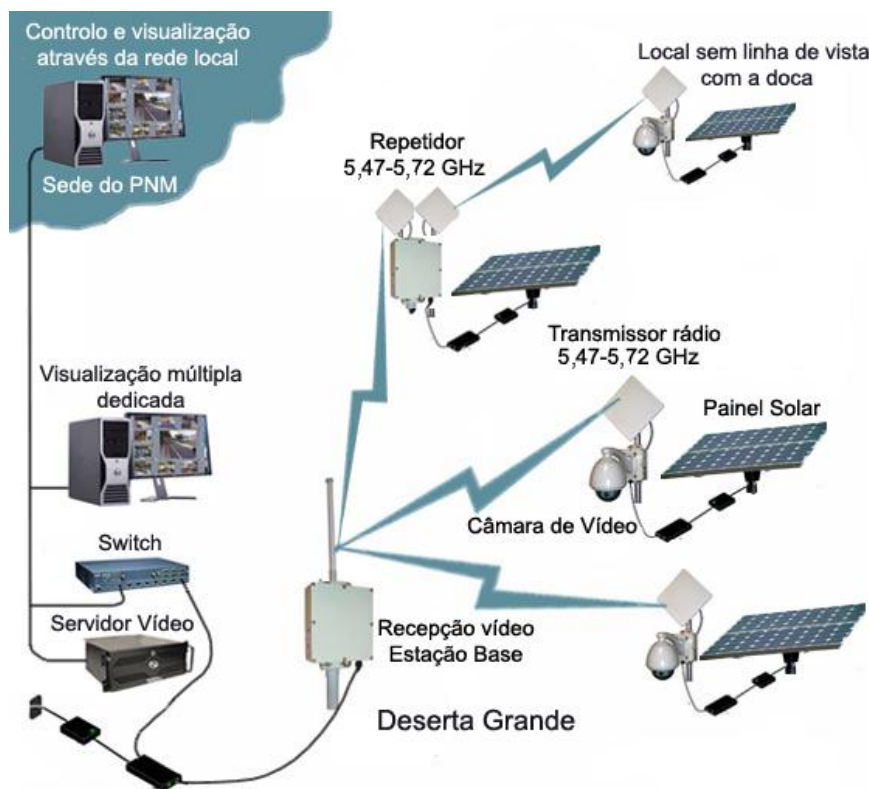


Fig. 5-13 Arquitectura do sistema videovigilância.

Para as situações em que o local onde se pretenda instalar a câmara de vídeo não disponha de linha de vista para a zona da doca, uma solução possível é a instalação de um repetidor funcionando na mesma faixa de frequências 5,47-5,72 GHz, perfazendo assim a ligação até à doca.

Apresenta-se na Tabela 5-19 o orçamento para a aquisição do sistema de videovigilância, constituído por três câmaras de vídeo, três emissores rádio, uma estação base, um repetidor 5,6 Ghz e um gravador de vídeo. O orçamento para a aquisição do sistema fotovoltaico necessário ao funcionamento das câmaras e emissores rádio é apresentado na tabela 5-20. Este orçamento foi conseguido com base em pedidos dirigidos a duas empresas, ARAYA – *Outdoor wireless bridges* e à BIOSOLAR – Energias Renováveis.

Tabela 5-19 Orçamento do equipamento de videovigilância

Sistema de Videovigilância	Qtd	Descrição	Preço Unit.	Preço Total
	3	Kit Videovigilância (Câmaras de Vídeo+Sistema Comunicação+Estação Base)	9502,68€	9502,68 €
	1	Gravador de vídeo em rede	600,00 €	600,00 €
	1	Repetidor 5,6 Ghz	200,00 €	200,00 €
		Total		10302,68 €

Tabela 5-20 Orçamento do sistema fotovoltaico para o sistema de videovigilância

Sistema de videovigilância	Qtd	Descrição	Preço Unit.	Preço Total
	4	Módulos fotovoltaicos 80W	381,00 €	1524,00 €
	4	Regulador Isoler 10D	107,65 €	430,6 €
	4	Baterias 12V-(Fechadas de Gel)	200,00 €	800,00 €
		Total		2754,95 €

Na tabela 5-21 é apresentado o orçamento total de equipamento de comunicações e energia para a instalação da ligação entre as Ilha da Madeira e a Deserta Grande e para o sistema de videovigilância.

Tabela 5-21 Orçamento total para o sistema de ligação entre a Ilha da Madeira e a Deserta Grande e para o sistema de videovigilância.

Sistema de videovigilância	Descrição	Preço Total
	Ligação entre a Ilha da Madeira e a Deserta Grande	23354,0 €
	Sistema de videovigilância remota para os lobos marinhos	13057,63 €

6. Conclusões e trabalho futuro

Neste capítulo são expostas as conclusões finais do presente trabalho referindo a sua contribuição para a área de projecto de sistemas de comunicação rádio. São ainda apresentadas algumas propostas relativamente a trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos.

6.1. Conclusões

A proposta desta tese de mestrado foi realizar um projecto para uma rede de comunicações móveis privativa para as Ilhas Desertas, assim como o projecto de uma ligação entre a sede do PNM e a doca que permitisse interligar as redes locais e oferecer suporte a futuras aplicações como a videovigilância dos lobos-marinhos e a vídeo-conferência entre membros do PNM.

Foram estudados vários modelos de propagação, com o objectivo de se escolher o que melhor pudesse modelar o comportamento do sinal na orografia encontrada nas Ilhas Desertas. Neste estudo foram considerados essencialmente 5 modelos de propagação: o modelo de Epstein-Petterson; Deygout; ITU-R P530-12; Egli e o modelo de Longley-Rice.

Do estudo realizado foi possível concluir que o modelo de Egli, apesar de ter uma aplicação directa, simples e pouco exigente em termos computacionais, é um modelo idealista, que não apresenta qualquer correlação com a orografia do terreno onde é aplicado. A sua aplicação deve ser então confinada a terrenos com uma orografia suave.

A modificação introduzida no modelo de Deygout permitiu reduzir drasticamente o tempo de processamento, embora não seja possível afirmar se houve uma melhoria ou não dos resultados, visto não se ter efectuado uma comparação com o algoritmo original. Todavia, estima-se que o seu pessimismo tenha sido reduzido, dado que com a modificação apenas foram considerados os três obstáculos mais significativos em todo o percurso.

Os resultados apresentados pelos modelos Epstein-Petterson e Deygout no DiffractionLoss estão dependentes da selecção dos obstáculos e do valor utilizado para a amostragem dos máximos. Ao longo das inúmeras simulações realizadas concluiu-se que, para um mapa com uma resolução de 10 m, o intervalo de amostragem que permitia obter uma selecção dos obstáculos adequada estava localizado entre os 140 e os 190 m. O valor do intervalo de amostragem ideal é totalmente dependente da variação do terreno de tal forma que não foi possível estabelecer um valor de amostragem fixo.

Os resultados apresentados pelo modelo do ITU-R P530-12 apresentam uma dependência elevada face à variação do terreno. Verificou-se que, para situações em que o receptor esteja relativamente próximo do obstáculo e quando existe uma diferença considerável de altura entre ambos, o modelo assume perdas muito excessivas. Estas perdas são superiores aos restantes modelos e às perdas verificadas experimentalmente.

O modelo de Longley-Rice é um modelo muito dinâmico que requer um nível considerável de cálculos, razão pela qual a sua aplicação só é possível através de um programa de software. As simulações efectuadas para este modelo mostram uma dependência mediana do terreno dado que o modelo considera apenas dois obstáculos por percurso.

Tendo sido realizadas apenas 65 medições, num ambiente limitado e apenas para a frequência 469,5 MHz não é possível classificar de forma universal os vários modelos com base nos resultados das previsões. No entanto, torna-se admissível classificá-los no universo das medições efectuadas, neste contexto o modelo de Egli é um modelo pessimista apresentando 75% das previsões com perdas excessivas das quais 58% possuem um excesso superior a 20 dB. Os modelos de Epstein-Pettersen e Deygout apresentam 60% e 67% das previsões abaixo dos valores medidos, sendo por isso classificados como tendo um comportamento maioritariamente optimista. Esta redução do pessimismo dos modelos é estimulada pelas situações de linha de vista, onde a previsão dos modelos é dada pela perda no espaço livre e pela adição dos factores correctivos. Quanto ao modelo de Longley-Rice e ITU-R P530-12 ambos apresentam 60% das previsões como sendo excessivas, sendo por isso considerados modelos pessimistas. Um outro facto importante é o de que estes modelos apresentam 53% e 64% das previsões com um desvio absoluto inferior a 10 dB, face à perda medida, respectivamente, para o modelo ITU-R P.530-12 e Longley-Rice.

As principais falhas dos modelos, isto é, as medições em que as previsões se distanciaram mais da perda medida, localizam-se sempre em zonas de sombra elevada, junto de grandes obstáculos. Esta constatação permite concluir que as previsões para as zonas de sombra têm uma forte tendência a ser pessimistas.

O desenvolvimento do software DiffractionLoss com recurso à linguagem Matlab foi uma escolha acertada dada a versatilidade e facilidade de programação oferecidas. Em comparação com outras plataformas de desenvolvimento como por exemplo o Visual Basic, Java, entre outros, o Matlab possui um enorme número de funções matemáticas já implementadas, que reduzem e muito o trabalho ao programador.

A arquitectura *simulcasting*, proposta para a rede rádio móvel terrestre, visa estabelecer uma área de cobertura máxima, dentro da área pretendida. Esta configuração permite que em zonas de difícil penetração os sinais recebidos sejam combinados aumentando a relação sinal-ruído. Esta combinação só é possível com a sincronização dos transmissores na frequência e na fase utilizadas. A sincronização entre os vários controladores é obtida a partir do sinal de GPS.

A solução para o problema da falta de cobertura GSM é algo sensível, isto porque esta zona do espectro é da exclusiva responsabilidade das operadoras. As sugestões apresentadas permitem efectivamente aumentar a cobertura da rede GSM na zona da doca na Deserta Grande, contudo a sua instalação e configuração será da responsabilidade das operadoras.

A solução proposta para a ligação da sede do PNM à doca na Deserta Grande, através de feixes hertzianos, permite criar uma ligação de banda larga independente de qualquer operador, capaz de suportar aplicações de tempo real com elevado débito como é o caso da videovigilância e videoconferência. Do projecto teórico adoptado para o projecto da ligação de feixes hertzianos, destaca-se a importância da chuva e do desvanecimento devido ao multipercurso. Estes últimos dois efeitos são de extrema importância neste tipo de ligações principalmente em ligações de alta frequência com uma distância razoável, já que as perdas resultantes são elevadas. Em muitos casos são estas as perdas que determinam a viabilidade da ligação.

6.2. Trabalho futuro

No decorrer de toda a investigação e projecto foram tomadas opções que estabeleceram um determinado rumo a seguir, eventualmente outras opções poderiam ter sido tomadas

resultando certamente em resultados distintos dos que foram obtidos. Sendo assim, esta dissertação deixa em aberto algumas questões que deverão ser exploradas, completando assim o trabalho realizado e criando novas temáticas de trabalho futuro:

- Comparar a modificação introduzida para o modelo de Deygout com o modelo original;
- Estudar o modelo *Slack-String* e comparar com os modelos estudados;
- Completar o software *DifractionLoss* com novas funções e otimizar o tempo de processamento. Dado o reduzido número de software gratuito com este tipo de funcionalidades a utilização e melhoramento do *DifractionLoss* é uma mais valia;
- Comparar os resultados obtidos com o *Radio-Mobile* com os resultados fornecidos por software comercial (por exemplo: *Terrain Analysis Package*, *PATHANAL VHF/UHF/MW Point-to-Point Link Analysis*).

Referências

- [1] **Harte, Lawrence**, *Introduction to private land mobile radio*, Althos, 2004.
- [2] **Sprinkle, Matthew**, *Design considerations in a modern land mobile radio system*, Blacksburg, Virginia, 2003.
- [3] **Seybold, John S.**, *Introduction to RF propagation*. John Willey and Sons Inc, 2005.
- [4] **Pérez-Fontán, F. Hernando-Rábanos e J. M.**, *Comparison of irregular terrain propagation models for use in digital terrain data based radiocommunication system planning tools*, IEEE Transactions on Broadcasting. Vol. 41, pp. 63-68, June 1995.
- [5] **Parsons, David**, *The mobile radio propagation channel*. Wiley & Sons, 1992.
- [6] **Deygout, Jacques**, *Multiple Knife-Edge Diffraction of Microwaves*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 14 No.4, pp. 480-489, July 1966.
- [7] **Epstein, Jess and Pettersen, Donal W**, *An Experimental Study of Wave Propagation at 850 Mc*, Proc. IRE, Vol 41, No.5, pp.595-611,1953.
- [8] **Deygout, Jacques (1991)**. *Correction Factor for Multiple Knife-Edge Diffraction*. s.l. : IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol, 39, No.8, pp.1256-1258.
- [9] **Recomendação ITU-R P.530-12**. *Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-sight systems*. 2007.
- [10] **Desourdis, Robert I., et al**, *Emerging public safety wireless communication systemsm*, Artech House, 2001.
- [11] **Longley, A. G. and Rice, P. L.**, *Prediction of Tropospheric Radio Transmission Loss Over Irregular Terrain*, 1968.
- [12] Radio Mobile - RF propagation simulation software. [Online] <http://radiomobile.pe1mew.nl>.
- [13] **Weiner, Melvin M.**, *Use of Longley-Rice and Johnson-Gierhart tropospheric radio propagation programs: 0.002-20 GHz*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications Vol.SAC-4, pp.297-307, 1986.
- [14] **Salema, Carlos**, *Feixes Hertzianos*. Lisboa : IST Press, 1998.
- [15] **Stallings, William**, *Data and computer communications*, Pearsons Education, 2007.
- [16] **Recomendação ITU-R, P.676-4**, *Attenuation by Atmospheric Gases*, 1999.
- [17] **Willis, Mike**. Radio Communication Information. [Online] <http://www.mike-willis.com>
- [18] **Recomendação ITU-R, P.838-1**, *Specific Attenuation for rain for use in prediction methods*, 1999.
- [19] **Roddy, Dennis**, *Satellite Communications*, McGraw-Hill,2006.
- [20] **Poey, Roque Andre C.** *Efeitos de multipercursos atmosféricos em enlaces de microondas em visibilidade*. s.l. : PUC-RIO, 2004.
- [21] Seamless Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) "Finished" 3 Arc Second. USGS GOV. [Online] <http://seamless.usgs.gov/website/seamless/products/srtm3arc.asp>.
- [22] G3TVU's Home Page. *Radio Link*. [Online] <http://www.g3tvu.co.uk/>.

- [23] GIS Mapping Software - Global Mapper. [Online] <http://www.globalmapper.com/>.
- [24] UTM. *Universidade de Brasília*. [Online] <http://www.unb.br/ig/glossario/verbete/utm.htm>.
- [25] Bresenham's Line-Drawing Algorithm Explained. *Fallout Software Inc.* [Online] <http://www.falloutsoftware.com/tutorials/dd/dd4.htm>.
- [26] **Pacheco, Lucas F.**, *Cálculo da Atenuação por obstáculos em enlaces de Rádio, Desenvolvimento do Software Perfil Total*, Salvador, 2006.
- [27] **Barclay, Les.**, *Propagation of Radiowaves*, IEEE, London, 2003.
- [28] **Constantinos, Tzaras and Saunders, Simon R.**, *Comparison of Multiple-Diffraction Models for Digital Broadcasting Coverage Prediction*, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 46, NO. 3, 2003.
- [29] **ANACOM**. *Quadro Nacional de Atribuição de Frequências - QNAF 2008*. Portugal, 2008.
- [30] **Ulaby, Fawwaz T. (2007)**. *Electromagnetismo para Engenheiros*. Bookman, 2007.
- [31] Catálogo de rádio comunicação. *EPCOM*. [Online] http://www.epcom.net/port_produtos.php.
- [32] **Luiz, Bruno M.**, *Planejamento de cobertura de sistemas GSM com uso de repetidores*, Rio de Janeiro, Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2002.
- [33] **ip.access**. *Picocells- The Applications Handbook*.
- [34] **Satconxion**. Produtos e Serviços. *Satconxion - Internet via satélite: Smartband Europa*. [Online] <http://www.satconxion.es/productos-servicios-satelite-bidireccionales-europa-smartband.php>.
- [35] **Lehpamer, Harvey (2000)**. *Transmission Systems Design for Wireless Applications*, Artech House, 2000.
- [36] Definições Genéricas ANACOM - Serviço Móvel Terrestre. [Online] <http://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=64429&themeMenu=1#horizontalMenuArea>.
- [37] Digital Elevation Data. [Online] <http://www.viewfinderpanoramas.org/dem3.html>.
38. **Daniel's Electronic, Lda (2004)**. *Land Mobile Radio Systems - Training and Design Guide*.

Anexos

Anexo A – Parâmetros do modelo Longley Rice

Este anexo contém os parâmetros de entrada para o modelo de Longley-Rice. Parâmetros como irregularidade do terreno só são usados na ausência de mapas digitais com informação da elevação.

Parâmetros do Sistema		
Frequência	20 Mhz a 20 Ghz	
Distância da ligação	1 - 2000 Km	
Altura da Antena	0,5 - 3000 m	
Polarização	Vertical ou Horizontal	
Parâmetros ambientais		
	Características do Terreno	Δh (m)
Irregularidade do Terreno	Plano, mar, lagos	0
	Planícies	30
	Montes (irregularidades médias)	90
	Montanhas	200
	Montanhas Irregulares	500
Clima		
	Climas	Valores sugeridos para a variável N_s
	Deserto	280
	Continental Temperado	301
	Continental Sub-Tropical	320
	Marítimo	350
	Equatorial	360
	Marítimo Subtropical	370
Condutividade do Solo (Siemens/m)		
	Solo médio	0,0050
	Solo pobre	0,0010
	Solo Rico	0,020
	Água Doce	0,010
	Água Salgada	5,0
Permissividade Relativa		
	Solo médio	15,0
	Solo pobre	4,0
	Solo Rico	25,0
	Água Doce	81,0

Água Salgada	81,0
Localização do Sistema	
Tipo de Escolha	Descrição
Aleatória	Antenas situadas de forma aleatória
Cuidada	Antenas situadas em posições elevadas
Muito Cuidada	Antenas situadas em posições elevadas para maior potência de sinal em locais determinados
Parâmetros Estatísticos	
Nível de confiabilidade	0,1% a 99,9%

Anexo B – Código desenvolvido para o DiffractionLoss

Este anexo contém o código desenvolvido para o software desenvolvido em Matlab – DiffractionLoss.

B1 - Código para a implementação da amostragem realizada ao perfil do terreno

```
function [perfilfresnel,perfilmaximos] = amostragemperfil...
    (perfil,d,amostragem,f,ht,he,percentagem)
% amostragemperfil: % Função que efectua a amostragem do perfil entre o
% transmissor e o receptor
% deixando apenas os knife edges que impeçam a linha de vista ou a
% primeira zona de fresnel com ate 60%)
% [perfilfresnel,perfilmaximos] =
amostragemperfil(perfil,d,amostragem,f,ht,he,percentagem)
%
% - perfil, e o vector que contem a elevação de cada ponto
% - d e distancia em m entre emissor e transmissor
% - amostragem e a distancia em m entre cada amostra do perfil
% - f e a Frecuencia em Mhz
% - ht e a altura d TX acima do solo
% - he e a altura do RX acima do solo
% - Author: MRodrigues
% - Contact: mrserrao@hotmail.com
% - Website: http://mrodriques.pt.vu
%   Copyright (C) 2009 MRodrigues
%
%   This program is free software: you can redistribute it and/or modify
%   it under the terms of the GNU General Public License as published by
%   the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
%   (at your option) any later version.
%
%   This program is distributed in the hope that it will be useful,
%   but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
%   MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
%   GNU General Public License for more details.
%
%   You should have received a copy of the GNU General Public License
%   along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.

%distancia real entre Tx e Rx
dist=sqrt((d^2)+ ((ht+perfil(1))-(he+perfil(length(perfil))))^2);
%percentagem minima que admite obstrução
percentagemfresnel=percentagem;
%comprimento de onda
lambda=3E2/f;
%distancia horizontal entre cada amostra
aux1=d/length(perfil);
%definindo a recta que une o emissor ao receptor y=mx+b
x0=0;
y0=perfil(1)+ht;
x1=d;
```

```

y1=perfil(length(perfil))+he;
declive=(y1-y0)/(x1-x0);
b=y0-declive*x0;
%A amostragem ira excluir todos os pontos cuja altura seja inferior ate
%60% do raio de fresnel
for i=1:length(perfil);
    %calcular o raio de fresnel no ponto i da amostragem do perfil
    raio=raiofresnel((i-1)*aux1,dist-((i-1)*aux1),f);
    %verificar a altura do perfil no ponto i da amostragem do perfil
    h=perfil(i);
    %se a altura no ponto i da amostragem for superior a 60% do raio da
    %1 zona de fresnel entao deve ser considerado.
    if h >=((declive*((i-1)*aux1)+b)-percentagemfresnel*raio);
        perfilfresnel(i)=perfil(i);
    else
        perfilfresnel(i)=0;
    end
end
end
%Utilizando a funcao localMaximum ao resultado da amostragem anterior,
%vamos realizar uma nova amostragem desta vez considerando apenas os picos
%maximos
maximos=localmaximum(perfilfresnel,amostragem);
perfilmaximos=zeros(1,length(perfilfresnel));
perfilmaximos(1)=perfil(1);
perfilmaximos(length(perfil))=perfil(length(perfil));

for i=2:length(maximos)-1;
    perfilmaximos(maximos(i))=perfilfresnel(maximos(i));
end

%Neste momento o perfil e definido pelos picos maximos cuja
%altura e superior a percentagemfresnel% da entre TX e RX.
%Acontece que se considerassemos todos estes pontos o algoritmo seria
%excessivamente negativo, entao procede-se a uma nova filtragem desta vez
%entre cada conjunto de 3 picos consecutivos se o pico do meio nao interferir
%com 60% da zona de fresnel entao e removido.

for i=1:length(perfilmaximos)-2;%1;
    if perfilmaximos(i)>0;%2;
        for u=i+1:length(perfilmaximos)-1;%3
            if perfilmaximos(u)>0;%4
                for p=u+1:length(perfilmaximos);%5
                    if perfilmaximos(u)>0;%6
                        x0=((i-1)*aux1);
                        y0=perfilmaximos(i);
                        x1=((p-1)*aux1);
                        y1=perfilmaximos(p);
                        declive=(y1-y0)/(x1-x0);
                        b=y0-declive*x0;
                        %distancia real entre i e p
                        Distb=sqrt((x1^2)+((perfilmaximos(i))...
                            -(perfilmaximos(p)))^2);
                        raio=raiofresnel((u-1)*aux1,distb-((...
                            u-1)*aux1),450);
                        %se o obstaculo u ultrapassar 60 da
                        %zona de fresnel e considerado
                        %caso contrario e eliminado
                        if perfilmaximos(u) <=((declive*((u-...
                            1)*aux1)+b)-percentagemfresnel*raio);

```

```

                                perfilmaximos(u)=0;
                                end
                                end%6
                                end%5
                                end%4
                                end%3
                                end%2
                                end%1

```

B2 - Código para a implementação da modelo Deygout

```

function [loss, xpicos, ypicos] = deygoutloss(perfil, d, f, ht, he)
% deygoutloss: Função que calcula a perda introduzida pelos varios
%knife edges localizados entre o TX e o RX segundo o metodo de deygout
% [loss, xpicos, ypicos] = deygoutloss(perfil, d, f, ht, he)
% - loss - e um vector que contem as perdas inerentes aos tres obstaculos
%             considerados
% - xpicos vector que contem a localização dos Knife Edges considerados
% - ypicos vector que contem a altura dos Knife Edges considerados
%
% - perfil e o perfil do caminho entre TX e RX este vector devera conter
%             apenas os obstaculos a ser considerados
% - d e distancia horizontal entre o Tx e Rx m
% - f e a frequencia de operação em MHz
% - ht e a altura do TX m
% - he e a altura do RX m
% - Author: MRodrigues
% - Contact: mrserrao@hotmail.com
% - Website: http://mrodrigues.pt.vu
%
%
% Copyright (C) <2009> <MRodrigues>
%
% This program is free software: you can redistribute it and/or modify
% it under the terms of the GNU General Public License as published by
% the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
% (at your option) any later version.
%
% This program is distributed in the hope that it will be useful,
% but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
% MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
% GNU General Public License for more details.
%
% You should have received a copy of the GNU General Public License
% along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.

%inicialização das variaveis dos obstaculos seleccionados
    obstprincipal=1;
    obstesquerda=1;
    obstdireita=1;
    TC1=0;
    TC2=0;
%calculo da distancia entre amostras
aux=(d/length(perfil))

%Seleção do obstaculo principal
v=[-9999,-9999,-9999]
P=[0,0,0]

```

```

%se nao houver maximos retorna erro
if( sum(perfil)~=perfil(1)+perfil(length(perfil)))
    for i=2:length(perfil)-1
        h=knifeedgeh((i-1)*aux,d-(i-1)*aux,perfil(1)+ht...
            ,perfil(length(perfil))+he,perfil(i));
        if (difractionv(h,(i-1)*aux,d-(i-1)*aux,f)>v(2)..
            &&perfil(i)>0)
            v(2)=difractionv(h,(i-1)*aux,d-(i-1)*aux,f);
            obstprincipal=perfil(i);
            dprincipal=(i-1)*aux;
            P(2)=knifeedge lossdb(v(2))
            P(2)
            xpicos(3)=i*aux;
            ypicos(3)=perfil(i);
            auxa=i;
        end
    end
%Seleção do obstaculo a esquerda do principal
for i=2:auxa-1
    h=knifeedgeh((i-1)*aux,dprincipal-(i-1)*aux,perfil(1)+ht...
        ,obstprincipal+he, perfil(i));
    if (difractionv(h,(i-1)*aux,d-(i-1)*aux,f)>v(1)&&perfil(i)>0)
        v(1)=difractionv(h,(i-1)*aux,d-(i-1)*aux,f);
        obstesquerda=perfil(i);
        desquerda=((i-1)*aux);
        % Calculo das perdas devido ao obstaculo a
        %esquerda do principal o RX e simulado no
        %obstaculo principal
        h = knifeedgeh(desquerda,dprincipal-desquerda...
            ,perfil(1)+ht,obstprincipal+he,obstesquerda);
        v(1)=difractionv(h,desquerda,dprincipal-desquerda,f);
        P(1)=knifeedge lossdb(v(1));
        xpicos(2)=i*aux;
        ypicos(2)=perfil(i);
    end
end
%Seleção do obstaculo a direita do principal
for i=auxa+1:length(perfil)-1
    h=knifeedgeh((i-1)*aux-dprincipal,d-(i-1)*aux,obstprincipal...
        +ht,perfil(length(perfil))+he, perfil(i));
    if (difractionv(h,(i-1)*aux,d-(i-1)*aux,f)>v(3)&&perfil(i)>0)
        v(3)=difractionv(h,(i-1)*aux,d-(i-1)*aux,f);
        obsdireita=perfil(i);
        ddireita=((i-1)*aux);
        % Calculo das perdas devido ao obstaculo a direita do principal
        %o TX e simulado no obstaculo principal
        h = knifeedgeh(ddireita-dprincipal,d-ddireita, ...
            obstprincipal+ht, perfil(length(perfil))+he,
obsdireita);
        v(3)=difractionv(h,ddireita-dprincipal,d-ddireita,f);
        P(3)=knifeedge lossdb(v(3));
        xpicos(4)=i*aux;
        ypicos(4);
        i;
        ypicos(4)=perfil(i);
        ypicos(4);
    end
end
end

```

```

% Calculo da correcção do obstaculo a esquerda
    if P(1)~=0
        TC1=factorcorrec(desquerda,dprincipal-desquerda,d-dprincipal...
            ,obstesquerda,obstprincipal,f)
    end
% Calculo da correcção do obstaculo a direita
    if P(3)~=0
        TC2=factorcorrec(dprincipal,ddireita-dprincipal,d-ddireita,...
            obstprincipal,obstdireita,f);
    end

    %Guardando os valores das perdas ja com a correcção.
    loss(1)=P(1)
    loss(2)=P(2)
    loss(3)=P(3)+(TC2)
else
    loss(1)=0
    loss(2)=0
    loss(3)=0
    xpicos=[0,0,0]
    ypicos=[0,0,0]
end
%Funcao que permite calcular o factor de correcao TC
function TC = factorcorrec(a,b,c,h1,h2,f)
    lambda=3E2/f;
    alfa=atan(sqrt(b*(a+b+c)/a*c));
    r1=sqrt(lambda*a*(b+c)/(a+b+c));
    r2=sqrt(lambda*c*(b+a)/(a+b+c));
    p=(h2/r2)*sqrt(2);
    q=(h1/r1)*sqrt(2);

```

B3 - Código para a implementação do modelo de Epstein-Pettersen

```

function [loss] = epsteinpeterson(perfil, d, f,ht,he)
% epsteinpeterson: Função que calcula a perda introduzida
%pelos varios knife edges
%localizados entre o TX e o RX segundo o metodo de
%epsteinpeterson
% [loss] = epsteinpeterson(perfil, d, f,ht,he)
% perfil = perfil do caminho entre TX e RX este vectordevera
%conter apenas o knife
% edges a ser considerados
% d e a distancia horizontal entre o Tx e Rx m
% f e a frequencia de operacao em MHz
% ht e a altura do TX m
% he e a altura do RX m
% - Author: MRodrigues
% - Contact: mrserrao@hotmail.com
% - Website: http://mrodrigues.pt.vu
%
%
% Copyright (C) 2009 MRodrigues
%
% This program is free software: you can redistribute it and/or modify
% it under the terms of the GNU General Public License as published by
% the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or

```

```

% (at your option) any later version.
%
% This program is distributed in the hope that it will be useful,
% but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
% MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
% GNU General Public License for more details.
%
% You should have received a copy of the GNU General Public License
% along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
a=1;
aux=d/length(perfil);
%Escreve um vector alturas e distancias dos maximos em todo o percurso
for i=1:length(perfil)
    if perfil(i)>0
        altura(a)=perfil(i);
        distancias(a)=fix((i-1)*aux);
        a=a+1;
    end
end

%calcula o parametro v associado a cada um dos obstculos de acordo
%como o modelo de Epstein Pettersen
for i=1:length(altura)-2
    d1=distancias(i+1)-distancias(i);
    d2=distancias(i+2)-distancias(i+1);
    hke=altura(i+1);
    if i==1
        ht=altura(i);
    else
        ht=altura(i)+altura(1);
    end
    hr=altura(i+2)+altura(length(altura));
    h = knifeedgeh(d1, d2, ht, hr, hke);
    v(i) = difractionv(h,d1,d2,f);
end

if(length(altura)<3)
    loss=0;
else
    loss = knifeedgelossdb(v);
end
end

```

B4 - Código para a implementação do modelo ITU-R P530-12

```

d1=0;d2=0
y=0;
xponto=0;
yponto=0;
aux=distancia/length(perfil)
%Procura o ponto cuja altura acima da linha de vista e a
%maior em todo o perfil
for i=1:length(perfil)
    h=knifeedgeh((i-1)*aux,distancia-...
(i-1)*aux,perfil(1)+ht,perfil(length(perfil))+he,perfil(i))
    if(h>y)
        y=h
    end
end

```

```

        xponto=i
        yponto=perfil(i)
        d1=(i-1)*aux
        d2=distancia-(i-1)*aux
    end
end
if d1==0
    Ad=0;
    yponto=max(perfil);
else
    f=raiofresnel(d1,d2,frequencia);
    Ad=abs((-20*y/f)+10);
end
end

```

B5 - Código para a implementação do modelo de Egli

```

%1 m = 3.2808 pés
%1 m = 0.00062137 milhas
hb=3.2808*ht
hm=3.2808*he
distancia=0.00062137*distancia

L50=117+40*log10(distancia)+20*log10(frequencia) ...
-20*log10(hb*hm);
perda3=L50;
%g=plot(distancia/0.00062137,L50,'*');
%set(g,'Parent', handles.axes2)
ylabel('Elevacao (m)')
set(handles.atenuacao,'String','--');
set(handles.perdalivre,'String','--');
set(handles.perdatotal,'String','-1*L50');
%Grafico
t=[];
r=[0:0.00062137*amostragemm:distancia+0.00062137*100]
for i=1:length(r)
    t(i)=[(117+40*log10(r(i))+20*log10(frequencia) ...
-20*log10(hb*hm))]
end

```

B6 - Código para testegui.m

```

function testegui_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to testegui (see VARARGIN)

% Choose default command line output for testegui
%variaveis globais
handles.output = hObject;
handles.recta=0;
handles.perfil = 0;
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome] = getconfig(2);
set(handles.amostragem,'String',num2str(10*amostragem));
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

```

```

%pixels
handle_figure=GCF;
set(handle_figure,'Units','pixels');
%le tamanho ecra
screenSize = get(0, 'ScreenSize');
%calcula o centro do ecra
position = get(handle_figure,'Position');
position(1) = (screenSize(3)-position(3))/2;
position(2) = (screenSize(4)-position(4))/2;
%centra a janela
set(handle_figure,'Position', position);
% UIWAIT makes testegui wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

function htx_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to htx (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of htx as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of htx as a
double

%get the string for the editText component
sliderValue = get(handles.htx,'String');
%convert from string to number if possible, otherwise returns empty
sliderValue = str2num(sliderValue);

%if user inputs something is not a number, or if the input is less than 0
%or greater than 100, then the slider value defaults to 0
if (isempty(sliderValue) || sliderValue < 0 || sliderValue > 30)
    set(handles.slidertx,'Value',15);
    set(handles.htx,'String','15');
else
    set(handles.slidertx,'Value',sliderValue);
end

function hrx_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to hrx (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of hrx as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of hrx as a
double
sliderValue = get(handles.hrx,'String');
%convert from string to number if possible, otherwise returns empty
sliderValue = str2num(sliderValue);

if (isempty(sliderValue) || sliderValue < 3 || sliderValue > 0)
    set(handles.sliderrx,'Value',2);
    set(handles.hrx,'String','2');
else
    set(handles.sliderrx,'Value',sliderValue);
end

```

```

% --- Executes on button press in radioegli.
function radioegli_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radioegli (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radioegli
state=get(handles.radioegli,'Value');
if state==1
    set(handles.radiodeygout,'Value',0);
    set(handles.radioep,'Value',0);
    set(handles.radioitu,'Value',0);
    set(handles.radiotodos,'Value',0);
end
set(handles.perdapprincipal,'String','');
set(handles.perdadireita,'String','');
set(handles.dbprincipal,'String','');
set(handles.dbdireita,'String','');

% --- Executes on button press in radioitu.
function radioitu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radioitu (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radioitu
state=get(handles.radioitu,'Value');
if state==1
    set(handles.radiodeygout,'Value',0);
    set(handles.radioegli,'Value',0);
    set(handles.radioep,'Value',0);
    set(handles.radiotodos,'Value',0);
end
set(handles.perdapprincipal,'String','');
set(handles.perdadireita,'String','');
set(handles.dbprincipal,'String','');
set(handles.dbdireita,'String','');

% --- Executes on button press in radiodeygout.
function radiodeygout_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiodeygout (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiodeygout
state=get(handles.radiodeygout,'Value');
if state==1
    set(handles.radioep,'Value',0);
    set(handles.radioegli,'Value',0);
    set(handles.radioitu,'Value',0);
    set(handles.radiotodos,'Value',0);
end
set(handles.perdapprincipal,'String','');
set(handles.perdadireita,'String','');
set(handles.dbprincipal,'String','');
set(handles.dbdireita,'String','');

```

```

% --- Executes on button press in radioep.
function radioep_Callback(hObject, eventdata, handles)

state=get(handles.radioep,'Value');
if state==1
    set(handles.radiodeygout,'Value',0);
    set(handles.radioegli,'Value',0);
    set(handles.radioitu,'Value',0);
    set(handles.radiotodos,'Value',0);
end
set(handles.perdapprincipal,'String','');
set(handles.perdadireita,'String','');
set(handles.dbprincipal,'String','');
set(handles.dbdireita,'String','');

% --- Executes on button press in radiotodos.
function radiotodos_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to radiotodos (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiotodos
state=get(handles.radiotodos,'Value');
if state==1
    set(handles.radiodeygout,'Value',0);
    set(handles.radioegli,'Value',0);
    set(handles.radioitu,'Value',0);
    set(handles.radioep,'Value',0);
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function amostragem_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function amostragem_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to amostragem (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of amostragem as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of amostragem
as a double
k=str2num(get(handles.amostragem,'String'))/50;
if k<1
errordlg('O valor minimo da amostragem e de 50 m','ERRO','modal')
set(handles.amostragem,'String','50');
end
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function percentagem_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to percentagem (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

% --- Executes on button press in calcular.
function calcular_Callback(hObject, eventdata, handles)
cla(handles.axes2);
%legend(handles.axes2,'off')
% hObject    handle to calcular (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
    %recupera o perfil
    recta=handles.recta;
    perfil=handles.perfil
    %frequencia
    frequencia=str2num(get(handles.frequencia,'String'));
    %distancia
    distancia=str2num(get(handles.valordistancia,'String'));
    %hTX
    ht=str2num(get(handles.htx,'String'));
    %hRX
    he=str2num(get(handles.hrx,'String'));
    %amostragem
    [long0,long1,lat0,lat1,amostragemm,nome] = getconfig(2);
    amostragem=str2num(get(handles.amostragem,'String'))/amostragemm;
    %percentagem
    percentagem=str2num(get(handles.percentagem,'String'))/100;
    %se nao for escolhido nenhum modelo - nao desenha grafico em axes 2 e
    %mostra erro
    if ( get(handles.radioep,'Value')==0 &&
get(handles.radiodeygout,'Value')==0 && get(handles.radioegli,'Value')==0
&& get(handles.radioitu,'Value')==0 && get(handles.radiotodos,'Value')==0)
        errordlg('Tem de escolher um modelo','ERRO','modal')
        uicontrol(hObject)

    end

if (get(handles.radioep,'Value')==1)
    tobj =
text('String','Elevação (m)', 'Units','pixels', 'FontSize',8, 'BackgroundColor'
,[0.863,0.863,0.863]);
    set(tobj,'Rotation',90);
    set(tobj,'Position', [-35,-215]);
    set(handles.shadow,'Visible','off');
    %calcular o modelo epsteinpeterson
    [perfilfresnel,perfilmaximos] =
amostragemperfil(perfil,distancia,amostragem,frequencia,ht,he,percentagem)

```

```

hold on
%perfilfresnel
f=[1:distancia/length(perfilmaximos):distancia];
p=area(f,perfilfresnel);
set(p,'FaceColor',[.502 0.251 0]);
set(p,'Parent', handles.axes2);
set(gca,'XTickLabel',num2str(get(gca,'XTick').'));
set(gca,'YTickLabel',num2str(get(gca,'YTick').'));
maxi=max(perfilmaximos)+30;
set(handles.axes2,'XLim',[0 distancia],'YLim',[0 maxi])
aux1=distancia/length(perfilmaximos)
a=1;
%perfilmaximos=(perfilmaximos);
f=[1:distancia/length(perfilmaximos):distancia];
p=plot(f,perfilmaximos);
set(p,'Parent', handles.axes2);
%desenha as linhas entre maximos
for i=1:length(perfilmaximos)%1
    if perfilmaximos(i)>0%2
        x(a)=i*aux1;
        y(a)=perfilmaximos(i);
        a=a+1;
    end
end
for p=1:(length(x)-1)%3
    r=[x(p),x(p+1)];
    t=[y(p),y(p+1)];
    r=plot(r,t,'g');
    set(r,'Parent', handles.axes2)
end
%desenha a recta do tx ao 1 obstaculo
r=[0,x(1)]
t=[ht,y(1)]
r=plot(r,t,'g');
set(r,'Parent', handles.axes2)
%desenha a recta do 1 obstaculo ao rx
r=[x(length(x)),distancia]
t=[y(length(x)),he]
r=plot(r,t,'g');
set(r,'Parent', handles.axes2)
perfilmaximos(1)=ht;
perfilmaximos(length(perfilmaximos))=he;
%calcular a perda do modelo do espteipeterson
[loss] = epsteinpeterson(perfilmaximos,distancia,frequencia,ht,he)
set(handles.atenuacao,'String',sum(loss));
perda = -1*perdalivre(distancia,frequencia)
set(handles.perdalivre,'String',perda);
set(handles.perdatotal,'String',(perda)+sum(loss));
if(sum(loss)==0)
    errordlg('Nao existem obstaculos entre os pontos selecionados ou a
distancia de amostragem e demasiado elevada. A perda e a do espaço
livre.','Erro')
end
legend(handles.axes2,'Obst. Selectionados',4)
%Calcular a perda por difracção segundo o modelo de Deygout
elseif (get(handles.radiodeygout,'Value')==1)
    tobj =
text('String','Elevação (m)', 'Units','pixels','FontSize',8,'BackgroundColor'
,[0.863,0.863,0.863]);

```

```

set(tobj,'Rotation',90);
set(tobj,'Position',[-35,-215]);
set(handles.shadow,'Visible','off');
hold on
[perfilfresnel,perfilmaximos] =
amostragemperfil(perfil,distancia,amostragem,frequencia,ht,he,percentagem)
[loss,xpicos,ypicos] =
deygoutloss(perfilmaximos,distancia,frequencia,ht,he)
set(handles.atenuacao,'String',loss(1));
perda = -1*perdalivre(distancia,frequencia)
set(handles.perdalivre,'String',perda);
set(handles.perdatotal,'String',perda+sum(loss));
set(handles.perdaprincipal,'String',loss(2));
set(handles.perdadireita,'String',loss(3));
set(handles.dbprincipal,'String','dB');
set(handles.dbdireita,'String','dB');

%Calculo da localizaçao para desenhar os respectivos obstaculos
%selecionados
xpicos(1)=0
xpicos(5)=distancia
ypicos(1)=perfilmaximos(1)
ypicos(5)=perfilmaximos(length(perfilmaximos))

if(xpicos(4)==0)
    xpicos(4)=xpicos(5)
    ypicos(4)=ypicos(5)
end
if(xpicos(2)==0)
    xpicos(2)=xpicos(1)
    ypicos(2)=ypicos(1)
end
ylabel('Elevacao (m)')
r=scatter(xpicos(3),ypicos(3),50,'*')
set(r,'Parent',handles.axes2)
legend(handles.axes2,'Obst. Principal',4)
%perfilfresnel
f=[1:distancia/length(perfilmaximos):distancia];
p=area(f,perfilfresnel);
set(p,'FaceColor',[.502 0.251 0]);
set(p,'Parent',handles.axes2)
set(gca,'XTickLabel',num2str(get(gca,'XTick').'));
set(gca,'YTickLabel',num2str(get(gca,'YTick').'));
maxi=max(perfilmaximos)+30;
set(handles.axes2,'XLim',[0 distancia],'YLim',[0 maxi])
%perfilmaximos=(perfilmaximos);
f=[1:distancia/length(perfilmaximos):distancia];
p=plot(f,perfilmaximos,'b');
set(p,'Parent',handles.axes2)
ypicos(1)=ypicos(1)+ht;
ypicos(5)=ypicos(5)+he;
%Calculo da localizaçao para desenhar os respectivos obstaculos
%selecionados
if(sum(loss)~=0)
    if(loss(1)~=0)
        r=[xpicos(1),xpicos(2)];
        t=[ypicos(1),ypicos(2)];
        r=plot(r,t,'g');
        set(r,'Parent',handles.axes2)
    end
end

```

```

        r=[xpicos(2),xpicos(3)];
        t=[ypicos(2),ypicos(3)];
        r=plot(r,t,'g');
        set(r,'Parent', handles.axes2)

    else
        r=[xpicos(1),xpicos(3)];
        t=[ypicos(1),ypicos(3)];
        r=plot(r,t,'g');
        set(r,'Parent', handles.axes2)
    end

    if(loss(3)~=0)
        r=[xpicos(3),xpicos(4)];
        t=[ypicos(3),ypicos(4)];
        r=plot(r,t,'g');
        set(r,'Parent', handles.axes2)

        r=[xpicos(4),xpicos(5)];
        t=[ypicos(4),ypicos(5)];
        r=plot(r,t,'g');
        set(r,'Parent', handles.axes2)

    else
        r=[xpicos(3),xpicos(5)];
        t=[ypicos(3),ypicos(5)];
        r=plot(r,t,'g');
        set(r,'Parent', handles.axes2)
    end

    end

    errordlg('Nao existem obstaculos entre os pontos selecionados ou a
    distancia de amostragem e demasiado elevada.A perda e a do espaço
    livre.','Erro')
    uicontrol(hObject)
end

hold off
    elseif (get(handles.radioitu,'Value')==1)
hold on
    tobj =
text('String','Elevação (m)', 'Units','pixels','FontSize',8,'BackgroundColor'
,[0.863,0.863,0.863]);
set(tobj,'Rotation',90);
set(tobj,'Position', [-35,-215]);
set(handles.shadow,'Visible','off');
    %calcular o ITU
    d1=0;d2=0
    y=0;
    xponto=0;
    yponto=0;
    aux=distancia/length(perfil)
    %Procura o ponto cuja altura acima da linha de vista e a
    %maior em todo o perfil
    for i=1:length(perfil)
        h=knifeedge((i-1)*aux,distancia-(i-
1)*aux,perfil(1)+ht,perfil(length(perfil))+he,perfil(i))

```

```

        if(h>y)
            y=h
            xponto=i
            yponto=perfil(i)
            d1=(i-1)*aux
            d2=distancia-(i-1)*aux
        end
    end
end
if d1==0
    Ad=0;
    yponto=max(perfil);
else
    f=raiofresnel(d1,d2,frequencia);
    Ad=abs((-20*y/f)+10);
end
ylabel('Elevacao (m)')
set(handles.atenuacao,'String',-1*Ad);
perda = perdalivre(distancia,frequencia);
set(handles.perdalivre,'String',-1*perda);
set(handles.perdatotal,'String',-1*((perda)+Ad));

k=[1:distancia/length(perfil):distancia];
p=area(k,perfil)
set(p,'FaceColor',[.502 0.251 0]);
set(p,'Parent', handles.axes2);
set(handles.axes2,'XLim',[0 distancia],'YLim',[0
max(perfil)+30])
if( xponto ~= 0)
    r=scatter(aux*xponto,yponto,50,'g','*');
    set(r,'Parent', handles.axes2);
    legend(handles.axes2,'Perfil do Terreno','Ponto
escolhido',4);
else
    r=scatter(aux*xponto,yponto,50,'g','*');
    set(r,'Parent', handles.axes2);
    legend(handles.axes2,'Perfil do Terreno','Nao existeem
obstaculos que impeçam a linha de vista',4);
end
hold off
elseif (get(handles.radioegli,'Value')==1)
cla(handles.axes2);
set(handles.shadow,'Visible','off');
hold on
tobj = text('String','Perda
(dB)', 'Units', 'pixels', 'FontSize', 8, 'BackgroundColor', [0.863,0.863,0.863]);
set(tobj,'Rotation',90);
set(tobj,'Position', [-32,-215]);
%1m = 3.2808 feet
%1m = 0.00062137 mile
hb=3.2808*ht
hm=3.2808*he
distancia=0.00062137*distancia
L50=117+40*log10(distancia)+20*log10(frequencia)-
20*log10(hb*hm);

perda3=L50;
%g=plot(distancia/0.00062137,L50,'*');
%set(g,'Parent', handles.axes2)
ylabel('Elevacao (m)')
set(handles.atenuacao,'String','--');

```

```

        set(handles.perdalivre,'String','--');
        set(handles.perdatotal,'String','-1*L50);
        %Grafico
        t=[];
        r=[0:0.00062137*amostragemm:distancia+0.00062137*100]
        for i=1:length(r)
            t(i)=[(117+40*log10(r(i))+20*log10(frequencia)-
20*log10(hb*hm))]
        end
        r=[0:amostragemm:distancia/0.00062137+100]
        e=plot(r,t,'r');
        set(e,'Parent', handles.axes2)
        set(handles.axes2,'YLim',[0 max(t)+20])
        legend(handles.axes2,'Perda em função da distancia',1)

hold off

        %Calcular as perdas segundo todos os modelos disponiveis
        elseif (get(handles.radiotodos,'Value')==1)
            set(handles.atenuacao,'String','--');
            set(handles.perdalivre,'String','--');
            set(handles.perdatotal,'String','--');

            %calcular todos os modelos
            legend(handles.axes2,'on')
            %epsteinpeterson
            [perfilfresnel,perfilmaximos] =
amostragemperfil(perfil,distancia,amostragem,frequencia,ht,he,percentagem);
            perfilmaximos(1)=ht;
            perfilmaximos(length(perfilmaximos))=he;
            [loss] =
epsteinpeterson(perfilmaximos,distancia,frequencia,ht,he);
            perda1=sum(loss);
            %deygout
            [loss,ypicos,ypicos] =
deygoutloss(perfilmaximos,distancia,frequencia,ht,he)
            perda2=sum(loss);
            %egli
            %egli
            %1m = 3.2808 feet
            %1m = 0.00062137 mile
            hb=3.2808*ht
            hm=3.2808*he
            distancia=0.00062137*distancia

L50=117+40*log10(distancia)+20*log10(frequencia)-20*log10(hb*hm);
perda3=-1*L50;
        %reconverte a distancia para km
        distancia=distancia/0.00062137;
        %ITU
        d1=0;
        d2=0;
        y=0;
        aux=distancia/length(perfil)
        for i=1:length(perfil)
            h=knifeedgeh((i-1)*aux,distancia-(i-
1)*aux,perfil(1)+ht,perfil(length(perfil))+he,perfil(i))
            if(h>y)
                y=h;
                d1=(i-1)*aux
                d2=distancia-(i-1)*aux
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    if d1==0
        Ad=0;
        yponto=max(perfil);
    else
        f=raiofresnel(d1,d2,frequencia);
        Ad=abs((-20*y/f)+10);
    end
    Ad=-1*Ad;
    perda4=Ad;
    %livre
    distancia
    frequencia
    perda = perdalivre(distancia,frequencia)
    %desenhando os 4 valores
    %Grafico
    perdal=perdal+(-1*perda);
    perda2=perda2+(-1*perda);
    perda4=perda4+(-1*perda);
    hold on
        Z = [perda1,perda2,perda3,perda4];
    Z=Z*-1;
    k=max(Z)+20;
    set(handles.axes2,'XLim',[0 5],'YLim',[0 k+40]);
        h = bar(Z,0.4);
    set(h,'Parent', handles.axes2)
        str1 = {'Epstein Pettersen'};
        t1=text(0.4,Z(1)+20,str1)
        set(t1,'Parent', handles.axes2)
        str2 = {'Deygout'};
        t1=text(1.7,Z(2)+20,str2)
        set(t1,'Parent', handles.axes2)
        str3 = {'Egli'};
        t1=text(2.9,Z(3)+20,str3)
        set(t1,'Parent', handles.axes2)
        str4 = {'ITU-R P530-12'};
        t1=text(3.6,Z(4)+20,str4)
        set(t1,'Parent', handles.axes2)
        tobj = text('String','Perda
(dB)','Units','pixels','FontSize',8,'BackgroundColor',[0.863,0.863,0.863]);
        set(tobj,'Rotation',90);
        set(tobj,'Position', [-35,-215]);
        set(handles.shadow,'Visible','on');

    else
        errordlg('Tem de escolher um
modelo','ERRO','modal')
        uicontrol(hObject)
    end

% --- Executes on button press in atualizar.
function atualizar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to atualizar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
cla(handles.axes1);

```

```

x0=str2num(get(handles.TXN,'String'));
y0=str2num(get(handles.TXW,'String'));
x1=str2num(get(handles.RXN,'String'));
y1=str2num(get(handles.RXW,'String'));
htx=str2num(get(handles.htx,'String'));
hrx=str2num(get(handles.hrx,'String'));
[myline,distancia,recta,declive] = ilheu(x0,y0,x1,y1,hrx,htx);
%imprime o perfil do terreno
hold on
ylabel('Elevação (m)')
xlabel('Distancia (m)')
myline=fliplr(myline);
f=[1:distancia/length(myline):distancia];
p=area(f,myline);
set(p,'FaceColor',[.502 0.251 0]);
maxi=max(myline)+30
set(gca,'XLim',[0 distancia],'YLim',[0 maxi])
save perfil3d myline;
set(p,'Parent',handles.axes1)
set(gca,'XTickLabel',num2str(get(gca,'XTick').'));
set(gca,'YTickLabel',num2str(get(gca,'YTick').'));
%imprime a recta de linha de vista
recta=fliplr(recta);
f=[1:distancia/length(myline):distancia];
r=plot(f,recta,'red');
set(r,'Parent',handles.axes1)
%imprime a elipse de fresnel
aux1=distancia/length(myline)
frequencia=str2num(get(handles.frequencia,'String'));
x=fix(length(myline)/2)*aux1
y=recta(round(length(myline)/2));
set(ellipse(distancia/2,17.3*sqrt(distancia/(4*frequencia)),-
declive,x,y,'green'),'Parent',handles.axes1)
hold off
set(handles.valordistancia,'String',distancia);
handles.legendal=legend(handles.axes1,'Linha de Vista Tx-Rx','1ª Zona de
Fresnel','Perfil do Terreno',4)
%partilhando as variaveis
handles.recta = recta;
handles.perfil = myline;
guidata(hObject,handles);
tobj =
text('String','Elevação (m)','Units','pixels','FontSize',8,'BackgroundColor'
,[0.863,0.863,0.863]);
set(tobj,'Rotation',90);
set(tobj,'Position',[-35,-215]);

% --- Executes on button press in aleatorios.
function aleatorios_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to aleatorios (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
%GERAR COORDENADAS ALEATORIAS
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome]=getconfig(2);
y0=round(lat0+((lat1-lat0)*(rand(1))));
x0=round(long0+((long1-long0)*(rand(1))));
y1=round(lat0+((lat1-lat0)*(rand(1))));
x1=round(long0+((long1-long0)*(rand(1))));
set(handles.TXN,'String',num2str(x0));

```

```

set(handles.TXW, 'String', num2str(y0));
set(handles.RXN, 'String', num2str(x1));
set(handles.RXW, 'String', num2str(y1));

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function sliderfreq_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to sliderfreq (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: slider controls usually have a light gray background, change
%       'usewhitebg' to 0 to use default.  See ISPC and COMPUTER.
usewhitebg = 1;
if usewhitebg
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
tobj = text('String','Elevação
(m)','Units','pixels','FontSize',8,'Backgroundcolor',[0.863,0.863,0.863]);
set(tobj,'Rotation',90);
set(tobj,'Position', [-35,-215]);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function slidertx_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slidertx (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: slider controls usually have a light gray background, change
%       'usewhitebg' to 0 to use default.  See ISPC and COMPUTER.
usewhitebg = 1;
if usewhitebg
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

% --- Executes on slider movement.
function slidertx_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slidertx (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider
%       get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determine range of
slider
%obtains the slider value from the slider component
sliderValue = get(handles.slidertx,'Value');

%puts the slider value into the edit text component
set(handles.htx,'String', num2str(sliderValue));

```

```

% -----
function Sobre_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Sobre (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
helpdlg('Copyright (c) MRodrigues 2009
Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under
the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2 or any later
version published by the Free Software Foundation','Sobre DifractionLoss
1.0');

export;

function analisepersfil_Callback(hObject, eventdata, handles)
handle_fig = gcf
testegui2;
pause(0.5);
close(handle_fig);

function analiseglobal_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.

function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes1
ylabel('Elevacao (m)');
xlabel('Distancia (m)');

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function axes2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes2
ylabel('Elevacao (m)');
xlabel('Distancia (m)');

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function numero_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if(get(0,'userdata')==0)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
end

% --- Executes on button press in mapa.
function mapa_Callback(hObject, eventdata, handles)
map
load pontos.xyz
x=fix(pontos(:,1));
y=fix(pontos(:,2));
set(handles.TXN, 'String', num2str(fix(x(1))));
set(handles.TXW, 'String', num2str(fix(y(1))));
set(handles.RXN, 'String', num2str(fix(x(2))));
set(handles.RXW, 'String', num2str(fix(y(2))));

% --- Executes on button press in salvar1.

```

```

function salvar1_Callback(hObject, eventdata, handles)
savePlotWithinGUI(handles.axes1, handles.legend1);

% --- Executes on button press in salvar2.
function salvar2_Callback(hObject, eventdata, handles)
savePlotWithinGUI(handles.axes2);

% --- Executes on button press in tresd.
function tresd_Callback(hObject, eventdata, handles)
perfil3d

% -----
function analisadecobertura_Callback(hObject, eventdata, handles)
handle_fig = gcf
cobertura;
pause(0.5);
close (handle_fig);

% -----
function vermapa_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to vermapa (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function doisd_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to doisd (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
mapa_2d;

% -----
function tresdfull_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to tresdfull (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome] = getconfig(2);
str1=sprintf('Visualizaçao do mapa %s - 3D',nome);
h=figure('Name','Visualizaçao 3D');
%set(h,'Color',[0.863 0.863 0.763]);
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome] = getconfig(2);
load matrix
v = [long0:amostragem:long1];
k = [lat0:amostragem:lat1];
surf(k,v,A);
shading interp;
colorbar
set(gca,'XLim',[lat0 lat1],'YLim',[long0 long1])
%set(gca,'color',[0.863 0.863 0.763]);
%grid off;
view(85,74);
set(gca, 'XDir', 'reverse');
set(gca, 'XTickLabel', num2str(get(gca, 'XTick').'));
set(gca, 'YTickLabel', num2str(get(gca, 'YTick').'));
ylabel('UTM-OESTE');
xlabel('UTM - NORTE');
title(str1);

```

```

set(gca, 'XDir', 'reverse');
% -----
function doisd_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to doisd (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
mapa_2d;
% -----
function tresdfull_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to tresdfull (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome] = getconfig(2);
str1=sprintf('Visualizaçao do mapa %s - 3D',nome);
h=figure('Name','Visualizaçao 3D');
%set(h,'Color',[0.863 0.863 0.763]);
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome] = getconfig(2);
load matrix
v = [long0:amostragem:long1];
k = [lat0:amostragem:lat1];
surf(k,v,A);
shading interp;
colorbar
set(gca,'XLim',[lat0 lat1],'YLim',[long0 long1])
%set(gca,'color',[0.863 0.863 0.763]);
%grid off;
view(85,74);
set(gca, 'XDir', 'reverse');
set(gca, 'XTickLabel', num2str(get(gca, 'XTick').'));
set(gca, 'YTickLabel', num2str(get(gca, 'YTick').'));
ylabel('UTM-OESTE');
xlabel('UTM - NORTE');
title(str1,'size',10);
set(gca, 'XDir', 'reverse');

```

B7 - Código para testegui2.m

```

% --- Executes just before testegui2 is made visible.
function testegui2_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to testegui2 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for testegui2
%Variaveis Globais acessiveis em qualquer funçao deste ficheiro
handles.output = hObject;
handles.recta=0;
handles.perfil = 0;
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome] = getconfig(2);
set(handles.amostragem,'String',num2str(10*amostragem));

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

```

```

%set(handles.vertical1, 'String', num2cell('Elevação m'))
% UIWAIT makes testegui2 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure2)
%pixels
handle_figure=GCF
set(handle_figure, ...
'Units', 'pixels' );
%get your display size
screenSize = get(0, 'ScreenSize');

%calculate the center of the display
position = get(handle_figure, ...
'Position' );
position(1) = (screenSize(3)-position(3))/2;
position(2) = (screenSize(4)-position(4))/2;

%center the window
set( handle_figure, ...
'Position', position );

function amostragem_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to amostragem (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of amostragem as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of amostragem
as a double
k=str2num(get(handles.amostragem,'String'))/50;
if k<1
errordlg('O valor minimo da amostragem e de 50 m','ERRO','modal')
set(handles.amostragem,'String','50');
end

%desenhando os 4 valores

hold on
Z = [perda1,perda2,perda3,perda4];
Z=Z*-1;
k=max(Z)+40;
set(handles.axes2,'XLim',[0 5],'YLim',[0 k]);
h = bar(Z,0.4);
set(h,'Parent', handles.axes2)
str1 = {'Epstein Pettersen'};
t1=text(0.4,Z(1)+20,str1)
set(t1,'Parent', handles.axes2)
str2 = {'Deygout'};
t1=text(1.7,Z(2)+20,str2)
set(t1,'Parent', handles.axes2)
str3 = {'Egli'};
t1=text(2.9,Z(3)+20,str3)
set(t1,'Parent', handles.axes2)
str4 = {'ITU-R P530-12'};
t1=text(3.6,Z(4)+20,str4)
set(t1,'Parent', handles.axes2)
tobj = text('String','Perda
(dB)','Units','pixels','FontSize',8,'BackgroundColor',[0.863,0.863,0.863]);
set(tobj,'Rotation',90);
set(tobj,'Position', [-33,-214]);

```

```

        set(handles.shadow,'Visible','on');
hold off

                                else
                                errordlg('Tem de escolher um
modelo','ERRO','modal')
                                uicontrol(hObject)
end

% --- Executes on slider movement.
function slider17_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slider17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider
%         get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determine range of
slider
ficheiro=get(handles.edit19,'String');
k=strcmp(ficheiro, 'ficheiro');
%se o utilizador ja tiver selecionado um ficheiro o slider e dimensionado
%de acordo com o mesmo caso contrario mantem as dimensoes de default
if(k~=1)
nome=get(handles.edit19,'String')
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nomme]=getConfig(2);
[pathstr, name, ext, versn] = fileparts(nome)
load(nome)
x=eval([name '(:,1)']);
y=eval([name '(:,2)']);
p=(get(hObject,'Value'))

h=length(x)
set(handles.RXN, 'String', num2str(fix(y(h-p))));
set(handles.RXW, 'String', num2str(fix(x(h-p))));

x0=str2num(get(handles.TXN,'String'));
y0=str2num(get(handles.TXW,'String'));
x1=str2num(get(handles.RXN,'String'));
y1=str2num(get(handles.RXW,'String'));

X0=fix((y0-lat0)/amostragem);
Y0=fix((x0-long0)/amostragem);
X1=fix((y1-lat0)/amostragem);
Y1=fix((x1-long0)/amostragem);
distancia=distance(x0,y0,x1,y1);
set(handles.valordistancia,'String',distancia);

end

% --- Executes on button press in pushbutton15.
function pushbutton15_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
%Escolher o ficheiro para carregar
[FileName,PathName] = uigetfile('*.xyz','Escolha o ficheiro *.xyz');

```

```

a=strcat(PathName, FileName)
set(handles.edit19,'String',FileName);
load(FileName);
handles.filename=FileName;
[pathstr, name, ext, versn] = fileparts(FileName)
x=eval([name '(:,1)']);
y=eval([name '(:,2)']);
k=length(x)-1;
set(handles.slider17,'SliderStep',[1/(k-1),1/(k-
1)], 'Max',k, 'Min',1, 'Value',k)
set(handles.RXN, 'String', num2str(y(1)));
set(handles.RXW, 'String', num2str(x(1)));
set(handles.TXN, 'String', num2str(y(k+1)));
set(handles.TXW, 'String', num2str(x(k+1)));
% -----
% -----
function exportgoogle_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Untitled_4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
FileName=get(handles.edit19,'String');
k=strcmp(FileName, 'ficheiro');
if k==1
errordlg('Tem de carregar o perfil do terreno');
else
prompt = {'Escolha o nome do ficheiro:'};
dlg_title = 'Exportar ligacao para o Google Earth';
num_lines = 1;
def = {'Nome'};
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,def);
k=cellfun('isempty',answer);
nome=sprintf('%s',answer{:});

if length(k)==0
else
load(FileName);
[pathstr, name, ext, versn] = fileparts(FileName);
x=eval([name '(:,1)']);
y=eval([name '(:,2)']);
[Lat,Lon] = utm2deg(y,x);
GEplot(nome,Lat,Lon);
end
end

```

B8 - Código para cobertura.m

```

function varargout = cobertura(varargin)

% --- Executes on button press in calcular.
function calcular_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to calcular (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
tic
    [long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome] = getconfig(2);

```

```

x0=str2num(get(handles.TXN,'String'));
y0=str2num(get(handles.TXW,'String'));
%le os valores das restantes variaveis
htx=str2num(get(handles.htx,'String'));
gtx=str2num(get(handles.gtx,'String'));
hrx=str2num(get(handles.hrx,'String'));
grx=str2num(get(handles.grx,'String'));
freq=str2num(get(handles.frequencia,'String'));
% le a área do mapara seleccionada para o estudo
y(1)=str2num(get(handles.denorte, 'String'));
y(2)=str2num(get(handles.atenorte, 'String'));
x(1)=str2num(get(handles.deoeste, 'String'));
x(2)=str2num(get(handles.ateoeste, 'String'));
long1=max(x);
long0=min(x);
lat1=max(y);
lat0=min(y);
%amostragem=abs(fix(y(1)-y(2)));
resolucao=str2num(get(handles.resolucao,'String'));
%Inicio do CICLO PARA CALCULAR A COBERTURA
i2=fix((long1-long0)/resolucao)+1
j2=fix((lat1-lat0)/resolucao)+1
%define matriz para guardar os valores das perdas
cobertura=zeros(i2,j2);
relevos=zeros(i2,j2);
%Norte -> i
%Oeste -> j
%O proximo bloco de codigo ira calcular a perda segundo o modelo
%seleccionado a todos os elementos da matriz cobertura.
%ler amostragem mapa

%potencia
potencia=str2num(get(handles.potencia,'String'));
%ganho_tx
gtx=str2num(get(handles.gtx,'String'));
%ganho_rx
grx=str2num(get(handles.grx,'String'));
%perdas adicionais
perdadicional=str2num(get(handles.perdas,'String'));
%frequencia
frequencia=str2num(get(handles.frequencia,'String'));
%hTX
ht=str2num(get(handles.htx,'String'))
%hRX
he=str2num(get(handles.hrx,'String'))
%inverte o vector x
barra_tempo = waitbar(0,'Processando os dados...','CreateCancelBtn',...
    'setappdata(gcf,'canceling',1)');
setappdata(barra_tempo,'canceling',0)
interrupcao=0
[linha coluna]=size(cobertura);
totalpontos=linha*coluna;
contador=0;
totalpontos
for ilinha=1:1:linha;%for1
    for jcoluna=1:1:coluna%for2
        x1=fix((ilinha-1)*resolucao+long0);
        y1=fix((jcoluna-1)*resolucao+lat0);
        X0=fix((x1-long0)/resolucao)+1;
    end
end

```

```

Y0=fix((y1-lat0)/resolucao)+1;
relevo(X0,Y0)=elev(x1,y1);
[myline,distancia,recta,declive] = ilheu(x0,y0,x1,y1,hrx,htx);
%recupera o perfil
perfil=myline;
%distancia
distancia=distancia;
%se nao for escolhido nenhum modelo - nao desenha grafico em axes 2 e
%mostra erro
    d1=0; d2=0; y=0;
    xponto=0; yponto=0;
    aux=distancia/length(perfil);
    %Procura o ponto cuja altura acima da linha de vista e a
    %maior em todo o perfil
    for i=1:length(perfil)-1
        h=knifeedgeh((i-1)*aux,distancia-(i-
1)*aux,perfil(1)+ht,perfil(length(perfil))+he,perfil(i));
        if(h>y)
            y=h;
            xponto=i;
            yponto=perfil(i);
            d1=(i-1)*aux;
            d2=distancia-d1;;
        end
    end
    if((d1+d2)==0)
        Ad=10;
        yponto=max(perfil);
    else
        f=raiofresnel(d1,d2,frequencia);
        Ad=abs((-20*y/f)+10);
    end
    perda= perdalivre(distancia,frequencia);
    perdadifracao=abs(Ad)+perda;
    sinal=potencia+gtx+grx-perdadicional-
perdadifracao;

    cobertura(X0,Y0)=sinal;
    if getappdata(barra_tempo,'canceling')
        break
    interrupcao=1
    end
    contador=contador+1;
    waitbar(contador/totalpontos);
end%for2
end%for1
delete(barra_tempo);
%end%while
if interrupcao==0
cla(handles.axes1);
hold on
    figure_handle=GCF;
    set(figure_handle,'CurrentAxes',handles.axes1)
    v = [long0:resolucao:long1];
    k = [lat0:resolucao:lat1];
    surf(k,v,cobertura);
    %colormap('jet');
    set(gca,'layer','top');
    colorbar;
    %Calculando a orientacao do mapa

```

```

        if length(v)>length(k)
            azimu=90;
            eleva=90;
        else
            azimu=0;
            eleva=90;
        end
    view(azimu,eleva);
    grid on;
    shading interp;
    axis tight;
    set(gca,'XTickLabel',num2str(get(gca,'XTick').'));
    set(gca,'YTickLabel',num2str(get(gca,'YTick').'));
    xlabel('UTM - Norte');
    ylabel('UTM - Oeste');
    %xticklabel_rotate([],45,[],'Fontsize',10)
    aux1=strcat(get(handles.TXN,'String'),'O');
    aux2=strcat(get(handles.TXW,'String'),'N:');
    aux3=strcat(aux2,aux1);
    h=sprintf('Previsao de cobertura, com o transmissor instalado em
    %s',aux3);
    title(h);
    tobj = text('String','Sinal
    (dBm)','Units','pixels','FontSize',8,'BackgroundColor',[0.863,0.863,0.863])
    ;
    set(tobj,'Position',[587,464]);
    tobj1 = text('String','Elevação
    (m)','Units','pixels','FontSize',8,'BackgroundColor',[0.863,0.863,0.863]);
    set(tobj1,'Position',[993,369]);
    hold off
    set(gcf,'CurrentAxes',handles.axes2)
    cla(handles.axes2)
    hold on
    v = [long0:resolucao:long1];
    k = [lat0:resolucao:lat1];
    axes2=surf(k,v,relevo);
    colorbar;
    h=colormap('jet');
    colormap(h);
    view(3);
    shading interp;
    set(gca,'XTickLabel',num2str(get(gca,'XTick').'));
    set(gca,'YTickLabel',num2str(get(gca,'YTick').'));
    tobj1 = text('String','Relevo do mapa
    carregado','Units','pixels','FontSize',8,'BackgroundColor',[0.863,0.863,0.8
    63]);
    set(tobj1,'Position',[993,369]);
    hold off
end
toc

function TXN_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to TXN (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of TXN as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of TXN as a
double

```

```

TXN = str2double(get(hObject,'string'));
if isnan(TXN)
    errordlg('Tem de inserir um valor numerico','ERRO','modal')
    uicontrol(hObject)
    return
end

function TXW_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to TXW (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of TXW as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of TXW as a
%        double
TXW = str2double(get(hObject,'string'));
if isnan(TXW)
    errordlg('Tem de inserir um valor numerico','ERRO','modal')
    uicontrol(hObject)
    return
end

function RXN_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to RXN (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of RXN as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of RXN as a
%        double
RXN = str2double(get(hObject,'string'));
if isnan(RXN)
    errordlg('Tem de inserir um valor numerico','ERRO','modal')
    uicontrol(hObject)
    return
end

function RXW_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to RXW (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of RXW as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of RXW as a
%        double
RXW = str2double(get(hObject,'string'));
if isnan(RXW)
    errordlg('Tem de inserir um valor numerico','ERRO','modal')
    uicontrol(hObject)
    return
end

% --- Executes on button press in seleccionar.
function seleccionar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to seleccionar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
global MAP_OPTION

```

```

MAP_OPTION=2;
map;
load pontos.xyz;
x=fix(pontos(:,1));
y=fix(pontos(:,2));
set(handles.denorte, 'String', num2str(fix(y(1))));
set(handles.atenorte, 'String', num2str(fix(y(2))));
set(handles.deoeste, 'String', num2str(fix(x(1))));
set(handles.ateoeste, 'String', num2str(fix(x(2))));

% --- Executes on button press in procurar.
function procurar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to procurar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
[FileName,PathName] = uigetfile('*.xyz','Escolha o ficheiro *.xyz');
a=strcat(PathName, FileName)
set(handles.nomeficheiro,'String',FileName);
load(FileName);

% --- Executes on button press in pushbutton13.
function pushbutton13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
figure_handle=GCF;
set(figure_handle,'CurrentAxes',handles.axes2)
camorbit(5,0,'data',[0 0 1])

% --- Executes on button press in pushbutton14.
function pushbutton14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
figure_handle=GCF;
set(figure_handle,'CurrentAxes',handles.axes2)
camorbit(-5,0,'data',[0 0 1])

% --- Executes on button press in pushbutton15.
function pushbutton15_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
figure_handle=GCF;
set(figure_handle,'CurrentAxes',handles.axes2)
view(3);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function slider13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slider13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: slider controls usually have a light gray background, change
%       'usewhitebg' to 0 to use default.  See ISPC and COMPUTER.
usewhitebg = 1;

```

```

if usewhitebg
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

% --- Executes on slider movement.
function slider13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slider13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider
%         get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determine range of
slider
figure_handle=GCF;
set(figure_handle,'CurrentAxes',handles.axes2)
camorbit(-5,0,'data',[0 0 1])

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function sliderdireita_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
usewhitebg = 1;
if usewhitebg
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

% --- Executes on slider movement.
function sliderdireita_Callback(hObject, eventdata, handles)
figure_handle=GCF;
set(figure_handle,'CurrentAxes',handles.axes2)
camorbit(5,0,'data',[0 0 1])

% --- Executes on button press in pushbutton16.
function pushbutton16_Callback(hObject, eventdata, handles)
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
%interroga o utilizador para nomear o ficheiro *KML que permitirá desenhar
o mapa de
%cobertura na localização aproximada
prompt = {'Escolha o nome do ficheiro:'};
dlg_title = 'Exportar mapa de cobertura para o Google Earth';
num_lines = 1;
def = {'Nome'};
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,def);
k=cellfun('isempty',answer);
nome=sprintf('%s',answer{:});
if k==1
    errorldg('Tem de carregar o perfil do terreno');
else
x0=str2num(get(handles.TXN,'String'));
y0=str2num(get(handles.TXW,'String'));
file=get(handles.nomeficheiro,'String')
load (file);

```

```

%leitura do ficheiro para vectores na memoria
[pathstr, name, ext, versn] = fileparts(file)
x=eval([name '(:,1)']);
y=eval([name '(:,2)']);
z=eval([name '(:,3)']);
long1=max(x);
long0=min(x);
lat1=max(y);
lat0=min(y);
[Lat0,Long0] = utm2deg(long0,lat0);
[Lat1,Long1] = utm2deg(long1,lat1);
[Lat_tx,Long_tx]=utm2deg(x0,y0);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Creating kml file
fp=fopen(strcat(nome, '.kml'),'w');
if (fp==-1)
message=sprintf('Unable to open file %s.kml',filename);
error(message);
end
%Escreve o ficheiro .*kml
fprintf(fp, '<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>\n');
fprintf(fp, '<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.1">\n');
fprintf(fp, '<GroundOverlay>\n');
fprintf(fp, '<name>%s</name><color>88ffffff</color>\n', nome);
fprintf(fp, '<description>Mapa de cobertura gerado em Matlab, atraves
DifractionLoss 1.0 - MRodrigues Universidade da Madeira)
</description>\n');
fprintf(fp, '<drawOrder>7</drawOrder>');
fprintf(fp, '<Icon>\n');
imagem=strcat(nome, '.jpg');
fprintf(fp, '<href>%s</href>\n', imagem);
fprintf(fp, '<viewBoundScale>0.75</viewBoundScale>');
fprintf(fp, '</Icon>\n');
fprintf(fp, '<LatLonBox>\n');
fprintf(fp, '<north>%11.6f</north>\n', Lat1);
fprintf(fp, '<south>%11.6f</south>\n', Lat0);
fprintf(fp, '<east>%11.6f</east>\n', Long1);
fprintf(fp, '<west>%11.6f</west>\n', Long0);
fprintf(fp, '</LatLonBox>\n');
fprintf(fp, '</GroundOverlay>\n');
fprintf(fp, '</kml>\n');
fclose(fp);
%Marca na localizaçao do transmissor
nome2=strcat(nome, '_TX');
fp=fopen(strcat(nome2, '.kml'),'w');
if (fp==-1)
message=sprintf('Unable to open file %s.kml',filename);
error(message);
end
%Escreve o ficheiro .*kml
fprintf(fp, '<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>\n');
fprintf(fp, '<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.1">\n');
fprintf(fp, '<description>Ficheiro gerado em
Matlab(DifractionLoss 1.0 MRodrigues)</description>\n');
fprintf(fp, '<Placemark>\n');
fprintf(fp, '<name>Emissor</name>\n');
fprintf(fp, '<styleUrl>#msn_ylw-pushpin</styleUrl>\n');
fprintf(fp, '<Point>\n');

```

```

        fprintf(fp, '<coordinates>%11.6f,%11.6f,0</coordinates>\n', Long_tx, Lat
_tx);
        fprintf(fp, '</Point>\n');
        fprintf(fp, '</Placemark>\n');
        fprintf(fp, '</kml>\n');
        fclose(fp);
        text=sprintf('Devera efectuar um PrintScreen do mapa de cobertura
e guarda-lo no formato .jpg com o nome %s , antes de abrir o ficheiro
%s.', imagem, strcat(nome, '.kml'))
        helpdlg(text, 'Visualizar mapa de cobertura no Google Earth');

    end

```

B9 - Código para config.m

```

function varargout = config(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @config_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @config_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin & isstr(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before config is made visible.
function config_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to config (see VARARGIN)

% Choose default command line output for config
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
[names] = textread('config.ini', '%s');
[a,b,c,d,amostragem,nome]=deal(names{:})

set(handles.a, 'String', a);

```

```

set(handles.b,'String',b);
set(handles.c,'String',c);
set(handles.d,'String',d);
set(handles.amostragem,'String',amostragem);
set(handles.nome,'String',nome);

% UIWAIT makes config wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Executes on button press in procurar.
function procurar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to procurar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
[FileName,PathName] = uigetfile('*.xyz','Escolha o ficheiro *.xyz');
set(handles.nome,'String',FileName);

% --- Executes on button press in gravar.
function gravar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to gravar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

a=get(handles.a,'String');
b=get(handles.b,'String');
c=get(handles.c,'String');
d=get(handles.d,'String');
amostragem=get(handles.amostragem,'String');
nome=get(handles.nome,'String');
msg='O DifraccionLoss nao conseguiu gravar as configurações. Verifique se
tem permissao de escrita na directoria onde esta instalado o
DifraccionLoss';
%Guarda as configurações num ficheiro
[fid,msg] = fopen('config.ini','w','n');
fprintf(fid, '%s \n',a);
fprintf(fid, '%s \n',b);
fprintf(fid, '%s \n',c);
fprintf(fid, '%s \n',d);
fprintf(fid, '%s \n',amostragem);
fprintf(fid, '%s \n',nome);
fclose(fid);
WARNDLG('As configurações efectuadas foram gravadas com
sucesso','Sucesso');

% --- Executes on button press in sair.
function sair_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to sair (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
handle_fig = gcf
difractionloss;
pause(0.5);
close (handle_fig);

```

B10 - Código para difractionloss.m

```

function varargout = difractionloss(varargin)
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome]=getconfig(2);
[pathstr, name, ext, versn] = fileparts(nome);
%ficheiro com o mapa
load(nome);
%leitura do ficheiro para vectores na memoria
x=eval([name '(:,1)']);
y=eval([name '(:,2)']);
z=eval([name '(:,3)']);
%para corrigir erros de conversao todos os pontos com z<0 sao alterados
para 0
    for i=1:length(z)
        if(z(i)<0)
            z(i)=0;
        end
    end
end
%Definição da matriz que vai conter todo o mapa
%A dimensao do mapa devera respeitar o numero de amostras do mapa
j=fix((long1-long0)/amostragem)+1;
w=fix((lat1-lat0)/amostragem)+1;
A =zeros(j,w);
% barra_tempo = waitbar(0,'Carregando o Mapa...','CreateCancelBtn',...
% 'setappdata(gcf,'canceling',1)');
% setappdata(barra_tempo,'canceling',0)
%define an array
    for i=1:length(x)
        x(i)=fix((x(i)-long0)/amostragem);
        y(i)=fix((y(i)-lat0)/amostragem);
        if(x(i)==0)
            x(i)=1;
        end
        if(y(i)==0)
            y(i)=1;
        end
        a=x(i);
        b=y(i);
        A(a,b)=A(a,b)+z(i);
    end
%Guarda a matriz na directoria
save matrix A;
%Inicia o difractionloss

testegui;

```

B11 - Código para distance.m

```

function [distance] = distance(fromO,fromN,toO,toN)
% distance = distance(fromE,fromN,toE,toN): % Função que calcula a
distancia entre
%dois pares de coordenadas no formato UTM.
% - fromE coordenada OESTE do ponto de partida
% - fromN coordenada NORTE do ponto de partida
% - toE coordenada OESTE do ponto de chegada
% - toN coordenada NORTE do ponto de chegada
% Estas variaveis deverao estar configuradas de acordo com a projecção
que
% estiver a ser utilizada para gerar o mapa. Caso contrario a distancia
% calculada nao sera a correcta. A projecção actual e UTM28

```

```

%      EarthRadius = 6378137.0;
%      ScaleFactor = 0.9996;
%      FalseEasting = 500000.0;
% Para alterar estas variaveis edite ficheiro distance.m
% linhas 23,24 e 25
% - Author: MRodrigues
% - Contact: mrserrao@hotmail.com
% - Website: http://mrodrigues.pt.vu
%
%
EarthRadius = 6378137.0;
ScaleFactor = 0.9996;
FalseEasting = 500000.0;
%Formula para calcula da distancia entre dois pontos
%dadas as coordenas UTM
f1=ScaleFactor/cos((fromO - FalseEasting)/EarthRadius);
f2=ScaleFactor/cos((toO - FalseEasting)/EarthRadius);
fm=ScaleFactor/cos(((fromO + toO) * 0.5 - FalseEasting)/EarthRadius);
dx=(toO - fromO) / 6 * (f1 + 4 * fm + f2);
dy = toN - fromN;
distance=fix(sqrt(dx^2+dy^2));

```

B12 - Código para export.m

```

function varargout = export(varargin)

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
if(handles.opcao==0)
TXn = get(handles.edit1,'String');
x(1) = str2num(TXn);
TXw = get(handles.edit2,'String');
y(1) = str2num(TXw);
RXn = get(handles.edit3,'String');
x(2) = str2num(RXn);
RXw = get(handles.edit4,'String');
y(2) = str2num(RXw);
else
load pontos.xyz
x=fix(pontos(:,1));
y=fix(pontos(:,2));
end
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome] = getconfig(2);
[pathstr, name, ext, versn] = fileparts(nome);
%coverssao para os indices da matriz
X0=fix((y(1)-lat0)/amostragem);
Y0=fix((x(1)-long0)/amostragem);
X1=fix((y(2)-lat0)/amostragem);
Y1=fix((x(2)-long0)/amostragem);
%coverssao para os indices da matriz
pontos=[X1,Y1;X0,Y0];
%ficheiro com o mapa
load(nome);
%leitura do ficheiro para vectores na memoria
x=eval([name '(:,1)']);

```

```

y=eval([name '(:,2)']);
z=eval([name '(:,3)']);
%para corrigir erros de conversao todos os pontos com z<0 sao alterados
para 0
    for i=1:length(z)
        if(z(i)<0)
            z(i)=0;
        end
    end
end
%definição da matriz que vai conter todo o mapa
j=fix((long1-long0)/amostragem)+1;
w=fix((lat1-lat0)/amostragem)+1;
A =zeros(j,w); %define an array
#####
%converte coordenadas do mapa para coordenadas da matriz
    for i=1:length(x)
        x(i)=fix((x(i)-long0)/amostragem);
        y(i)=fix((y(i)-lat0)/amostragem);
    end
    for i=1:length(x)
        if(x(i)==0)
            x(i)=1;
        end

        if(y(i)==0)
            y(i)=1;
        end
    end
end
    for i=1:length(x)
        a=x(i);
        b=y(i);
        A(a,b)=A(a,b)+z(i);
    end
[myline,mycoords,K,X,Y]=bresenham(A,pontos,0);
u=str2num(get(handles.amostragem,'String'));
u=fix(u/amostragem);
%converte coordenadas da matriz para coordenadas do mapa
    for i=1:u:length(X)
        X(i)=fix((X(i)*amostragem)+long0);
        Y(i)=fix((Y(i)*amostragem)+lat0);
    end
%Grava o ficheiro pontos.xyz para ser carregado no GUI correspondente
str=get(handles.edit7,'String');
str=strcat(str,'.xyz');
fid = fopen(str,'w','n')
for i=1:u:length(X)
fprintf(fid, '%f \t %f\n', Y(i),X(i))
end
fclose(fid)

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
handles.opcao=1
map
load pontos.xyz
x=fix(pontos(:,1));

```

```

y=fix(pontos(:,2));
set(handles.edit1,'String',num2str(fix(x(1))));
set(handles.edit2,'String',num2str(fix(y(1))));
set(handles.edit3,'String',num2str(fix(x(2))));
set(handles.edit4,'String',num2str(fix(y(2))));

```

B13 - Código para getconfig.m

```

function [long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome] = getconfig(x);
% getconfig(x): % Função que le os parametros de configuração do ficheiro
config.ini
%Le o ficheiro onde foram guardadas as configurações

[names] = textread('config.ini','%s');
[a,b,c,d,amostragem,nome]=deal(names{:});
%carrega para o output as variaveis lidas
long0=str2num(a);
long1=str2num(b);
lat0=str2num(c);
lat1=str2num(d);
amostragem=str2num(amostragem);

nome=nome;

```

B14- Código para map.m

```

function varargout = map(varargin)

%READ GLOBAL OPTION
global MAP_OPTION
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome] = getconfig(2);
load matrix
v = [long0:amostragem:long1];
k = [lat0:amostragem:lat1];
%Calculando a orientação do mapa
if length(v)>length(k)
    azimu=90;
    elev=90;
else
    azimu=0;
    elev=90;
end
% faz contornos de -50 a 500 mm
maxelevacao=max(max(A));
intervalo=maxelevacao/10
cla(gca)
k=contour(k,v,A,[0:intervalo:maxelevacao]);
view(azimu,elev);
colorbar;
set(gca,'XDir','reverse');
%set(gca,'YDir','reverse');
set(gca,'Color',[0.125 0.357 0.533]); % Set background color of "axes"

```

```

set(gca,'XTickLabel',num2str(get(gca,'XTick').'));
set(gca,'YTickLabel',num2str(get(gca,'YTick').'));
ylabel('UTM-OESTE');
xlabel('UTM - NORTE');
grid on
set(gca,'layer','top');
    if MAP_OPTION==1
        set(handles.text1,'String','Escolha a localizaçao do
Transmissor. ');
        [x,y] = ginput(1);
        close;
        fid = fopen('pontos.xyz','w','n');
        for i=1:1:1
            fprintf(fid, '%f \t %f\n', y(i),x(i));
        end
        fclose(fid);
        MAP_OPTION=3

    elseif MAP_OPTION==2
        set(handles.text1,'String','Clique com o rato para desenhar o
rectangulo da area pretendida. ');
        [x1,y1] = ginput(1);
        h = vline(x1,'g');
        h = hline(y1,'g');
        [x2,y2] = ginput(1);
        h = vline(x2,'g');
        h = hline(y2,'g');
        fid = fopen('pontos.xyz','w','n');
        fprintf(fid, '%f \t %f \n', y1,x1);
        fprintf(fid, '%f \t %f \n', y2,x2);
        fclose(fid);
        MAP_OPTION=3;
        pause(1);
        close;

    else
        [x,y] = ginput(2);
        close;
        fid = fopen('pontos.xyz','w','n');
        for i=1:2
            fprintf(fid, '%f \t %f\n', y(i),x(i));
        end
        fclose(fid);
    end
end

```

B15 - Código para getconfig.m

```

function varargout = perfil3d(varargin)

function perfil3d_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to perfil3d (see VARARGIN)

% Choose default command line output for perfil3d

```

```

handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes perfil3d wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

load perfil3d
[long0,long1,lat0,lat1,amostragem,nome]=getconfig(2);
for e=1:1:3
y(e)=e;
end

for e=1:1:length(myline)
x(e)=(e-1)*amostragem;
end

for r=1:1:3
for t=1:1:length(myline)
perfil(r,t)=myline(t);
end
end
load 3dmatrix;
load matrix;
load xmat;
load ymat;

for t=1:1:length(X)
perfil(2,t)=A(X(t),Y(t)+1);
end
for t=1:1:length(X)
perfil(3,t)=A(X(t),Y(t)+2);
end

h=surf(x,y,perfil);
xlabel('Distancia (m)');
zlabel('Elevação (m)');
colormap copper;
colorbar('vert');
view(3);

```

Anexo B16 - Código para raiofresnel.m

```

function [raio] = raiofresnel( d1, d2, f)
% [raio] = raiofresnel( d1, d2, f) :Função que calcula o raio da 1 zona de
% fresnel num determinado ponto P a d1 m do emissor e a
% d2 metros do receptor
% - d1 e a distancia do EMISSOR ao ponto P em metros
% - d2 e a distancia do ponto P ao RECEPTOR em metros
% - f e a frequencia de operação em MHz
%
lambda=3E2/f;
raio=sqrt(lambda*d1*d2/(d1+d2));

```

Anexo C – Resultados das simulações para o percurso 1,2 e 3

Este anexo contém os resultados das simulações realizadas para teste dos modelos implementados no DiffractionLoss, nomeadamente Epstein-Pettersen, Deygout, Egli, ITU-R P530-12. O modelo de Longley-Rice foi simulado no Radio Mobile

C1 – Perdas por difracção em dB para o percurso 1

Percurso 1 – 5700m						
Distancia (m)	Perda (dB)					
	Longley Rice	Epstein-Pettersen	Deygout	Egli	ITU-R P530-12	Perda no espaço livre
0	0	0	0	0	0	0
100	69,20	65,50	65,50	71,62	75,50	65,50
200	74,20	71,52	71,52	83,66	81,52	71,52
300	81,00	75,04	75,04	90,71	85,04	75,04
400	80,90	77,54	77,54	95,70	87,54	77,54
500	118,40	109,30	107,20	99,58	153,16	79,48
600	107,80	111,80	108,30	102,75	140,84	81,06
700	93,90	109,50	106,80	105,42	123,96	82,40
800	85,50	115,20	125,20	107,74	139,40	83,56
900	92,40	122,40	126,20	109,79	132,88	84,58
1000	90,40	125,40	113,60	111,62	129,80	85,50
1100	96,30	115,23	111,40	113,28	124,86	86,33
1200	97,30	115,20	112,20	114,79	124,14	87,08
1300	134,30	114,30	111,40	116,18	115,22	87,78
1400	140,70	124,30	116,20	117,47	116,85	88,42
1500	152,50	114,10	111,00	118,66	109,79	89,02
1600	142,00	135,10	112,10	119,79	109,03	89,58
1700	148,10	135,40	112,13	120,84	141,77	90,11
1800	133,00	148,60	145,40	121,83	175,61	90,60
1900	155,50	154,40	144,80	122,77	172,67	91,07
2000	153,10	145,10	145,20	123,66	177,99	91,52
2100	159,70	161,10	160,00	124,51	173,09	91,94
2200	153,30	155,80	169,80	125,32	206,35	92,35
2300	150,80	144,40	173,00	126,09	218,64	92,73
2400	147,90	155,10	176,00	126,83	248,77	93,10
2500	145,10	152,60	170,10	127,54	231,12	93,46
2600	135,10	146,20	157,20	128,22	226,00	93,80
2700	164,70	153,60	148,30	128,88	215,57	94,12

2800	162,40	149,00	147,50	129,51	200,07	94,44
2900	155,70	144,50	144,30	130,12	158,60	94,75
3000	151,10	144,30	151,20	130,71	173,98	95,04
3100	161,20	154,20	158,60	131,28	191,10	95,32
3200	151,70	153,30	165,50	131,83	186,64	95,60
3300	148,70	145,10	170,80	132,36	179,53	95,87
3400	163,70	147,00	169,40	132,88	195,04	96,13
3500	154,50	156,80	156,50	133,38	190,64	96,38
3600	145,60	154,70	172,20	133,87	187,27	96,62
3700	138,30	145,30	168,70	134,35	186,01	96,86
3800	130,50	155,30	176,90	134,81	190,79	97,09
3900	128,60	145,30	168,30	135,26	176,90	97,32
4000	125,50	146,10	145,10	135,70	166,55	97,54
4100	164,20	148,10	145,20	136,13	147,22	97,75
4200	154,60	145,40	141,10	136,55	135,93	97,96
4300	154,00	147,40	140,00	136,96	137,80	98,17
4400	154,30	165,60	148,10	137,36	142,66	98,37
4500	151,60	163,70	150,10	137,75	144,80	98,56
4600	140,50	168,30	150,80	138,13	148,44	98,75
4700	140,50	175,00	150,86	138,50	150,75	98,94
4800	136,50	166,50	152,00	138,87	152,41	99,12
4900	130,40	162,10	151,30	139,23	145,37	99,30
5000	157,40	165,30	145,20	139,58	147,51	99,48
5100	159,50	161,80	144,50	139,92	141,81	99,65
5200	152,30	163,10	143,20	140,26	139,46	99,82
5300	146,20	174,90	145,30	140,59	143,20	99,98
5400	148,20	177,00	154,40	140,92	150,01	100,15
5500	153,10	181,12	169,60	141,24	144,88	100,30
5600	157,30	165,90	168,60	141,55	140,94	100,46
5700	156,70	167,40	169,20	141,86	145,76	100,61

C2 – Perdas por difracção em dB para o percurso 2

Percurso 2, 3700m						
Perda (dB)						
Distancia (m)	Longley Rice	Epstein	Deygout	Egli	ITU-R P530-12	Perda no espaço livre
0	0	0	0	0	0	0
100	69,90	65,00	65,00	71,62	77,51	65,50
200	77,00	71,21	71,21	83,66	82,03	71,52
300	81,00	74,70	74,70	90,71	85,07	75,04
400	99,30	89,00	79,70	95,70	87,25	77,54

500	122,50	103,10	100,00	99,58	105,10	79,48
600	88,50	77,00	82,20	102,75	83,10	81,06
700	84,00	90,20	82,10	105,42	92,21	82,40
800	84,40	83,40	83,40	107,74	93,72	83,56
900	92,70	90,10	85,00	109,79	94,58	84,58
1000	90,10	85,30	85,30	111,62	95,30	85,50
1100	87,80	98,80	93,10	113,28	103,10	86,33
1200	88,20	86,80	86,80	114,79	97,10	87,08
1300	151,70	118,70	117,60	116,18	127,30	87,78
1400	150,30	107,60	122,30	117,47	178,80	88,42
1500	157,00	123,60	125,80	118,66	224,40	89,02
1600	156,20	111,40	124,50	119,79	225,80	89,58
1700	158,40	125,30	145,30	120,84	267,70	90,11
1800	157,00	112,30	136,70	121,83	272,60	90,60
1900	160,30	126,80	126,50	122,77	261,00	91,07
2000	160,20	123,80	126,40	123,66	259,00	91,52
2100	161,00	120,90	127,40	124,51	268,10	91,94
2150	155,00	114,30	127,80	124,92	272,80	92,15
2250	161,50	115,12	127,70	125,71	270,00	92,54
2350	159,90	116,00	127,90	126,46	264,60	92,92
2450	159,20	128,00	127,50	127,19	249,60	93,28
2550	156,30	127,80	127,20	127,88	232,30	93,63
2650	158,80	122,80	126,70	128,55	221,70	93,96
2750	156,90	127,60	127,10	129,19	223,10	94,28
2850	173,10	123,40	155,10	129,81	231,60	94,59
2950	165,30	128,20	160,30	130,41	249,40	94,89
3050	164,30	138,80	158,10	130,99	251,90	95,18
3150	156,90	128,20	148,90	131,55	244,50	95,46
3200	158,20	135,00	128,80	131,83	231,20	95,60
3300	158,50	129,50	128,90	132,36	226,77	95,87
3400	157,70	125,40	128,90	132,88	222,60	96,13
3500	157,60	125,50	128,90	133,38	219,00	96,38
3600	157,90	125,70	129,20	133,87	218,50	96,62
3700	157,60	114,90	129,10	134,35	216,90	96,86

C3 – Perdas por difracção em dB para o percurso 3

Percurso 3, 2900m						
Distância (m)	Perda (dB)					
	Longley Rice	Epstein	Deygout	ITU-R P530-12	Egli	Perda no espaço livre
0	0	0	0	0	0	0

106	61,50	66,10	66,10	76,10	72,63	61,27
200	70,20	72,15	72,15	82,16	83,66	62,42
323	89,90	110,00	90,00	92,00	91,99	64,57
431	108,80	113,50	103,20	128,30	97,00	66,23
524	109,10	135,30	128,30	157,70	100,39	66,25
644	123,00	129,60	127,70	155,00	103,98	67,30
752	113,00	122,60	120,50	128,77	106,67	66,56
859	101,90	84,18	84,18	94,18	108,98	65,66
967	108,10	85,21	85,21	95,21	111,04	66,17
1075	102,00	86,10	86,10	96,13	112,88	65,67
1183	123,40	116,44	108,10	103,00	114,54	67,32
1288	145,40	132,30	115,30	142,60	116,02	68,75
1396	137,80	128,80	117,10	158,66	117,42	68,28
1504	137,60	126,80	117,50	156,30	118,71	68,27
1611	144,40	127,70	117,78	154,30	119,90	68,69
1719	130,00	123,70	111,70	116,57	121,03	67,78
1827	140,00	127,90	116,85	143,30	122,09	68,42
1932	136,90	125,40	133,15	131,77	123,06	68,23
2040	136,10	124,50	111,20	110,65	124,01	68,17
2148	122,00	124,11	111,30	110,26	124,90	67,22
2256	125,40	122,30	111,55	110,10	125,75	67,46
2363	127,00	130,75	131,68	115,39	126,56	67,57
2471	129,00	120,55	107,63	98,00	127,34	67,71
2576	125,00	121,92	107,86	98,13	128,06	67,44
2684	124,30	122,10	108,18	97,87	128,77	67,39
2792	125,00	127,40	110,14	97,10	129,46	67,44
2900	124,90	120,20	120,70	96,40	130,12	67,43

Anexo D – Resultados das medições de perda e das respectivas simulações

Este anexo contém os resultados das medições de perda e das respectivas simulações para a primeira e segunda fase de medições.

D1 – Resultados das medições de perda e das respectivas simulações para a primeira fase de medições

Distância do transmissor (m)	Ponto	Perda em dB					
		Medição	Longley Rice	Epstein Pettersen	Deygout	Egli	ITU-R P530-12
70	1	-61,76	-88,5	-63,57	-63,57	-65,42	-73,56
100	22	-76,81	-90,5	-87,65	-77,02	-71,62	-70,17
150	2	-73,07	-96,3	-70,21	-70,21	-78,66	-80,21
220	3	-77,21	-99,5	-94,7	-86,3	-85,32	-68,47
230	21	-72,11	-80,4	-79,81	-74,15	-86,09	-79,81
270	4	-74,86	-101,2	-84,72	-78,66	-88,88	-127,43
310	5	-89,36	-99,6	-90,2	-76,7	-91,28	-82,04
310	20	-99,77	-85,8	-82,87	-77,88	-91,28	-85,6
350	17	-114,11	-83	-112,18	-100,4	-93,38	-91
400	6	-112,71	-153,8	-166	-125,2	-95,7	-197,9
410	16	-110,61	-151,8	-178,4	-124,9	-96,13	-195,22
460	7	-112,91	-156,9	-130,17	-122,9	-98,13	-189,12
490	18	-104,01	-90,6	-100,51	-94,28	-99,23	-84,87
600	8	-113,76	-156,7	-128	-117,87	-102,75	-155,83
660	19	-108,31	-107,8	-125,31	-118,5	-104,4	-85,3
740	9	-115,91	-130,4	-128,15	-112,97	-106,39	-99,6
740	15	-113,62	-129,3	-117,2	-125,52	-106,39	-97
820	10	-98,76	-121,7	-113,53	-112,82	-108,17	-98,64
870	14	-108,91	-122,3	-97,6	-100,8	-109,2	-100,15
880	11	-88,81	-118,7	-103	-105,87	-109,4	-102,59
1000	12	-97,36	-101,3	-134,64	-131,15	-111,62	-154,7

D2 – Resultados das medições de perda e das respectivas simulações para a segunda fase de medições

Distância do transmissor (m)	Ponto	Perda em dB					
		Medição	Longley Rice	Epstein Pettersen	Deygout	Egli	ITU
490	57	-112,40	-187,50	-122,7	-109,58	-99,23	-98,17
520	55	-131,50	-183,50	-135,42	-111,0	-100,26	-151,54
680	58	-92,40	-187,90	-99,51	-110,65	-104,92	-112,38
700	54	-129,30	-192,10	-133,67	-131,50	-105,42	-137,72
860	53	-128,50	-188	-127,40	-127,50	-109,00	-125,90
1040	63	-89,50	-115,70	-86,28	-86,28	-112,30	-96,28
1050	52	-123,10	-183,10	-86,02	-86,02	-112,47	-96,02
1060	64	-88,10	-112,80	-86,41	-86,41	-112,63	-96,41
1200	66	-96,30	-112,70	-86,37	-86,37	-114,79	-96,37
1210	51	-115,60	-182,10	-87,35	-87,35	-114,93	-97,35
1640	50	-93,80	-175,30	-90,0	-90,90	-120,21	-95,90
2150	49	-92,70	-153,40	-92,43	-92,43	-124,92	-102,43
2550	48	-96,80	-160,30	-93,89	-93,89	-127,88	-103,89
2960	47	-97,80	-131,70	-95,23	-95,23	-130,47	-104,23
3340	46	-99,60	-128,30	-96,30	-96,30	-132,57	-106,3
4240	45	-98,50	-126,50	-98,37	-98,36	-136,72	-108,36
4380	23	-102	-124	-98,60	-98,66	-137,28	-108,24
4560	44	-112,80	-122,80	-99,02	-99,02	-137,98	-108,02
4820	24	-99,60	-123,70	-99,49	-99,49	-138,94	-99,30
4880	43	-99,60	-124,90	-99,60	-99,60	-139,16	-109,60
5350	42	-107,40	-126,40	-100,41	-100,41	-140,76	-110,41
5710	25	-118,66	-131,66	-100,96	-100,96	-141,89	-110,96
6150	26	-114,50	-158,50	-101,61	-101,61	-143,18	-111,61
6430	27	-115,50	-129	-102,01	-102,01	-143,95	-112,01
6540	29	-107,80	-129,80	-102,49	-102,49	-144,24	-112,49
6800	30	-103,80	-127,80	-102,76	-102,76	-144,92	-112,76
6980	31	-108,30	-137,30	-103,77	-103,77	-145,38	-113,77
7110	38	-109,60	-132,60	-116,27	-104,33	-145,70	-105,10
7270	37	-106,90	-128,90	-102,87	-102,87	-146,08	-112,87
7570	35	-115,50	-131,50	-103,46	-103,46	-146,78	-113,46

7600	36	-109,70	-126,70	-103,07	-103,07	-146,85	-112,07
7690	34	-113,60	-126,60	-103,43	-103,43	-147,06	-113,43
7880	32	-109,80	-133,80	-103,86	-103,86	-147,48	-113,86
7960	33	-124,30	-129,30	-103,56	-103,56	-147,66	-113,56

Anexo E – Características dos equipamentos simulados para a ligação Madeira-Desertas

Este anexo contém a documentação relativa aos equipamentos utilizados como referência para o projecto da ligação Madeira-Desertas.

E1 – Características para o equipamento - “Araya – AI108-4958-O”

Radio			
Multiple Frequency Bands Supported. 40, 20, 10, 5 MHz wide channel selections (Local regulations apply)	4.940-4.990 GHz Public Safety Band (FCC Part 90, licensed Intl.) Non-overlapping Channels: 9 x 5 MHz, 5 x 10 MHz, 2 x 20 MHz, 1 x 40 MHz		
	5.25-5.35 GHz license-exempt Non-overlapping Channels: 15 x 5 MHz, 8 x 10 MHz, 4 x 20 MHz, 2 x 40 MHz		
	5.47-5.72 GHz license-exempt (ETSI, FCC, ITU) with TPC and DFS Non-overlapping Channels: 50 x 5 MHz, 25 x 10 MHz, 12 x 20 MHz, 5 x 40 MHz		
	5.725-5.850 GHz license-exempt UNII & ISM Bands Non-overlapping Channels: ISM, UNII: 22 x 5 MHz, 11 x 10 MHz, 5 x 20 MHz, 2 x 40 MHz		
Radio Type	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Dual Radio Architecture for dedicated transmit (TX) and receive (RX) Paths		
Standards	802.3, 802.1Q, 802.1P, Cisco ISL, VLAN		
Total System EIRP and Radio Output Power	Radio output power: Max: 21 dBm (Set to local regulatory requirements to comply with transmit, conducted and EIRP power limits)		
Radio Receiver Sensitivity	Data Rate	Sensitivity	Modulation
	1.5 to 108 Mbps	-69 to -91 dBm	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
Antenna Type(s)	AI108-4958-0-xxx: 23 dBi integrated AI108-4958-ON-xxx: Parabolic Dish, GRID, Sector, Panel, or Omni		
Operating Modes	Point-to-Multipoint and Backhaul (Point-to-Point)		

E2 – Características para o equipamento - “TrangoLink 6Ghz”


Specifications																							
RADIO PARAMETERS																							
Frequency of Operation (ODU) *	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Band 1</th> <th>Band 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz</td> <td>Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz</td> </tr> <tr> <td>Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz</td> <td>Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz</td> </tr> </tbody> </table>	Band 1	Band 2	Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz	Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz	Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz	Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz																
Band 1	Band 2																						
Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz	Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz																						
Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz	Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz																						
Channel Size*	10 MHz / 30/28 MHz																						
RF Power Output (max per modulation)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modulation</th> <th>Power</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>QPSK</td> <td>16QAM</td> </tr> <tr> <td>+22 dbm</td> <td>+22 dbm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>32QAM</td> </tr> <tr> <td></td> <td>+22 dbm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>64QAM</td> </tr> <tr> <td></td> <td>+21 dbm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>128QAM</td> </tr> <tr> <td></td> <td>+20 dbm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>256QAM</td> </tr> <tr> <td></td> <td>+19 dbm</td> </tr> </tbody> </table>	Modulation	Power	QPSK	16QAM	+22 dbm	+22 dbm		32QAM		+22 dbm		64QAM		+21 dbm		128QAM		+20 dbm		256QAM		+19 dbm
Modulation	Power																						
QPSK	16QAM																						
+22 dbm	+22 dbm																						
	32QAM																						
	+22 dbm																						
	64QAM																						
	+21 dbm																						
	128QAM																						
	+20 dbm																						
	256QAM																						
	+19 dbm																						
Modulation Format	Selectable from QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM																						
Receiver Sensitivity	-66 dbm (256 QAM maximum speed); -90 dbm (QPSK minimum speed)																						
Features	ATPC (Automatic Transmit Power Control), Modulation Shifting, Forward Error Correction																						
Regulatory Compliance *	FCC/ANSI: Part 101, Part 15 Class A Unintentional Radiator, Part 101.147 (i) Industry Canada (IC): SRSP-305.9 Issue 5 ETSI: EN302 217-2-1, EN302 217-2-2, ITU-R F383-7 (lower 6 GHz)																						
DATA																							
Data Throughput/ RSSI (1E10* BER) *	Speeds are uni-directional. For aggregate full duplex speeds, multiply throughput numbers below by 2.																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Channel Size</th> <th>QPSK / RSSI</th> <th>16QAM / RSSI</th> <th>32QAM / RSSI</th> <th>64QAM / RSSI</th> <th>128QAM / RSSI</th> <th>256QAM / RSSI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 Mhz</td> <td>15 Mbps / -90 dbm</td> <td>32 Mbps / -83 dbm</td> <td>36 Mbps / -79 dbm</td> <td>45 Mbps / -77 dbm</td> <td>52 Mbps / -73 dbm</td> <td>56 Mbps / -71 dbm</td> </tr> <tr> <td>30 / 28 Mhz</td> <td>45 Mbps / -85 dbm</td> <td>95 Mbps / -78 dbm</td> <td>108 Mbps / -75 dbm</td> <td>134 Mbps / -72 dbm</td> <td>155 Mbps / -69 dbm</td> <td>165 Mbps / -66 dbm</td> </tr> </tbody> </table>	Channel Size	QPSK / RSSI	16QAM / RSSI	32QAM / RSSI	64QAM / RSSI	128QAM / RSSI	256QAM / RSSI	10 Mhz	15 Mbps / -90 dbm	32 Mbps / -83 dbm	36 Mbps / -79 dbm	45 Mbps / -77 dbm	52 Mbps / -73 dbm	56 Mbps / -71 dbm	30 / 28 Mhz	45 Mbps / -85 dbm	95 Mbps / -78 dbm	108 Mbps / -75 dbm	134 Mbps / -72 dbm	155 Mbps / -69 dbm	165 Mbps / -66 dbm	
Channel Size	QPSK / RSSI	16QAM / RSSI	32QAM / RSSI	64QAM / RSSI	128QAM / RSSI	256QAM / RSSI																	
10 Mhz	15 Mbps / -90 dbm	32 Mbps / -83 dbm	36 Mbps / -79 dbm	45 Mbps / -77 dbm	52 Mbps / -73 dbm	56 Mbps / -71 dbm																	
30 / 28 Mhz	45 Mbps / -85 dbm	95 Mbps / -78 dbm	108 Mbps / -75 dbm	134 Mbps / -72 dbm	155 Mbps / -69 dbm	165 Mbps / -66 dbm																	
Packet Size	64-9600 bytes																						
Flow Control	Yes, via Ethernet pause frames (GigE mode only)																						
Security	Authentication uses 2 level password																						
Configuration & Management	SSH, HTTPS, Console (RS232), Ethernet, SNMPV2																						
Remote firmware update	TFTP client in radio unit																						
ANTENNA																							
Antenna options	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model/Description</th> <th>Gain</th> <th>3 dB Beamwidth</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AD6G-6 / 6-foot antenna with slip-fit mount</td> <td>39.0 dBi</td> <td>1.9°</td> </tr> </tbody> </table>	Model/Description	Gain	3 dB Beamwidth	AD6G-6 / 6-foot antenna with slip-fit mount	39.0 dBi	1.9°																
Model/Description	Gain	3 dB Beamwidth																					
AD6G-6 / 6-foot antenna with slip-fit mount	39.0 dBi	1.9°																					
POWER																							
Input for Indoor Unit (IDU)	-40.5 to -57 VDC																						
Power Consumption	IDU: < 70 Watts; ODU: < 20 Watts																						

E3 – Características para o equipamento - “TrangoLink 11Ghz”

Specifications																						
RADIO PARAMETERS																						
Frequency of Operation (ODU) *	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Band 1</th> <th>Band 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz </td> <td> Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz </td> </tr> </tbody> </table>	Band 1	Band 2	Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz	Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz																	
Band 1	Band 2																					
Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz Band 1A: 5.935 to 6.044 GHz Band 1B: 6.187 to 6.296 GHz	Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz Band 2A: 6.054 to 6.162 GHz Band 2B: 6.306 to 6.414 GHz																					
Channel Size *	10 MHz / 30/28 MHz																					
RF Power Output (max per modulation)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modulation</th> <th>Power</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>QPSK</td> <td>+22 dbm</td> </tr> <tr> <td>16QAM</td> <td>+22 dbm</td> </tr> <tr> <td>32QAM</td> <td>+22 dbm</td> </tr> <tr> <td>64QAM</td> <td>+21 dbm</td> </tr> <tr> <td>128QAM</td> <td>+20 dbm</td> </tr> <tr> <td>256QAM</td> <td>+19 dbm</td> </tr> </tbody> </table>	Modulation	Power	QPSK	+22 dbm	16QAM	+22 dbm	32QAM	+22 dbm	64QAM	+21 dbm	128QAM	+20 dbm	256QAM	+19 dbm							
Modulation	Power																					
QPSK	+22 dbm																					
16QAM	+22 dbm																					
32QAM	+22 dbm																					
64QAM	+21 dbm																					
128QAM	+20 dbm																					
256QAM	+19 dbm																					
Modulation Format	Selectable from QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM																					
Receiver Sensitivity	-66 dBm (256 QAM maximum speed); -90 dBm (QPSK minimum speed)																					
Features	ATPC (Automatic Transmit Power Control), Modulation Shifting, Forward Error Correction																					
Regulatory Compliance *	FCC/ANSI: Part 101, Part 15 Class A Unintentional Radiator, Part 101.147 (i) Industry Canada (IC): SRSP-305.9 Issue 5 ETSI: EN302 217-2-1, EN302 217-2-2, ITU-R F383-7 (lower 6 GHz)																					
DATA																						
Data Throughput / RSSI (1E10* BER) *	Speeds are uni-directional. For aggregate full duplex speeds, multiply throughput numbers below by 2.																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Channel Size</th> <th>QPSK / RSSI</th> <th>16QAM / RSSI</th> <th>32QAM / RSSI</th> <th>64QAM / RSSI</th> <th>128QAM / RSSI</th> <th>256QAM / RSSI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 Mhz</td> <td>15 Mbps / -90 dbm</td> <td>32 Mbps / -83 dbm</td> <td>36 Mbps / -79 dbm</td> <td>45 Mbps / -77 dbm</td> <td>52 Mbps / -73 dbm</td> <td>56 Mbps / -71 dbm</td> </tr> <tr> <td>30 / 28 Mhz</td> <td>45 Mbps / -85 dbm</td> <td>95 Mbps / -78 dbm</td> <td>108 Mbps / -75 dbm</td> <td>134 Mbps / -72 dbm</td> <td>155 Mbps / -69 dbm</td> <td>165 Mbps / -66 dbm</td> </tr> </tbody> </table>	Channel Size	QPSK / RSSI	16QAM / RSSI	32QAM / RSSI	64QAM / RSSI	128QAM / RSSI	256QAM / RSSI	10 Mhz	15 Mbps / -90 dbm	32 Mbps / -83 dbm	36 Mbps / -79 dbm	45 Mbps / -77 dbm	52 Mbps / -73 dbm	56 Mbps / -71 dbm	30 / 28 Mhz	45 Mbps / -85 dbm	95 Mbps / -78 dbm	108 Mbps / -75 dbm	134 Mbps / -72 dbm	155 Mbps / -69 dbm	165 Mbps / -66 dbm
Channel Size	QPSK / RSSI	16QAM / RSSI	32QAM / RSSI	64QAM / RSSI	128QAM / RSSI	256QAM / RSSI																
10 Mhz	15 Mbps / -90 dbm	32 Mbps / -83 dbm	36 Mbps / -79 dbm	45 Mbps / -77 dbm	52 Mbps / -73 dbm	56 Mbps / -71 dbm																
30 / 28 Mhz	45 Mbps / -85 dbm	95 Mbps / -78 dbm	108 Mbps / -75 dbm	134 Mbps / -72 dbm	155 Mbps / -69 dbm	165 Mbps / -66 dbm																
Packet Size	64-9600 bytes																					
Flow Control	Yes, via Ethernet pause frames (GigE mode only)																					
Security	Authentication uses 2 level password																					
Configuration & Management	SSH, HTTPS, Console (RS232), Ethernet, SNMPV2																					
Remote firmware update	TFTP client in radio unit																					
ANTENNA																						
Antenna options	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model/Description</th> <th>Gain</th> <th>3 dB Beamwidth</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AD6G-6 / 6-foot antenna with slip-fit mount</td> <td>39.0 dBi</td> <td>1.9°</td> </tr> </tbody> </table>	Model/Description	Gain	3 dB Beamwidth	AD6G-6 / 6-foot antenna with slip-fit mount	39.0 dBi	1.9°															
Model/Description	Gain	3 dB Beamwidth																				
AD6G-6 / 6-foot antenna with slip-fit mount	39.0 dBi	1.9°																				
POWER																						
Input for Indoor Unit (IDU)	-40.5 to -57 VDC																					
Power Consumption	IDU: < 70 Watts; ODU: < 20 Watts																					

Anexo F – Diário de campo da visita às Ilhas Desertas

Este anexo contém o diário de campo da visita às ilhas Desertas durante o período 07-07-2009 a 10-07-2009

Data: 07-07-2009	
Hora início: 09h:00	Hora término: 11h:30
Local: Marina da Quinta do Lorde - Caniçal	
Actividade: Pelos 09h:00 a lancha do Parque Natural da Madeira - Freira do Bugio, saía da marina da Quinta do Lorde no Caniçal rumo as Ilhas Desertas. Ao todo seguiam 7 pessoas, 2 tripulantes e mais um grupo de biólogos cujo destino era o Ilhéu Chão e um fotógrafo. O mar estava calmo, permitindo assim uma espectacular e rápida viagem até as Desertas, que demorou apenas 30 minutos. Após o desembarque do grupo de biólogos no Ilhéu Chão rumamos à costa Este da Deserta Grande onde o senhor Rui, o fotógrafo, iria desembarcar. A sua visita tinha como principal objectivo fotografar uma planta para que esta fosse catalogada e inserida no atlas. O desembarque deu-se pelas 10h:20 na doca, onde fui muito bem recebido pelo vigilante Lourenço. A bagagem ainda ia dar mais um passeio na lancha já que surgiu um alerta que uma embarcação estaria navegando numa zona interdita. Por volta das 11h:00 chega então a lancha para efectuarmos o desembarque da bagagem. Conferida toda a lista do material preparamo-nos para o almoço.	
	
Fig. 1 Lancha do Parque Natural da Madeira	
Data: 07-07-2009	
Hora início: 15h:00	Hora término: 16h:30
Local: Deserta Grande -doca	
Actividade: Todo o sistema de transmissão e recepção foi montado, para confirmar o funcionamento e os dados de	

configuração. No início surgiu um pequeno problema, pois embora estando a alguns metros da antena transmissora não era detectado qualquer sinal na frequência que estava seleccionada 469.5 MHz, após alguns minutos sem perceber o que se estava a passar, procedeu-se à troca das antenas quando se percebeu que a antena conectada no analisador de espectro estava ligada no conector errado, ligou-se correctamente e funcionou logo. Tendo ensaiado todo o equipamento, foi necessário arrumar todo o equipamento nas bolsas de transporte para o dia seguinte, o que revelou ser uma tarefa deveras complicada, dado o peso e o volume de todo o equipamento.

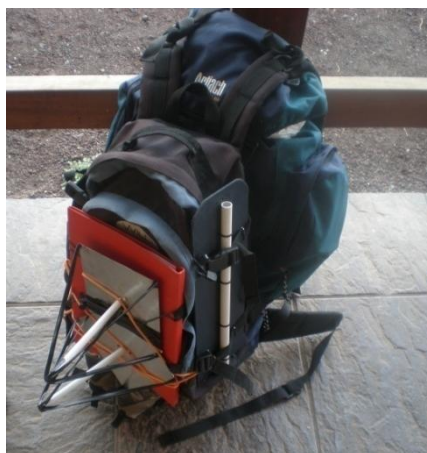


Fig. 2 Bolsa arrumada com equipamento

Data: 08-07-2009

Hora início: 08h:30

Hora término: 17h:30

Local: Deserta Grande

Actividade:

O pequeno-almoço tinha ficado marcado para as 8h30 e a saída estava marcada para as 09h:00. A viagem de bote até a subida do tabaqueiro demorou cerca de 15-20 minutos. À nossa espera tínhamos uma íngreme subida de 170 m, que mais parecia escalada. Foi um grande esforço para todos nós subir com todo aquele peso. Éramos três, o jovem Lourenço, o senhor Martinho e eu. Ao chegar ao fim da subida fez-se silêncio, a razão era a presença de um pequeno rebanho de cabras que nos tinha vindo dar as boas vindas ao topo da Deserta Grande, eram mais de 15 e ao mínimo movimento fugiam sem medo pelas escarpas rochosas. Após terem sido devidamente registadas pelas máquinas fotográficas, seguiu-se caminho rumo ao local escolhido para a instalação do transmissor - 32°32'23,2''N 16°31'38,2''O, o GPS dava-nos a direcção mas a vasta experiência do senhor Martinho em caminhar no topo da Deserta Grande era superior ao GPS que não indicava veredas. A viagem demorou aproximadamente umas 3 horas com algumas pausas pelo meio para descansar e beber água. Chegando ao local indicado o GPS indicava 350m de altitude, montou-se o equipamento de transmissão o mastro para instalar a antena, algumas instruções ao vigilante Lourenço para operar o equipamento de transmissão, configuração dos rádios portáteis para o mesmo canal e estávamos prontos para iniciar as medições. Fez-se um total de 21 medições no topo da Deserta Grande ao longo de um percurso com aproximadamente 4 km, passando pelo ponto mais alto do conjunto das ilhas 480 m. A comunicação rádio foi possível na maioria das medições, salvo alguns casos em que estávamos na sombra de um monte e onde aí nem medição nem comunicação eram possíveis. As medições terminaram por volta das 14h:20, retirou-se a bateria que teria que ser recarregada, ficando o restante sistema montado para o dia seguinte devidamente acondicionado. Após algumas explicações sobre a configuração do equipamento ao Lourenço que se dignificou a voltar a fazer a subida com o senhor Martinho, iniciamos a caminhada de regresso. A descida para minha surpresa conseguiu ser ainda mais

complicada que a subida, já que o piso de areão e pedras soltas não facilitava nada. Chegamos ao local onde tínhamos combinado nos encontrar com o bote por volta das 17h15, o bote chegou às 17h30 pelo que nem tivemos de esperar muito tempo. De regresso a doca, fez-se o desembarque de pessoas e equipamento. A bateria foi colocada a carregar para trabalho do dia seguinte, encerrando-se mais um dia de actividades.

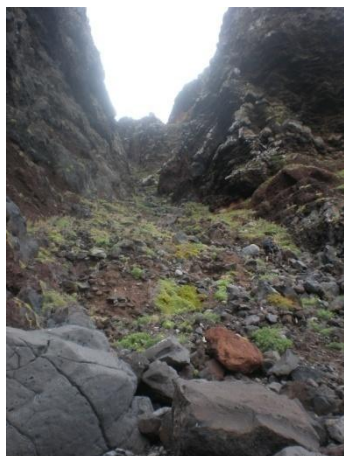


Fig. 3 Subida para o topo da Deserta Grande

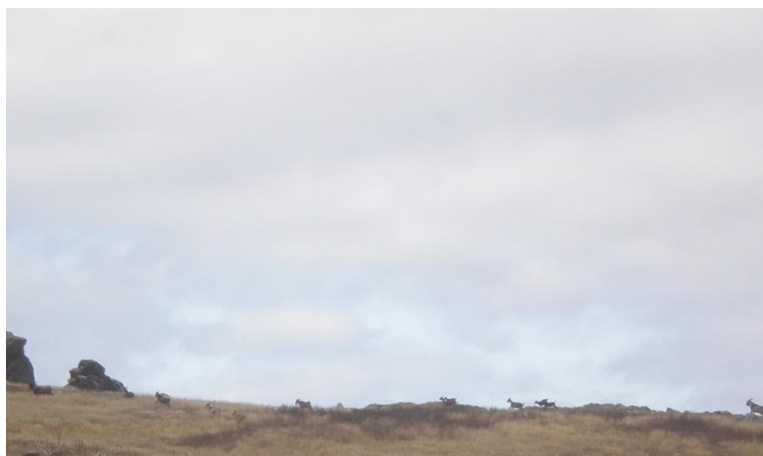


Fig. 4 Rebanho de cabras no topo da Deserta Grande



Fig. 5 Transmissor VHF instalado alimentada por uma bateria de 12 Volts



Fig. 6 Mastro montado com a antena, fixo por 3 espigas

Data: 09-07-2009

Hora início: 09h:00

Hora término: 15h:30

Local: Deserta Grande

Actividade: Após o pequeno-almoço, o senhor Martinho e o Lourenço deram início à subida desta vez pela vereda próxima da doca, com a subida iam aproveitar e verificar o estado da vereda. Enquanto isso preparava-se o equipamento para as medições no mar, na falta de outro meio de protecção recorreu-se a sacos de plástico transparente para proteger o analisador de espectros de salpicos o que resultou perfeitamente. A subida dos colegas foi sendo acompanhada através do rádio, chegando ao local de instalação do transmissor por volta das 12:30, após alguns minutos fez-se logo um teste para verificar a transmissão do sinal na frequência pretendida e para nosso agrado estava tudo bem. Demos então início às medições, rumamos a Sul, efectuando medições nas reentrâncias da costa, com resultados positivos. Ao chegarmos perto da zona da Furna, fomos presenteados com um encontro imediato com os Lobos-Marinhos, que não se fizeram de envergonhados e vieram nos cumprimentar a bordo do bote, foi sem dúvida um dos momentos mais marcantes de toda a viagem. Alcançando a ponta sul da Deserta Grande o mar fez sentir-se e voltamos para trás. Mais algumas medições até à zona da doca e iniciamos a segunda parte da actividade, rumo ao a Ponta do Pedregal. As medições foram sempre feitas a uma distância não superior a 200m da costa pois essa era a nossa zona de interesse, já no fim do programa de medições surgiu um pequeno problema. O sinal tinha desaparecido totalmente, saímos para fora tentando evitar as zonas de sombra da encosta e o problema mantinha-se, falando com o Lourenço que operava o transmissor, dava-nos a indicação que estava tudo ligado e a funcionar normalmente. Havia algo de errado então, aumentou-se a janela do analisador de espectro e encontramos o sinal mas a 600 MHz. De forma involuntária a frequência havia sido alterada, comunicada a situação voltou-se transmitir nos 469,5 MHz. Finalizou-se as medições por volta das 15h00. De volta à doca com a satisfação do sucesso do trabalho realizado, começamos a arrumar o material e a preparar o regresso do dia seguinte. Por volta das 18h00 o senhor Martinho e o Lourenço chegavam do topo da Deserta Grande, com o restante equipamento completamente estafados. Terminava assim o trabalho desenvolvido nas desertas, com um resultado muito positivo.



Fig. 7 Vista SUL, do local de instalação do transmissor



Fig. 8 Pôr-do-sol visto da doca

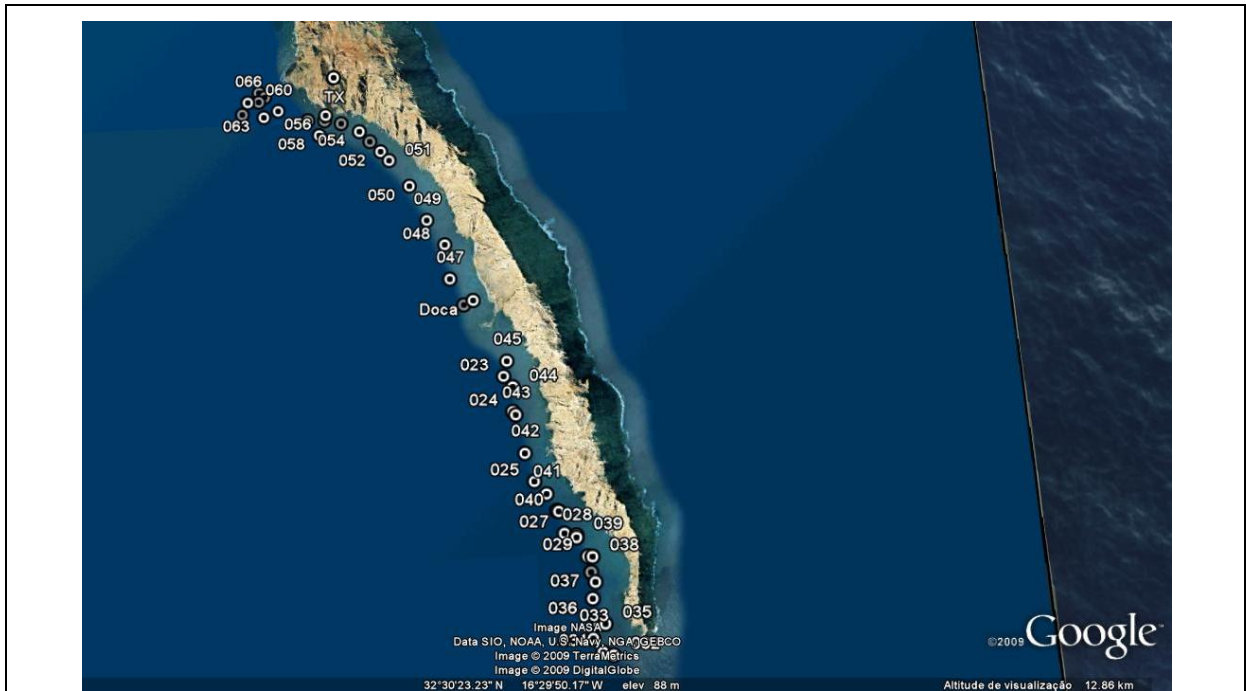


Fig. 9 Localização das medições efectuadas no mar

Data: 10-07-2009

Hora início: 10h:00

Hora término: 16h:00

Local: Deserta Grande -doca

Actividade:

O amanhecer já cheirava a regresso, o navio patrulha estava previsto chegar por volta das 12h00 com um grupo de crianças e a nova equipa de vigilantes que vinha para a rendição da actual. Após o pequeno-almoço enquanto se ultimavam os últimos pormenores para a rendição foi feita uma listagem de todo o equipamento de modo a nada ficar para trás nem perdido. Com a chegada do navio patrulha, as “crianças invadiram” a praia, mas por azar não tanto como queriam, pois havia alforrecas nas redondezas pelo que os vigilantes aconselharam as crianças a não se aventurarem já que poderiam ser mordidas. Por volta das 13h30 embarcávamos no navio patrulha de regresso à Madeira, chegada essa que se deu por volta das 16h:00. Estava então concluída a viagem de 4 dias às Ilhas Desertas, com uma enorme satisfação pessoal e profissional pelo trabalho desenvolvido.



Fig. 10 Chegada do Navio Patrulha



Fig. 11 Deserta Grande e Bugio



Fig. 12 A equipa que acompanhou todo o trabalho desenvolvido: Élvio Rodrigues, Maurício Rodrigues, Pedro Gouveia, Lourenço Alves, Martinho Pires

Anexo G – CD de instalação do Software DiffractionLoss