OUTRAS APOSTILAS EM:
www.projetoderedes.com.br

Universidade do Porto
FEUP Faculdade de Engenharia

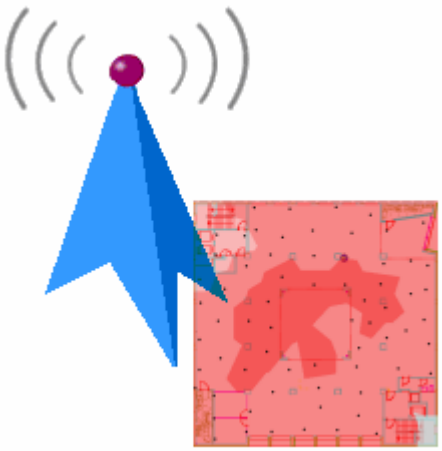
INESC PORTO
LABORATÓRIO ASSOCIADO

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

PSTFC

PROJETO DE REDES LOCAIS SEM FIOS 802.11b

Análise de Localização



Trabalho elaborado por:

Ricardo Pais de Oliveira
Rui Lopes Campos

22 de Julho de 2003

Orientadores

Prof. Mário Jorge Leitão
Eng.º Carlos Oliveira

Departamento

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Local de realização do trabalho

INESC Porto / FEUP

Contactos

Ricardo Pais de Oliveira – rmpoliveira@portugalmail.pt
Rui Lopes Campos – rui_campos@portugalmail.pt

A minha aldeia

Minha aldeia é todo o mundo.
Todo o mundo me pertence.
Aqui me encontro e confundo
com gente de todo o mundo
que a todo o mundo pertence.

Bate o sol na minha aldeia
com várias inclinações.
Ângulo novo, nova ideia;
outros graus, outras razões.
Que os homens da minha aldeia
são centenas de milhões.

(…)

António Gedeão

Resumo

A instalação de uma rede sem fios não pode ser feita de forma simplista, mas deve obedecer a um conjunto de procedimentos que visam uma análise criteriosa de localização. A definição sistemática destes procedimentos conduz à metodologia de *Site Survey*. Esta abordagem prevê a definição dos requisitos da rede, análise de interferências, planeamento de frequências, escolha das potências a utilizar e projecto da localização dos pontos de acesso a instalar. Depois de completadas as etapas, é necessário um trabalho de campo extenso onde se executam um conjunto vasto de medidas para perceber se a área de cobertura da rede e o seu comportamento são os esperados.

O recurso a modelos de propagação pode contribuir decisivamente para um projecto mais expedito, flexível e rigoroso, substituindo em grande parte a fase de recolha de medidas no terreno. Para tal, é possível refinar e adaptar esses modelos ao edifício em análise, obtendo-se assim resultados específicos para cada caso. Deste modo, este trabalho visou o desenvolvimento de uma aplicação capaz de utilizar modelos de propagação para simular localizações e prever níveis de sinal para as mesmas, dotando o *site survey* de uma ferramenta útil para a tomada de decisão no momento do projecto e reformulando as suas etapas *standard* de forma a tirarem partido dessa capacidade de simulação. O uso desta aplicação permitiu caracterizar ambientes de propagação, refinar parâmetros dos modelos para diferentes edifícios e fornecer uma valiosa ajuda na elaboração e análise de projectos de redes *wireless* 802.11b.

Palavras-chave

IEEE 802.11b, Site Survey, modelos de propagação indoor, análise de cobertura, projecto de redes sem fios.

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido possível sem a orientação do Prof. Mário Jorge Leitão e do Eng.º Carlos Oliveira. Agradecemos a exigência, rigor e competência colocados em cima da mesa de reuniões desde o início, os reparos, sugestões, comentários e melhoramentos que nos foram sendo apresentados, as condições proporcionadas para a execução do projecto e, sobretudo, a liberdade que sentimos para desenvolver e criar.

Uma palavra de agradecimento ao Prof. Manuel Ricardo pelo apoio concedido na Unidade de Telecomunicações e Multimédia do INESC Porto.

Gostaríamos também de mencionar o encorajamento da nossa família e a compreensão que tiveram para este período mais frenético. Onde quer que estejamos e o que quer que façamos, sabemos sempre que temos o conforto e amor que ela nos dá.

Por fim, queremos agradecer a imensa paciência das nossas namoradas que suportaram esta fase de ritmo intenso, *stress* e algum nervosismo. É o seu apoio e incentivo que nos equilibra, que nos estimula, que nos faz acreditar que o futuro é agora e que nunca foi tão belo.

Conteúdo

1 Introdução 1
1.1 Enquadramento do Trabalho 1
1.2 Objectivos do Trabalho 2
1.3 Resultados Relevantes 3
1.3.1 Simulador de Propagação 3
1.3.2 Caracterização dos Edifícios da FEUP em Questões de Propagação 4
1.3.3 Análise da Rede Instalada no Campus da FEUP 4
1.3.4 Projecto de uma Rede 802.11b 5
1.4 Estrutura do Relatório 5
2 Modelos de Propagação Indoor 7
2.1 Modelos Empíricos 7
2.1.1 Modelo Multi-Wall 8
2.1.2 Modelo ITU 9
2.2 Modelos Determinísticos 11
3 Site Survey Indoor 13
3.1 Motivações 13
3.2 Objectivos 13
3.3 Etapas 14
4 Software Desenvolvido 21
4.1 Motivação 21
4.2 Especificação 22
4.2.1 Objectivos 22
4.2.2 Dados de Entrada 23
4.2.3 Informação Retornada 24
4.3 Implementação / Descrição 25
4.3.1 Interface Gráfica da Aplicação (aspecto global) 27
4.3.2 Interface de Inserção de Dados 28
4.3.3 Ficheiros de Configuração (*site files*) 30
4.3.4 Modelos de Propagação Indoor 32
4.3.5 Visualização Gráfica 34
4.3.6 Ambiente de Simulação 37
4.3.7 Optimização de Parâmetros 38
4.3.8 Exportação de Dados 39
5 Equipamento Adquirido 41
5.1 *Yellow Jacket Plus* 41
5.2 *Bird's Eye* 44
6 Trabalho de Campo 47
6.1 Validação dos Modelos de Propagação 47
6.2 Caracterização dos Edifícios da FEUP em Questões de Propagação 51
6.3 Análise da Rede Instalada na FEUP 53
6.3.1 Contribuição para o Projecto 53
6.3.2 Análise de Cobertura 56
7 Projecto de Rede sem Fios para o Departamento de Botânica 61
7.1 Site Survey e Projecto Inicial da Rede 61
7.1.1 Definição de Requisitos, Obtenção dos Diagramas, Identificação das Áreas de Utilizador 62
7.1.2 Inspecção Visual do Local 63
7.1.3 Caracterização das Condições de Propagação do Edifício em Análise 63

7.1.3.1 Caracterização dos Elementos ... 64
7.1.3.2 Validação dos Valores Obtidos ... 66
7.1.4 Detecção de Interferências ... 67
7.1.4.1 Fornos Microondas ... 68
7.1.4.2 Aparelhos *Bluetooth* ... 69
7.1.4.3 Outros Equipamentos ... 70
7.1.5 Definição da Localização Preliminar dos Pontos de Acesso, Planeamento de Frequências e Configuração da Potência de Emissão ... 70
7.2 Resultados da Simulação usando o SiProPA ... 71
7.3 Verificação da Localização dos Pontos de Acesso ... 74
7.4 Projecto da Casa Salabert e Condicionantes Finais ... 74
7.5 Conclusão ... 75
8 Avaliação do Trabalho ... 77
9 Conclusões ... 79
9.1 Revisão do Trabalho Desenvolvido ... 80
9.2 Resultados Relevantes ... 80
9.2.1 Simulador de Propagação ... 80
9.2.2 Caracterização dos Edifícios da FEUP em Questões de Propagação ... 80
9.2.3 Análise da Rede Instalada no Campus da FEUP ... 81
9.2.4 Projecto de uma rede 802.11b ... 81
9.3 Trabalho Futuro ... 81

A Norma IEEE 802.11b ... 85
A.1 Arquitectura do Sistema ... 86
A.2 Arquitectura Protocolar ... 88
A.2.1 Camada Física (PHY layer) ... 89
A.2.1.1 FHSS *(Frequency Hopping Spread Spectrum)* ... 90
A.2.1.2 DSSS *(Direct Sequence Spread Spectrum)* ... 91
A.2.1.3 Subcamada PMD ... 92
A.2.1.4 Subcamada PLCP ... 94
A.2.2 Camada de Controlo de Acesso ao Meio (MAC layer) ... 96
A.2.2.1 Roaming ... 96
B Demonstração da Proveniência do Erro Introduzido pelo Software Associado à Carta de Rede Cisco ... 99
C Logs Obtidos em Espaço Livre com o *Yellow Jacket Plus* ... 101
D Logs Usados na Optimização de Parâmetros ... 103
D.1 Edifício B ... 103
D.1.1 Parede Densa ... 103
D.1.2 Andar entre Corredores ... 105
D.1.3 Andar entre Salas ... 106
D.1.4 Parede com Quadro ... 107
D.1.5 Corredor Largo ... 108
D.1.6 Corredor Estreito ... 109
D.2 Edifício C (Biblioteca) ... 110
D.2.1 Coluna Principal ... 110
D.2.2 Coluna Central ... 111
E Identificação dos Pontos de Acesso em Operação na FEUP ... 113
F Plantas do Projecto do Edifício de Botânica ... 115
F.1 Áreas Prioritárias ... 115
F.2 Projecto ... 117
F.2.1 Projecto para o Piso 1 ... 118

F.2.2 Projecto para o Piso 2 119
F.2.3 Projecto para o Piso 0 120
F.3 Análise Total de Cobertura 121
F.3.1 AP A – Anfiteatro 121
F.3.2 AP B – Salas de Computadores 124
F.3.3 AP C – Biblioteca 127
F.3.4 AP D – Junto ao Bar 129
G Evolução para a Norma IEEE 802.11g 131
H Aumento do Desempenho de uma WLAN Usando Fragmentação 133
H.1 Fragmentação 133
I Poster de Apresentação do Projecto 135
J Informação da Página do Projecto 137
Bibliografia 143

Lista de Figuras

Figura 3.1 Planeamento de frequências associado às redes 802.11b 18
Figura 4.1 Aspecto geral da interface gráfica da aplicação. 27
Figura 4.2 Janela de selecção. 28
Figura 4.3 Janela de introdução de dados para o programa SiProPA. 29
Figura 4.4 Janela de configuração das opções de *hardware*. 29
Figura 4.5 Janela de edição de dispositivos. 30
Figura 4.6 Interface para manipulação de ficheiros de configuração 31
Figura 4.7 Janela de selecção do ambiente para o modelo ITU e de criação, edição e remoção de ambientes para o modelo ITU *Modified*. 33
Figura 4.8 Previsão do erro máximo para o modelo ITU. 33
Figura 4.9 Gráfico de potência prevista em função da distância 34
Figura 4.10 Gráfico de potência medida em função da potência prevista 34
Figura 4.11 Gráfico de potência medida e potência prevista em função da distância 35
Figura 4.12 Gráfico da distribuição de probabilidade do erro associado às previsões teóricas 35
Figura 4.13 Janela de configuração das opções dos gráficos 36
Figura 4.14 Exemplo de gráfico com pontos ligados. 36
Figura 4.15 Exemplo de gráfico com pontos de previsões ligados à efectiva medida que os corresponde. 37
Figura 4.16 Janela de simulação de localização 38
Figura 4.17 Janela de optimização dos parâmetros dos modelos. 39
Figura 4.18 Capacidade de exportação de dados da aplicação. 40
Figura 4.19 Interface de selecção dos dados a exportar 40
Figura 5.1 Imagem do *Yellow Jacket Plus*. 41
Figura 5.2 Análise de todo o espectro da norma IEEE 802.11b. 42
Figura 5.3 Visualização da banda de apenas um canal. 42
Figura 5.4 Detecção de APs cuja localização é desconhecida. 43
Figura 5.5 Lista de APs autorizados. 43
Figura 5.6 Detecção de situações de multipercurso. 43
Figura 5.7 Espalhamento temporal do sinal. 43
Figura 5.8 Detecção de todos os APs acessíveis e indicação do seu nível de sinal. 44
Figura 5.9 Utilização da largura de banda por canal. 44
Figura 5.10 Diagrama de radiação da antena usada pelo *Yellow Jacket Plus*. 44
Figura 5.11 Símbolo do software de mapeamento *Bird's Eye*. 45
Figura 5.12 Exemplo de um mapa de cobertura gerado pelo *Bird's Eye*. 46
Figura 6.1 Representação gráfica das medidas e previsões obtidas para a propagação em espaço livre (AP configurado com 20 mW de potência). 48
Figura 6.2 Gráfico obtido com introdução de um factor que permite a conversão de energia para potência de sinal 49
Figura 6.3 Representação gráfica do *log* obtido no piso 1 da biblioteca para o modelo *Multi-Wall* com parâmetros refinados. 50
Figura 6.4 Representação gráfica do *log* obtido no piso 4 da biblioteca para o modelo *Multi-Wall* com os parâmetros obtidos a partir do log anterior. 50
Figura 6.5 Representação gráfica obtida para o modelo ITU. 51
Figura 6.6 Legenda do mapa de cobertura. 56
Figura 6.7 Diagrama de cobertura do piso 3 da Biblioteca obtido para o ponto de acesso instalado nesse mesmo piso (canal 9). 56
Figura 6.8 Mapa de cobertura do AP do piso 4 (canal 13) no piso 3. 57
Figura 6.9 Mapa de cobertura do AP do piso 2 (canal 5) no piso 3. 58

Figura 6.10 Mapa de cobertura do AP do piso 41 (canal 1) no piso 3. 58
Figura 6.11 Mapa de cobertura do AP do piso 4 (canal 13) no piso 3..... 59
Figura 7.1 Casa do Campo Alegre (Departamento de Botânica da FCUP)..... 62
Figura 7.2 Parede antiga – Botânica 64
Figura 7.3 Andar de Botânica..... 65
Figura 7.4 Log optimizado para a parede do Edifício de Botânica 65
Figura 7.5 Log optimizado para a parede do Edifício de Botânica 65
Figura 7.6 Log de confirmação do refinamento da WAF da Parede de Botânica. 67
Figura 7.7 Log de confirmação do refinamento do modelo ITU para o edifício de Botânica. 67
Figura 7.8 Interferência do forno microondas em duas análises distintas. 68
Figura 7.9 Interferência Bluetooth..... 69
Figura 8.1 Representação gráfica obtida usando o parâmetro obtido para o corredor do 2º piso do mesmo edifício 77
Figura 8.2 Gráfico da função distribuição de probabilidade de erro associado às previsões teóricas fornecidas pelos modelos de propagação 78
Figura 8.3 Log obtido para diversos obstáculos com parâmetros optimizados noutra localização. 78
Figura A.1 Arquitectura de uma rede 802.11 baseada em infra-estrutura. 87
Figura A.2 Modelo OSI. 89
Figura A.3 Ilustração da rejeição de interferências por parte da técnica DSSS..... 92
Figura A.4 Canais DSSS definidos pelo IEEE 802.11b 93
Figura A.5 Espectro com os três canais DSSS não sobrepostos..... 94
Figura A.6 Formato da trama PLCP 95
Figura C.1 Log de medidas em espaço livre com o *Yellow Jacket Plus* (1) 96
Figura C.2 Log de medidas em espaço livre com o Yellow Jacket Plus (2)..... 96
Figura D.1 Log optimizado para medidas com o elemento "parede densa" (1)..... 106
Figura D.2 Log optimizado para medidas com o elemento "parede densa" (2). 106
Figura D.3 Janela de optimização para o log da figura D.2. 106
Figura D.4 Caracterização fotográfica do elemento "Parede densa" (LF = 15 dB). 106
Figura D.5 Log optimizado para medidas com o elemento "andar entre corredores". ... 106
Figura D.6 Caracterização fotográfica do elemento "andar entre corredores" (LF = 37.3 dB) 100
Figura D.7 Log optimizado para medidas com o elemento "andar entre salas". 100
Figura D.8 Log optimizado para medidas com o elemento "parede com quadro". 101
Figura D.9 Caracterização fotográfica do elemento "parede com quadro" (LF = 12 dB)..... 101
Figura D.10 Log optimizado para medidas com o elemento "corredor largo" 102
Figura D.11 Caracterização fotográfica do elemento "corredor largo" (N = 21)..... 102
Figura D.12 Log optimizado para medidas com o elemento "corredor estreito" 103
Figura D.13 Caracterização fotográfica do elemento "corredor estreito" (N = 17) 103
Figura D.14 Log optimizado para medidas com o elemento "coluna principal" 102
Figura D.15 Caracterização fotográfica do elemento "coluna principal" (LF = 7.5 dB)..... 104
Figura D.16 Log optimizado para medidas com o elemento "coluna central"..... 105
Figura D.17 Caracterização fotográfica do elemento "coluna central" (LF = 6.5 dB) 105
Figura F.1 Planta do piso 1 – áreas prioritárias..... 109
Figura F.2 Planta do piso 2 – áreas prioritárias 109
Figura F.3 Planta do piso 0 (cave) – áreas prioritárias..... 110
Figura F.4 Projecto para o piso 1 111
Figura F.5 Local de instalação do AP A 112

Figura F.6 Projecto para o piso 2 112
Figura F.7 Projecto para o piso 0 (cave) 113
Figura F.8 Legenda dos mapas de cobertura 114
Figura F.9 Mapa de cobertura do AP A para o 1º piso 114
Figura F.10 Mapa de cobertura do AP A para a cave 115
Figura F.11 Mapa de cobertura do AP A para o 2º piso 116
Figura F.12 Mapa de cobertura do AP B para o 1º piso 117
Figura F.13 Mapa de cobertura do AP B para a cave 118
Figura F.14 Mapa de cobertura do AP B para o 2º piso 119
Figura F.15 Mapa de cobertura do AP C para o 2º piso 120
Figura F.16 Mapa de cobertura do AP C para o 1º piso 121
Figura F.17 Mapa de cobertura do AP D para a cave 122
Figura F.18 Mapa de cobertura do AP D para o 1º piso 123

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Valores típicos recomendados pela ITU para o parâmetro N. 10
Tabela 2.2 Valores típicos recomendados pela ITU para a parcela L_f (dB), onde *n* representa o número de andares atravessados. 10
Tabela 2.3 Valores recomendados pela ITU para o desvio padrão σ (dB). 10
Tabela 6.1 Parâmetros optimizados para os elementos do edifício B. 51
Tabela 6.2 Parâmetros optimizados para os elementos da Biblioteca. 51
Tabela 6.3 Novos ambientes criados para o modelo ITU *Modified*. 52
Tabela 7.1 Resultados da optimização dos modelos para a Casa do Campo Alegre 65
Tabela 7.2 Planeamento de frequências e definição da potência a usar. 70
Tabela 7.3 Valores previstos para a cobertura do 1.º andar pelos APs A e B. 71
Tabela 7.4 Valores previstos para a cobertura do andar pelo AP C. 72
Tabela 7.5 Valores previstos para a cobertura da cave pelo AP D. 73
Tabela A.1 Especificação para as taxas de transmissão oferecidas pela camada PHY 89
Tabela E.1 Pontos de acesso em operação na Faculdade de Engenharia 107

Lista de Acrónimos

ACK	Acknowledgment
ACU	Aironet Client Utility
ANACOM	Autoridade Nacional de Comunicações
AP	Access Point
BSS	Basic Service Set
CCA	Clear Channel Assessment
CCK	Complementary Code Keying
COST-231	European Community collaborative studies in the areas of Science and technology – Action 231
CRC	Cyclic Redundancy Code
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CTS	Clear to Send
DCF	Distributed Coordination Function
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DS	Distribution System
DSL	Digital Subscriber Line
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ESS	Extended Service Set
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FAF	Floor Attenuation Factor
FCS	Frame Check Sequence
FCUP	Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GSM	Global System Mobile
HEC	Header Error Check
IBSS	Independent Basic Service Set
IEEE	Institute of Electronic and Electrical Engineers
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000
INESC	Instituto de Engenharia e Sistemas de Computadores
IP	Internet Protocol
IrDA	Infrared Data Association
ISM	Industrial Scientific and Medical
ITU	International Telecommunications Union
LF	Loss Factor
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
MFC	Microsoft Foundation Class
NIC	Network Interface Card
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open System Interconnection
PCF	Point Coordination Function
PCS	Personal Communications Systems

PER	Packet Error Rate
PHY	Physical Layer
PLCP	Physical Layer Convergence Protocol
PMD	Physical Medium Dependent
PPDU	PLCP Protocol Data Unit
PSDU	PLCP Service Data Unit
PSTN	Public Switched Telephone Network
RF	Radio Frequency
RSSI	Receive Signal Strength Indicator
RTS	Request to Send
SAP	Service Access Point
SFD	Start Frame Delimiter
SiProPA	Signal Propagation Prediction and Analysis
SIR	Signal to Interference Ratio
SSID	Service Set Identifier
STA	Station
TCP	Transport Control Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTD	Uniform Theory of Diffraction
WAF	Wall Attenuation Factor
WLAN	Wireless Local Area Network

1 Introdução

As redes locais sem fios (WLANs na designação anglo-saxónica) baseadas na norma IEEE 802.11 sofreram grande expansão nos últimos anos pelo facto de se terem ratificado os *standards* IEEE 802.11b, 802.11a e, mais recentemente, o IEEE 802.11g, normalizado em Junho de 2003. A especificação de *standards* deste tipo tem como grande vantagem a inerente capacidade de interoperação entre equipamentos de fabricantes distintos e a redução substancial do preço dos dispositivos. Outro factor que contribuiu decisivamente para o seu sucesso é o facto de as redes 802.11 operarem em bandas não licenciadas (2.4 GHz e 5 GHz), evitando-se o pagamento de taxas avultadas referentes à utilização de uma determinada banda do espectro electromagnético, situação que se verifica para as bandas licenciadas do GSM, UMTS, … As redes IEEE 802.11 estão tipicamente limitadas à cobertura de edifícios, *campus*, salas, etc. e são mantidas por entidades privadas (ex. universidades, empresas).

Ao instalar uma rede local sem fios é essencial proceder à identificação de fontes de interferência, definir possíveis locais de instalação com acesso à rede física, especificar as áreas geográficas a cobrir, fazer o planeamento de frequências e de níveis de potência a utilizar. Este conjunto de procedimentos designa-se por *site survey* (análise de localização) e constitui o método a adoptar quando se pretende instalar uma rede *wireless*, permitindo inspeccionar em detalhe o local de instalação da rede. Deste modo, é necessário recorrer a equipamento adequado que permita realizar este tipo de análise, identificando eventuais problemas que possam surgir com a presença de outros dispositivos a operar na banda 2.4 GHz.

Por outro lado, a existência de modelos teóricos associados a ambientes *indoor* permite efectuar previsões sobre o nível de sinal expectável em determinado ponto caracterizado pela distância que o separa do AP (*Access Point*) e pela condição de propagação (linha de vista, com obstáculos, entre andares). Com este trabalho mostra-se que é possível usar estes modelos como uma ajuda importante no projecto de redes *wireless*. Nesta secção introdutória faz-se o enquadramento do trabalho realizado, definindo-se essencialmente a área de conhecimento em que este se insere. Além disso, referem-se os objectivos e os resultados relevantes do projecto desenvolvido. O capítulo culmina com a apresentação da estrutura do presente relatório.

1.1 Enquadramento do Trabalho

O trabalho de fim de curso que aqui se apresenta insere-se no âmbito das redes sem fios IEEE 802.11b. Com o advento do programa e-U (Universidade Electrónica) que visa a instalação de redes sem fios nos *campus* universitários do país a fim de criar e ampliar as redes de inovação e produção de conhecimento em Portugal, usando como alavancas e intensificadores os centros universitários e a sua respectiva comunidade académica e de investigação, a existência destas redes nalgumas faculdades é já uma realidade, particularmente no *campus* da Faculdade de

Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) que representa um dos projectos-piloto a nível nacional deste programa. Aproveitando a instalação da rede da FEUP e o grande embalo que esta tecnologia está a adquirir com o aparecimento de *hot-spots* nos mais diversos locais, este trabalho intende numa contribuição ao estudo de questões de propagação de sinais de radiofrequência (RF) em ambientes fechados, na banda de operação da norma 802.11b (2,4 GHz), para além da caracterização de uma completa metodologia para a instalação de redes deste tipo. O desenvolvimento de uma aplicação com capacidade para previsão e análise de propagação de sinal constitui a base do trabalho e a ferramenta que possibilitará a caracterização dos edifícios onde existam redes sem fios ou onde se pretende a sua instalação.

Os estudos de propagação baseiam-se em modelos teóricos definidos para este tipo de ambientes que permitem a análise de uma rede sem fios instalada e o apoio ao projecto de novas redes, avaliando o número de pontos de acesso a instalar e definindo um planeamento de frequências adequado. Estes modelos podem ainda ser úteis numa fase pós-instalação, permitindo identificar possíveis interferências entre pontos de acesso a operar no mesmo canal.

Existindo a rede da FEUP já instalada, este trabalho visa também aspectos relacionados com a cobertura da rede e problemas relativos ao projecto inicial. Para tal é necessário recorrer a equipamento adequado que permita proceder a uma abordagem concreta de *site survey*.

1.2 Objectivos do Trabalho

Os objectivos do projecto indicados na proposta inicial foram sofrendo alterações à medida que este foi avançando. Inicialmente era pretendido um completo *site survey* às instalações da FEUP a fim de elaborar o projecto com base em análises e testes preliminares de cobertura. Para tal, seria necessária a identificação de fontes de interferência provenientes de dispositivos a funcionar na banda do IEEE 802.11b (dispositivos *Bluetooth*, telefones sem fios a operar a 2.4 GHz, fornos microondas, …) e a definição do número e localização dos pontos de acesso a disponibilizar, planeamento de frequências e escolha do nível de potência de emissão a configurar para cada AP.

Contudo, no início do projecto, a localização dos APs estava já definida para a primeira fase da instalação da rede. Esta fase consiste na cobertura do edifício da biblioteca, edifício de aulas (B), edifício da administração e alguns laboratórios dos vários edifícios pertencentes aos departamentos. Por outro lado, a aquisição do equipamento necessário para análise de interferências foi demorada e só se concretizou decorriam já as últimas três semanas do projecto. Tendo em conta estes condicionalismos tornou-se obrigatória a reformulação dos objectivos iniciais, principalmente em relação àqueles que previam a utilização do equipamento de análise. Numa mistura do que já estava definido e do que teve de ser alterado, definiram-se os seguintes objectivos para o trabalho:

- Estudo da tecnologia 802.11b no que diz respeito ao protocolo de comunicação.

- Pesquisa de ferramentas de *site survey indoor* existentes no mercado a nível de *hardware* e *software*.

- Análise de questões de propagação de sinais RF recorrendo a modelos teóricos de propagação.

- Validação dos modelos teóricos e sua aplicação às instalações da FEUP.

- Desenvolvimento de uma aplicação em *Visual C++* que, utilizando os modelos teóricos, consiga fornecer informação útil para o apoio ao projecto de uma rede *wireless* 802.11b.

- Comparação entre os dados recolhidos nos edifícios da FEUP, através de medidas de campo, e os valores previstos teoricamente.

- Refinamento dos modelos teóricos utilizados para os edifícios da FEUP.

- Análise da rede instalada na Faculdade de Engenharia e detecção de possíveis problemas de projecto.

Deste conjunto importa destacar aqueles objectivos que não estavam à partida definidos. Entre estes estão o desenvolvimento da aplicação em *Visual C++* e o refinamento dos modelos teóricos utilizados para os edifícios da FEUP. Estes dois propósitos foram especificados já no decorrer do projecto e surgiram de forma natural a partir dos modelos de propagação utilizados e da necessidade que se verificou em ter uma ferramenta de *software* que permitisse a análise das questões de propagação. Assim, o objectivo fundamental a atingir foi o desenvolvimento da referida aplicação, para possibilitar a concretização de grande parte dos restantes objectivos.

1.3 Resultados Relevantes

Ao longo do projecto foram-se obtendo os resultados que se introduzem nesta secção de forma sucinta. Cada um deles é referido de seguida numa secção própria.

1.3.1 Simulador de Propagação

Desenvolveu-se uma aplicação que permite a avaliação do nível de sinal que se verifica para um conjunto de pontos introduzidos pelo utilizador. Estes pontos

geográficos são completamente caracterizados pela distância que os separa do ponto de acesso e pela condição de propagação existente entre o AP e o terminal remoto – linha de vista, corredor, ou obstáculos como parede ou andar, por exemplo. Um aspecto importante é o facto de o simulador desenvolvido conseguir caracterizar esses obstáculos a partir de um conjunto de medidas introduzidas pelo utilizador, associando-lhe um factor de atenuação. De forma a retornar o valor optimizado para o referido parâmetro o programa aplica o método dos mínimos quadrados. Uma vez caracterizados os obstáculos, é possível agrupá-los num *site file* característico de cada local onde se pretende instalar ou onde exista uma rede *wireless* permitindo, depois dessa caracterização, realizar simulações de modo a identificar qual o nível de sinal esperado em cada ponto.

A aplicação tem a capacidade de tratamento de informação através da possibilidade de geração de logs, caracterização fotográfica dos obstáculos, utilização e refinamento de modelos teóricos para o edifício em estudo, diferentes visualizações gráficas, exportação de dados e gráficos e possui uma interface *user-friendly*. Este resultado vem descrito no capítulo 4.

1.3.2 Caracterização dos Edifícios da FEUP em Questões de Propagação

Caracterizaram-se em termos de propagação o edifício B e o edifício da Biblioteca da FEUP quanto ao tipo de paredes, andares e corredores neles existentes, sendo esta feita através do refinamento de parâmetros definidos para os modelos teóricos utilizados. A completa caracterização de um edifício pode ser conseguida definindo para cada tipo de obstáculo (parede, andar, janela, estante, etc.) um factor de atenuação que representa a atenuação adicional introduzida no sinal pelo facto de esse obstáculo se encontrar no percurso directo do sinal ou através da definição de diferentes tipos de ambientes descritos por três parâmetros, mais genéricos, conforme o modelo utilizado. A caracterização de um determinado local é feita calculando os valores óptimos para estes parâmetros, de um modelo ou do outro. Tendo em mãos os valores optimizados para os diferentes parâmetros, o utilizador consegue descrever rigorosamente as condições de propagação do ambiente onde está inserido, podendo obter previsões para a potência de sinal num conjunto de localizações definidas recorrendo à aplicação apresentada no ponto anterior. Estes resultados vêm inseridos no capítulo 6, onde é descrito o trabalho de campo efectuado.

1.3.3 Análise da Rede Instalada no Campus da FEUP

Para analisar a rede instalada na faculdade, foi necessário a utilização de equipamento específico que apesar de previsto para o início do projecto, só chegou no final do mesmo. Apesar deste contratempo, foi ainda possível realizar uma análise da rede instalada na FEUP identificando os APs em operação em todo o *campus* e, desta forma, confirmar o projecto indicado nas plantas. Decorrente deste estudo foram identificados alguns problemas no projecto inicial da rede já instalada

e outros em zonas onde a rede ainda não foi instalada, podendo ainda ser resolvidos antes da efectiva instalação desses APs em falta, essencialmente no edifício B. Foi também possível fazer um mapeamento de cobertura da rede já em funcionamento na Biblioteca. Estas análises vêm inseridas no capítulo 6.

1.3.4 Projecto de uma Rede 802.11b

Na fase final do projecto surgiu a oportunidade de aplicação dos conhecimentos adquiridos através da realização do projecto de uma rede 802.11b para o edifício do Departamento de Botânica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). Para tal recorreu-se ao equipamento adquirido, já disponível nesta fase, e ao *software* de simulação desenvolvido no âmbito deste trabalho. Para a caracterização do edifício foi necessária a recolha de medidas de modo a optimizar os parâmetros dos modelos de propagação. Após essa caracterização, foi utilizada a aplicação desenvolvida para apoio ao projecto. Os parâmetros obtidos para o referido edifício, assim como as diferentes fases envolvidas no projecto da rede são descritos minuciosamente no capítulo 7 deste relatório.

Os resultados apresentados anteriormente traduzem a mais valia criada com este trabalho e podem ser úteis quer na reavaliação do projecto da rede já instalada na FEUP quer na análise de localização necessária numa segunda fase da instalação. Esta prevê a disponibilização de mais sessenta pontos de acesso que irão servir áreas do *campus* não abrangidas pela primeira fase. Em conclusão, tanto o *software* desenvolvido como a análise efectuada à rede instalada podem representar contribuições úteis para a melhoria da actual rede e para o projecto de instalação de novos pontos de acesso. O projecto da rede do edifício do Departamento de Botânica da FCUP consiste um *case-study* de todas as metodologias e procedimentos especificados, servindo como referência para a realização de um *site survey* rigoroso e completo.

1.4 Estrutura do Relatório

O presente relatório apresenta uma estrutura formada por oito capítulos. No capítulo 2 apresentam-se os modelos de propagação *indoor* implementados na ferramenta de simulação desenvolvida (modelo *Multi-Wall* e modelo ITU), referindo-se de forma breve outros modelos teóricos disponíveis para o estudo de questões de propagação em ambientes fechados. De seguida, reserva-se um capítulo para a descrição da metodologia *site survey,* caracterizando os seus objectivos e as etapas que a devem constituir. Posteriormente, é feita a apresentação do *software* de simulação e análise desenvolvido ao longo do projecto (capítulo 4), considerando as motivações que levaram à sua criação, especificação inicial, e, por último, a implementação do mesmo. O capítulo 5 traz-nos a descrição do material adquirido

para a execução deste projecto. No capítulo seguinte faz-se referência ao vasto trabalho de campo realizado para obtenção de medidas para a validação dos modelos teóricos, caracterização das condições de propagação do edifício da FEUP e análise da rede já instalada na Faculdade de Engenharia. O capítulo 7 apresenta o projecto efectuado para o Edifício do Departamento de Botânica, indicando todos os passos de um rigoroso *site survey* que define como um projecto de redes *wireless* pode ser feito. O capítulo seguinte alude à metodologia utilizada para validar os principais resultados do projecto e no capítulo 9 referem-se as principais conclusões deste trabalho, indicando-se ainda o trabalho futuro que poderá ser realizado com base no projecto aqui apresentado. Para além disso, este relatório inclui dez anexos com temas que, não sendo fulcrais para a compreensão do trabalho, tornam-no mais integrado e suportado.

Neste primeiro capítulo introduziu-se o projecto de fim de curso realizado, enquadrando-o tecnologicamente e apresentando os seus objectivos. Foram mencionados os resultados relevantes atingidos e forneceu-se um guia rápido de leitura do relatório com a descrição da sua estrutura

2 Modelos de Propagação Indoor

Com o aparecimento dos sistemas de comunicação pessoais (PCS), tornou-se importante a caracterização da propagação em ambientes fechados. O conhecimento das características do sinal recebido quanto ao nível de potência e quanto à estatística associada são muito importantes no projecto de uma rede sem fios. No contexto de uma rede *wireless*, um ambiente *indoor* difere do ambiente *outdoor* em dois aspectos: menor raio de cobertura e maior variabilidade de ambiente. Constata-se, na prática, que a propagação em edifícios é altamente influenciada por aspectos específicos tais como a arquitectura do edifício em causa e os materiais usados na construção. Existe actualmente alguma variedade de modelos já largamente estudados e validados. Dentro das opções de modelação disponíveis distinguem-se duas grandes classes: modelos empíricos e modelos determinísticos. A primeira baseia-se na utilização de modelos que descrevem a propagação em espaço livre e que são estatisticamente ajustados para os dados recolhidos no local em estudo (obtidos a partir de experiências e medidas). Estes modelos são usualmente fáceis de aplicar obtendo-se previsões sem recurso a grande processamento computacional e conseguem apenas modelar fenómenos de propagação que não variam muito em relação à propagação em linha de vista. Em alternativa surgem os modelos determinísticos que oferecem maior precisão à custa de elevado cálculo computacional. Neste caso as previsões teóricas são obtidas com base em técnicas de *ray-tracing* que consideram fenómenos de propagação definidos pela UTD (*Uniform Theory of Diffraction*), tais como difracção e reflexão. Refira-se que todos os modelos aqui mencionados assumem que o emissor e o receptor se encontram no mesmo edifício.

Na secção 3.1 apresentam-se os modelos teóricos empíricos referindo-se as suas principais vantagens e desvantagens. Nas subsecções 3.1.1 e 3.1.2 mencionam-se os modelos *Multi-Wall* e ITU, respectivamente, como exemplo deste tipo de modelos. Na última secção (3.2) referem-se de forma breve os modelos determinísticos, apresentando-se igualmente os pontos positivos e negativos associados a este tipo de modelação.

2.1 Modelos Empíricos

Os modelos empíricos baseiam-se em fórmulas simples e fáceis de aplicar, cujos parâmetros podem ser ajustados através de um número reduzido de medidas efectuadas no local em estudo. A sua principal vantagem é a baixa complexidade de cálculo envolvida, o que permite obter resultados de forma rápida e simples, não entrando em linha de conta com efeitos contemplados na teoria de propagação das ondas electromagnéticas. Como desvantagem apresenta-se o facto de ter que existir uma caracterização prévia do local em estudo de modo a "sintonizar" os parâmetros do modelo em causa. Após a caracterização do local em causa é possível proceder a simulações com intuito de se obterem previsões de nível de sinal em cada ponto da instalação. Por outro lado, existem modelos empíricos que não necessitam de

qualquer trabalho de campo prévio, baseando-se em parâmetros típicos recomendados. De seguida apresentam-se os modelos *Multi-Wall* e ITU utilizados como base do *software* desenvolvido ao longo do projecto. O primeiro é do tipo *site-specific* e o segundo pertence aos modelos do tipo *site-general.*

2.1.1 Modelo Multi-Wall

O modelo *Multi-Wall*, também designado de modelo COST-231 para ambientes *indoor*, é um dos modelos empíricos mais aceites e mais utilizados para a análise de propagação em ambientes fechados. Este insere-se na classe dos modelos do tipo *site-specific* uma vez que tem em conta para o cálculo da atenuação de percurso características específicas do local em estudo. Para a previsão da atenuação de percurso o modelo recorre à expressão clássica definida para a propagação em espaço livre, adicionando parcelas que contemplam as perdas devido ao atravessamento de paredes e andares pelo raio directo que viaja entre o emissor e o receptor. O modelo considera unicamente o trajecto directo entre o emissor e o receptor ignorando questões como reflexão, difracção, e dispersão em obstáculos. Como inconveniente surge a necessidade de caracterização dos diferentes obstáculos que o sinal pode atravessar, consistindo esta na associação de um factor de atenuação a cada um dos obstáculos. Refira-se, contudo, que o número de medidas a realizar será sempre limitado, não constituindo este facto uma desvantagem relevante.

Seguidamente apresenta-se a expressão numérica para o modelo que permite obter a atenuação associada ao percurso entre o emissor e o receptor:

$$L = L_{FS} + \sum_{i=1}^{I} k_{wi} L_{wi} + k_f \left[\frac{k_f + 2}{k_f + 1} - b \right] L_f \quad (dB) \quad \textbf{(equação 2.1)}$$

$$L_{FS} = 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (dB) \quad \textbf{(equação 2.2)}$$

L_{FS}: perda em espaço livre entre o emissor e o receptor.

k_{wi}: número de paredes atravessadas pelo sinal.

k_f: número de andares atravessados.

L_{wi}: perda associada à parede (obstáculo) tipo *i*.

L_f: perda entre andares adjacentes.

b: parâmetro empírico.

I: número de tipos de paredes.

d: distância que separa o emissor do receptor.

A segunda parcela na equação 2.1 expressa a perda total devido ao atravessamento de paredes contabilizando o seu número entre o emissor e o receptor. Por razões práticas o número de diferentes tipos de paredes deve ser reduzido. Um máximo de dois tipos é o normalmente utilizado. Importa realçar que os factores de atenuação apresentados nessa equação não correspondem a perdas físicas das paredes, assumindo-se como coeficientes que são optimizados através de medidas no local em estudo. Consequentemente, os factores de perda incluem implicitamente os efeitos da presença de mobiliário assim como efeitos devido à propagação de percursos do sinal através de corredores ou de outros fenómenos de propagação. As medidas que vão caracterizar o parâmetro já incluem todos esses fenómenos. Para o caso da atenuação introduzida pela propagação através de andares verifica-se experimentalmente que esta é uma função não-linear do número de andares atravessados pelo sinal. Esta característica é incorporada no modelo através do parâmetro **b**.

2.1.2 Modelo ITU

Este modelo é denominado de *site-general* já que requer pouca informação sobre o local em análise, sendo apenas necessário identificar o tipo de ambiente em causa. De modo a possibilitar a previsão do nível de sinal sem necessidade de conhecimento específico do local em estudo, são fornecidos pela ITU um conjunto de valores típicos para os parâmetros do modelo. Os valores indicados variam consoante o ambiente para o qual se pretende fazer a análise de propagação. Neste modelo, o facto de o sinal RF poder atravessar paredes ou outro tipo de obstáculos é contemplado pelo parâmetro N indicado na expressão 2.3. Os valores que se obtêm através desta equação são apenas valores médios previstos para a atenuação de percurso. Associado a este valor médio existe um determinado desvio padrão. São igualmente indicados pela ITU um conjunto de valores que caracterizam este parâmetro estatístico para diferentes ambientes. O conhecimento de ambos os parâmetros permite caracterizar a distribuição normal assumida pelo modelo para a atenuação de percurso. O referido modelo apresenta-se sob a forma da seguinte equação linear:

$$L_{total} = 20\log_{10} f + N\log_{10} d + L_f(n) - 28 \quad (dB) \qquad \textbf{(equação 2.3)}$$

N : coeficiente de perda de potência com a distância

f : frequência (MHz)

d : separação entre o emissor e o receptor (onde $d > 1$ m)

$\mathbf{L_f}$: factor de atenuação associado à propagação entre andares (*dB*)

n : número de andares que separam o emissor do receptor

Tal como referido anteriormente a ITU fornece um conjunto de parâmetros associados a diferentes ambientes de operação que permitem estimar o *path loss* sem um conhecimento profundo do local de instalação da rede *wireless*. As tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 apresentam as indicações fornecidas pela recomendação *Rec. ITU-R P.1238-2* para um conjunto de ambientes *indoor* e gamas de frequência considerando os diferentes parâmetros do modelo.

	Environment		
Frequency	**Residential**	**Office**	**Commercial**
900 MHz	-	33	20
1.2 – 1.3 GHz	-	32	22
1.8 – 2 GHz	28	30	22
4 GHz	-	28	22
5.2 GHz	-	31	-
60 GHz	-	22	17

Tabela 2.1 Valores típicos recomendados pela ITU para o parâmetro N.

	Environment		
Frequency	**Residential**	**Office**	**Commercial**
900 MHz	-	9 (1 floor) 19 (2 floors) 24 (3 floors)	-
1.8 – 2 GHz	$4n$	$15 + 4(n\text{-}1)$	$6 + 3(n\text{-}1)$
5.2 GHz	-	16 (1 floor)	-

Tabela 2.2 Valores típicos recomendados pela ITU para a parcela L_f (dB), onde n representa o número de andares atravessados.

	Environment		
Frequency	**Residential**	**Office**	**Commercial**
1.8 – 2 GHz	8	10	10
5.2 GHz	-	12	-

Tabela 2.3 Valores recomendados pela ITU para o desvio padrão σ (dB).

Note-se que o caso específico da banda 2.4 GHz (banda de operação das redes 802.11b) não está directamente contemplado nos valores apresentados. Porém, como se pode constatar pelas tabelas acima apresentadas, os valores dos diferentes parâmetros varia suavemente com a frequência, o que permite considerar para o

caso de uma rede *wireless* 802.11b os valores recomendados para a banda de frequência mais próxima, neste caso a 1.8 – 2 GHz.

Além dos valores apresentados nas tabelas anteriores a recomendação *Rec. ITU-R P.1238-2* apresenta algumas indicações quanto às características de propagação em ambientes *indoor* verificadas para diferentes situações:

- **Propagação com linha de vista** entre o receptor e o emissor são dominadas pelas perdas verificadas em espaço livre. Neste caso deve utilizar-se para o parâmetro N o valor 20.

- Para **compartimentos de grande área** com predominância da condição de linha de vista são igualmente dominadas pelos factores envolvidos na propagação em espaço livre. Aqui deve-se também utilizar o valor 20 para o parâmetro N do modelo.

- Para a **propagação em corredores** verifica-se o chamado efeito de guia de onda resultando numa atenuação do sinal inferior à que se verifica em espaço livre. Aqui o valor a considerar para N ronda os 18.

- **Propagação através de obstáculos e paredes** adiciona perdas consideráveis que podem aumentar o coeficiente N até cerca de 40 para um ambiente típico.

2.2 Modelos Determinísticos

Os modelos determinísticos tentam caracterizar a propagação do sinal RF do ponto de vista electromagnético, baseando-se na teoria de propagação de ondas electromagnéticas, que considera aspectos como reflexão, difracção e dispersão, usando em conjunto técnicas de *ray-tracing* e *ray-launching*. No entanto estes modelos conduzem a um aumento da complexidade de cálculo e da exigência quanto ao processamento necessário para efectuar as previsões de nível de sinal em cada ponto. A técnica de *ray-tracing* utilizada está dividida em dois tipos, nomeadamente *image method* e *"brute force" ray-tracing method*. O *image method* é mais apropriado para a análise de propagação associada a geometrias de baixa complexidade e com reduzido número de reflexões. O método *"brute force"* considera o "lançamento" de um conjunto de raios a partir do local de emissão que podem ou não alcançar o receptor. Para cada ponto do local em análise é feita a soma de todos estes raios, calculando, a partir disso, o nível de sinal existente. Mais informação sobre estes modelos poderá ser encontrada, por exemplo, nas referências [COST231] e [Rec. ITU].

Neste capítulo apresentaram-se as duas perspectivas de modelação existentes no contexto de ambientes *indoor*, que usam modelos empíricos ou modelos determinísticos. Dentro da classe de modelos empíricos descreveram-se os modelos

Multi-Wall e ITU. O primeiro representa um dos modelos empíricos mais utilizados no âmbito da previsão de nível de sinal para ambientes *indoor*. O segundo é o recomendado pela *ITU-R* (secção de radiocomunicações) e personaliza uma forma simples de obter previsões para a atenuação de percurso (*path loss*) sem ter que efectuar a caracterização "exaustiva" do local alvo de análise. Ambos os modelos consideram unicamente o trajecto directo entre o emissor e o receptor, esquecendo, portanto, questões como reflexão, difracção, ou dispersão. Por último, mencionou-se muito sucintamente a outra perspectiva de modelação disponível que recorre a modelos determinísticos que tentam caracterizar o local em estudo do ponto de vista electromagnético.

3 Site Survey Indoor

A realização de um *site survey indoor* é algo fundamental quando se pretende instalar uma rede sem fios como uma rede 802.11b. Consiste numa metodologia, num conjunto de etapas que devem ser executadas antes do projecto da rede de forma a conhecer bem o ambiente onde esta vai ser instalada e os seus requisitos para, desta forma, estar na posse de todos os dados relevantes na altura da tomada de decisão para a localização dos pontos de acesso e sua configuração. Neste capítulo são referidas as principais motivações para a execução de um *site survey indoor* no contexto de uma rede 802.11b, assim como o principal objectivo a atingir com a sua execução. Além disso, indicam-se as principais etapas deste procedimento assim com a utilidade do método quer para o projecto de redes *wireless* quer para ser aplicado a redes já instaladas.

3.1 Motivações

Os sistemas RF são bastante afectados pelo ambiente de operação, sendo bastante difícil prever a propagação das ondas de rádio. Por conseguinte, de modo a assegurar o correcto funcionamento do sistema, é necessário proceder a um *site survey* a fim de caracterizar completamente o ambiente de instalação da rede. Mesmo quando se utilizam antenas omnidireccionais as ondas electromagnéticas não viajam a mesma distância em todas as direcções. Pelo contrário, o facto de o sinal encontrar no seu percurso paredes, chão, portas, elevadores, pessoas e outros obstáculos proporciona distintos níveis de atenuação o que conduz a um "diagrama de radiação" irregular e imprevisível, do ponto de vista do receptor. Deste modo, a execução de um *site survey* é essencial para compreender o comportamento das ondas de rádio no local e testar a cobertura esperada para a rede do edifício em estudo, antes de proceder à efectiva instalação dos pontos de acesso. Para além disso, a detecção de interferências é um aspecto essencial para o planeamento de frequências a utilizar e apenas um rigoroso *site survey* com equipamento apropriado pode fornecer essa informação.

3.2 Objectivos

O principal objectivo de um *site survey* é analisar completamente um edifício em diversos aspectos de forma a assegurar que o número, localização e configuração de canal dos pontos de acesso projectados fornece a requerida cobertura na área que se pretende, com o máximo desempenho e o mínimo investimento.

O bom conhecimento do local de instalação está relacionado com a possibilidade de se identificarem eventuais interferências provenientes de outros equipamentos a operar na mesma banda, obstáculos que perturbem de forma significativa a propagação do sinal RF numa determinada área, … Note-se que

apenas a inspecção do local de instalação torna possível a identificação deste tipo de problemas, uma vez que obstáculos como estantes metálicas, cacifos, etc., não se encontram assinalados nas plantas dos edifícios. Para além disso, a determinação do nível de sinal, de modo a controlar eventuais "fugas" para áreas indesejadas, apresenta-se como fundamental de modo a prevenir quebras de segurança com possíveis ataques provenientes de utilizadores não autorizados. Tem-se assim que após um completo e rigoroso *site survey*, o projectista da rede conhece o edifício, tem toda a informação relativa a requisitos da rede, fontes de interferência, características "especiais" de propagação que possam existir e, desta forma, está na posse de toda a informação que necessita para o projecto mais adequado ao edifício em causa. O objectivo do *site survey* é fazer com que hajam motivos para os pontos de acesso estarem naquela localização com aquele canal e aquela potência e não apenas porque calhou ser assim, ou foram automaticamente dessa forma configurados.

3.3 Etapas

Ao conduzir um *site survey indoor* deve considerar-se um conjunto de etapas bem definido. Deste modo, será possível fazer uma análise exaustiva do local e, consequentemente, evitar maus desempenhos da rede após a sua instalação. Seguidamente apresenta-se uma descrição de cada uma das dessas etapas, tendo como base as etapas referidas em [Geier1 2002].

1. **Definição de requisitos** [Geier2 2002]. Para efectuar todas as etapas associadas a este procedimento é preciso perceber-se muito bem quais os requisitos da rede, falando com as pessoas que a encomendaram, percebendo as suas necessidades e as suas dúvidas. A definição dos requisitos da rede, quer por pedido expresso de quem encomenda a rede, quer por consequência indirecta das suas intenções, é um passo decisivo que condiciona todo o projecto de uma WLAN. É necessário ter bem especificada a área de cobertura e a *performance* da rede (associada ao número de utilizadores previstos). O *trade-off* que aqui se coloca é uma maior concentração de pontos de acesso com baixa potência de emissão (melhor *performance*) ou colocação de pontos de acesso mais espalhados com maior potência de emissão (maximização da área de cobertura). Por outro lado, ter uma ideia das aplicações que serão utilizadas na rede pode indicar quais os débitos que se devem garantir – *streaming* de vídeo pode ser uma necessidade e, neste caso, a *performance* deve ser valorizada. Os equipamentos de utilizador também indicam a exigência que estes vão colocar na rede. Se esta for instalada para ser usada por leitores de códigos de barras num supermercado, a sua capacidade não precisará de ser muito elevada. Uma parte importante desta fase é verificar qual será o sistema de distribuição da *Wireless LAN*. Normalmente é usada a *Ethernet* mas é necessário que o edifício esteja ligado e com tomadas de rede acessíveis (a alimentação dos APs também tem de ser considerada). O ambiente onde a rede vai ser instalada pode definir já alguns dos problemas que se encontrarão no futuro (ambientes industriais serão

muito mais ricos em ruído). Condições agressivas de humidade ou temperatura devem ser ponderadas. Uma das maiores questões que se levantam ao instalar uma rede sem fios prende-se com a segurança e devem-se prever quais os mecanismos a usar para garantir privacidade dos dados e inexistência de vulnerabilidade a ataques. A possibilidade de fazer *upgrade* à rede que for instalada é importante devido ao enorme dinamismo que caracteriza esta área tecnológica, com novas soluções a serem colocadas no mercado muito frequentemente. Como exemplo, a possibilidade de o IEEE 802.11b migrar para o 802.11g (54 Mbps – OFDM) com apenas actualização do *firmware* dos APs confere à norma 802.11b alguma vantagem na escolha em relação à norma 802.11a (o equipamento da b é mais barato). Por fim, e como em qualquer projecto de engenharia, o orçamento e prazo disponível são requisitos a ter em (muita) conta na elaboração do projecto.

2. **Obtenção de diagramas representativos do local de instalação da rede** (plantas dos edifícios). Antes de avançar com o *site survey* propriamente dito deve ter-se em mão o conjunto de plantas correspondente ao local onde se pretende efectuar a instalação da rede sem fios. Caso estas não estejam disponíveis deve proceder-se ao desenho dos diferentes espaços envolvidos identificando fundamentalmente a localização de paredes, portas, e outros obstáculos a considerar.

3. **Identificação das áreas de utilizador**. Para além da identificação das áreas para onde os utilizadores se podem deslocar (*roaming*), devem identificar-se aquelas para onde eles não irão. Ao limitar as áreas de *roaming* poderá conseguir-se diminuir o número de pontos de acesso a instalar, conduzindo a menores investimentos. A definição das zonas de maior concentração de utilizadores é importante para a definição da relação cobertura – *performance*.

4. **Inspecção visual do local (identificação de possíveis obstáculos e pontos de montagem dos pontos de acesso)**. Antes de iniciar qualquer teste deve fazer-se uma inspecção visual ao longo do local de modo a verificar a precisão das plantas dos edifícios em causa. Esta será uma boa altura para verificar a existência de potenciais obstáculos que possam afectar a propagação dos sinais RF e que poderão não estar identificados nas plantas (ex. estantes metálicas). É nesta fase que se percebe realmente que tipo de edifício é que está em causa, quais os seus materiais de construção, que condições tem para a propagação e se começa a prever possíveis localizações dos pontos de acesso. Ao longo da inspecção do edifício, é sempre fácil detectar a existência de fontes de interferência conhecidas, apenas por visualização desses equipamentos.

5. **Detecção de interferências**. Para detectar interferências que possam afectar o funcionamento da rede, convém, na fase de testes, ligar todos os equipamentos que possam constituir fonte de interferência, recorrendo a um analisador de espectros ou outro equipamento com alguma capacidade deste nível que possibilite essa análise. Possíveis fontes de interferência para uma

rede 802.11b são dispositivos *Bluetooth* que operem na vizinhança de um ponto de acesso ou de uma estação provocando o aumento da probabilidade de ocorrência de colisões e/ou o aumento do tempo de espera por parte do dispositivo 802.11b para transmissão de dados, fornos microondas e telefones sem fios a operar na banda dos 2.4 GHz. Por outro lado, uma ou mais WLANs a operar na mesma área de cobertura da que vai ser instalada pode contribuir para o mau funcionamento da mesma. Do conjunto de equipamentos apresentados que podem interferir com as redes 802.11b destaca-se a perturbação causada pelos fornos microondas que representam, na prática, a principal fonte de interferência para uma rede sem fios deste tipo. Este emite em praticamente toda a banda 2.4 GHz afectando bastante o desempenho de uma rede que opera na sua vizinhança. Os fornos microondas transmitem até 750 W sob a forma de 50 impulsos por segundo com um ciclo de radiação de 10 ms. A radiação abrange, tipicamente, as frequências entre os 2.4 e os 2.45 GHz. Mesmo com estas unidades isoladas do exterior por material apropriado existe sempre emissão residual que interfere significativamente com uma WLAN.

6. **Definição da localização preliminar para os pontos de acesso**. Considerando a localização dos utilizadores da rede e estimativas acerca do alcance típico dos produtos que se estão a utilizar, devem definir-se as localizações dos pontos de acesso que fornecerão cobertura adequada ao longo das áreas que foram identificadas na etapa anterior. Numa rede 802.11b, por exemplo, o alcance máximo anda à volta dos 45 m a 11 Mbps e 122 m a 1 Mbps (AP Cisco). Assim, com base nesta informação, o projectista poderá fazer uma distribuição provisória dos pontos de acesso ao longo das áreas em que se pretende ter cobertura. Numa fase posterior terá oportunidade de testar se efectivamente a localização escolhida inicialmente é a mais adequada. O planeamento deverá ser feito de tal modo que exista alguma sobreposição das áreas de cobertura de pontos de acesso adjacentes. No entanto, esta sobreposição terá de considerar o correcto planeamento de frequências de forma a evitar interferência entre canais de APs. A instalação dos pontos de acesso é feita usualmente recorrendo a suportes que permitem a fixação do equipamento ao tecto ou a uma parede. Os APs devem ser colocados na parte mais alta possível de modo a garantir condições de linha de vista para a máxima área possível. Por outro lado, os locais de instalação seleccionados devem ter em conta o acesso à rede física e à alimentação para os pontos de acesso, além de permitirem a instalação das antenas quando dissociadas dos pontos de acesso (alguns fabricantes disponibilizam pontos de acesso com as antenas integradas no próprio dispositivo). Aquando da tomada de decisão sobre a localização dos pontos de acesso devem ser considerados diferentes tipos de antenas. Por exemplo, um ponto de acesso colocado numa parede que limita o edifício pode ser uma boa localização se for utilizada uma antena directiva orientada para dentro do edifício.

7. **Definição da potência de emissão a utilizar nos APs**. Tendo em conta quer a área de cobertura pretendida quer os limites legais para a potência de

emissão, devem definir-se, nesta fase, os níveis de potência a usar em cada um dos APs, cuja localização preliminar foi já determinada.

8. **Planeamento de frequências** [Geier3 2002]. Além da determinação de localização dos pontos de acesso é fundamental efectuar o correcto planeamento de frequências para os pontos de acesso. Este torna-se bastante importante na disponibilização de WLANs de grande densidade e que pretendem oferecer cobertura a grandes áreas geográficas. Pontos de acesso vizinhos interferem entre si. Consequentemente, estes devem estar separados em frequência (seleccionando canais distintos para cada um deles) com o objectivo de minimizar interferências entre APs vizinhos e aumentar o desempenho global do sistema. Numa rede 802.11b o planeamento da rede é feito a 3 frequências pelo facto de este ser o número máximo de canais não sobrepostos definidos pela norma, sendo a separação entre estes últimos de 25 MHz. Porém, existem algumas diferenças associadas à configuração dos canais utilizados numa determinada WLAN. Nos Estados Unidos e Canada estão definidos 11 canais apenas, pelo que o planeamento de frequências terá inevitavelmente que ser feito recorrendo aos canais não sobrepostos 1 (2.412 GHz), 6 (2.437 GHz), e 11 (2.462 GHz). Na Europa a situação é mais vantajosa uma vez que estão definidos treze canais DSSS. Existem, então, três configurações possíveis para o planeamento a três frequências quanto aos canais envolvidos: 1-6-11, 2-7-12, ou 3-8-13. Contudo, o planeamento mais utilizado ao nível global é sem dúvida o primeiro já que é o coincidente entre os dois casos referidos. A figura 3.1 apresenta o planeamento a três frequências típico recorrendo à estrutura em favo de mel para caracterizar a disponibilização dos diferentes canais pelas diferentes células. Uma explicação mais detalhada da norma IEEE 802.11b nomeadamente no que diz respeito aos canais usados vem expressa no anexo A.

9. **Verificação da localização preliminar dos pontos de acesso**. Depois de definida a localização provisória dos pontos de acesso deverá, então, passar-se à verificação dessas mesmas localizações. É nesta fase que se iniciam os testes. Muitos fabricantes de produtos associados a redes *wireless,* nomeadamente redes 802.11, como a *Cisco* ou a *Symbol*, fornecem ferramentas de software que permitem identificar o ponto de acesso ao qual se está associado, a taxa de transmissão, e o nível e qualidade de sinal em cada local. Deste modo, fazendo o *download* destas ferramentas de software para um computador portátil é possível testar a área de cobertura de cada um dos pontos de acesso com localização provisória definida numa fase anterior. Alternativamente, podem usar-se equipamentos disponibilizados por diversos fabricantes que consistem num dispositivo de mão que permite proceder à execução de um *site survey* (detecção de interferências, áreas de cobertura, etc.). Por exemplo, o fabricante *Berkeley Varitronics Systems* oferece uma vasta gama de dispositivos de mão que fornecem funções de *site survey* avançadas. Tendo todos os pontos de acesso instalados nos locais definidos na fase preliminar deve proceder-se à monitorização da informação fornecida pelo software de *site survey* percorrendo, para tal, o local de instalação,

variando deste modo a distância ao ponto de acesso e as condições de propagação. Este facto permite ter total percepção acerca de eventuais pontos críticos que existam no local e, além disso, verificar se a área de cobertura prevista para cada ponto de acesso corresponde à realmente obtida.

10. **Instalação da rede**. Depois de confirmado o número e respectiva localização dos pontos de acesso, procede-se à instalação efectiva da rede. Esta fase poderá envolver a disponibilização de novas infra-estruturas físicas, realização de perfurações nas paredes para fixação dos APs, entre outros procedimentos.

11. **Documentação do design final da rede**. Após a instalação da WLAN é essencial documentar o melhor possível a rede, fundamentalmente quanto à localização efectiva dos pontos de acesso, potência de emissão e canal DSSS associado a cada um destes. Esta caracterização é usualmente indicada nas próprias plantas dos edifícios.

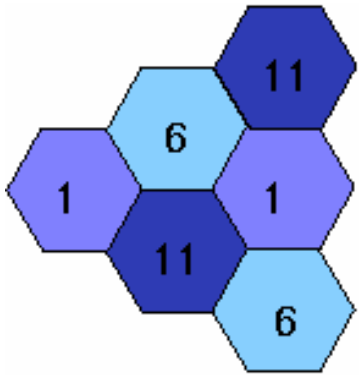


Figura 3.1 Planeamento de frequências associado às redes 802.11b

Referiram-se acima as etapas inerentes à execução de um *site survey indoor*. Contudo, *site survey* não acaba com a instalação da rede. Numa rede já instalada esta é uma ferramenta indispensável para:

- Detectar e ultrapassar problemas de *performance*.
- Aumentar o desempenho da rede através do reposicionamento ou reconfiguração dos pontos de acesso.
- Melhorar a cobertura da rede, adicionando novos pontos de acesso cuja localização é obtida a partir dos resultados do *site survey* e das especificações de *performance*.
- Testes de PER (*Packet Error Rate*) – erros detectados recorrendo ao CRC devido, sobretudo, a propagação por multi-percursos, interferências ou colisões.
- Testes de interferências.

- Análise de cobertura.
- Verificar o cumprimento dos requisitos.
- Verificar o design da rede e documentá-lo.

Deste modo, conclui-se que um *site survey* é uma ferramenta a considerar tanto na fase de projecto como na fase pós-instalação de uma rede *wireless*. Normalmente recomenda-se a realização de um *site survey* com intervalos de três meses com o intuito de monitorar a rede instalada, identificando potenciais problemas que possam advir, por exemplo, da presença de novas fontes de interferência e de quebras de segurança.

4 Software Desenvolvido

No decorrer deste projecto foi desenvolvida uma aplicação, denominada por *SiProPA – Signal Propagation Prediction and Analysis*, que permite simular e analisar a propagação de sinais de radiofrequência em ambientes *indoor*, podendo esta assumir-se como uma ferramenta de apoio ao projecto de uma rede *wireless* IEEE 802.11b, .11a, .11g, DECT, ou outra norma que contemple a localização da estação base e do terminal no mesmo edifício.

Antes de iniciar a fase de desenvolvimento propriamente dita realizou-se um vasto conjunto de medidas no *campus* da Faculdade de Engenharia a fim de identificar quais os modelos de propagação, dentro do conjunto estudado, que forneciam melhores resultados. Nesta fase utilizou-se o programa *Matlab* de forma a produzir alguns gráficos que permitissem a avaliação dos resultados obtidos. Verificou-se que os modelos *Multi-Wall* e ITU apresentavam comportamento satisfatório e foram estes os escolhidos como base do *software* desenvolvido. Este estudo revelou-se também importante para a especificação das funcionalidades do *software*, tendo como base a percepção adquirida durante o trabalho de campo inicial. As motivações que levaram ao seu desenvolvimento, a especificação inicial, assim como a forma como foi implementado e o ambiente de desenvolvimento utilizado na sua construção são apresentados neste capítulo nas próximas secções. Deste modo, na secção 4.1 apresentam-se as motivações para o desenvolvimento da aplicação *SiProPA* tendo em conta o *background* adquirido numa primeira fase de trabalho de campo. Seguidamente definem-se os requisitos iniciais associados ao *software* (especificação): objectivos e dados de entrada e de saída do programa. Finalmente apresenta-se a fase de implementação, tecendo algumas considerações sobre as opções tomadas ao longo da sua construção, metodologias seguidas e algoritmos implementados.

4.1 Motivação

A principal motivação para o desenvolvimento da aplicação foi o facto de não se ter encontrado uma ferramenta que integrasse no mesmo *software* a possibilidade de simulação e análise comparativa entre resultados práticos e previsões teóricas. Sendo este último requisito um dos objectivos fundamentais deste projecto, tornou-se essencial construir uma aplicação que realizasse essa integração. Por outro lado, verificou-se, com a aplicação dos modelos de propagação aos edifícios da Faculdade de Engenharia, que haveria necessidade de cálculo de parâmetros para os modelos teóricos a partir das medidas realizadas, conseguindo deste modo caracterizar paredes, andares e outro tipo de obstáculos presentes nos referidos edifícios. Assim, foi essencial ter em mãos uma forma rápida e sistemática para o cálculo desses parâmetros e que permitisse, usando um algoritmo adequado, optimizar esses mesmos valores. Seria então possível, após a criação de um *log* de medidas (funcionalidade que o programa deveria suportar), optimizar os parâmetros dos modelos de propagação e a partir desse momento realizar simulações para

outros locais do mesmo edifício. Estas simulações poderiam ser feitas em conjunto com a obtenção de medidas, contribuindo para compreender melhor a propagação do sinal no local em análise. Por último, o facto de se poder disponibilizar uma ferramenta útil ao apoio ao projecto de uma rede *wireless*, particularmente para o projecto de localização dos pontos de acesso na segunda fase de instalação prevista para a FEUP, constituiu igualmente uma motivação importante. Em conclusão, pode dizer-se que as **principais motivações para o desenvolvimento do *software*** foram:

- Ausência de uma ferramenta de *software* que integrasse simulação e análise comparativa entre resultados práticos e previsões teóricas.
- Forma rápida e sistemática para optimização de parâmetros associados aos modelos de propagação utilizados.
- Realização de simulações no terreno à medida que se vai visitando o local em estudo.
- Disponibilização de uma ferramenta de apoio ao projecto de uma rede sem fios (ex. 802.11b, .11a, .11g, DECT, etc.).

4.2 Especificação

Antes de partir para o desenvolvimento da aplicação sentiu-se necessidade de definir um conjunto de aspectos relacionados com os objectivos do programa, dados que este deveria aceitar do utilizador e o tipo de informação retornada. A especificação desses aspectos baseou-se no conhecimento adquirido durante a fase inicial de trabalho de campo e no pressuposto de se utilizarem os modelos de propagação *Multi-Wall* e ITU como base da aplicação a desenvolver. Esta serviu igualmente como ponto de partida fundamental para a fase de implementação que será apresentada na secção 4.3. De seguida apresentam-se os objectivos a atingir com a criação desta ferramenta de simulação e análise. Nas duas subsecções seguintes definem-se os dados que devem ser recebidos do utilizador e a informação a retornar pelo programa.

4.2.1 Objectivos

A ferramenta de *software* a desenvolver teve como objectivos:

1. A plataforma de desenvolvimento assim como o sistema operativo que servirá de base à construção da aplicação deverão ser definidos recorrendo a uma avaliação adequada das opções disponíveis.

2. Implementação dos modelos de propagação definidos na secção 2.1.1 e 2.1.2.

3. Fornecimento de previsões teóricas para o nível de sinal no receptor, recorrendo a modelos teóricos de propagação definidos para ambientes *indoor*, sob a forma de gráficos.

4. Possibilidade de análises comparativas entre resultados práticos e previsões teóricas retornadas pelo programa, usando os modelos de propagação, através da apresentação de gráficos de potência medida em função da potência prevista, ou potência medida e potência prevista em função da distância.

5. Análise estatística do erro associado às previsões teóricas fornecidas pelos modelos teóricos, a partir do retorno de gráficos de distribuição de probabilidade do erro.

6. Possibilidade de optimização de parâmetros associados aos modelos de propagação, a partir de um conjunto de medidas, com o intuito de adaptar os mesmos ao local em estudo em cada momento.

7. Definição de ficheiros de configuração associados ao programa que permitam a construção de uma base de dados de elementos (paredes, andares, corredores) para os locais analisados.

4.2.2 Dados de Entrada

Como dados de entrada definiram-se:

- Introdução da distância entre emissor e receptor, potência medida e condição de propagação (linha de vista, com obstáculos, corredor) de forma a caracterizar completamente uma medida. No caso de o utilizador pretender obter apenas previsões para o nível de sinal basta que introduza um conjunto de distâncias juntamente com a condição de propagação que pretende simular. Este procedimento define-se como geração de um *log*.

- Ganho das antenas de emissão e recepção, potência de emissão e frequência de operação. No caso concreto das redes 802.11b a operar no modo infraestrutural, a emissão corresponderá ao ponto de acesso e a recepção à NIC (*Network Interface Card*).

- Modelo teórico que a aplicação deve usar para fornecer as previsões teóricas para o nível de sinal no receptor.

- Tipo de gráfico que o utilizador pretende obter: potência medida em função da potência prevista, potência prevista em função da distância, ou potência prevista e potência medida em função da distância.

- Tratando-se de um par (distância, potência) em que a condição de propagação entre emissor e receptor é caracterizada pela existência de obstáculos, sejam eles andares, paredes, ou de outro tipo, o utilizador deverá seleccioná-los a partir do conjunto oferecido pelo programa (carregado a partir do ficheiro de configuração actual), ou se não quiser utilizar nenhum desses poderá introduzir uma atenuação apenas correspondente à opção *user defined*.

- Ao iniciar a construção de um novo *log* deve ser identificado qual o ficheiro de configuração que se pretende utilizar. Caso contrário, o programa assumirá o último ficheiro de configuração utilizado.

- O utilizador poderá seleccionar qual ou quais as condições de propagação que pretende visualizar no gráfico de saída: linha de vista, obstáculos, e/ou corredor (filtros de condições de propagação).

- Definição dos dados que o utilizador poderá exportar, para posterior análise noutro programa, como o Excel.

4.2.3 Informação Retornada

Como informação de saída considerou-se:

- Definição de três tipos de gráficos: potência medida em função da prevista, potência medida e potência prevista em função da distância, e potência prevista em função da distância, que permitirão quer a análise comparativa entre resultados práticos e previsões teóricas, quer a obtenção unicamente de previsões para o nível de sinal nos pontos definidos pelo utilizador.

- Obtenção da representação gráfica de uma ou mais condições de propagação seleccionadas a partir de opções que o programa coloca ao dispor do utilizador.

- Apresentação de um gráfico com a distribuição de probabilidade, média e desvio padrão do erro que permitirá analisar a qualidade das previsões fornecidas por um cada um dos modelos de propagação. O erro é definido como a diferença entre o valor medido e o calculado pelo programa através da expressão dos modelos teóricos.

- Apresentação do erro máximo associado às previsões de nível de sinal quando o utilizador selecciona um determinado grau de confiança, para o qual o primeiro deve ser calculado.

- Janela de simulação que tornará a aplicação mais interactiva possibilitando ao utilizador, definida uma determinada condição de propagação e a distância a que se encontra do ponto de acesso, obter a previsão para o nível de sinal esperado.

- Capacidade de exportação de dados retornados pelo programa para um ficheiro com sintaxe adequada de modo a permitir a análise de resultados noutro programa que não o *SiProPA*.

- Cálculo de parâmetros dos modelos de propagação optimizados para um conjunto de medidas que o utilizador introduz recorrendo a interface apropriada.

4.3 Implementação / Descrição

Após a fase de especificação passou-se à etapa do desenvolvimento da aplicação. Primeiramente definiu-se o sistema operativo para o qual a aplicação seria desenvolvida. A opção recaiu no sistema operativo *Windows*, considerando dois motivos fundamentais. O primeiro prende-se com o facto de este ser o sistema operativo mais utilizado quer na Faculdade de Engenharia quer a nível global. O segundo resulta do primeiro e considera que numa eventual utilização desta aplicação como ferramenta didáctica de apoio ao ensino, ou para utilização global não especializada, seria este o sistema operativo mais indicado. Depois de avaliar as plataformas de desenvolvimento disponíveis para o sistema operativo seleccionado, a escolha recaiu no ambiente de desenvolvimento *Visual C++*, usando a MFC (*Microsoft Foundation Class*). Esta opção derivou do facto de muitas das aplicações existentes para o ambiente *Windows* utilizarem esta plataforma de desenvolvimento e, por outro lado, da experiência que os autores deste trabalho já tinham relativamente à linguagem C++, apesar de nenhuma em Visual C++ e quase nada em programação para Windows.

Surgiram algumas dificuldades no primeiro contacto com a referida plataforma, tendo sido necessário tempo de adaptação e compreensão de muitos aspectos novos para os autores, nomeadamente em termos de programação gráfica. Ultrapassada a fase de aprendizagem e adaptação, iniciou-se o desenvolvimento propriamente dito, tendo como referência a especificação apresentada na secção 4.2.

Nas secções seguintes serão apresentados os principais aspectos relacionados com a implementação da ferramenta de *software* desenvolvida, descrevendo-se as suas funcionalidades. Mostra-se em primeiro lugar o aspecto global da interface gráfica que foi desenvolvida para a aplicação, com dois logs abertos a fim de exemplificar algumas das suas capacidades. De seguida apresenta-se a interface que permite a introdução de dados por parte do utilizador para simulação de um conjunto de localizações (obtenção unicamente de previsões teóricas) ou para

geração de *logs* de medidas, permitindo neste último caso realizar análises comparativas entre medidas e previsões teóricas. É depois explicado o conceito de ficheiro de configuração da aplicação e enunciado o enorme potencial que eles introduzem. Referem-se os modelos de propagação *indoor* implementados no programa para fornecimento de previsões teóricas e como se podem configurar. Descreve-se depois a informação fundamental retornada pelo *software*, mostrando os tipos de gráficos que a aplicação oferece assim como o ambiente de simulação que estava previsto na especificação já apresentada (janela de simulação). Apresenta-se também a implementação do método dos mínimos quadrados no *software* para a optimização de parâmetros associados aos modelos de propagação. Finalmente, comenta-se a capacidade de exportação de dados que o *SiProPA* oferece.

4.3.1 Interface Gráfica da Aplicação (aspecto global)

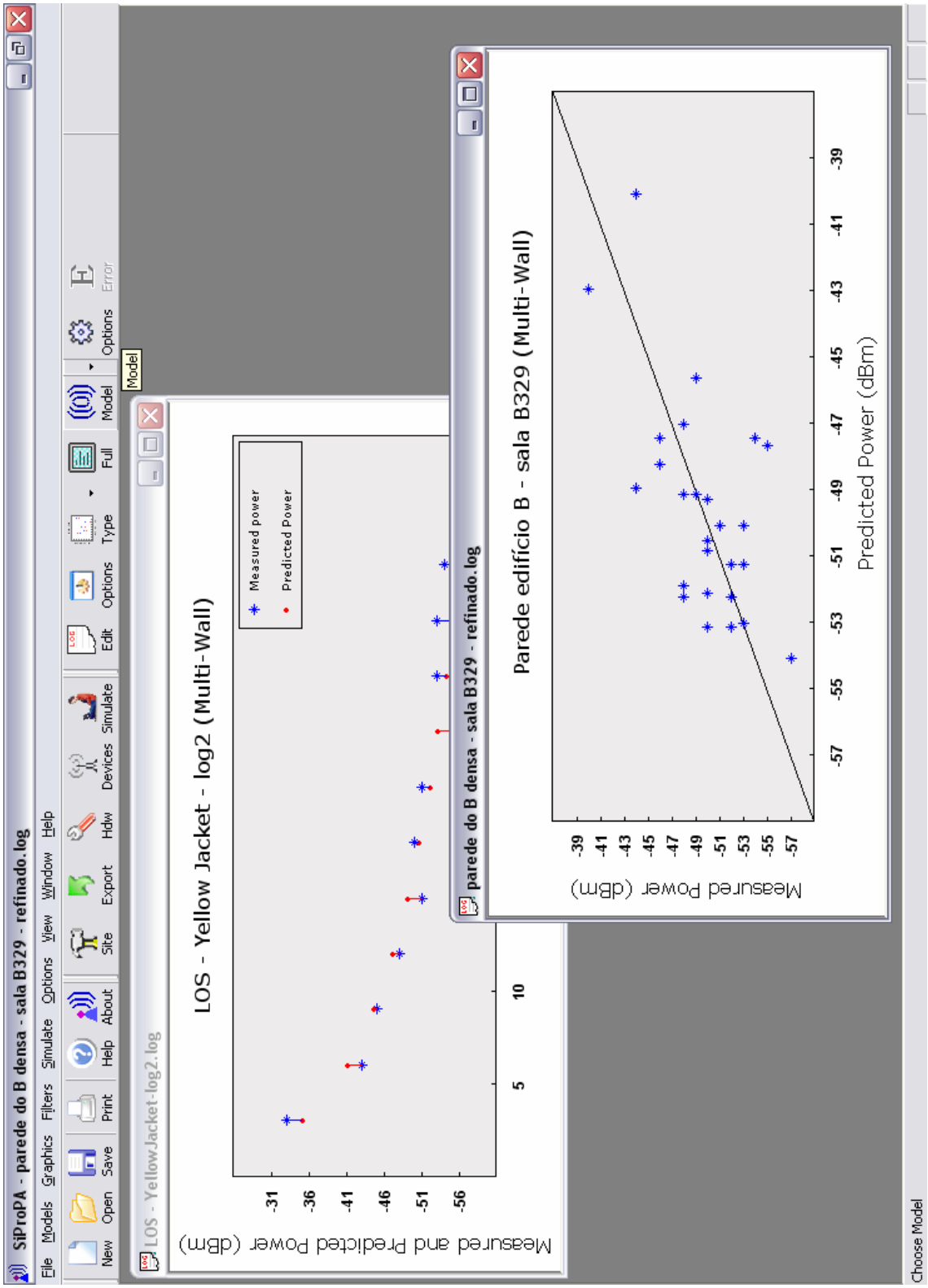


Figura 4.1 Aspecto geral da interface gráfica da aplicação.

4.3.2 Interface de Inserção de Dados

Obedecendo à especificação inicial, definiu-se uma interface de inserção de dados que permita a introdução de valores de distância, potência medida e da selecção da condição de propagação. Esta interface permite também a simulação de localizações, exigindo-se apenas a inserção de um conjunto de distâncias com as respectivas condições de propagação especificadas. Para a selecção de uma ou outra opção é apresentada ao utilizador, quando pretende iniciar um novo log, a janela da figura 4.2 onde é então indicado ao programa se se pretende simular apenas um conjunto de localizações ou se, por outro lado, se pretende a introdução de um conjunto de medidas realizadas num determinado local. Após escolha da opção, o programa apresenta a janela da figura 4.3 para a introdução de dados. Nesta, o utilizador especifica, opcionalmente, a localização onde foram obtidas as medidas que pretende inserir ou o local para o qual quer simular um conjunto de localizações. Para a inserção de dados são apresentadas duas caixas de texto legendadas com *Distance (m)* e *Power (dBm)* (no caso de se ter seleccionado apenas simulação a caixa correspondente à potência aparece desabilitada), nas quais o utilizador introduz a potência medida e a distância que separa o receptor do emissor. Para cada medida ou simulação (apenas distância) que introduz, o utilizador tem de escolher a condição de propagação correspondente a esse ponto - linha de vista, com obstáculos ou corredores. Escolhendo obstáculos, o utilizador pode seleccionar até dois tipos diferentes (os modelos não recomendam a especificação de mais que dois tipos de obstáculos diferentes) e um tipo de andar. É ainda introduzido o número de vezes que esse obstáculo é encontrado pelo sinal. A cada obstáculo existente nas *Combo Boxes* corresponde uma atenuação pré-definida. Para introduzir uma atenuação diferente, o utilizador pode sempre escolher *User Defined* e inserir a atenuação ele próprio. Isto também é válido para os corredores, embora aqui se fale de uma parâmetro e não de uma atenuação (*loss factor*). Os obstáculos são carregados para as *Combo Boxes* a partir do ficheiro de configuração a ser usado (explicado na secção 4.3.3). No lado direito da janela é possível observar uma fotografia do obstáculo seleccionado, caso o ficheiro de configuração tenha disponível essa informação.

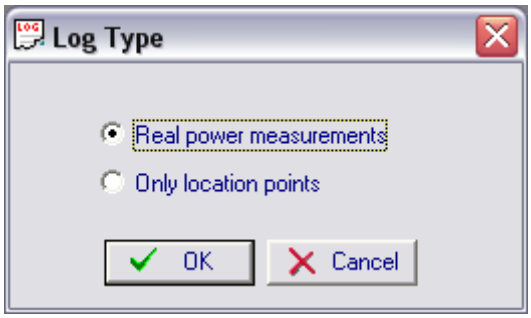


Figura 4.2 Janela de selecção.

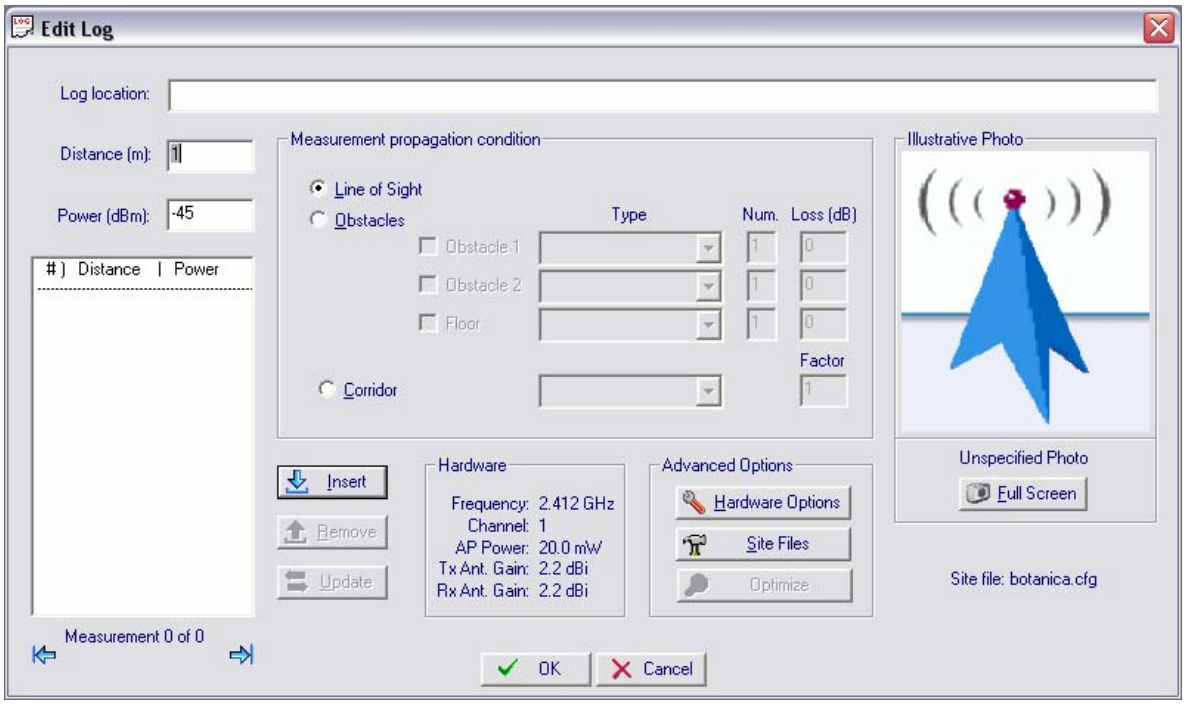


Figura 4.3 Janela de introdução de dados para o programa SiProPA.

A fim de obter logs gerados correctamente, é necessário ter as opções de *hardware* configuradas correctamente. O botão *Hardware Options* abre a janela da figura 4.4, onde é possível configurar a frequência de operação (canal), potência de emissão e ganhos do receptor e emissor.

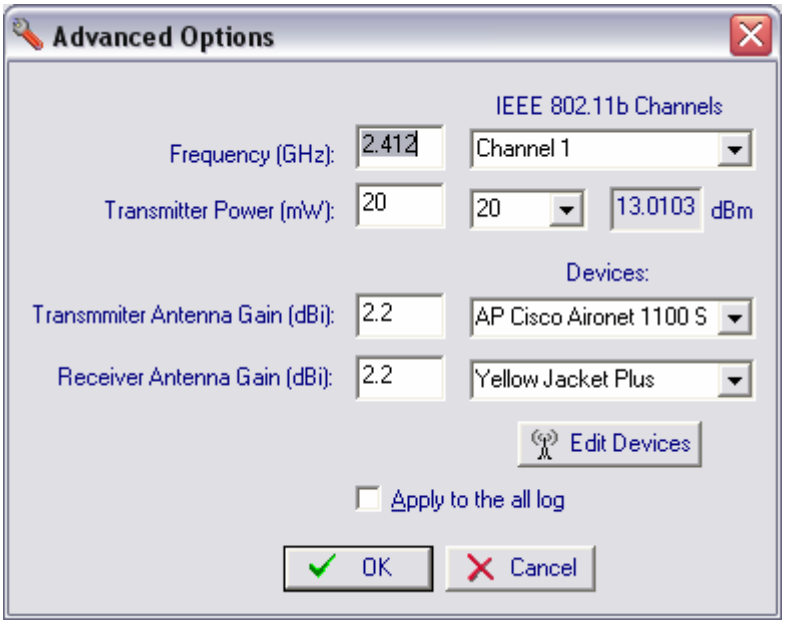


Figura 4.4 Janela de configuração das opções de *hardware*.

Uma vez que os ganhos associados aos diferentes dispositivos emissores e receptores devem ser configurados, esta tarefa pode ser facilitada pela possibilidade que o utilizador tem de criar uma base de dados de dispositivos. Deste modo, a

selecção do dispositivo em utilização configura automaticamente o ganho, facilitando o uso da aplicação. A figura 4.5 representa a janela onde se inserem e apagam novos dispositivos dessa biblioteca. Nela percebe-se que os dispositivos a inserir podem ser do tipo AP (*Access Point*) ou NIC (*Network Interface Card*), designações adaptadas das redes 802.11. Apesar disso, a inserção de elementos não está limitada unicamente a pontos de acesso e/ou cartas de rede. No caso de uma rede DECT, por exemplo, pode-se caracterizar uma estação base e o terminal seleccionado recorrendo, respectivamente, à opção AP e NIC.

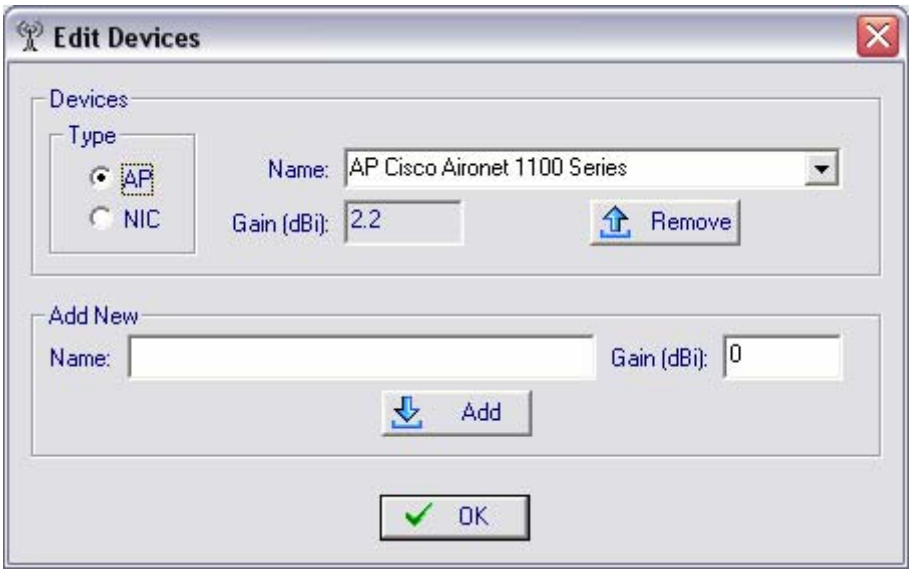


Figura 4.5 Janela de edição de dispositivos.

4.3.3 Ficheiros de Configuração (*site files*)

Este conceito surge da necessidade de possibilitar ao utilizador da aplicação a criação de novos tipos de obstáculos e corredores, característicos de um determinado local. Desta forma, o ficheiro de configuração surge sempre associado ao log a gerar e pode encarar-se como um ficheiro de sítio no qual estão guardados todos os tipos de obstáculos e corredores criados pelo utilizador para esse determinado sítio (normalmente um edifício).

Definiu-se a interface da figura 4.6 para a manipulação destes ficheiros (ficheiros definidos como sendo do tipo *cfg*). A partir desta é possível criar, apagar ou renomear esse tipo de ficheiros. Em cada ficheiro é possível criar, apagar ou actualizar um determinado elemento caracterizado por um nome e respectiva atenuação (factor no caso da criação de elemento do tipo corredor) e ainda por um conjunto de informação opcional que inclui a possibilidade da caracterização fotográfica desse elemento. Optou-se pela implementação de uma sintaxe próxima do *xml* para o ficheiro de configuração de modo a facilitar a manipulação dos elementos (eliminação, inserção, ou substituição) no ficheiro. Esta opção baseou-se no facto de esta ser uma linguagem já bem definida e bastante utilizada no encapsulamento de dados.

Para gerar um *log* o utilizador deverá associar a ele um ficheiro de configuração no qual estejam guardados os obstáculos que caracterizam o local ao qual o *log* se aplica, no sentido de obter melhores previsões teóricas. No entanto, numa fase inicial poderá ainda não existir nenhum ficheiro de configuração associado ao local em estudo. Desse modo, o programa oferece sempre a possibilidade de o utilizador recorrer a um ficheiro de configuração *default* que contém os valores *standard* para a atenuação de um andar, parede, entre outros obstáculos, e factor de atenuação típico associado ao elemento corredor. Por conseguinte, mesmo que ainda não se tenha caracterizado um determinado edifício, recorrendo a medidas no terreno pode sempre fazer-se uma simulação usando os elementos definidos no ficheiro de configuração *default*. Sempre que o programa é iniciado tem automaticamente associado o último ficheiro de configuração utilizado e sempre que se abre um log é carregado o ficheiro de configuração que lhe deu origem. Caso não exista, a informação é retirada do *log* (é sempre auto-suficiente) e as possíveis inconsistências entre o *log* e o ficheiro de configuração a ser usado são resolvidas. O registo do *Windows* é utilizado para guardar todas as configurações e definições do utilizador que devem ser mantidas entre sessões, nomeadamente esta que diz respeito ao último ficheiro de configuração usado

A possibilidade de manipulação de ficheiros de configuração associados a locais onde estão definidos os elementos que os constituem e de optimização das atenuações ou factores desses mesmos elementos constituem dois dos aspectos fulcrais da aplicação, conferindo-lhe uma grande versatilidade na análise de diferentes ambientes em questões de propagação.

Figura 4.6 Interface para manipulação de ficheiros de configuração

4.3.4 Modelos de Propagação Indoor

Para conferir capacidades de simulação à aplicação desenvolvida tornou-se essencial implementar no *software* os modelos téoricos de propagação *indoor* que se referiram no capítulo 2 deste relatório. Para tal, a aplicação assume os modelos *Multi-Wall* e ITU aí definidos, tendo sido adaptado o modelo ITU para a criação de um terceiro modelo, denominado de ITU *Modified*. Este consiste no modelo ITU com a possibilidade de se refinarem os seus parâmetros para um determinado local em estudo, ou seja, de se criar novos ambientes para o modelo ITU para além dos definidos originalmente. Desta forma, é também possível refinar o modelo ITU, adaptando-o ao ambiente em análise. Considerou-se a implementação destes modelos de propagação no programa com o objectivo de o tornar mais flexível, permitindo que o utilizador avalie qual o mais adequado a cada situação. Para esta análise a aplicação fornece um conjunto de gráficos a partir dos quais é possível concluir sobre o erro das previsões fornecidas por cada um dos modelos em relação às medidas introduzidas, servindo como termo de comparação entre os modelos. Deste modo, o programa implementa os modelos *Multi-Wall*, ITU, e ITU *Modified*, concedendo ao utilizador a vantagem de selecção do modelo mais apropriado ao local em estudo.

Enquanto o modelo Multi-Wall usa as atenuações dos diferentes elementos da condição de propagação para fazer as previsões, o modelo ITU usa os parâmetros associados a um determinado ambiente. Assim, na janela da figura 4.7, é possível escolher qual o ambiente definido pelo modelo ITU a utilizar para obter as previsões de sinal. Por outro lado, na parte que diz respeito ao modelo ITU *Modified*, pode-se escolher os ambientes criados pelo utilizador para este modelo ou mesmo criar novos, removê-los ou editá-los.

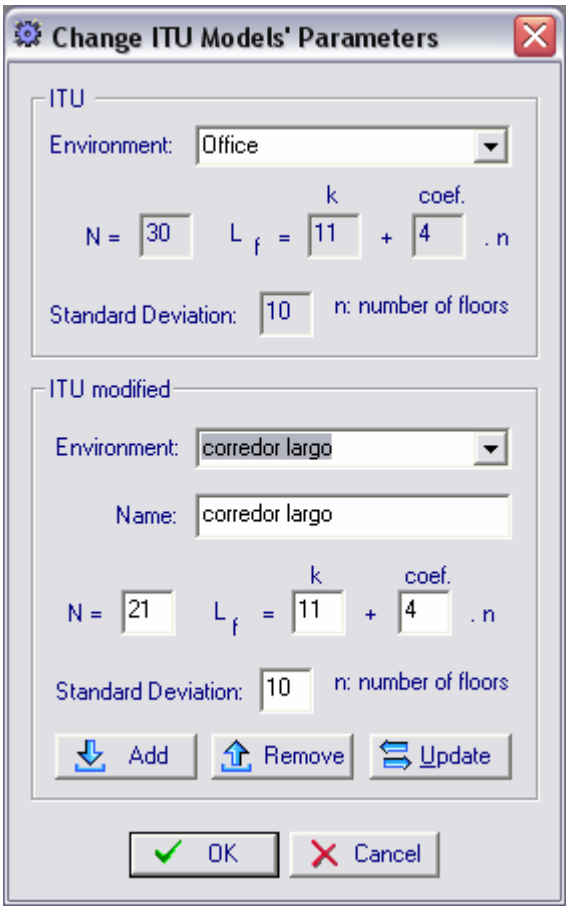


Figura 4.7 Janela de selecção do ambiente para o modelo ITU e de criação, edição e remoção de ambientes para o modelo ITU *Modified*.

Para além disso, o modelo ITU tem associado a cada ambiente um desvio padrão que caracteriza a distribuição normal assumida pelo modelo. Desta forma, é possível prever o erro máximo decorrente das previsões teóricas para um determinado grau de confiança. A janela da figura 4.8 permite esta análise.

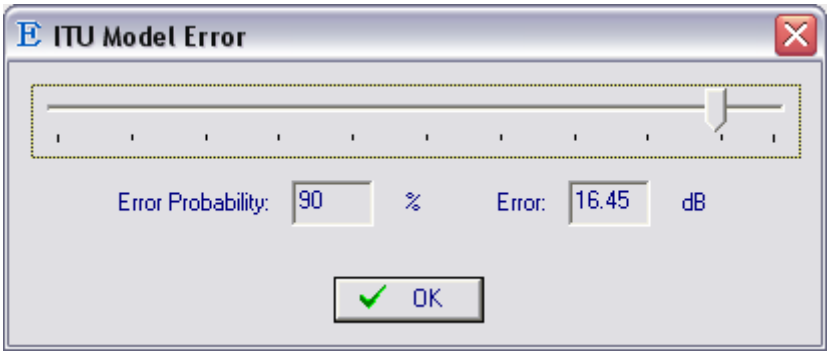


Figura 4.8 Previsão do erro máximo para o modelo ITU.

4.3.5 Visualização Gráfica

Depois da introdução dos dados usando a interface da figura 4.2, o programa pode interpretar essa informação em distintas visualizações gráficas. Por omissão, para a situação de geração de um *log* de medidas, a aplicação mostra um gráfico do tipo potência medida em função da potência prevista (*Measured Power vs Predicted Power*). No caso de se estar a simular apenas um conjunto de localizações é apresentado um gráfico de potência prevista em função da distância (*Predicted Power vs Distance*). É ainda possível representar as potências medida e prevista em função da distância e ainda um gráfico da função de distribuição da probabilidade do erro inerente às previsões teóricas. É sempre possível alternar entre os diferentes tipos de gráfico. As figuras 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam as diferentes visualizações gráficas possíveis.

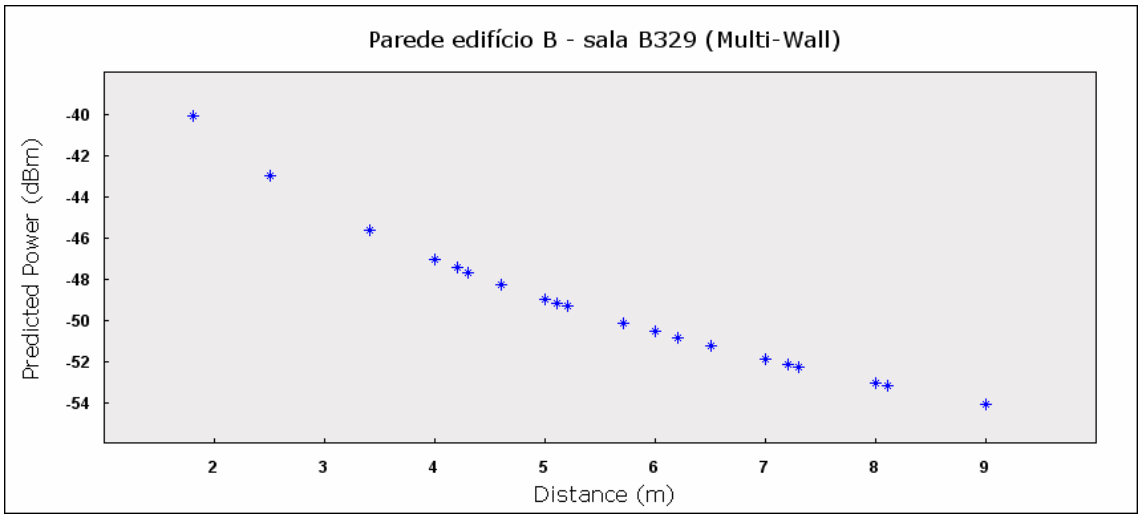


Figura 4.9 Gráfico de potência prevista em função da distância

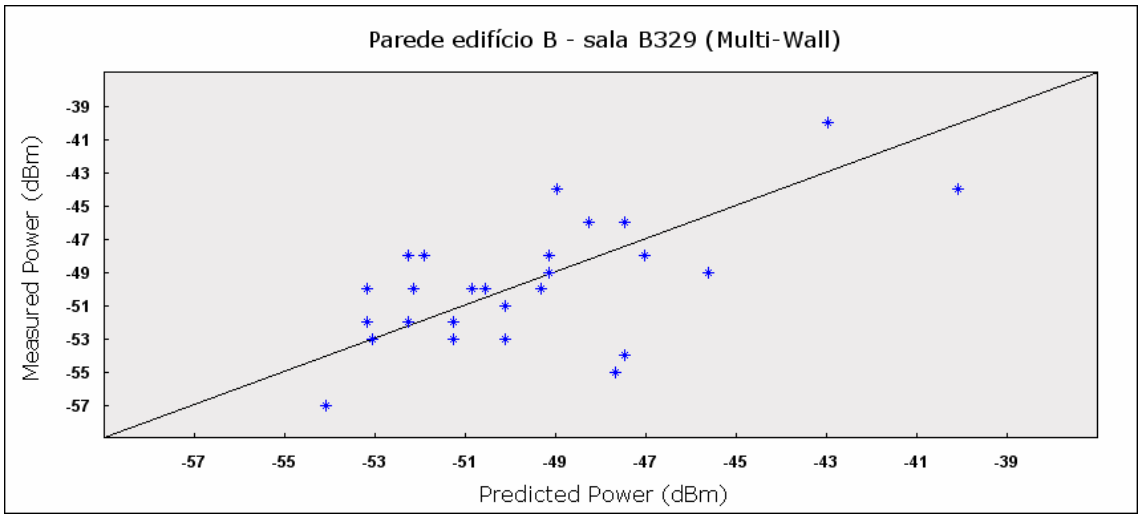


Figura 4.10 Gráfico de potência medida em função da potência prevista

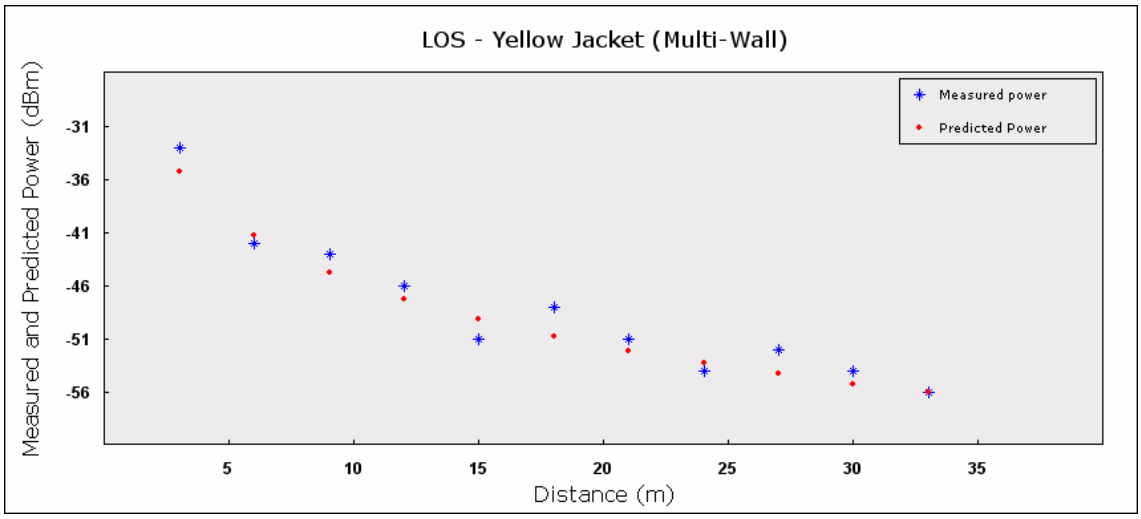


Figura 4.11 Gráfico de potência medida e potência prevista em função da distância

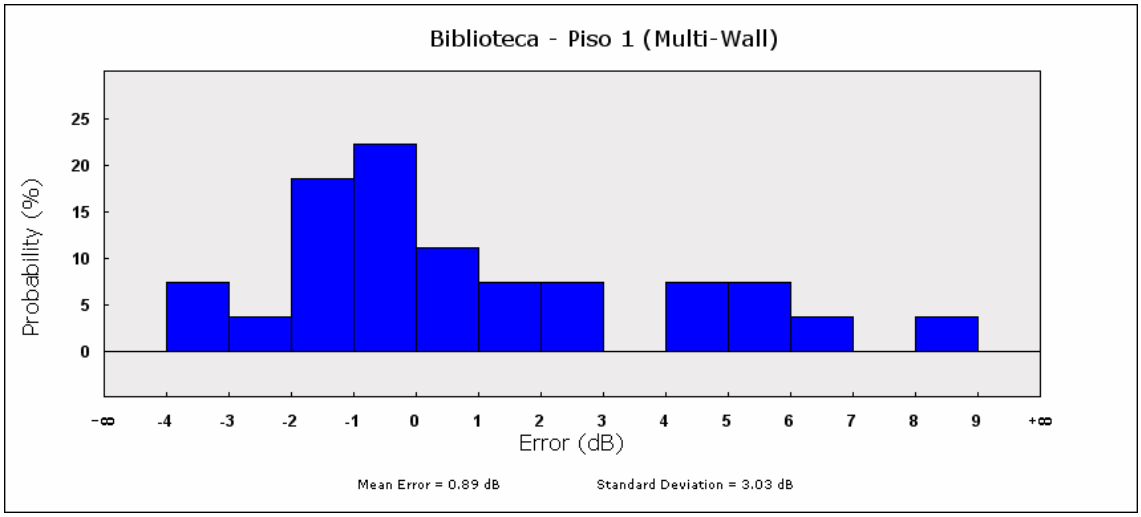


Figura 4.12 Gráfico da distribuição de probabilidade do erro associado às previsões teóricas

A figura 4.13 mostra a janela onde se podem configurar diversas opções associadas aos gráficos. Aqui pode-se alterar o seu título, legenda, cores a utilizar, o tipo de símbolo para representar os pontos e ainda a fonte e tamanho dos textos do título e da legenda. É ainda possível activar as opções de ligar todos os pontos do gráfico e de, nos gráficos de potência prevista e potência medida *versus* distância, ligar as previsões às realmente medidas, a fim de as corresponder. Os gráficos das figuras 4.14 e 4.15 ilustram a aplicação destas opções.

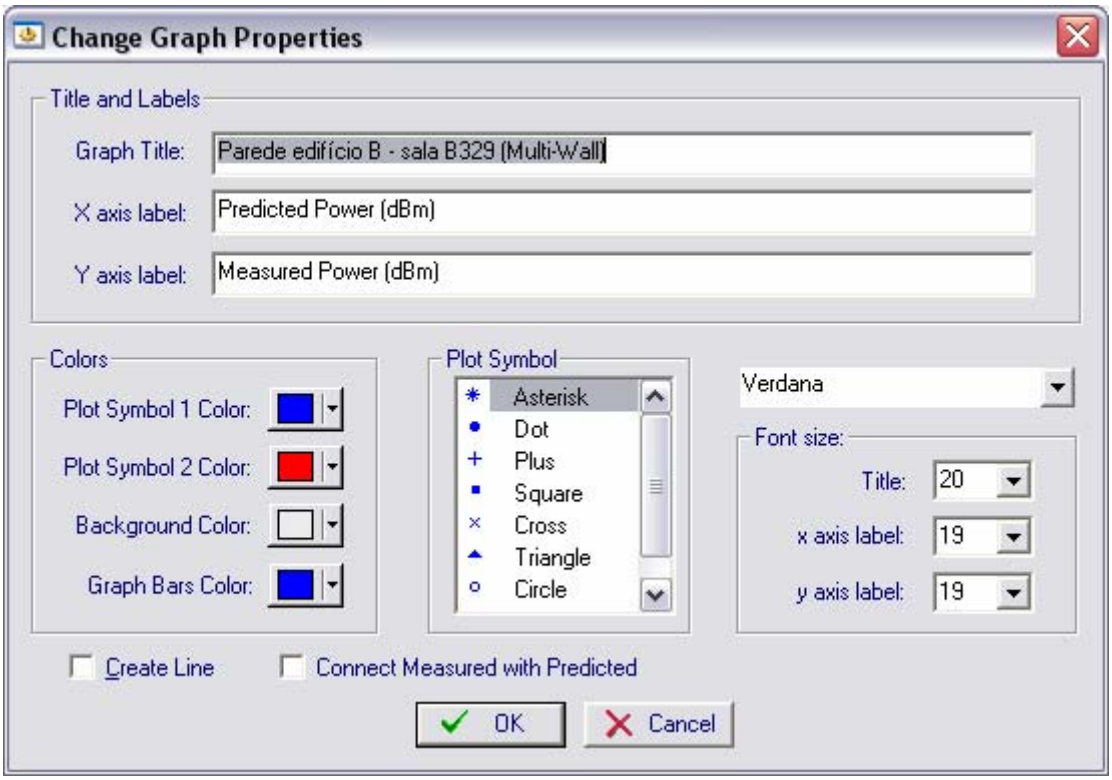


Figura 4.13 Janela de configuração das opções dos gráficos.

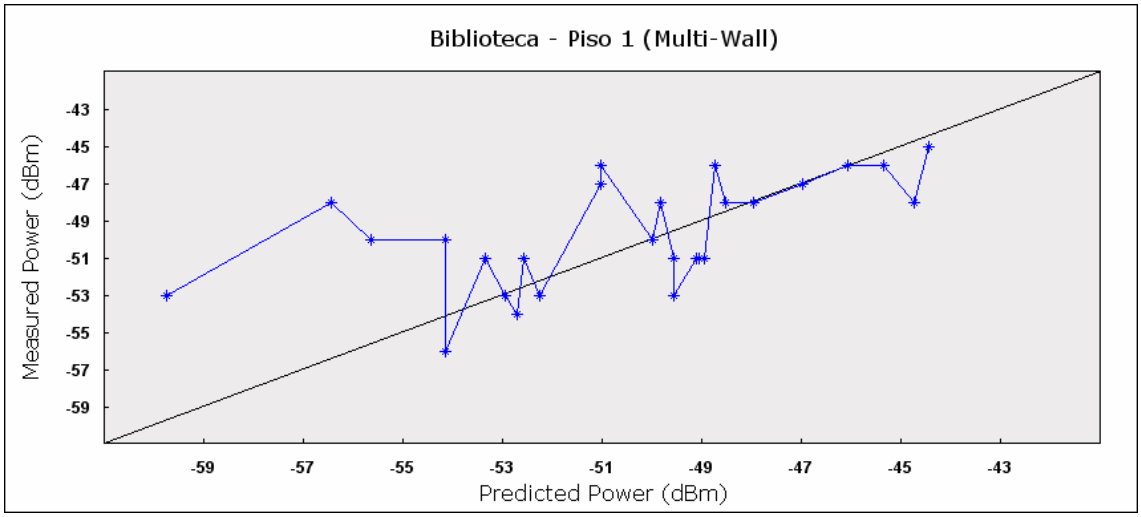


Figura 4.14 Exemplo de gráfico com pontos ligados.

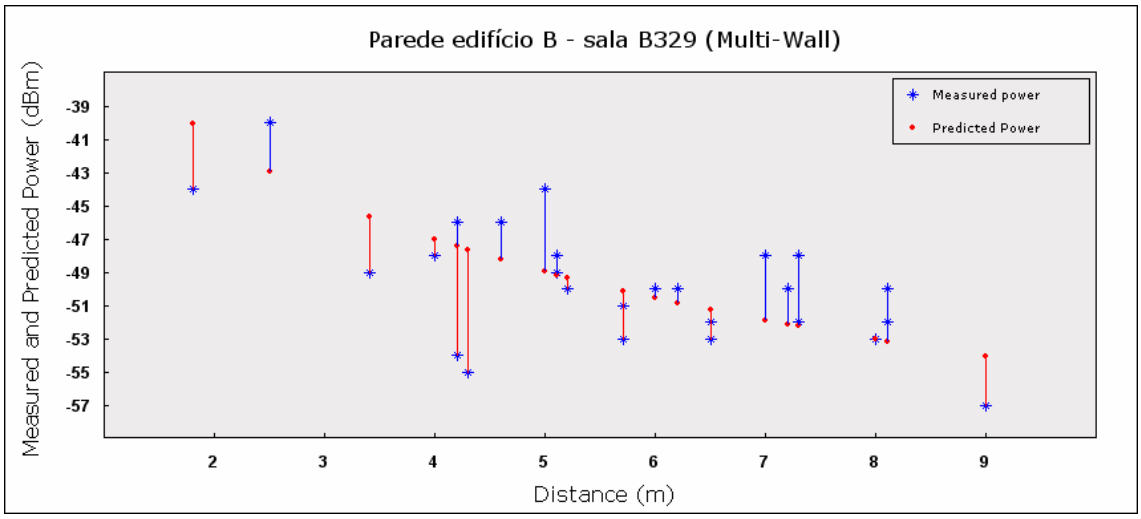


Figura 4.15 Exemplo de gráfico com pontos de previsões ligados à efectiva medida que os corresponde.

Neste último caso, quando a previsão é maior que o nível de sinal efectivamente medido, a recta que une os dois pontos é traçada da cor do ponto da previsão. Quando a medida é maior que a previsão, a recta é traçada da cor do ponto que representa a medida.

4.3.6 Ambiente de Simulação

Com o intuito de dar à aplicação funcionalidades mais interactivas e menos técnicas, criou-se um ambiente de simulação definido pela janela apresentada na figura 4.16 onde um utilizador, indicando a distância e a condição de propagação em relação ao AP consegue obter uma previsão do sinal esperado no sítio onde se encontra. Este ambiente de simulação foi pensado para uma rede 802.11b, sendo contudo adaptável a outro tipo de redes *indoor* uma vez que é possível configurar a frequência de operação (acesso pelo botão *Hardware Options* da interface) e os modelos de propagação utilizados pelo *software* não estarem limitados às redes 802.11b, sendo igualmente válidos para outro tipo de redes sem fios.

A simulação baseia-se na possibilidade de variação da distância entre o ponto de acesso e a carta de rede e na caracterização da condição de propagação que se pretende simular. Como retorno é apresentado na caixa de texto identificada como *Predicted Signal Power* o nível de sinal previsto, tendo em conta a condição de propagação definida pelo utilizador. Para identificar a condição de propagação estão definidas as mesmas possibilidades que no caso da janela apresentada na figura 5.2 – linha de vista, obstáculos ou corredor. Importa realçar que esta interface poderá ser útil para avaliações de cobertura pontual para uma rede sem fios. Desta forma, o utilizador conseguirá adquirir alguma sensibilidade sobre a propagação do sinal no local em estudo. Para proceder à simulação deve-se carregar o ficheiro de configuração adequado, o utilizador tem acesso aos obstáculos do local onde se encontra, podendo usá-los na simulação. Caso ainda não estejam definidos estes elementos para o local em análise, o utilizador poderá sempre usar os que o programa oferece por omissão.

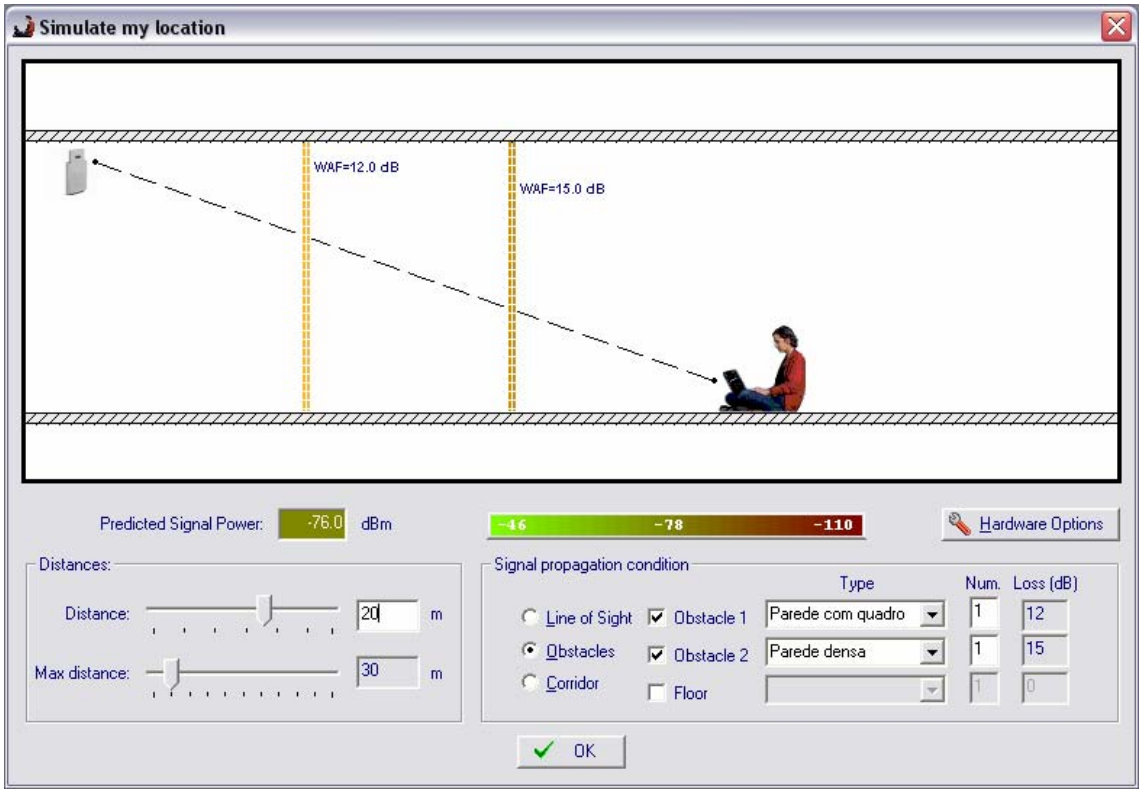


Figura 4.16 Janela de simulação de localização

4.3.7 Optimização de Parâmetros

Com o estudo dos modelos de propagação apresentados no capítulo 2 verificou-se que haveria necessidade de recorrer à optimização de parâmetros associados a paredes, andares, corredores, entre outros possíveis obstáculos, de modo a ajustar os modelos para cada local em estudo. Concluiu-se assim que seria extremamente útil a implementação no *software* de um método sistemático de cálculo desses parâmetros, a partir de um conjunto de medidas inseridas pelo utilizador. Para esse fim escolheu-se o método dos mínimos quadrados, que permite minimizar o erro quadrático médio associado à diferença entre a medida obtida e o valor teoricamente fornecido pelo modelo de propagação em causa. Originalmente apenas o modelo *Multi-Wall* prevê a optimização de parâmetros, uma vez que na sua essência este é um modelo *site-specific* que pressupõe o ajuste dos parâmetros recorrendo a medidas no local objecto de análise. No entanto, como se definiu igualmente o modelo ITU *Modified* com o intuito de optimizar os parâmetros para o modelo recomendado pela ITU sem ir contra as recomendações originais da *Rec. ITU-R P.1238-2* que indicam este modelo como sendo do tipo *site-general,* também aqui se terá optimização de parâmetros. Essa optimização permitirá aumentar a precisão das previsões teóricas.

Para compreensão do método dos mínimos quadrados sugere-se a consulta à referência [Gui1999]. Aí pode encontrar-se a fundamentação teórica do método, assim como um exemplo de aplicação que serviu de base para a implementação do método no programa desenvolvido. Como conclusão importa salientar que este será

possivelmente um dos resultados mais importantes retornados pela aplicação, uma vez que permite ao utilizador a refinação das atenuações dos obstáculos bem identificados no local de instalação da rede e também a criação de novos ambientes para o ITU *Modified* com os parâmetros refinados para o ambiente em análise. Na fase de simulação estes permitirão ter maiores certezas sobre o nível de sinal expectável em cada ponto do local em estudo e, deste modo, a definição de localizações para os pontos de acesso da rede com menor margem de erro. Facilmente se comprova que um modelo com parâmetros refinados é mais preciso, obtendo-se gráficos com variabilidade muito menor em torno da recta onde a potência medida é igual à potência prevista (gráficos do tipo do representado na figura 4.10). A janela da figura 4.17 é a obtida quando se clica no botão *Optimize* presente na janela da figura 4.2. Os parâmetros dos modelos são optimizados para o log que está aberto, sendo esses valores refinados apresentados nesta janela. Neste caso, verifica-se que a janela apresenta a atenuação optimizada para o único tipo de obstáculo que estaria presente no *log* – valor a ser usado pelo modelo *Multi*-Wall – e o valor optimizado para o parâmetro N do modelo ITU – valor a ser usado para criar um novo ambiente para o modelo ITU *Modified* adequado ao local onde o *log* em questão foi gerado.

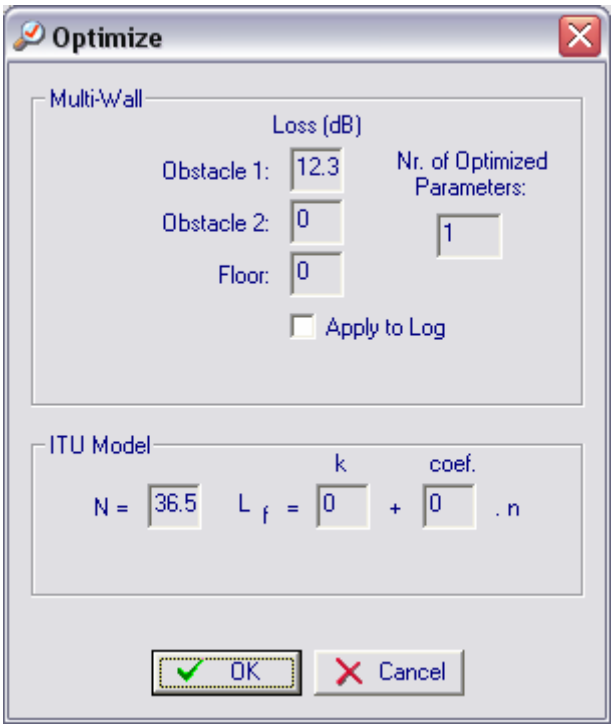


Figura 4.17 Janela de optimização dos parâmetros dos modelos.

4.3.8 Exportação de Dados

Cumprindo a especificação inicial, criou-se a possibilidade de exportação de dados a partir da aplicação, nomeadamente no que diz respeito à informação guardada nos *logs* e à sua representação gráfica. Deste modo, e conforme ilustrado

na figura 4.18, o utilizador pode exportar dados em formato ASCII (*Export->Data*) ou pode guardar os gráficos em formato *bitmap* (*Export->Graph Bitmap*).

A exportação de dados em formato ASCII é extremamente útil pois permite a sua importação por outros programas (como o *Microsoft Excel*) para traçar outro tipo de gráficos ou fazer outro tipo de análises. Antes de o fazer para um ficheiro *sdf* (*SiProPA Data File*), o utilizador tem a possibilidade de indicar quais os dados que pretende ver nesse ficheiro, através da janela mostrada na figura 4.19.

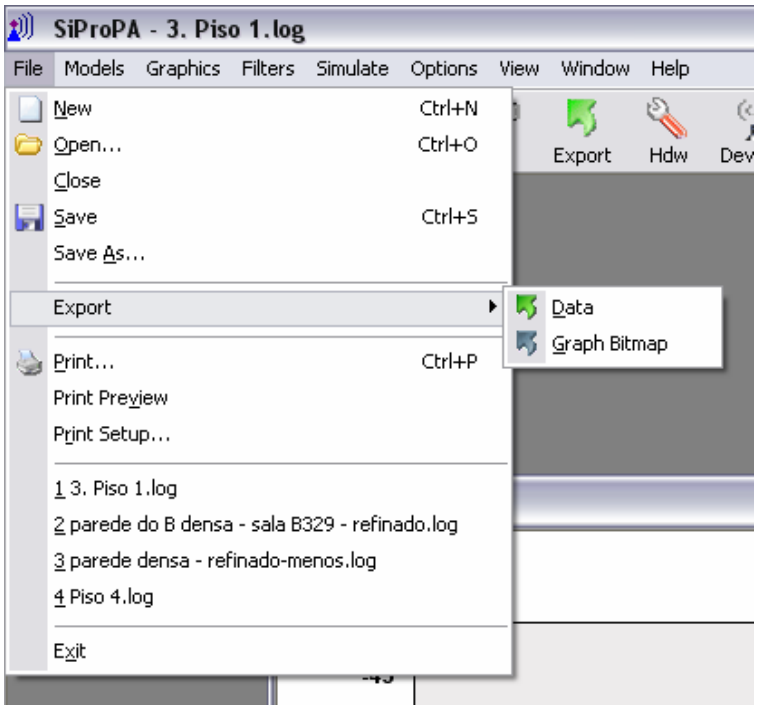


Figura 4.18 Capacidade de exportação de dados da aplicação.

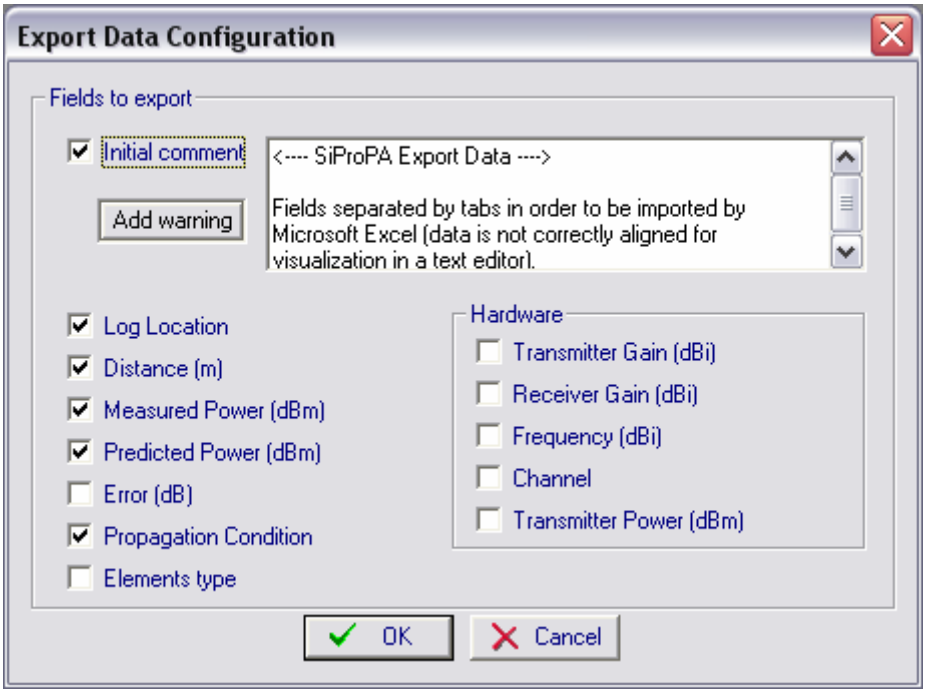


Figura 4.19 Interface de selecção dos dados a exportar.

5 Equipamento Adquirido

De modo a tornar possível a análise da rede no terreno foi necessária a aquisição de equipamento habilitado para tal. Deste modo, na fase inicial do trabalho procedeu-se à avaliação das ferramentas existentes no mercado ao nível de *hardware* e *software* no contexto das redes 802.11b, de modo a que o projecto da rede se torne menos complexo, mais fundamentado e se consigam avaliar várias questões de propagação de sinal essenciais para uma correcta tomada de decisão em fase de projecto. Estas ferramentas terão com certeza grande utilidade numa segunda fase de instalação da rede na Faculdade de Engenharia e, futuramente, noutros estabelecimentos de ensino da Universidade do Porto. Além disso, este tipo de equipamento possibilitará a análise minuciosa da rede já instalada na FEUP, sobretudo quanto ao traçado de diagramas de cobertura da rede e quanto à análise de fontes de interferência provenientes de outros equipamentos a operar na mesma banda não licenciada (2.4 GHz).

Após discussão das várias ferramentas disponíveis em função dos objectivos a cumprir com o seu uso e de consultar artigos de opinião de consultores com vasta experiência nesta área, foi sugerida a aquisição do equipamento *Yellow Jacket Plus* (apresentado na secção 5.1), baseado num *Pocket PC* e do *software* de mapeamento a ele associado – *Bird's Eye* (apresentado na secção 5.2).

5.1 *Yellow Jacket Plus*

Este equipamento vem apresentado na figura 5.1

Figura 5.1 Imagem do *Yellow Jacket Plus*.

A escolha recaiu sobre este equipamento uma vez que se revelou o que tinha melhores características técnicas para a análise das questões de propagação, nomeadamente a tão necessária detecção de interferências, funcionando como um analisador de espectros na banda 2.4 GHz ISM. As principais características são:

1 Análise espectral de toda a banda 2.4 GHz ISM.

2 Detecção de pontos de acesso a operar na sua vizinhança, fornecendo ao utilizador informação sobre o endereço MAC dos mesmos, canais DSSS em que estão sintonizados e potência de sinal recebida de cada um deles.

3 Detecção de *rogue access points*, ou seja, pontos de acesso não autorizados. Esta operação é implementada através de uma lista de APs autorizados definida pelo utilizador. Sempre que o equipamento detecta um AP com endereço MAC ausente da lista ao qual tem acesso é lançado um alarme.

4 Análise de propagação por multipercurso.

5 Análise da utilização da largura de banda para cada canal.

Desde a figura 5.2 até à figura 5.9 são apresentados *screenshots* das diferentes funções do aparelho.

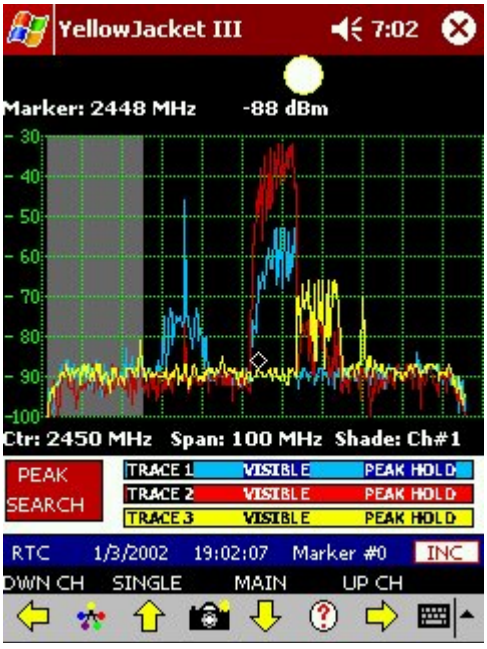


Figura 5.2 Análise de todo o espectro da norma IEEE 802.11b.

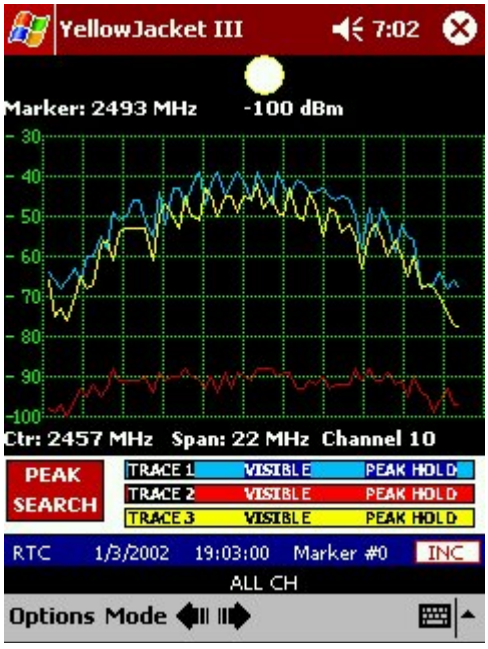


Figura 5.3 Visualização da banda de apenas um canal.

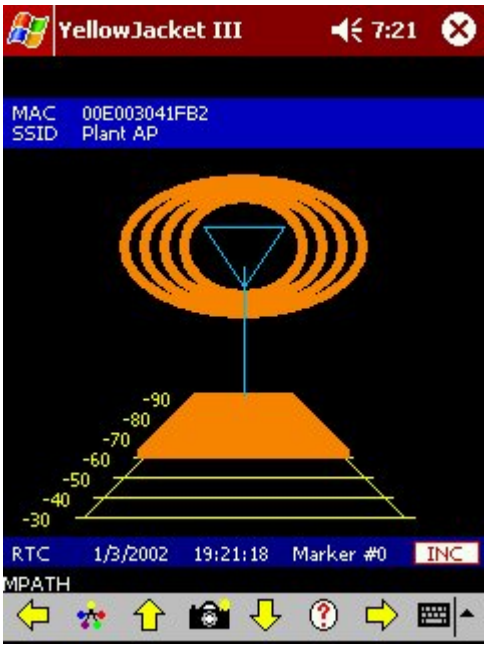


Figura 5.4 Detecção de APs cuja localização é desconhecida.

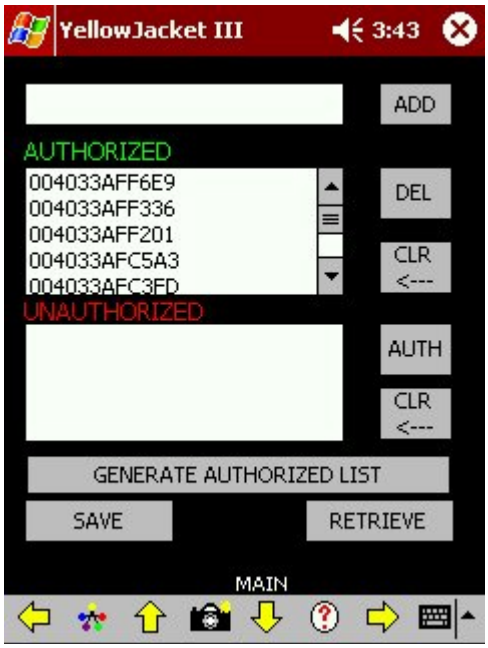


Figura 5.5 Lista de APs autorizados.

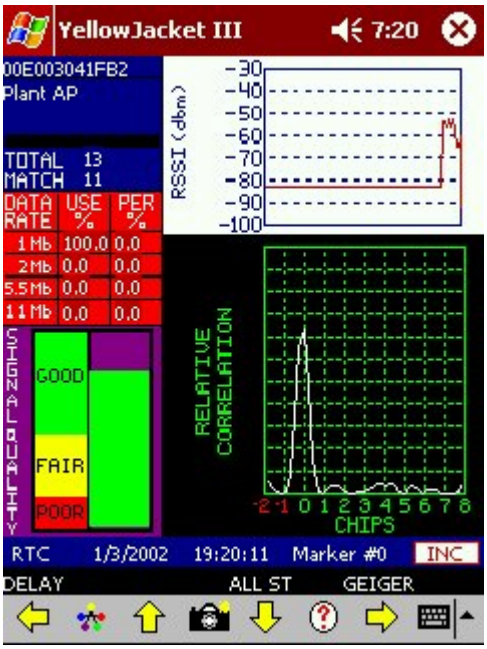


Figura 5.6 Detecção de situações de multipercurso.

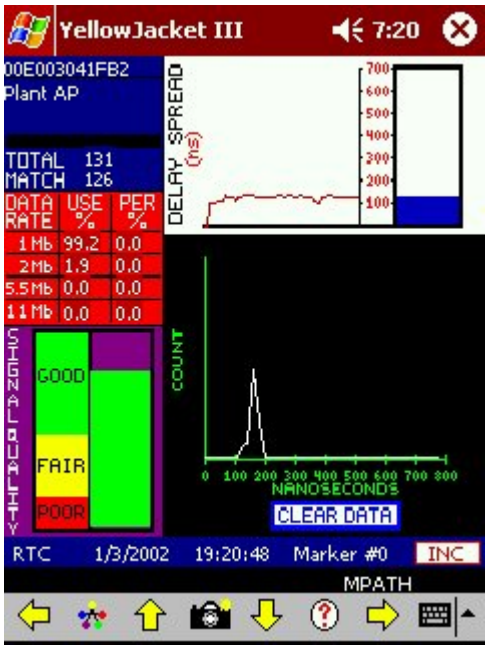


Figura 5.7 Espalhamento temporal do sinal.

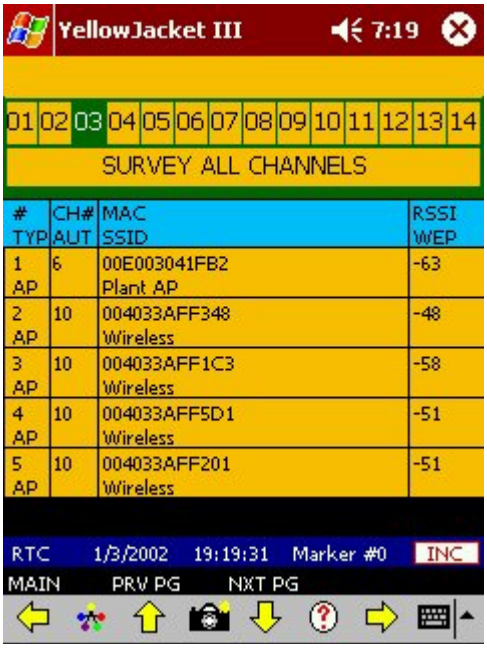


Figura 5.8 Detecção de todos os APs acessíveis e indicação do seu nível de sinal.

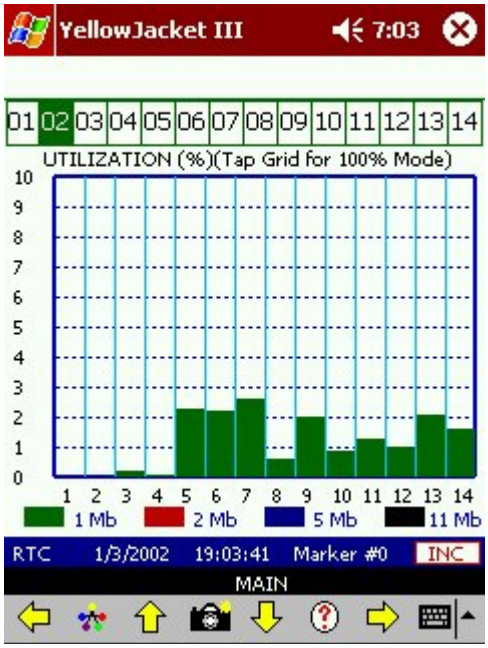


Figura 5.9 Utilização da largura de banda por canal.

O *Yellow Jacket Plus* usa uma antena de comprimento $\frac{\lambda}{2}$ para a banda dos 2,4 GHz. O seu diagrama de radiação vem expresso na figura 5.10. O ganho foi medido em dBd (0 dBd = 2.14 dBi).

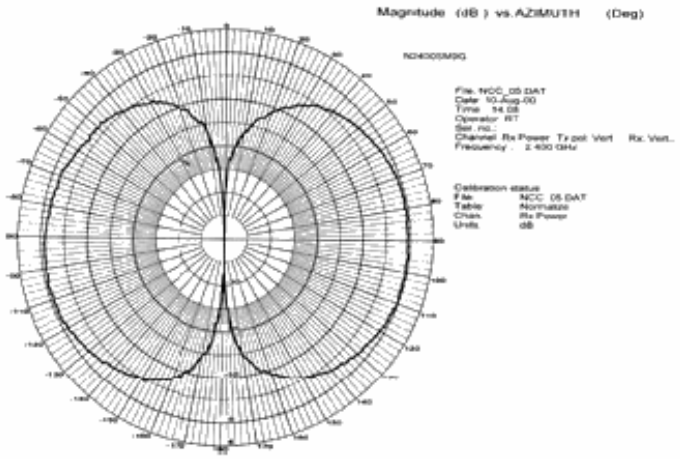


Figura 5.10 Diagrama de radiação da antena usada pelo *Yellow Jacket Plus*.

5.2 *Bird's Eye*

Este *software* funciona associado ao *Yellow Jacket Plus* e serve para fazer o mapeamento da área de cobertura de uma rede na respectiva planta. É constituído

por três pacotes distintos de forma a simplificar a interacção com o *Pocket PC* do *Yellow Jacket*.

Figura 5.11 Símbolo do software de mapeamento *Bird's Eye*.

O primeiro pacote, *Site Creator,* permite a construção da planta correspondente ao local em análise ou importação em formato *bitmap*. Aqui é possível inserir a localização do AP, especificar a escala da planta e introduzir fontes de interferência. O segundo pacote, *Site Surveyor,* corre no *Yellow Jacket* e recebe o ficheiro gerado pelo *Site Creator*. A planta fica assim acessível no equipamento para ser analisada. Isto é feito deslocando-se pelo edifício em questão, navegando correspondentemente na planta e registando nela os pontos onde se fazem medidas. Sempre que o utilizador clica no ponto da planta onde se encontra, o aparelho faz uma análise aos 14 canais da norma e detecta os APs presentes e o nível de sinal recebido de cada um. Essa informação é associada a cada ponto introduzido, analisando-se assim a cobertura de toda a área por onde se navega. O terceiro pacote, *Site Analysis,* que volta a correr num PC normal, recebe o ficheiro do *Yellow Jacket* e interpreta a informação de todas as medidas conforme as opções do utilizador. É possível traçar diagramas de cobertura de todos os APs, de apenas um AP, de cobertura por canal ou grupo, escolher as diferentes cores para os níveis de sinal e a resolução do mapa de cobertura (área de significância para cada ponto medido). O *software* faz uma interpolação dos pontos, fornecendo a informação da área de cobertura da rede naquela zona, conforme exemplo da figura 5.12.

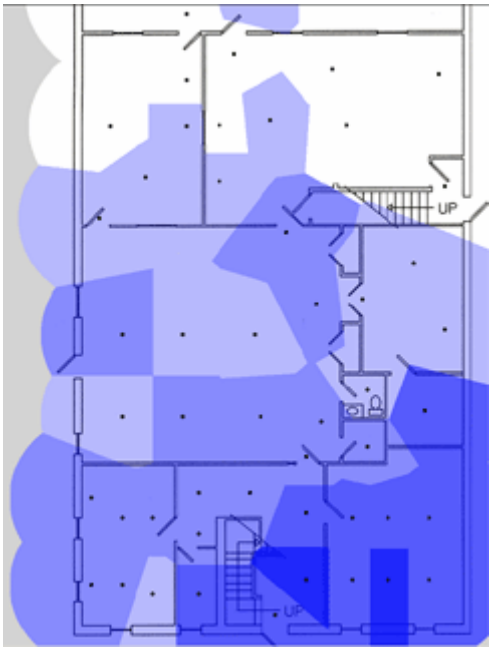


Figura 5.12 Exemplo de um mapa de cobertura gerado pelo *Bird's Eye*.

6 Trabalho de Campo

O trabalho de campo desenvolvido enriqueceu muito este projecto, uma vez que permitiu a utilização da aplicação desenvolvida para comprovar realmente a sua utilidade e permitiu adquirir grande sensibilidade e intuição para as questões de propagação em ambientes *indoor*, além de possibilitar a optimização de parâmetros dos modelos matemáticos para os edifícios da Faculdade de Engenharia. Foi esta conjugação entre desenvolvimento de código, planeamento e projecto de redes e trabalho no "mundo real", isto é, aparelhos e material, medidas e muitos metros percorridos que tornou o projecto tão interessante. Todas as vertentes do projecto iam-se completando e exigindo mais umas das outras.

Uma vez que um dos objectivos deste trabalho foi a utilização de modelos teóricos para a análise de questões de propagação, na fase inicial tornou-se essencial ir para o terreno de modo a validar os mesmos, tomando como local de análise os edifícios da FEUP. Caso os resultados obtidos fossem satisfatórios, esses modelos poderiam ser usados para o trabalho subsequente, nomeadamente para integração no *software* a desenvolver. Escolheram-se como base de modelação para questões de propagação os modelos apresentados na secção 2.1. Estes foram seleccionados, em detrimento dos modelos determinísticos, pelo facto de serem bastante simples de utilizar e exigirem reduzido processamento computacional, apesar dos resultados apresentados serem menos precisos, em relação aos que resultam de modelos que tentam caracterizar um determinado ambiente do ponto de vista electromagnético. Contudo, o facto de haver possibilidade de optimização de parâmetros, tendo em conta medidas realizadas no local em estudo, conduz à obtenção de resultados de melhor qualidade.

Neste capítulo apresentam-se as principais fases relativas ao extenso trabalho de campo realizado. Na secção 6.1 refere-se a fase de validação dos modelos de propagação. Esta fase tornou-se essencial para verificar se as previsões teóricas retornadas pelos modelos eram ou não satisfatórias. De seguida passou-se à fase de caracterização dos edifícios da FEUP em questões de propagação, tendo em conta os parâmetros previstos nos modelos de propagação *indoor*. Esta etapa é apresentada na secção 6.2. Numa fase final do trabalho de campo na Faculdade de Engenharia, tendo já em mãos o equipamento de análise a que estava previsto ter-se acesso no início do trabalho, analisou-se a rede 802.11b já instalada, considerando os vários aspectos descritos na secção 6.3.

6.1 Validação dos Modelos de Propagação

Numa etapa inicial fez-se um conjunto de medidas no terreno de modo a avaliar a qualidade das previsões fornecidas pelos modelos de propagação (modelo *Multi-Wall* e modelo *ITU*). Para tal recorreu-se à utilização de algum material:

1. Ponto de acesso *Cisco Aironet 1100 Series*.
2. Tripé metálico para suporte do ponto de acesso.

3. Bobina de alimentação.
4. Computador portátil com carta de rede Cisco 802.11b.
5. *Software* associado à carta de rede utilizada que permite obter informação sobre o nível de sinal detectado em cada momento (*Aironet Client Utility*).
6. Plantas dos edifícios da Faculdade de Engenharia.

As imagens deste equipamento podem ser encontradas na página *web* do projecto em http://www.fe.up.pt/~ee98130/PSTFC/fotos.html. Uma vez que neste período inicial não foi possível ter acesso ao equipamento de análise de rede pretendido (*Yellow Jacket Plus*), recorreu-se ao uso de uma carta de rede 802.11b juntamente com o *software* fornecido pelo fabricante da mesma (*ACU*) que dá uma indicação do nível do sinal qualitativa e quantitativa (em percentagem ou dBm).

Inicialmente, procedeu-se a um conjunto de medidas em linha de vista a fim de comprovar os modelos para o caso mais simples de propagação. Um exemplo dos logs obtidos nestes testes é o que vem apresentado na figura 6.1.

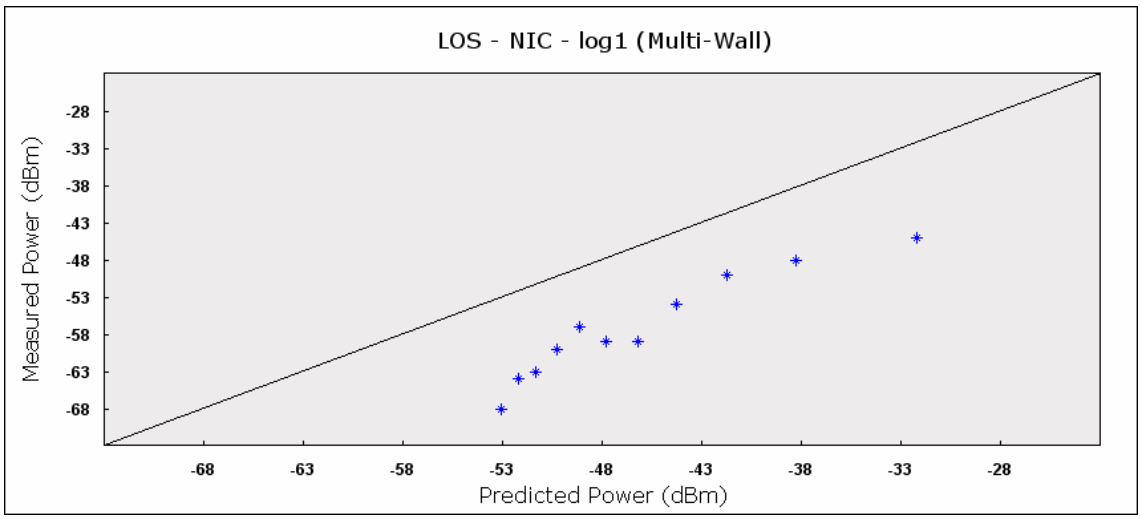


Figura 6.1 Representação gráfica das medidas e previsões obtidas para a propagação em espaço livre (AP configurado com 20 mW de potência).

Como se pode comprovar existe um claro desvio entre as previsões dos modelos e os valores medidos (que estavam cerca de 10 dB abaixo do esperado). Verificou-se que este erro era sistemático a todas as medidas efectuadas. Visto que a propagação com linha de vista em ambientes *indoor* é caracterizada pelos mesmos efeitos que a que se verifica em espaço livre, tal como assumido pelos modelos *indoor* utilizados, este desfasamento deveria estar relacionado com erros de medida. Deste modo, a fim de avaliar a sua proveniência, experimentaram-se pontos de acesso diferentes e variou-se a potência de emissão para cada um destes, tentando ver se o erro deixava de se repetir. Como isto não aconteceu, percebeu-se que, efectivamente, o erro só poderia provir das medidas e não das previsões fornecidas pelos modelos de propagação utilizados. Após ter-se estudado como é feita a medição da potência de sinal recebido nas cartas de rede 802.11 e quais as recomendações da norma para tal, verificou-se que o utilitário *ACU* que se estava a usar para fazer as medidas fornecia indicação sobre a energia recebida e não sobre a

potência de sinal, como se esperava (os dBm apresentados serão relativos a energia e não a potência). No anexo B, demonstra-se que o erro que persistia nas medidas por se estar a medir energia em vez de potência é de 11,9 dB.

Deste modo, corrigindo-se o *log* representado graficamente na figura 6.1 com os 11,9 dB obtém-se o gráfico da figura 6.2. Prova-se assim a validade da conclusão e do modelo, uma vez que as medidas se ajustam à recta onde as potências previstas e efectivamente medida são iguais com erros muito pequenos. Por outro lado, recorrendo ao equipamento adquirido na parte final deste projecto foi possível confirmar que ele já dá a informação correcta da potência (está construído como deve ser), sem existir qualquer necessidade de aplicação de factor correctivo. O anexo C apresenta dois *logs* obtidos com o *Yellow Jacket Plus* com medidas em espaço livre que comprovam que não é introduzido qualquer erro sistemático pelo dispositivo em relação às previsões teóricas retornadas pelos modelos de propagação.

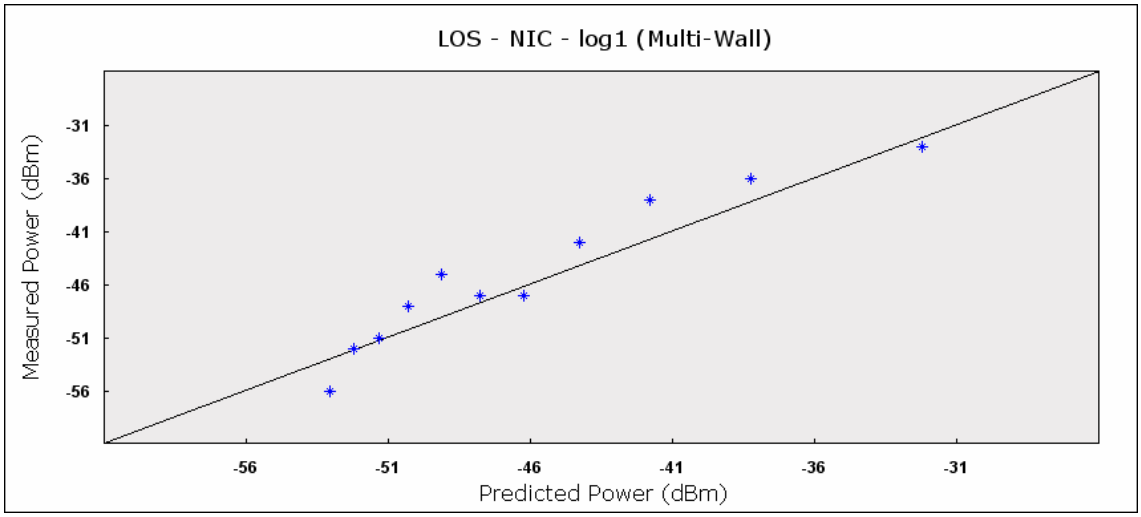


Figura 6.2 Gráfico obtido com introdução de um factor que permite a conversão de energia para potência de sinal.

Após a validação dos modelos para a condição de propagação linha de vista, procedeu-se à medição de níveis de sinal para um vasto conjunto de localizações nos edifícios B e C (Biblioteca) inseridos no *campus* da Faculdade de Engenharia a fim de validar as outras condições de propagação. No caso deste último, recorreu-se aos pontos de acesso já instalados para obtenção de medidas de potência. Para o edifício B, ainda sem pontos de acesso disponíveis, usou-se o AP referido na lista de material apresentada acima.

A metodologia usada para validar os modelos de propagação consistiu na realização de um conjunto de medidas num determinado local de um edifício, com o objectivo de calcular os parâmetros óptimos para esse local. Numa segunda fase aplicaram-se estes parâmetros num outro local do mesmo edifício, caracterizado pelo mesmo tipo de obstáculos, de modo a verificar se a aproximação fornecida pelos modelos de propagação seria aceitável quando comparada com medidas reais efectuadas nessa segunda localização. Os gráficos das figuras 6.3 e 6.4 mostram a comparação entre *logs* para o modelo *Multi-Wall* com medidas feitas com diferentes tipos de obstáculos onde no primeiro caso são usados os parâmetros optimizados

através dessas medidas realizadas e no segundo caso são usados os parâmetros determinados na primeira localização a fim de verificar se são válidos para outra localização com as mesmas características. O gráfico da figura 6.5 representa um *log* obtido no piso 2 da Biblioteca onde o ambiente seleccionado foi o *Office* pois é aquele que tem os parâmetros mais adequados para o *Open Space* que é a biblioteca. Como se pode verificar pela correcta disposição dos pontos no gráfico, este ambiente é adequado e o modelo oferece previsões fiáveis. Pelos resultados apresentados concluiu-se que é possível, optimizando os modelos matemáticos para o local em análise em cada momento, atingir previsões teóricas bastante razoáveis. Foram desta forma validados os modelos utilizados.

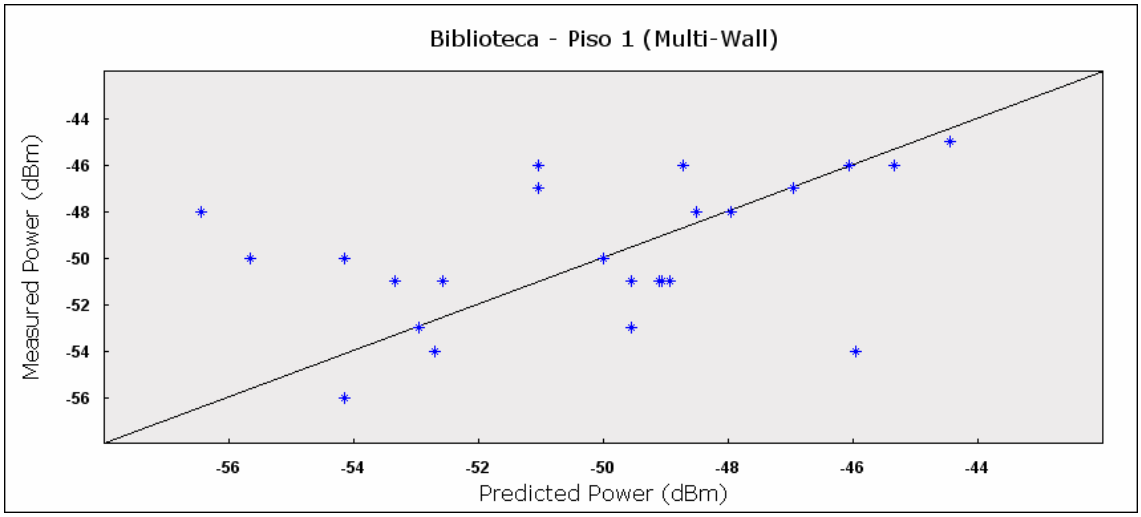


Figura 6.3 Representação gráfica do *log* obtido no piso 1 da biblioteca para o modelo *Multi-Wall* com parâmetros refinados.

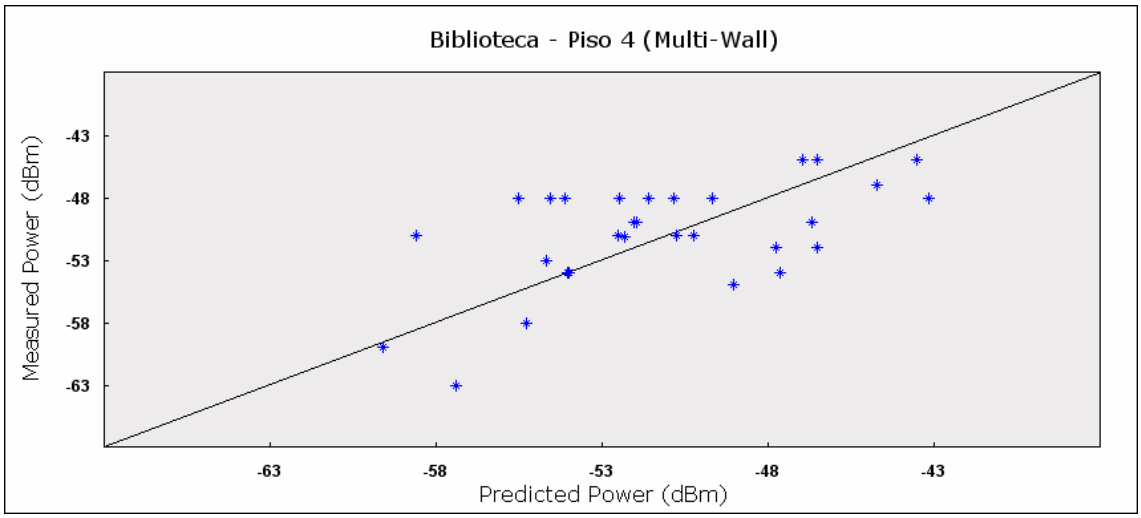


Figura 6.4 Representação gráfica do *log* obtido no piso 4 da biblioteca para o modelo *Multi-Wall* com os parâmetros obtidos a partir do log anterior.

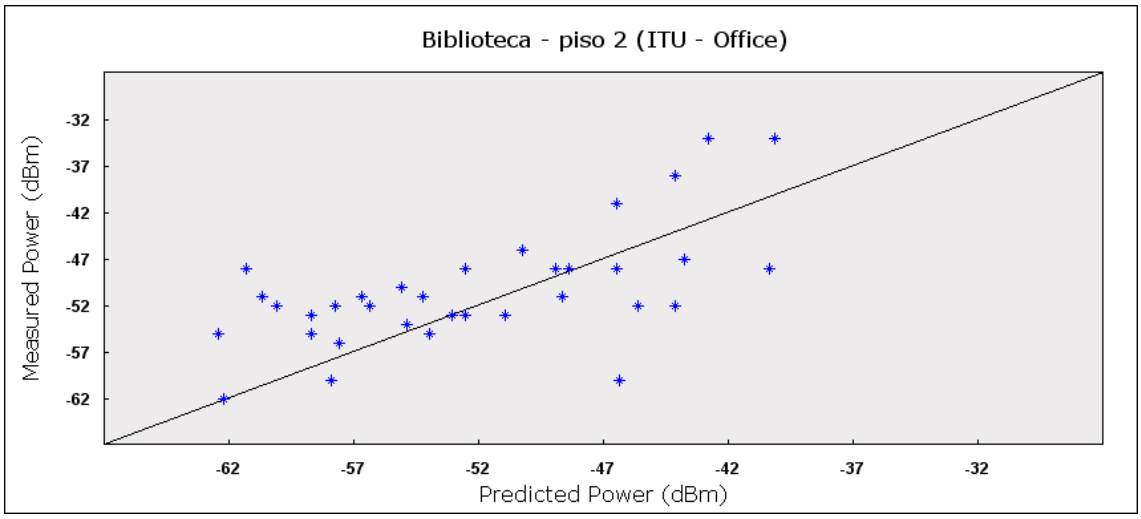


Figura 6.5 Representação gráfica obtida para o modelo ITU.

6.2 Caracterização dos Edifícios da FEUP em Questões de Propagação

Com o objectivo de refinar os parâmetros dos modelos de propagação, fizeram-se várias medidas, tentando isolar cada elemento característico do ambiente em estudo. Esses *logs* foram depois usados para optimizar o parâmetro correcto, associado a cada um dos referidos elementos. Os valores obtidos vêm expressos nas tabelas 6.1 e 6.2 com o objectivo de se apresentarem como base para futuras simulações que se queiram efectuar nos edifícios B e C da FEUP, alvo de análise ao longo deste trabalho. A primeira tabela apresenta os parâmetros optimizados para elementos do edifício B, enquanto a seguinte aponta para a caracterização de elementos pertencentes ao edifício da Biblioteca. Os logs que deram origem, por refinamento, a estes parâmetros vêm incluídos no anexo D.

Elemento	Atenuação
Parede densa	15 dB
Parede com quadro	12 dB
Andar entre salas	32 dB
Andar entre corredores	37 dB
Corredor estreito	N = 17
Corredor largo	N = 21

Tabela 6.1 Parâmetros optimizados para os elementos do edifício B.

Elemento	Atenuação
Coluna central	6.5 dB
Coluna principal	7.5 dB

Tabela 6.2 Parâmetros optimizados para os elementos da Biblioteca.

Analisando os resultados obtidos é de salientar o facto de os andares do edifício B introduzirem bastante atenuação no sinal, principalmente quando comparado com o valor *standard* proposto pelo modelo (18,9 dB). Tal facto deve-se à enorme espessura e densidade dos andares. Prova-se assim que o refinamento dos parâmetros é indispensável para a obtenção de previsões minimamente condizentes com o sítio em análise. Por outro lado, verifica-se que o andar entre corredores atenua o sinal um pouco mais que o andar entre salas. Isto é devido ao revestimento metálico que o tecto dos corredores do edifício B tem, residindo aí os 5 dB a mais de atenuação. Relativamente aos corredores, é curioso verificar que o parâmetro N obtido para os corredores estreitos do B (2.º e 3.º pisos – foto no anexo D) é inferior ao que caracteriza a linha de vista (20). Este facto confirma o efeito de guia de onda que os corredores têm, oferecendo melhores condições para a propagação do sinal por meio de reflexões que o próprio espaço livre (quanto menor o N, melhor sinal se obtém para a mesma distância). Relativamente ao corredor largo (piso 0), verifica-se que é caracterizado como sendo, praticamente, linha de vista, uma vez que uma parede lateral é constituída por vidro, não oferecendo grandes condições de reflexão ao sinal. O facto de ser muito largo leva também a concluir que, neste caso, o efeito de corredor não se verifica.

No que diz respeito aos parâmetros obtidos para as colunas da biblioteca, poder-se-á pensar que, sendo elas extremamente densas, a sua atenuação deveria ser maior. De facto isso deveria suceder se fosse pretendido caracterizar isoladamente do ambiente em que se insere esse elemento. Como essas colunas se incluem num ambiente aberto e o sinal tem sempre boas condições de propagação, esses valores de atenuação indicam a atenuação esperada quando essa coluna aparece no percurso do sinal no contexto do ambiente da biblioteca. As medidas que levaram a essa optimização contemplam todos os efeitos de propagação lá existentes pelo que estes valores são os mais úteis para simular rigorosamente a biblioteca por referirem-se ao contexto do local e não ao seu valor real de atenuação, como se fossem uma parede contínua.

Em relação ao modelo ITU, foram criados dois novos ambientes para o ITU *Modified* denominados de Edifício B e Biblioteca. Os parâmetros N a usar para esses ambientes foram refinados com a aplicação e são apresentados na tabela 6.3.

Ambiente	N
Biblioteca	26
Edifício B	40

Tabela 6.3 Novos ambientes criados para o modelo ITU *Modified*.

Confirma-se outra vez que a Biblioteca tem excelentes condições de propagação de sinal por ser um espaço aberto (não tem paredes nas áreas de utilizador) por o valor do parâmetro N obtido ser baixo.

Uma vez criados os ficheiros de configuração do SiProPA com estes parâmetros configurados, é possível fazer simulações e previsões teóricas para o edifício B e para a Biblioteca rigorosas e fidedignas, sem ser necessário o recurso a nova recolha intensiva de medidas para testar a localização de mais algum AP ou para resolver problemas com a rede. A aplicação pode, uma vez caracterizados os ambientes em estudo, fornecer um apoio importante nesse sentido.

Os resultados para a optimização dos parâmetros que se apresentaram nesta subsecção obtidos a partir dos *logs* presentes no anexo D serão validados e confirmados no capítulo 7 – Avaliação do Trabalho.

6.3 Análise da Rede Instalada na FEUP

Na parte final deste projecto procedeu-se à análise da rede 802.11b já instalada na FEUP recorrendo ao equipamento que entretanto chegou. Este atraso limitou bastante o tipo de estudo a efectuar. Procurou-se, contudo, realizar uma análise cuidada aos locais onde já existem pontos de acesso instalados, avaliando também os locais que, não tendo actualmente instalada qualquer infra-estrutura deste tipo, irão futuramente receber um ou mais APs.

Na secção seguinte apresentam-se algumas considerações sobre o projecto da rede 802.11b da FEUP relativas, sobretudo, a problemas relacionados com o projecto inicial. Antes de encerrar esta secção com a descrição de possíveis fontes interferentes que poderão afectar o desempenho da rede já instalada ou que deverão ser consideradas na análise de localização dos pontos de acesso a instalar na segunda fase, referem-se exemplos de diagramas de cobertura obtidos para o edifício da biblioteca pertencente à Faculdade de Engenharia.

6.3.1 Contribuição para o Projecto

Na posse do equipamento apresentado no capítulo 5, percorreu-se o *campus* da Faculdade de Engenharia a fim de detectar todos os pontos de acesso já instalados e, desta forma, confirmar o projecto que estava feito nas plantas. Utilizou-se a funcionalidade de detecção de pontos de acesso em operação e detecção de APs não autorizados proporcionadas pelo equipamento (figuras 5.4 e 5.5). À medida que se iam detectando novos pontos de acesso estes eram adicionados à lista de autorizados. Assim, por cada novo ponto de acesso encontrado ainda não autorizado, o aparelho lançava um alarme que permitia identificar o endereço MAC desse AP não autorizado, usando-se depois a função expressa na figura 5.4 para detectar o AP (avisos sonoros e visuais à medida que a distância ao AP vai diminuindo). Seguindo este processo, detectou-se todos os pontos de acesso em operação. No anexo E apresenta-se uma tabela com todos os pontos de acesso em operação nos diversos edifícios da FEUP. Nesta constam os respectivos endereços MAC, SSID, canal de operação, potência de emissão e local onde o AP foi detectado.

Ao longo da análise referida no parágrafo anterior verificaram-se alguns problemas relativos ao projecto inicial da rede já instalada, nomeadamente em termos de planeamento de frequências e configuração dos canais DSSS nos pontos de acesso, que agora se apresentam:

1. Interferência entre o ponto de acesso com endereço MAC 00028A210E6A (AP do edifício da administração na entrada – canal 1) e todos os que estão

previstos serem instalados no corredor principal do edifício B (andar 0) com o mesmo canal (2 Aps – um no início do corredor e outro no fim do corredor). Existência também de interferência entre estes 2 Aps configurados para o mesmo canal. No corredor principal do edifício B existirão zonas onde se receberá em perfeitas condições sinais de 3 Aps no canal 1 caso o projecto se mantenha.

2. Interferência entre o ponto de acesso do edifício F (departamento cujo edifício está mais próximo do edifício B) e o AP mais próximo a instalar no corredor principal do edifício B (ambos no canal 6)..

3. Configuração de canal 802.11b errada para o ponto de acesso com endereço MAC 00028A1F9782, instalado no edifício I, sala I103.

4. Configuração de canal 802.11b errada para o ponto de acesso com endereço MAC 000281F978A, colocado no piso 4 do edifício da biblioteca.

Nesta fase concluiu-se que o sinal proveniente do AP em operação no edifício da administração se propaga "abundantemente" pelo corredor principal do edifício B, uma vez que está instalado numa zona alta do edifício da administração, tendo praticamente linha de vista para todo o corredor, e está configurado com 50 mW. Verificou-se que no local de instalação futura do ponto de acesso do corredor mais próximo do edifício A, que estará configurado também no canal 1, se recebe um nível de sinal da ordem dos -62 dBm, junto aos anfiteatros B001, B002, e B003 um nível de potência a rondar os -75 dBm e no local de instalação do ponto de acesso mais afastado do edifício A, também configurado para o canal 1, -65 dBm. Tem-se assim que os sinais destes 3 APs que usam o mesmo canal irão interferir, podendo prejudicar gravemente a *performance* da rede. As soluções possíveis para resolver este problema serão:

- **Diminuição da potência de emissão do AP presente no edifício da administração para 20 mW**, com o intuito de reduzir a interferência provocada nos pontos de acesso a instalar no corredor do edifício B. Com esta nova configuração o nível de sinal virá à partida reduzido em 7 dB, face ao cenário anterior. As potências de emissão previstas, no projecto inicial, para os APs a instalar no referido corredor poderão permanecer iguais.

- **Adopção de um planeamento a quatro frequências**, tal como foi definido no edifício da biblioteca, para os APs a disponibilizar no corredor principal do edifício B. Assim, tendo em conta o problema da interferência proveniente do ponto de acesso instalado na administração e aquela que tem origem no AP em operação no edifício F, define-se o seguinte planeamento de frequências: canal 9, canal 13, canal 5, e canal 1, correspondendo a ordem de apresentação dos canais àquela pela qual aparecem os pontos de acesso quando se percorre o referido corredor, partindo do edifício A. Caso não se pretenda alterar os canais do

corredor, é de considerar a reconfiguração dos canais dos APs do edifício A para que o canal do AP da entrada fique o canal 11, que é o do AP do corredor que aparece mais longe. Consegue-se assim reduzir ainda mais a interferência próxima dos APs do canal 1.

Relativamente ao ponto 2, detectou-se que o ponto de acesso instalado na sala F110 (edifício F) está próximo de uma janela virada para o edifício B, o que fará com que o sinal desse AP interferia com um dos pontos de acesso previstos para o corredor do edifício B. Mediu-se no local de instalação deste último um nível de potência proveniente do primeiro igual a -70 dBm. O problema neste caso é o mesmo identificado anteriormente visto que os dois pontos de acesso estão configurados para o mesmo canal DSSS (canal 6). Caso se adopte a solução do planeamento a quatro frequências para o corredor, este problema fica resolvido.

Os pontos 3 e 4 alertam para o facto de existirem duas configurações de canal erradas, tendo em conta, mais uma vez, aquilo que foi definido nas plantas da FEUP fornecidas aos autores deste trabalho. No caso do ponto 4 o erro de configuração mencionado conduz à interferência entre o AP do piso 4 e os instalados nos pisos 1 e 2 da biblioteca, devido ao facto de a propagação do sinal no local aí referido ser favorecida pelo túnel existente na parte central do edifício. Uma vez que este foi erradamente configurado no canal 3 em vez do 13 e os restantes estão a operar nos canais 1 e 5, existirão inevitavelmente problemas, já que o canal 3 definido na norma 802.11b exibe sobreposição parcial em relação aos outros dois (figura A.4 em anexo).

Tendo em conta os problemas mencionados nos pontos 1, 2, 3 e 4, procura-se apresentar, de seguida, uma solução integrada que permita ultrapassá-los e, deste modo, evitar maus desempenhos futuros da rede *wireless* nos edifícios A (administração) e B da Faculdade de Engenharia. As acções a tomar aparecem abaixo discriminadas:

A definição do canal 13 para o AP mais próximo do edifício F pretende evitar a interferência que se verificava com o projecto anterior, em que ambos os pontos de acesso, do edifício B e F, estavam configurados no canal 6. A adopção de 4 canais para o corredor principal do edifício B tem como objectivo minimizar a interferência entre APs presentes neste último. Finalmente, a redução na potência de emissão do ponto de acesso a operar no edifício da administração permite baixar substancialmente a interferência provocada no ponto de acesso a instalar ao fundo do mesmo corredor, situação que se verifica no projecto inicial.

A solução apontada apresenta como desvantagem a ligeira sobreposição espectral entre os canais adjacentes definidos para os APs a instalar no corredor do edifício B. No entanto, esta não será significativa, uma vez que acontece nos extremos das bandas definidas para os canais DSSS, e permitirá evitar níveis de interferência elevados entre os pontos de acesso a instalar naquele local, que se verificariam caso se fizesse o planeamento recorrendo apenas aos 3 canais *standard* (1, 6, e 11). Como principal vantagem aponta-se o facto de não ser necessário reconfigurar frequências de operação para os APs já instalados quer no edifício A quer no edifício F, bastando apenas alterar a potência de emissão no caso do ponto de acesso do edifício A, a operar na vizinhança do edifício B.

Em conclusão, importa dizer que os aspectos focados ao longo da análise aqui apresentada constituem apenas exemplos de possíveis problemas relacionados com o projecto inicial da rede sem fios 802.11b da Faculdade de Engenharia e que se podem perceber melhor com uma análise cuidada com as plantas à frente. Pretende-se deste modo alertar para a correcção dos problemas que se destacaram e proporcionar um ponto de partida para uma análise mais cuidada àquelas instalações, de forma a confirmar e melhorar o projecto inicial.

6.3.2 Análise de Cobertura

A partir da análise efectuada à rede *wireless* da FEUP conseguiu-se, recorrendo ao *software Bird's Eye* apresentado no capítulo 5, o traçado de alguns diagramas de cobertura da rede já instalada na FEUP. A título de exemplo, apresenta-se o mapa de cobertura do piso 3 da biblioteca, uma vez que este será, num futuro muito próximo, um dos edifícios com maior utilização da rede sem fios 802.11b. Deste modo, a figura 6.7 apresenta um exemplo de um mapa de cobertura obtido para o referido edifício.

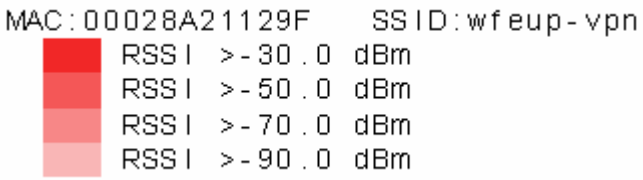


Figura 6.6 Legenda do mapa de cobertura.

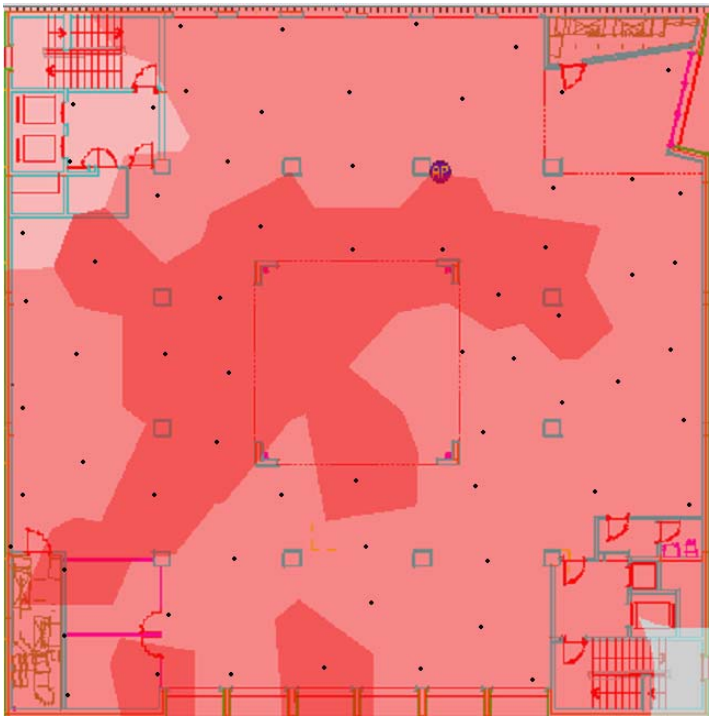


Figura 6.7 Diagrama de cobertura do piso 3 da Biblioteca obtido para o ponto de acesso instalado nesse mesmo piso (canal 9).

Estes diagramas de cobertura são bastante úteis, tanto na avaliação da cobertura de uma rede já instalada, como no projecto de uma nova rede sem fios quando já se têm definidas as localizações preliminares dos pontos de acesso. Com base nestes mapas será possível, na fase de projecto, definir qual a cobertura esperada para a WLAN, considerando as localizações dos APs identificadas à partida. No entanto, o esboço destes diagramas exige um conjunto exaustivo de medidas no terreno de modo a fornecer ao *software Bird's Eye* a informação indispensável para o seu desenho.

Para além da cobertura que o AP do piso 3 providencia ao seu próprio piso, é curioso verificar qual a cobertura que os APs dos outros pisos dão ao piso 3. Deste modo, as figuras 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11 indicam essa cobertura. Para os APs dos pisos imediatamente acima e abaixo (pisos 4 e 2), verifica-se que a cobertura é muito boa, sobretudo em torno do centro devido ao efeito de túnel que existe na biblioteca, o que permite excelente propagação entre pisos e que levou a que o planeamento de frequências fosse feito com os canais 1, 5, 9 e 13, aceitando-se uma pequena sobreposição espectral. Verifica-se também que a cobertura do AP do 1.º piso ainda é aceitável, nomeadamente na zona central pelos efeitos referidos e, surpreendentemente, ainda se detectou uma zona com sinal de um dos APs do piso 6 da biblioteca, que atravessou dois andares e chegou ao 3.º piso, embora de forma negligenciável.

Este tipo de mapas de cobertura pode ser traçado separadamente, como é o caso, ou em conjunto numa única planta, providenciando informação valiosa sobre a rede.

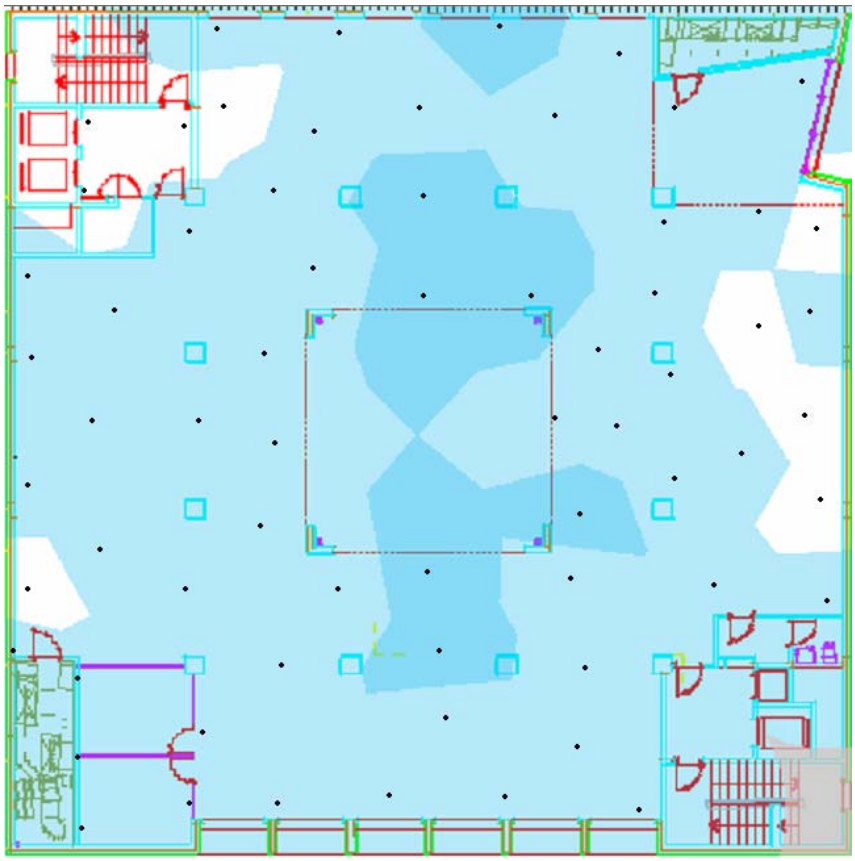


Figura 6.8 Mapa de cobertura do AP do piso 4 (canal 13) no piso 3.

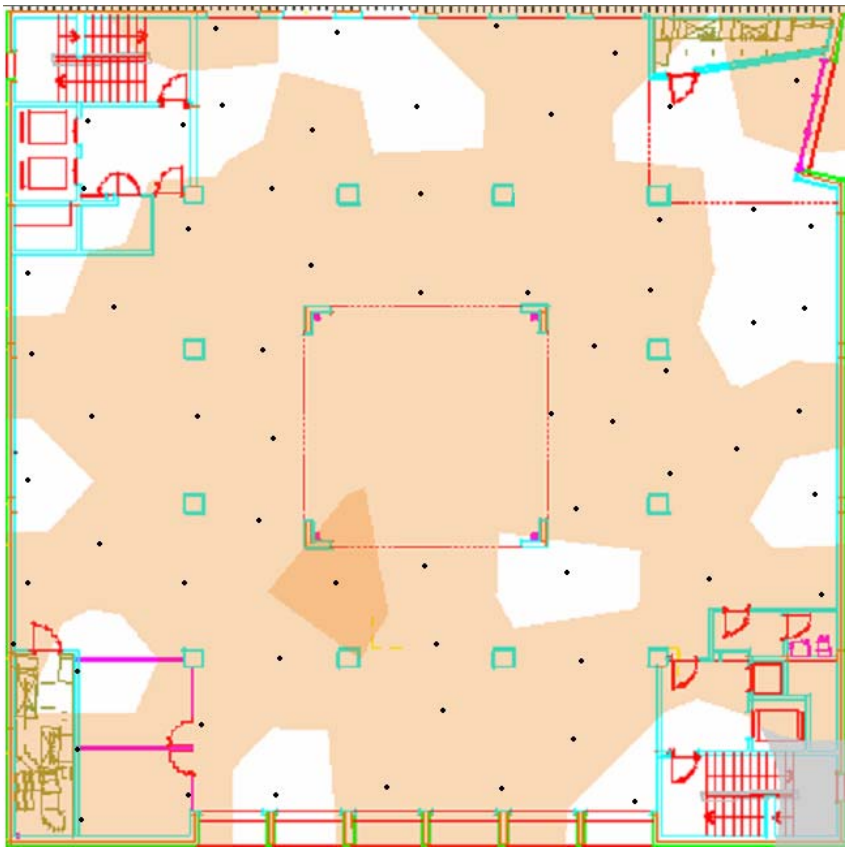


Figura 6.9 Mapa de cobertura do AP do piso 2 (canal 5) no piso 3.

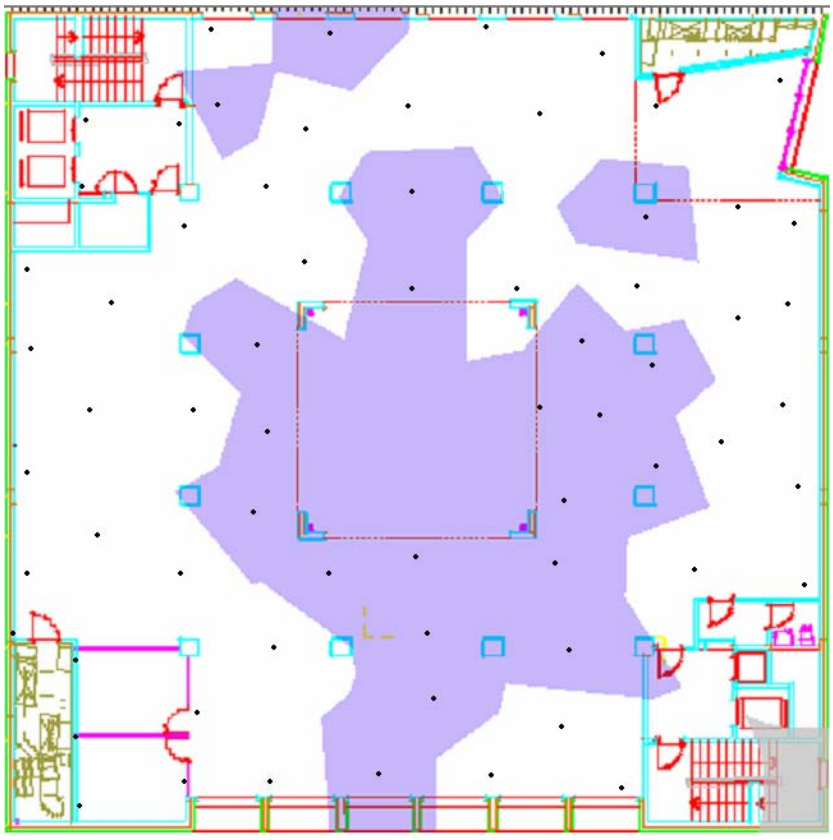


Figura 6.10 Mapa de cobertura do AP do piso 41 (canal 1) no piso 3.

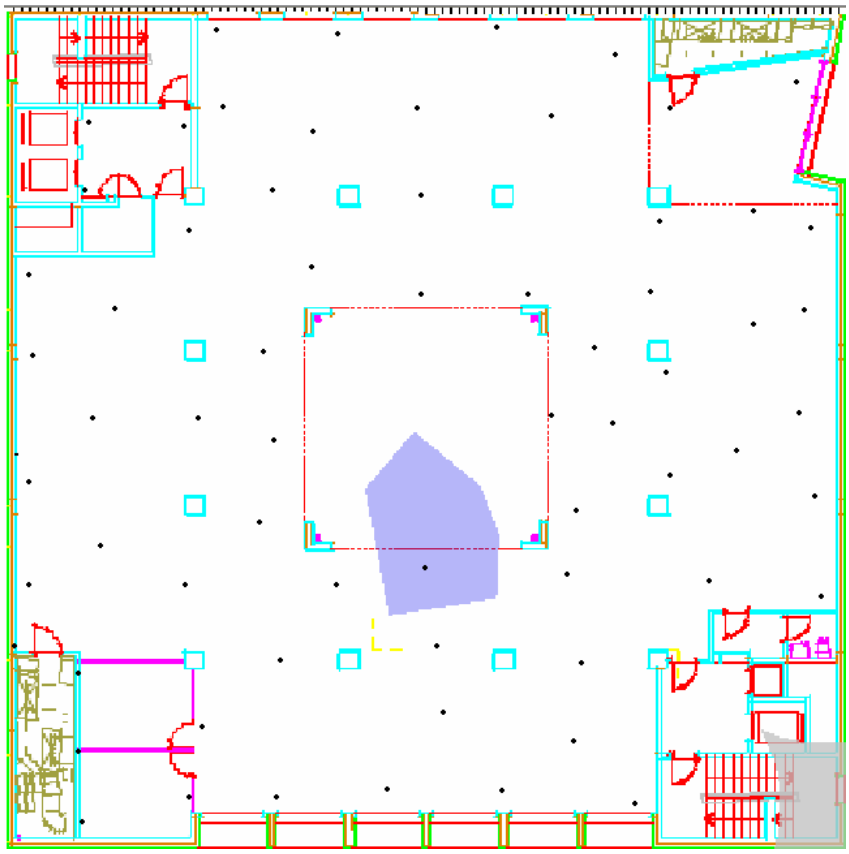


Figura 6.11 Mapa de cobertura do AP do piso 4 (canal 13) no piso 3.

7 Projecto de Rede sem Fios para o Departamento de Botânica

No decorrer deste trabalho surgiu a possibilidade, num intercâmbio de conhecimentos e experiências entre a FEUP e o Departamento de Botânica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), de projectar a rede sem fios IEEE 802.11b a instalar no edifício desse departamento, situado no Jardim Botânico do Porto e de um outro, ligado ao curso de Arquitectura Paisagista. Obviamente que esta experiência constituiria uma enorme mais valia para o projecto de fim de curso, sendo uma forma de testar o *software* desenvolvido e de utilizar o *Yellow Jacket Plus* com o *software* de análise *Bird's Eye* para projectar da melhor forma a rede a instalar nesse edifício. Por outro lado, possibilitaria o teste dos modelos teóricos para um edifício com características totalmente diferentes dos da FEUP e a utilização do SiProPA para determinação das condições de propagação desse edifício, enriquecendo-se assim este trabalho com simulações em ambientes diferentes. Desta forma, empreendeu-se algum tempo e esforço na execução de um completo *site survey* onde foram realizadas as etapas enunciadas no capítulo 4, e numa posterior análise do projecto inicial, na simulação da cobertura da rede esperada e de questões de propagação associadas ao edifício. Assim sendo, este capítulo poderá ser visto como um *case study* de todas as considerações, métodos, processos e ferramentas enunciados nos capítulos precedentes.

O projecto da rede *wireless* foi executado em duas fases. A primeira, apresentada na secção seguinte, descreve a primeira visita ao local em estudo, onde se percebeu os requisitos pretendidos para a rede, as características do edifício e onde se elaborou o projecto de acordo com os resultados do *site survey*. A segunda fase, apresentada na secção 7.2, consiste numa nova visita ao local, desta vez usando um AP portátil para simular a localização dos APs projectados e verificar a área de cobertura esperada, confirmando as considerações obtidas usando o simulador de propagação desenvolvido no âmbito deste projecto.

7.1 Site Survey e Projecto Inicial da Rede

O projecto da rede *wireless* IEEE 802.11b foi executado para a **Casa do Campo Alegre** (figura 7.1), edifício central do Jardim Botânico do Porto, actualmente a ser usado pelo Departamento de Botânica da FCUP. A sua edificação remonta a 1875, quando o brasileiro João Silva Monteiro manda demolir a velha casa que pertencia à quinta aí existente desde o século XVIII e constrói um palacete, passando a propriedade a denominar-se Quinta do Campo Alegre em detrimento do nome proveniente de um antigo dono (Quinta de Salabert). Em 1895 o edifício é renovado por João Henrique Andresen Júnior, que a havia adquirido. Foi aqui que nasceu Sophia de Mello Breyner Andresen, cuja magia do edifício, com todos os seus recônditos cantos e recantos e os magníficos jardins que hoje constituem o Jardim Botânico serviriam de inspiração aos seus fabulosos contos. Em 1949 a quinta foi adquirida pelo Estado, sendo integrada na Universidade do Porto em 1951. Com

esta pequena apresentação, percebe-se que o ambiente de propagação esperado para este edifício será diferente do encontrado nas análises feitas até então nos edifícios da FEUP, dado a idade, estado de conservação, materiais utilizados na construção e estilo arquitectónico do edifício.

Foi ainda analisado um outro edifício denominado de **Casa de Salabert** onde existe um auditório e uma sala de exposições e que é utilizado pelo curso de Arquitectura Paisagista. Este edifício foi totalmente remodelado muito recentemente, pelo que apresenta características de construção muito mais próximas dos edifícios da FEUP.

Na primeira visita ao local em estudo (onde participaram os autores do trabalho e o Eng.º Carlos Oliveira, um dos seus orientadores) procedeu-se à elaboração de um *site survey* rigoroso para o edifício central cumprindo as etapas de forma sistemática. Deste modo, realizou-se uma reunião inicial com o Prof. Luís Calafate (Departamento de Botânica), o Prof. Barreto Caldas (Director do Departamento) e o engenheiro Álvaro Dória (responsável pela rede física), de forma a definir os requisitos da rede (etapa 1), obter as plantas do edifício (etapa 2) e identificar as áreas de utilizador (etapa 3), apresentadas na secção seguinte.

Figura 7.1 Casa do Campo Alegre (Departamento de Botânica da FCUP)

7.1.1 Definição de Requisitos, Obtenção dos Diagramas, Identificação das Áreas de Utilizador

Conversando com os futuros utilizadores da rede e conhecedores do local, percebeu-se as suas intenções, qual a utilização esperada para a rede e a área de cobertura desejada prevendo desde já a existência de equipamentos capazes de constituir fontes de interferência para a WLAN. Analisando as plantas verificou-se,

ainda antes de uma inspecção visual do local, a disposição das diferentes divisões do edifício, o número de andares a cobrir e as zonas prioritárias para acesso à rede *wireless*, onde é esperado maior número de utilizadores. Estas plantas estão incluídas no anexo F (secção 1), estando nelas assinaladas as zonas prioritárias. De salientar que as plantas referem-se a uma futura redefinição da utilização das salas, após obras de remodelação e conservação do edifício. O projecto foi feito já tendo em conta esta nova disposição das áreas de utilizador.

Por outro lado, tentou-se perceber até que ponto o financiamento disponível para a instalação da rede seria suficiente para satisfazer as expectativas que eram apresentadas. Deste modo, concluiu-se que o financiamento para os dois edifícios daria para a colocação de 6 APs na situação mais favorável ou para 4 APs na situação menos favorável. Uma vez que é necessário cobrir dois edifícios, ficaria um máximo de 4 APs para o central e um máximo de 2 APs para a Casa de *Salabert*. Com estes dados, e dada a área a cobrir, este projecto será sempre um projecto de maximização de cobertura de rede, utilizando potências mais elevadas e estudando localizações estratégicas para os APs para se obter os resultados desejados.

7.1.2 Inspecção Visual do Local

Após se ter percebido os requisitos da rede e se ter uma noção dos espaços prioritários para a rede a instalar, procedeu-se a uma inspecção visual do local, percorrendo-se os três andares, sempre a pensar numa possível localização preliminar dos pontos de acesso e na detecção de possíveis fontes de interferência. Percorrendo o edifício, percebeu-se que o edifício é bastante antigo, com um tipo de parede bastante grossa mas não muito densas, com pisos de soalho e muitas portas e janelas a ligar as diferentes divisões. Este último facto dá a indicação que o sinal poderá propagar-se facilmente de divisão em divisão. Verificou-se também que a parte central do piso 1 não tem separação da parte central do piso 2, à semelhança do que acontece na Biblioteca da FEUP, o que também indica que poderá haver fácil propagação do primeiro para o segundo andar. Por outro lado, observou-se que o andar que separa o piso 1 da cave é mais denso que o que separa o piso 1 do piso 2. Na cave, verificou-se a existência de alguns corredores, o que poderá levar o sinal a propagar-se ao longo dos mesmos (efeito corredor). A cave tem uma estrutura totalmente diferente dos pisos superiores, contendo muitas pequenas divisões, o que introduz muitos obstáculos na propagação do sinal em pontos distantes. Nesta inspecção do edifício foi ainda sendo confirmado com o engenheiro Álvaro Dória a localização dos bastidores da rede física de forma a ter uma noção dos locais onde a colocação dos APs lhes permitisse uma fácil ligação. Concluiu-se que existiria facilidade de ligação em praticamente todo o edifício, pelo que este factor deixou de ser uma condicionante para o projecto.

7.1.3 Caracterização das Condições de Propagação do Edifício em Análise

Uma vez feita a inspecção visual e ter sido tomado conhecimento de todos os locais onde é esperada cobertura, partiu-se para medidas de propagação do sinal a

fim de caracterizar as condições de propagação esperadas. Aqui importa referir que este passo não é especificado na realização de um *site survey* standard ou, de outra forma, ultrapassa os objectivos do *site survey*. Nesse *site survey,* após a definição da localização preliminar dos pontos de acesso e escolha da potência e canal para cada AP, a verificação dessa localização é feita colocando o ponto de acesso no local projectado e verificando se o sinal chega em boas condições onde é esperado, com indicação da qualidade do sinal (em percentagem) ou do nível de potência (dBm). Neste caso, vai-se tirar partido da vantagem que oferece a utilização do simulador de propagação desenvolvido para este trabalho que permite, após caracterização dos diferentes elementos do edifício que condicionam a propagação (paredes, corredores, andares…), usar essa biblioteca para simular pontualmente o sinal esperado para cada localização em função dos elementos que o sinal possa encontrar no seu trajecto.

7.1.3.1 Caracterização dos Elementos

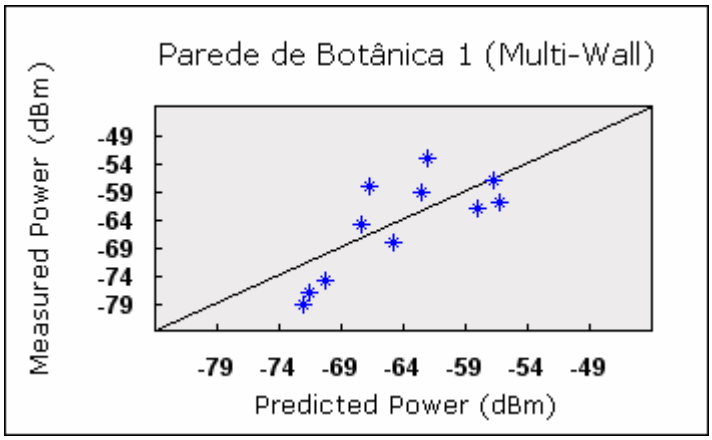
Desta forma, caracterizou-se o tipo de parede encontrado no 1.º e 2.º piso (figura 6.2) e o andar que separa esses 2 pisos (figura 6.3).

Figura 7.2. Parede antiga – Botânica.

Figura 7.3. Andar de Botânica.

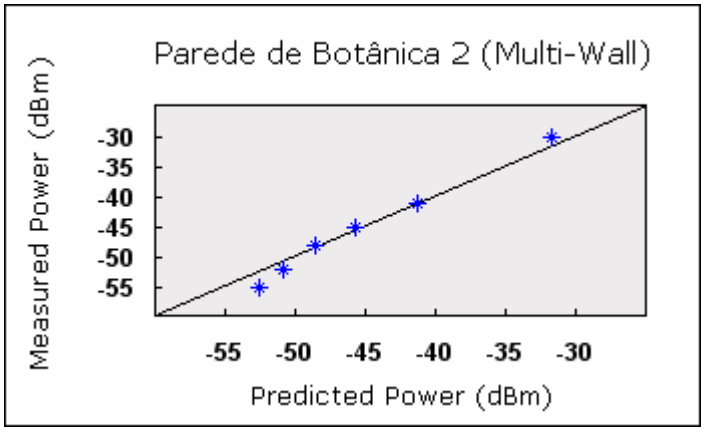
Para obter a atenuação introduzida pela parede, executaram-se várias medidas com esta entre o AP e o receptor (*Yellow Jacket Plus*). Caracterizou-se o tipo de parede em diversos locais, gerando para cada conjunto de medidas executado um log para ser analisado pelo *SiProPA*. Do refinamento dos vários logs por comparação com os modelos teóricos obteve-se a atenuação introduzida pela parede.

As figuras 7.4 e 7.5 mostram dois gráficos gerados pelo SiProPA correspondentes aos logs efectuados com medidas com paredes entre o receptor e o sinal. O primeiro log representa medidas executadas em várias localizações distintas e o segundo representa medidas efectuadas para distâncias diferentes, e em linha recta, com a mesma parede pelo meio. Ambos os logs foram optimizados de forma a ajustar as medidas à recta que representa valores iguais de potência medida e prevista. Este processo de optimização retorna a atenuação introduzida pela parede (WAF – *wall attenuation factor*) calculada em função de todas as medidas pelo método dos mínimos quadrados (secção 4.3.7).



WAF = 11,1 dB

Figura 7.4 Log optimizado para a parede do Edifício de Botânica



WAF = 9,1 dB

Figura 7.5 Log optimizado para a parede do Edifício de Botânica

Após vários logs realizados na tentativa de isolar a condição de propagação a trajectos de sinal com apenas o tipo de parede que se pretende caracterizar, obteve-se a WAF da parede para cada log e, fazendo a média, determinou-se que a atenuação introduzida por este tipo de parede é de 10 dB. Foram ainda feitas medidas entre andares de forma a perceber qual a atenuação introduzida ao sinal que se propaga entre o piso 1 e o piso 2 do edifício. Relativamente ao modelo ITU, seguiu-se o mesmo método para optimizar o parâmetro N, sendo este genericamente representativo dos obstáculos presentes no ambiente em análise. Uma vez obtido esse N, criou-se um novo ambiente para o modelo ITU *Modified,* denominado de Botânica.

Modelo Multi-Wall	Modelo ITU
Parede de Botânica (figura 7.3.) = 10 dB	N = 38
Andar de Botânica (figura 7.4) = 14 dB	

Tabela 7.1 Resultados da optimização dos modelos para a Casa do Campo Alegre

Analisando estes resultados, verifica-se que a atenuação obtida para a parede é menor que a das paredes da FEUP, mesmo tendo maior espessura. Prova-se assim que este tipo de paredes que constitui o edifício do Departamento de Botânica é menos denso, dados os materiais usados na sua construção e, porventura, a inexistência de tubagens e canalizações da mesma forma que existe nas paredes da FEUP. Verifica-se também que este edifício tem condições boas para a instalação de uma WLAN pois o facto de existirem múltiplas portas e janelas entre as divisões permite uma boa propagação do sinal através, muitas vezes, de percursos alternativos. Este fenómeno vem, obrigatoriamente, inserida nas medidas efectuadas pelo que a atenuação da parede é também disso reflexo, sendo por isso mais baixa que o esperado. O factor para ela determinado representa a conjugação de todos estes factores, pelo que caracteriza as paredes para as condições de propagação do edifício, sendo assim muito mais preciso para simulação da propagação para esse ambiente.

Verifica-se também que o andar do edifício introduz uma atenuação muito menor do que os andares da FEUP, devido à menor espessura e aos materiais de construção.

7.1.3.2 Validação dos Valores Obtidos

De modo a confirmar o valor obtido para a atenuação, usou-se o simulador pontual do SiProPA (secção 4.3.6) para obter o sinal previsto para um dado ponto onde o trajecto do sinal teria de atravessar este tipo de paredes, comparando-o com o sinal medido nesse ponto. Por outro lado, gerou-se novos logs em locais distintos dos que foram usados nas medidas que conduziram à obtenção da WAF, usando agora essa atenuação para verificar se o valor obtido tem validade. Fizeram-se assim várias medidas nos dois andares constituídos por paredes deste tipo, com um número variável de paredes no trajecto do sinal. O gráfico da figura 7.6 representa isso mesmo: sem optimização (todas as medidas têm um número variável de paredes com WAF = 10 dB), confirma que o valor obtido conduz a resultados teóricos próximos dos medidos, pelo que este é o factor correcto a usar no modelo *Multi-Wall* para caracterizar o tipo de paredes predominante neste ambiente, com o objectivo de simular completamente e com rigorosa adaptação ao local específico as condições de propagação aí esperadas.

Mudando do modelo *Multi-Wall* para o *modelo* ITU *Modified* sobre o mesmo log de medidas, usando o ambiente Botânica criado para o N obtém-se o gráfico da figura 7.7. Como nele se pode observar, este modelo ITU modificado também é válido para ser aplicado ao Edifício de Botânica de uma forma mais genérica, porventura se não for possível caracterizar correctamente cada medida. Os resultados também são satisfatórios. Contudo, facilmente se observa que existe uma maior oscilação em torno do valor ideal, facilmente compreensível pelas características do modelo ITU. Prova-se também com estes testes que o modelo Multi-Wall bem refinado para um determinado ambiente é mais rigoroso, específico e conduz a resultados mais precisos pelo seu carácter *site-specific*.

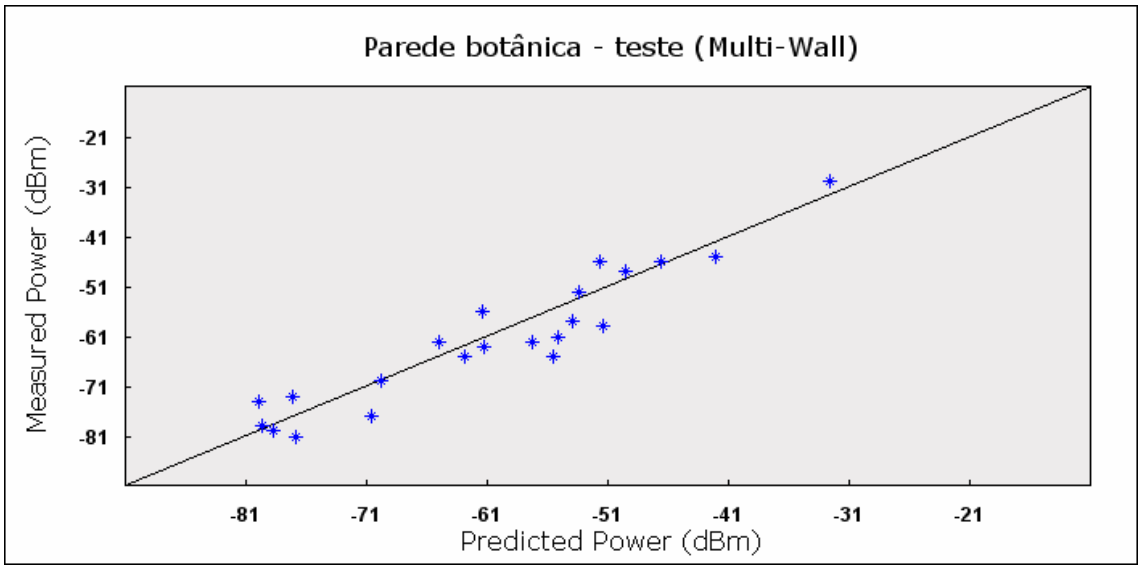


Figura 7.6 Log de confirmação do refinamento da WAF da Parede de Botânica.

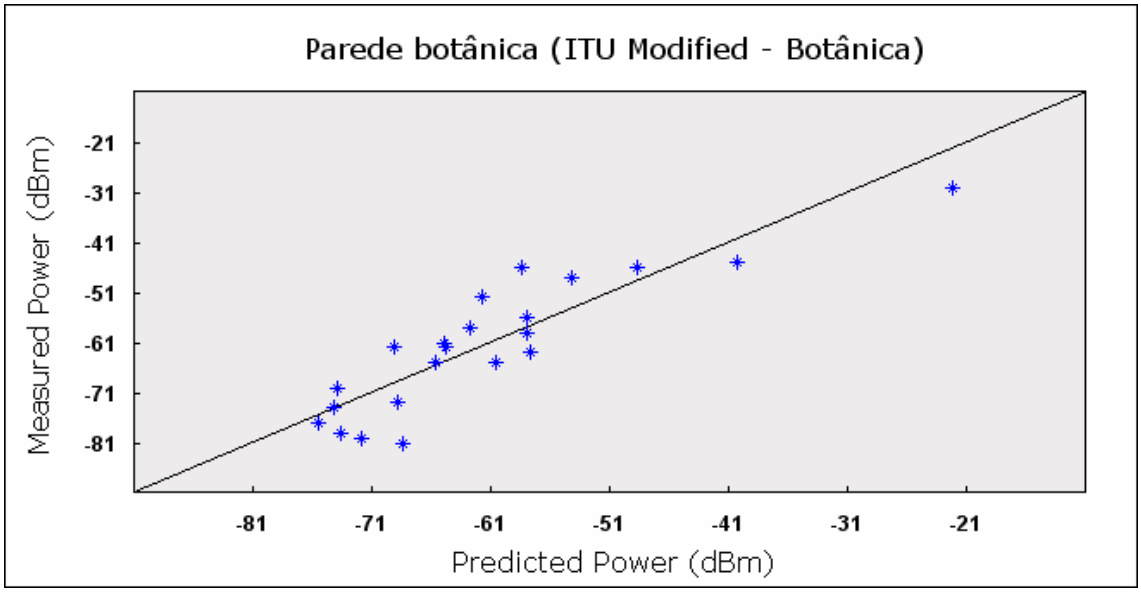


Figura 7.7 Log de confirmação do refinamento do modelo ITU para o edifício de Botânica.

7.1.4 Detecção de Interferências

Elaborada a caracterização do edifício e ainda antes da definição da localização preliminar dos pontos de acesso, fez-se uma análise das fontes de interferências existentes usando, para tal, a capacidade de análise espectral fornecida pelo *Yellow Jacket Plus*. Antes de iniciar a detecção, falou-se com os responsáveis pelo Departamento para tentar perceber o que se podia encontrar neste domínio. Percebeu-se que os fornos microondas poderiam constituir um problema dada a existência de vários ao longo dos diferentes laboratórios existentes. Por outro lado, foi ainda indicada a utilização de dispositivos *Bluetooth* nos gabinetes de alguns docentes e falou-se ainda de alguns equipamentos que convinha serem analisados

em funcionamento, suscitando-se também dúvidas pela realização de bastantes electroforeses[1] nos laboratórios.

7.1.4.1 Fornos Microondas

Iniciando a procura de possíveis fontes de interferência, verificou-se a existência de um microondas no 1.º piso do edifício na sala com a porta n.º 106. A existência deste microondas revestiu-se de particular interesse por estar perto da porta, que pouca atenuação introduz no sinal, tendo depois o espaço aberto da área de exposições permanentes e temporárias para se propagar. Colocando o forno microondas em funcionamento e analisando o espectro, obtiveram-se os gráficos da figura 7.8. Foi utilizada a função de *Peak Hold* para se conseguir uma imagem estável da interferência – os valores apresentados são os máximos que se obteve para cada zona do espectro durante o período de análise.

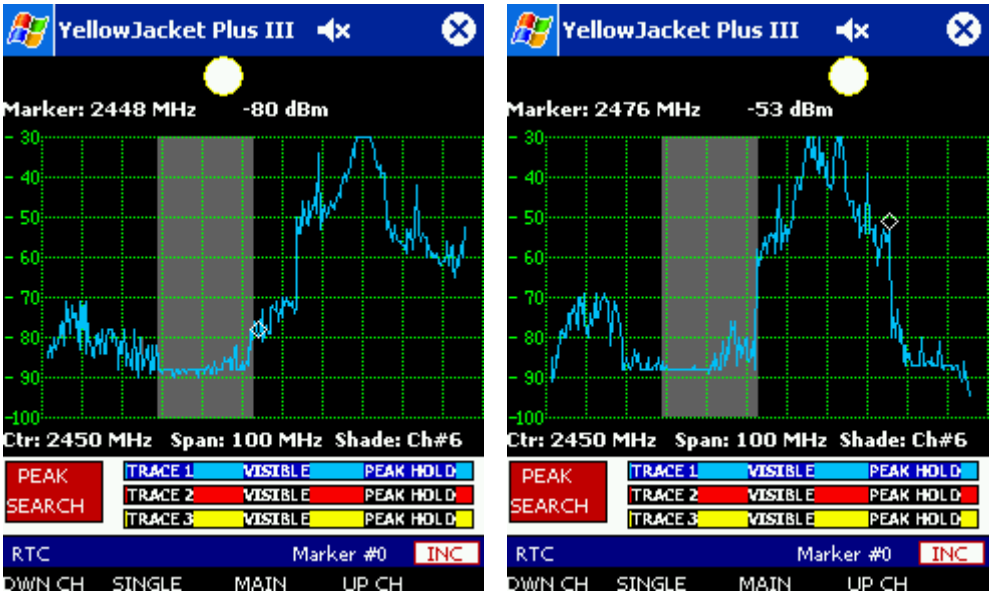


Figura 7.8 Interferência do forno microondas em duas análises distintas.

Como se pode observar, os microondas constituem uma séria fonte de interferência para uma WLAN IEEE 802.11b. Não só varrem grande parte dos 83 MHz de largura de banda desta norma como a potência do sinal interferente pode atingir os -30 dBm, o que anula qualquer possibilidade de comunicação nessa zona. Estes gráficos foram obtidos a uma proximidade de cerca de 3 metros do micro-ondas. Verificou-se que no espaço aberto do piso 1, a interferência fazia-se sentir com bastante intensidade, mesmo a distâncias de 20 metros e uma parede pelo meio. Tal facto explica-se devido à potência do sinal e às boas condições de propagação que, como já explicado, este edifício apresenta.

Embora o projecto da rede atenda à futura modificação da utilização das salas (como esta sala passará a ser uma sala de computadores, provavelmente o

[1] Processo para fazer a migração de partículas electrizadas no seio de soluções coloidais, sob a acção de um campo eléctrico aplicado.

microondas será retirado), foi feito de acordo com as condições actuais, contemplando as interferências presentes e esperadas para o futuro. Deste modo, é necessário minimizar a interferência deste microondas uma vez que a localização de um AP a instalar seria sempre nesta zona, a fim de cobrir as salas de informática. Após várias análises desta interferência, e como comprovado na figura 7.9, verificou-se que, curiosamente, o padrão de emissão deste microondas em particular deixa a zona do canal 6 (zona a cinzento nas imagens) relativamente livre. Na primeira análise o sinal não chegou aos -80 dBm e na segunda ultrapassou ligeiramente este valor. Com esta propriedade deste microondas e sendo o AP a instalar neste local um dos mais importantes do edifício, ficou automaticamente escolhido o canal 6 para ele, o único capaz de não sofrer interferência grave do forno microondas.

Foram também localizados outros microondas (na Biblioteca e em laboratórios da cave) mas nunca em zonas tão críticas. A interferência do microondas, se bem que intensa, acontece apenas durante o período de utilização do mesmo pelo que os utilizadores da rede devem esperar perturbações na comunicação se se encontrarem na zona do microondas – terão de viver com esse facto.

7.1.4.2 Aparelhos *Bluetooth*

Verificou-se que esta norma era utilizada para conexão de equipamentos nalguns gabinetes, pelo que se analisou espectralmente a comunicação de um computador pessoal com uma impressora, durante a impressão de um ficheiro (figura 7.9).

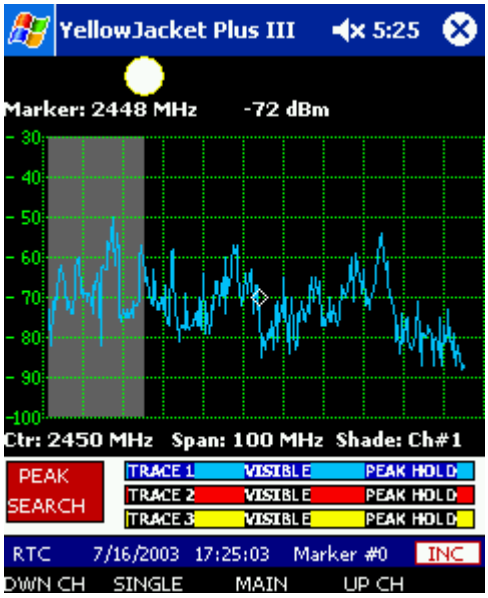


Figura 7.9 Interferência Bluetooth.

Como Bluetooth usa FHSS, executa saltos de frequência (*hopping*) em toda a banda não licenciada dos 2,4 GHz, constituindo também uma fonte de interferência a considerar. Esta análise foi executada a uma distância muito curta do emissor (1

metro e no percurso do sinal) e verifica-se que a potência do sinal não atinge os níveis observados no caso dos microondas. Devido a esta consideração e ao facto de o *Bluetooth* ser usado muito esporadicamente no edifício em análise, só poderá constituir uma fonte de interferência numa área próxima do emissor.

7.1.4.3 Outros Equipamentos

Foram colocados outros equipamentos encontrados nos diversos laboratórios e, tal como esperado, não foi encontrada qualquer propagação de sinal na banda dos 2,4 GHz. Em relação às electroforeses, verificou-se também por análise que não eram susceptíveis de interferir na banda dos 2,4 GHz. Mais tarde, percebeu-se que este processo usa corrente contínua, não constituindo assim qualquer possível fonte de interferência.

7.1.5 Definição da Localização Preliminar dos Pontos de Acesso, Planeamento de Frequências e Configuração da Potência de Emissão

Tendo em conta o limite definido de 4 pontos de acesso para o edifício central, as áreas de utilizador mostradas na secção 1 do Anexo F, as interferências detectadas, a possibilidade de ligação à rede física e a cobertura a alcançar, foi executado o projecto apresentado na secção 2 do mesmo anexo. A tabela 7.2 esquematiza esse projecto.

	Canal	Potência
AP A	1	50 mW
AP B	6	50 mW
AP C	11	50 mW
AP D	1	50 mW

Tabela 7.2 Planeamento de frequências e definição da potência a usar.

Conforme demonstrado quando se analisou as interferências dos fornos microondas (secção 7.1.4.1), o canal ideal para o AP B é o 6. A definição dos outros canais foi feita com base neste ponto de partida, escolhendo-se o 1 para o AP do anfiteatro e o 11 para o AP da biblioteca. Usaram-se aqui os 3 canais que não se sobrepõem, uma vez que se previa (e se verificou na simulação e na análise de cobertura apresentadas de seguida), que iriam existir pontos com os 3 sinais em boas condições. Tendo de repetir um canal já utilizado para o AP D, foi escolhido o canal 1 uma vez que os APs A e D se encontram em pisos diferentes e em lados opostos do edifício. O AP B está mais perto e o AP C, se bem que com dois pisos de diferença, encontra-se por cima do D, sendo menos favorável a escolha desse canal.

Considerando este ponto de partida, que é obtido a partir da sensibilidade para as questões de propagação que se adquire com a experiência de análise deste tipo de sinais, parte-se agora para a simulação das localizações, a fim de verificar que tudo o que foi considerado pode ser comprovado e se esta definição de localização preliminar é válida ou não.

7.2 Resultados da Simulação usando o SiProPA

Uma vez definida a localização dos pontos de acesso e o canal e potência a usar por cada um, é necessário proceder à verificação do projecto. Nesta fase é normalmente colocado o ponto de acesso no sítio onde foi projectado e verifica-se, pontualmente, através de um aparelho de medida ou de um portátil com carta de rede, se o sinal chega a todos os sítios que se pretende e em que condições é que ele chega. Deste modo, trata-se de um processo moroso e extenuante que exige algumas horas de trabalho para um pequeno número de pontos de acesso. Em redes de grandes dimensões, torna-se mesmo incomportável analisar a cobertura de cada ponto de acesso, procedendo-se a uma instalação automática destes, partindo do partido que as questões de propagação serão iguais para cada um deles.

A utilização do SiProPA pretende simplificar e melhorar esta fase de confirmação e refinamento do projecto, dotando o projectista da capacidade para simular, na sua secretária, as mesmas medidas que faria com o aparelho ou o computador portátil, desde que para tal tenha as plantas do edifício e tenha o edifício caracterizado conforme foi feito na secção 6.2.

Assim, usou-se a possibilidade que o SiProPA apresenta para gerar logs apenas de simulação (secção 4.3.2) para prever qual o sinal esperado em cada uma das divisões do edifício. Na tabela seguinte, estas divisões serão representadas pelo número da porta que lhe dá acesso, conforme visível nas plantas do anexo F.1. O valor de potência simulado é o esperado no centro da sala. A tabela seguinte apresenta, para cada AP, o valor esperado de potência de sinal em dBm no centro de cada sala. É ainda fornecida a indicação da distância desse ponto ao AP em metros (D) e o número de paredes (W) que o sinal atravessa.

Salas		AP A			AP B		
		P	D	W	P	D	W
1.º Piso	**103**	-35	6,5	0	-65,7	22,5	2
	104	-42,3	4,8	1	-63,5	17,4	2
	110	-58,4	9,7	2	-61,8	14,3	2
	105	-71,9	14,4	3	-60,4	12,1	2
	111/112	-85,4	21,7	4	-60,1	11,8	2
	106	-96,1	23,4	5	-44	5,8	1
	107	-87	26	4	-30,7	4	0
	108	-78,7	31,6	3	-60,1	11,8	2
	109	-77,1	26,2	3	-64,8	20,3	2
	101	-64,3	19	2	-65	20,6	2
	102	-52	14,7	1	-64,5	19,6	2
	Centro	-63,3	17	2	-47.3	8,5	1

Tabela 7.3 Valores previstos para a cobertura do 1.º andar pelos APs A e B.

Salas		AP C		
		P	D	W
2.º Piso	203	-76,1	23,5	3
	204	-75,5	21,9	3
	205	-75,1	21	3
	206	-75,2	21,1	3
	221/222	-85,5	22	4
	207	-73,3	16,9	3
	223	-58,1	9,3	2
	212	-37,3	2,7	1
	213/214	-32,1	4,7	0
	225/215	-50,6	12,4	1
	201	-61,4	13,6	2
	202	-72,9	16,2	3

Tabela 7.4 Valores previstos para a cobertura do andar pelo AP C.

Salas		AP D		
		P	D	W
Cave	032	-42,5	4,9	1
	016	-28,8	3,2	0
	001	-64	5,8	3
	002	-77,7	8,9	4
	003	-91	13	5
	004	-84,1	18,7	4
	005	-93,8	18	5
	006	-	19,6	7
	009	-	21	7
	010	-	21,9	6
	011	-	24,8	7
	012	-	23,1	7
	013	-	21	7
	014A	-	18,3	6
	014B	-83,5	17,4	4
	015	-72	14,6	3
	028	-82,8	16,1	4
	029	-68,9	10,2	3
	030/017/018	-35,9	2,3	1

	018/019	-56,3	7,6	2
	025	-78,1	9,3	4

Tabela 7.5 Valores previstos para a cobertura da cave pelo AP D.

Antes de proceder à leitura das tabelas, convém salientar que até cerca de -80 dBm consegue-se ainda manter comunicação à taxa máxima (11 Mbps). Abaixo deste valor de potência o débito é baixado pelo AP (usando outras modulações) e abaixo de -90 será difícil conseguir comunicação. Estas considerações são válidas para um nível de ruído de -90 dBm [Yee2002].

Analisando então a tabela 7.3, vê-se que o AP A cobre grande parte do piso A, não assegurando cobertura eficiente na ala contrária à sua localização. Por outro lado, como a atenuação dos andares deste edifício é baixa, espera-se que este AP cubra as salas nos 3 pisos neste lado do edifício, nomeadamente a do Laboratório de Didáctica de Biologia, que fica exactamente por baixo do anfiteatro. Por cima fica o Herbário que não necessita de grande cobertura e que, apesar de estar próximo deste AP, por ter vários armários metálicos deve bloquear grande parte da propagação do sinal, não se esperando assim sinal muito forte nesta zona (que não pertence às áreas de utilizador).

Por outro lado, comprova-se que a localização escolhida para o AP B é excelente pois, de acordo com as simulações, este AP cobre todo o piso 1 com sinal muito bom, compensando as falhas do AP A. Se o AP for instalado conforme indicado na secção onde é descrito o projecto (F.2), espera-se que a cobertura deste andar seja excelente em qualquer sala, dependendo a *performance* da rede da capacidade a suportar.

Em relação ao piso 2 (tabela 7.4), verifica-se que toda a ala da zona da biblioteca é efectivamente coberta como se pretende, não havendo necessidade de se preocupar muito com o sinal que chega às outras salas uma vez que o AP A de um lado e o AP B do outro encarregar-se-ão de fazer chegar sinal ao 2.º andar (foi também neste pressuposto que se escolheu esta disposição dos pontos de acesso).

Por fim, e no que diz respeito à cave, a simulação indica-nos que vai ser muito mais complicado cobrir todas as zonas. O AP D irá cobrir a zona do bar e algumas salas circundantes mas é impossível fazer chegar o sinal a todo o lado dado o grande número de divisões e, consequentemente, paredes e obstáculos existentes na cave. Verifica-se que em muitos sítios o sinal é praticamente negligenciável e noutros não se consegue mesmo qualquer tipo de cobertura a partir do AP D (representado por um traço). Poder-se-á contar com os APs do piso 1 para cobrirem as zonas imediatamente abaixo mas será impossível ter na cave a cobertura que se terá nos outros pisos (na altura da especificação dos requisitos da rede e da definição das áreas de utilizador este facto foi percebido e assumido).

A simulação que se descreveu nesta secção pretende, no fundo, substituir ou ajudar a etapa do *site survey standard* definida como verificação preliminar dos pontos de acesso. Uma vez que se tenha confiança nas previsões, a obtenção intensiva e exaustiva de medidas no local com APs portáteis a fim de simular a rede em funcionamento pode ser aliviada por este trabalho de simulação. De qualquer forma, a fim de comprovar que este método é válido, fez-se uma análise completa da rede

recorrendo ao *software* de mapeamento *Bird's Eye*. Os seus resultados vêm apresentados na secção seguinte.

7.3 Verificação da Localização dos Pontos de Acesso

A fim de comprovar que as considerações obtidas a partir da simulação feita com o SiProPA são válidas, fez-se uma análise completa da cobertura da rede esperada após a instalação da mesma. Para tal, utilizou-se um AP portátil que se colocou em cada localização definida no projecto e, para os 3 pisos, fizeram-se dezenas de medidas a fim de mapear completamente a cobertura de cada AP para os 3 pisos. Com este extenso trabalho, obtém-se uma comprovação inequívoca do projecto e a comprovação ou não da validade das simulações anteriormente executadas.

Na secção 3 do anexo F vêm inseridas todas as plantas da análise de cobertura que foi feita. Comparando as simulações para a cobertura do AP no seu andar (secção 7.1.6) com essas plantas, verifica-se que as considerações elaboradas aquando da simulação estão correctas. É curioso verificar que para muitos pontos medidos, o valor de potência é quase igual ao valor simulado para essa localização. Noutros o erro é maior devido a condições de propagação existentes na realidade mas não passíveis de simulação através da aplicação mas, na generalidade, o programa forneceu valores correctos e demonstrou, mais uma vez, ser uma ferramenta válida no auxílio ao projecto de redes em fios. Esta fase de verificação da localização dos pontos de acesso com medidas reais não será completamente substituída pela aplicação mas pode ser muito simplificada e, até, melhorada pelo seu uso.

Da simulação e da análise de cobertura resulta que, com o projecto elaborado, praticamente todo o edifício é coberto com boas ou muito boas condições de sinal. A excepção vai para a zona das salas 010, 011 e 012, na cave, onde poderá não haver qualquer tipo de cobertura. Contudo, estas áreas não tinham qualquer exigência maior.

7.4 Projecto da Casa Salabert e Condicionantes Finais

Relativamente ao projecto da Casa *Salabert* (conforme referido na introdução deste capítulo), dada a arquitectura e materiais usados na construção, não foi necessário nenhuma análise cuidada nem refinamento de parâmetros para facilmente se perceber onde se deveriam colocar os APs. Este edifício é constituído basicamente por um auditório no rés-do-chão e por algumas sala de trabalho no 1.º andar. Apontando para a possibilidade do financiamento chegar aos 6 APs, estando quatro entregues ao edifício central, os outros dois deveriam ficar instalados em:

1. No auditório, por cima do palco, por trás da mesa de apresentação, no centro da parede e perto do tecto.

2. Na sala principal do primeiro andar, junto ao painel de projecções em frente às cadeiras da assistência.

Relativamente a condicionantes do projecto no que diz respeito a financiamento, este último AP é claramente não prioritário dada a enorme quantidade de tomadas de rede existentes nesse 2.º piso, pelo que se o financiamento chegasse apenas para 5 APs, esse seria o sacrificado. Caso desça a um mínimo de quatro e se pretenda manter cobertura *wireless* na casa *Salabert*, o AP passível de ser retirado sem afectar decisivamente o projecto feito para o edifício central seria o A, ou seja, o que se situa no anfiteatro, uma vez que o AP B, se instalado na localização proposta, cobre todo esse piso. É evidente que esta solução de recurso iria afectar a cobertura na cave por baixo do anfiteatro pelo que se recomenda manter o projecto e instalar nos dois edifícios um mínimo de 5 pontos de acesso.

7.5 Conclusão

Este capítulo, que inicialmente não estava previsto e que surgiu já no fim do projecto de uma forma um pouco imprevista, acabou por constituir um *case study* de todos os métodos e etapas definidas anteriormente, bem como da aplicabilidade da aplicação SiProPA ao auxílio do projecto de redes em fios.

A conclusão principal a retirar é a redefinição das etapas de *site survey* de forma a incluir a possibilidade do uso do programa. Assim, e de uma forma mais genérica, as etapas passariam a ser:

1. Definição dos requisitos da rede.
2. Identificação das áreas de utilizador.
3. Inspecção visual do local.
4. Detecção de fontes de interferência.
5. **Caracterização das condições de propagação do edifício (opcional)**
6. Definição da localização dos pontos de acesso (APs).
7. Planeamento de frequências e escolha dos níveis de potência.
8. **Simulação pontual de propagação com base nas localizações dos APs.**
9. Instalação da rede.

As etapas realçadas são as introduzidas pelo uso da aplicação onde se pode caracterizar os parâmetros dos elementos dos edifícios caso isso ainda não tenha sido feito e depois usar esses parâmetros para simular pontualmente a cobertura da rede. Entre a etapa 6 e a etapa 8 o processo é iterativo, isto é, após simulação é sempre possível voltar a definir a localização dos pontos de acesso, fazer novo planeamento de frequências e de níveis de potência e voltar a simular, refinando o projecto até este ser satisfatório. Uma vez que foi provado que os resultados oferecidos pelo SiProPA são válidos, esta pode ser uma forma de aliviar a fase de

recolha intensa de medidas para análise de cobertura. Contudo, não se pode simular todas as questões relacionadas com propagação, pelo que é sempre importante testar de alguma forma o ambiente em que se pretende instalar a rede, até como forma de comprovação de parâmetros e de projecto.

8 Avaliação do Trabalho

De modo a validar as previsões teóricas fornecidas pelos modelos de propagação *indoor* procedeu-se à realização de um vasto conjunto de medidas em múltiplas localizações dos edifícios B e C da Faculdade de Engenharia, tendo em mãos o seguinte equipamento: ponto de acesso, tripé de suporte, bobina de alimentação, computador portátil com carta de rede 802.11b, *software* associado para medição de potência de sinal e plantas correspondentes aos referidos edifícios. Numa fase final realizou-se ainda um largo conjunto de medidas recorrendo ao equipamento de análise adquirido (*YellowJacket Plus*). Após optimizados os parâmetros para um dado local é necessário comprovar se esse refinamento é válido, fazendo medidas com os valores obtidos numa outra localização do mesmo ambiente e verificando se as previsões resultam correctas. Foi utilizado sempre este método para validar os parâmetros obtidos

Os gráficos das figuras 8.1 e 8.2 pretendem realçar a validade dos modelos de propagação definidos na secção 2.1 para previsão de nível de sinal num determinado ambiente *indoor*. Neste caso é apresentado o exemplo de medidas efectuadas no corredor do 3º andar do edifício B, usando no cálculo das previsões o parâmetro, associado ao modelo ITU, optimizado a partir de medidas realizadas no corredor do 2º piso do mesmo edifício. Consequentemente, uma vez que estes modelos são implementados na aplicação desenvolvida, será também ela aplicável na simulação de propagação em ambientes fechados, fornecendo precisões satisfatórias para a potência de sinal. Na figura 8.1 é apresentado um gráfico exibindo a potência medida em função da potência prevista. Em conjunto, no gráfico seguinte (figura 8.2) está representada a distribuição do erro introduzido pelas previsões, verificando-se que este se encontra largamente limitado ao intervalo] -4 dB, 1 dB], conduzindo a uma aproximação bastante aceitável por parte dos modelos utilizados.

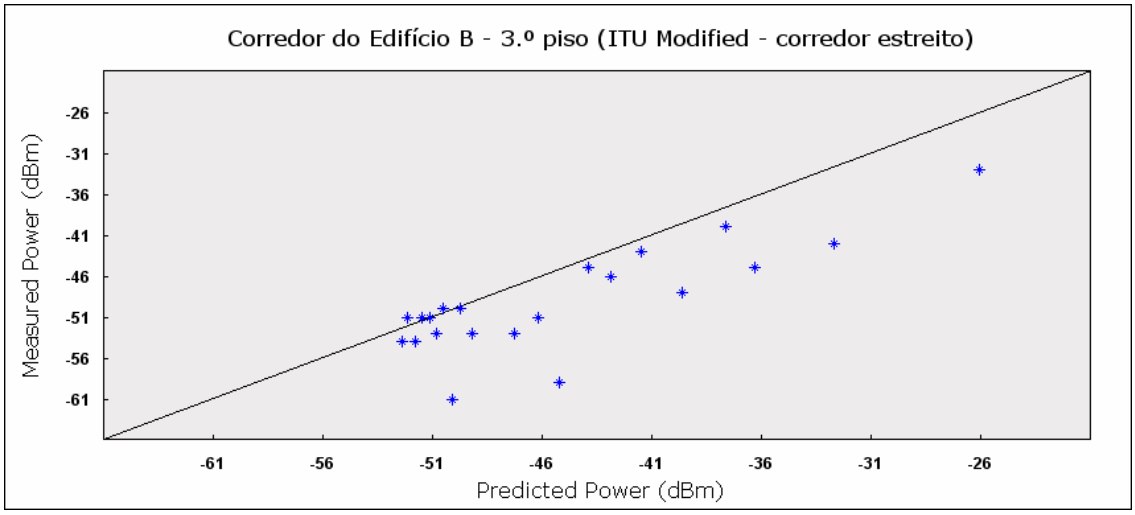


Figura 8.1 Representação gráfica obtida usando o parâmetro obtido para o corredor do 2º piso do mesmo edifício

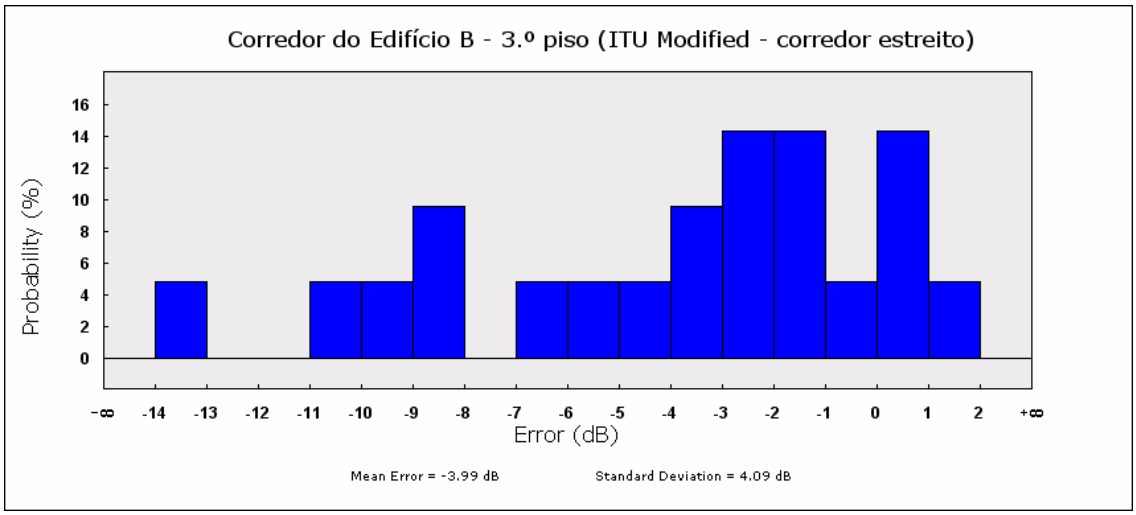


Figura 8.2 Gráfico da função distribuição de probabilidade de erro associado às previsões teóricas fornecidas pelos modelos de propagação

Ainda num outro exemplo é possível ver na figura 8.3 um *log* gerado no piso 1 da biblioteca com diferentes obstáculos cuja atenuação havia sido optimizada a partir de medidas noutro piso. Pelo gráfico da figura 8.4 mais uma vez se comprova que os parâmetros optimizados são válidos pois conduzem a previsões próximas do valor efectivamente medido.

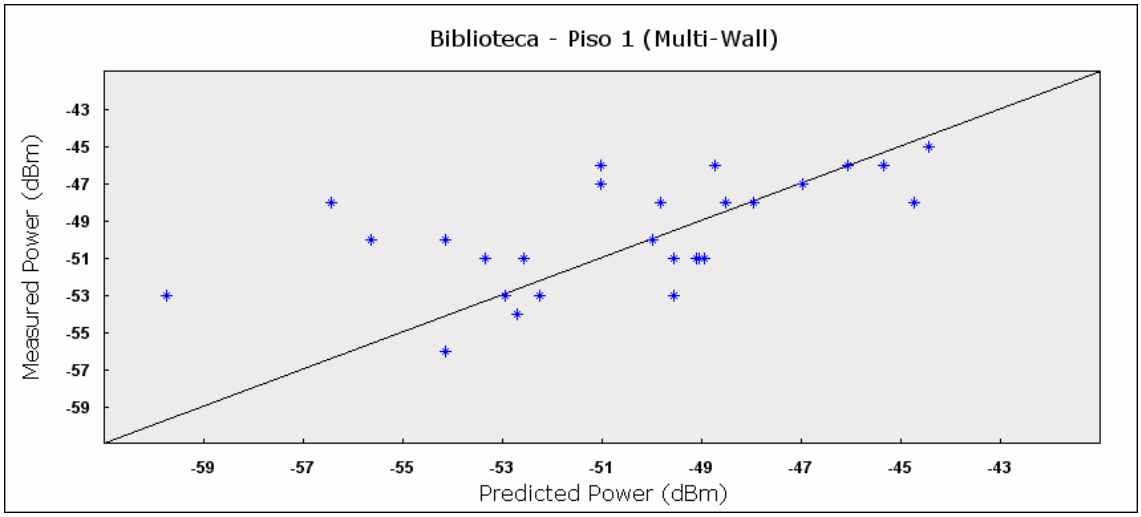


Figura 8.3 Log obtido para diversos obstáculos com parâmetros optimizados noutra localização.

9 Conclusões

Com este trabalho de fim de curso concluiu-se, em primeiro lugar, que qualquer projecto de uma rede local sem fios, em especial de uma rede 802.11b, deve ser feito recorrendo a um conjunto sistemático de etapas designadas genericamente de *site survey*. Por outro lado, constatou-se que a realização de trabalho de campo no âmbito do projecto e instalação de redes sem fios para ambientes *indoor*, permite adquirir grande sensibilidade nas questões de propagação envolvidas neste tipo de ambientes, sobretudo quando em conjunto se têm em mente alguns modelos de propagação. A possibilidade de utilização de modelos teóricos para previsão do nível sinal em cada ponto de uma instalação, evitando proceder ao levantamento de um conjunto exaustivo de medidas, assume-se igualmente como uma das conclusões importantes deste trabalho. Além disso, foi verificado que os modelos empíricos utilizados conduzem a resultados satisfatórios, exigindo reduzido processamento computacional. É, deste modo, possível a obtenção de previsões de nível de sinal em cada ponto de um determinado ambiente *indoor*, sem recorrer a modelos teóricos complexos, que exigem elevado processamento computacional e conhecimento preciso do local em análise. Estes serão úteis nos casos em que se aspira à realização de simulações bastante precisas. Considerando ainda os modelos empíricos utilizados concluiu-se igualmente que, através da optimização de parâmetros para um determinado edifício, é possível alcançar previsões teóricas mais próximas das medidas reais, minimizando o erro.

A aplicação desenvolvida ao longo do trabalho constitui uma ferramenta de apoio ao projecto de redes sem fios 802.11b, ou de outro tipo (ex. 802.11a, 802.11g, DECT), assim como na análise de cobertura de uma rede já instalada, ainda que de forma pontual. Este *software* de simulação e análise, em conjunto com o equipamento adquirido (*YellowJacket PLUS* e o *software* de mapeamento *Bird´s Eye*), terão com certeza grande utilidade quer numa segunda fase de instalação da rede na Faculdade de Engenharia quer futuramente noutros estabelecimentos de ensino da Universidade do Porto, para o projecto e implementação de novas redes sem fios.

A possibilidade de realização do projecto da futura rede sem fios 802.11b a instalar no Departamento de Botânica da Faculdade de Ciências, permitiu a constatação prática dos problemas que se relacionam com o projecto de uma rede deste tipo, além de criar uma oportunidade de aplicação do *software* desenvolvido a outras instalações que não as da Faculdade de Engenharia. Este c*ase study* representou uma forma de aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo deste trabalho de fim de curso.

9.1 Revisão do Trabalho Desenvolvido

Neste trabalho foi desenvolvida uma aplicação que permite simular a propagação de sinais em ambientes *indoor* além de, através de um conjunto de representações gráficas, permitir a análise qualitativa dos modelos de propagação nela implementados, para cada situação ou local em estudo. Além disso, realizou-se um intenso trabalho de campo a fim de caracterizar alguns dos edifícios da Faculdade de Engenharia em questões de propagação e, por outro lado, analisar a rede 802.11b já instalada, com o objectivo de confirmar o projecto inicial. Identificaram-se alguns problemas relativos a este último, sendo apontadas possíveis soluções. Por último, foi feito um projecto completo para a rede 802.11b a instalar futuramente no Departamento de Botânica da FCUP, recorrendo à aplicação desenvolvida, ao equipamento de análise de redes 802.11b adquirido e ao *software* de mapeamento *Bird's Eye*.

9.2 Resultados Relevantes

Nesta secção apontam-se os principais resultados obtidos com a realização deste projecto de fim de curso.

9.2.1 Simulador de Propagação

Desenvolveu-se uma aplicação importante no apoio ao projecto de redes sem fios *indoor*. Esta permite prever pontualmente o nível de sinal RF para um conjunto de localizações definidas pelo utilizador. São contempladas duas formas de simulação: simulação recorrendo a parâmetros previamente optimizados através de medidas realizadas no local, ou utilização de parâmetros *standard* fornecidos pelo *software*, caso o local em estudo não tenha sido previamente caracterizado. Além da capacidade de simulação de localizações, é dada a possibilidade de se realizarem análises comparativas entre previsões teóricas e resultados práticos, permitindo, dessa forma, identificar qual o modelo teórico que melhor se adequa ao local em causa.

9.2.2 Caracterização dos Edifícios da FEUP em Questões de Propagação

Caracterizaram-se, em termos de propagação, os edifícios B e C (Biblioteca) pertencentes à Faculdade de Engenharia, quanto ao tipo de paredes, andares, e corredores. Esta caracterização foi feita com base em parâmetros definidos para os modelos de propagação *indoor* utilizados. Este apresenta-se como um dos principais resultados deste projecto, uma vez que permitirá no futuro a realização de análises de propagação de sinal nos referidos edifícios, sem necessidade de recorrer a intensas medidas de campo. Os parâmetros optimizados são apresentados neste

relatório. O acesso a estes valores poderá constituir uma grande vantagem, tanto na definição da localização dos pontos de acesso a disponibilizar na segunda fase de instalação da rede *wireless* da FEUP, como para análise da rede instalada naqueles edifícios.

9.2.3 Análise da Rede Instalada no *Campus* da FEUP

Recorrendo ao equipamento (*hardware* + *software*) adquirido na parte final do projecto, analisou-se a rede já instalada nos edifícios da Faculdade de Engenharia a fim de confirmar o projecto inicial da mesma. Identificaram-se alguns problemas, apresentando-se soluções possíveis. Além disso, procurou-se fazer uma avaliação da cobertura dos APs já instalados no edifício da Biblioteca da FEUP, explorando as potencialidades oferecidas pelo *software* de mapeamento *Bird's Eye*, adquirido em conjunto com o equipamento de análise *YellowJacket PLUS*.

9.2.4 Projecto de uma Rede 802.11b

Realizou-se o projecto completo de uma rede *wireless* 802.11b para o Departamento de Botânica pertencente à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Este constituiu uma boa oportunidade de aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do trabalho, além de possibilitar a validação dos modelos de propagação implementados no *software* desenvolvido para outro tipo de ambiente. A execução deste projecto permitiu, além disso, adquirir uma visão integrada das questões envolvidas no projecto de uma WLAN. A utilização do *software* desenvolvido no projecto desta rede constitui um aspecto relevante, permitindo explorar as suas principais potencialidades, optimização de parâmetros e fornecimento de previsões teóricas para o nível de sinal em cada ponto.

9.3 Trabalho Futuro

Num projecto com a duração deste (cerca de 5 meses) existe sempre margem para evoluções futuras. Neste caso, as evoluções propostas referem-se à aplicação desenvolvida, e a questões relativas a futuras análises que deverão ser consideradas para a rede já instalada na FEUP. De seguida, indicam-se exemplos de possíveis melhoramentos que poderiam ser feitos na sequência deste projecto de fim de curso. Os pontos 1, 2, 3, e 4 estão direccionados para evoluções da aplicação desenvolvida. Os restantes três apontam no sentido da realização de algum trabalho de campo adicional nas instalações da FEUP.

1. **Implementação no *software* desenvolvido da possibilidade de importação de um ficheiro ASCII com *logs* de medidas**, permitindo dessa forma a incorporação de dados no programa de forma automática. Para tal este último deveria implementar as duas alternativas: inserção manual

de medidas (única considerada actualmente), inserção a partir de um ficheiro, ou ambas.

2. **Possibilidade de integração de plantas de edifícios** para os quais se pretendem obter simulações. Assim, o *software* teria a capacidade de assinalar na própria planta do edifício a cobertura obtida com um ponto de acesso, cuja localização seria identificada pelo utilizador. A referida cobertura seria esboçada com base nos modelos de propagação já integrados na aplicação. Para cumprir com este objectivo será necessária a identificação dos tipos de paredes, e outros obstáculos, a partir da planta importada pelo programa, definindo uma completa sintaxe gráfica.

3. **Optimização de parâmetros pelo método das aproximações sucessivas**, fornecendo-se ao utilizador a possibilidade de seleccionar o(s) que pretende optimizar, fixando os restantes com os valores *standard*, por exemplo.

4. **Análise de interferências ao longo do *campus* da FEUP recorrendo ao *YellowJacket PLUS*.** Usando a capacidade de análise espectral fornecida por este, será relativamente simples verificar a existência de possíveis fontes interferentes nos diversos edifícios da Faculdade de Engenharia. Este levantamento constituir-se-á como informação útil para análise de desempenho da rede já instalada, assim como para a avaliação das localizações e canais DSSS a utilizar para os futuros pontos de acesso a instalar numa segunda fase.

5. **Confirmação de todo o projecto da rede da FEUP**. Visto que se identificaram neste trabalho alguns problemas relacionados com o projecto inicial da rede já disponibilizada, dever-se-á numa fase seguinte percorrer toda a instalação, situação que não foi possível realizar em tempo útil neste projecto, a fim de confirmar as configurações de canais DSSS para os pontos de acesso, assim como os níveis de interferência entre APs.

6. **Utilização do software SiProPA para a confirmação do projecto da rede já instalada.** Em alternativa à realização de um conjunto exaustivo de medidas no terreno, para confirmar o projecto inicial da rede, poder-se-á futuramente usar o *software* desenvolvido para esse efeito. Uma vez que ao longo deste trabalho foi feita a optimização de parâmetros para os edifícios B e C pertencentes à FEUP, será possível, nesta fase, realizar simulações com maior precisão.

7. **Recurso à aplicação SiProPA para definição da localização dos pontos de acesso a instalar numa segunda fase.** A aplicação *SiProPA* pode tornar-se igualmente útil na análise de localização dos pontos de acesso a instalar na FEUP numa segunda fase.

Estes serão os aspectos mais relevantes que se considerou serem úteis para realização de trabalho futuro na sequência do projecto apresentado ao longo deste relatório. Estes poderão servir de base para outros items que se considerem importantes desenvolver numa fase posterior ao final deste trabalho de fim de curso.

A Norma IEEE 802.11b

Ratificado em Setembro de 1999 pelo *Institute of Electronic and Electrical Engineers* o IEEE 802.11b opera na banda não licenciada dos 2.4 GHz (2.4 a 2.483 GHz), oferecendo até 11 Mbit/s de débito "bruto". A norma b permite assim alcançar débitos substancialmente mais elevados face à anterior norma (IEEE 802.11) que concedia taxas de transmissão até 2 Mbit/s apenas, usando FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). Esta última foi normalizada dois anos antes (1997) assumindo-se como o primeiro *standard* disponibilizado no contexto das LANs sem fios (WLANs).

A norma IEEE 802.11b define apenas as duas camadas inferiores do modelo OSI: camada física (PHY – *Physical Layer*) e sub-camada de ligação de dados (MAC – *Medium Access Control*). Esta última está adaptada aos requisitos específicos das redes locais sem fios, oferecendo, no entanto, às camadas protocolares superiores a mesma interface que as definidas para as redes *wired*.

O principal objectivo deste *standard* é a especificação de uma WLAN simples e robusta que oferecendo essencialmente dois tipos de serviços: *time-bounded* e *asynchronous*. Ao nível da camada física a transmissão de dados pode ser feita por infra-vermelhos ou recorrendo a técnicas de espalhamento espectral, nomeadamente DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) para o caso do 802.11b.

Estão ainda definidos na norma alguns aspectos adicionais:

- Gestão de consumo de energia de modo a poupar a bateria associada a uma estação que participa na rede *wireless*. Este é um aspecto bastante importante uma vez que permite aumentar a autonomia do dispositivo, elevando o tempo entre recarregamentos da bateria. Tipicamente, os dispositivos aqui envolvidos são *laptops*, *Pocket PCs* entre outros dispositivos portáteis.

- Resolução do problema do terminal escondido associado às redes *wireless* em geral. Para tal a norma define a utilização do protocolo RTS/CTS (*Request to Send/Clear to Send*).

- Possibilidade de operação à escala mundial, isto é, pretende-se que os equipamentos que obedecem ao *standard* funcionem em qualquer parte do globo sem que seja necessário proceder a alterações substanciais no equipamento. Por esta razão foi escolhida a banda 2.4 GHz ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*) disponível em grande parte dos países do mundo.

O principal objectivo de uma WLAN é a substituição dos cabos que se destinam a interligar equipamentos permitindo, nesse sentido, aumentar a flexibilidade de operação. Como outras vantagens podem referir-se a **ausência de planeamento da rede no caso de redes *ad-hoc*** (rede espontânea sem necessidade da existência de uma infra-estrutura física que permita a ligação à rede física) e a **robustez** associada visto que as redes *wireless ad-hoc* podem sobreviver a desastres

como terramotos uma vez que não necessitam de qualquer infra-estrutura pré-instalada para operar. Redes que necessitem de infra-estrutura física exibirão perda de serviço nesta situação.

Existem igualmente algumas desvantagens inerentes às WLANs. Uma delas é a **qualidade de serviço**, uma vez que é inferior àquela que se verifica para as redes *wired*. As razões fundamentais que explicam este facto são a maior taxa de erros de transmissão associada e a menor largura de banda disponível – cerca de 10 vezes inferior relativamente às redes *Ethernet* a 100 Mbit/s. Por outro lado, o **custo** de uma carta 802.11 ronda actualmente os 100 € face aos 10 € necessários para adquirir uma carta *Ethernet* e existem ainda restrições associadas à **potência de emissão** máxima permitida que varia, por exemplo, entre a Europa e os Estados Unidos, sendo esta fixada por alguns organismos governamentais e não governamentais (ETSI para a Europa e a ANACOM no caso português), o que dificulta, em certa medida, o estabelecimento de um *standard* universal como o IMT-2000. Consequentemente, as WLANs estão limitadas a baixas potências de emissão, sendo definidas para um certo número de bandas de frequência não licenciadas. A **segurança** é outra das questões problemáticas, uma vez que as ondas de rádio usadas para a transmissão dos dados podem interferir com outros equipamentos em hospitais, por exemplo, que operaram na mesma banda. É então necessário tomar precauções sob pena de daí advirem consequências negativas para o funcionamento dos dispositivos que estejam já a operar no local de instalação da WLAN. Para além disso, a questão da segurança envolve aspectos de confidencialidade e integridade dos dados transmitidos. As interfaces rádio são totalmente abertas facilitando a escuta de informação por parte de intrusos (*eavesdropping*). Este último ponto constitui talvez o tema de maior preocupação no âmbito das redes sem fios e para o qual não existem ainda soluções óptimas normalizadas, estando definido um conjunto de sistemas de segurança proprietários que os fabricantes disponibilizam adicionalmente nos seus equipamentos. Neste domínio é esperado para o final do ano de 2003 o standard IEEE 802.11i que vem fortalecer os esquemas de segurança do 802.1x e EAP. Requer novos *chipsets* o que representa um maior investimento para se ter um protocolo seguro standard.

A.1 Arquitectura do Sistema

Uma rede 802.11 pode assumir dois tipos de arquitectura: **infraestrutural** com recurso a infra-estrutura física de suporte que interliga os dispositivos *wireless* à rede física, através de pontos de acesso estrategicamente colocados ou ***ad-hoc*** que não necessita de qualquer suporte físico permitindo a constituição de uma rede de forma espontânea entre estações. A figura A.1 mostra os componentes de uma rede baseada em infra-estrutura física. Estão presentes múltiplos nós (*STAs - Stations*) ligados aos pontos de acesso (*Access Points*) que têm como dispositivo equivalente nas redes *wired* o *hub*. O AP está tipicamente ligado a uma rede *Ethernet* e comunica com as estações através de uma antena emitindo e recebendo sinais de radiofrequência. As estações são usualmente *laptops* equipados com uma carta de rede (NIC – *Network Interface Card*) 802.11 que permite o acesso via rádio aos pontos de acesso. Um AP e múltiplas estações inseridas na área de cobertura do primeiro

formam um BSS (*Basic Service Set*). Na figura A.1 estão representados dois conjuntos deste tipo (BSS_1 e BSS_2) interligados pelo sistema de distribuição ou DS (*distribution system*). Um sistema de distribuição liga entre si distintos BSSs através dos APs de modo a constituir uma rede única, permitindo assim estender a cobertura a uma maior área geográfica. Habitualmente, um sistema de distribuição é baseado na norma 802.3 (*Ethernet*), sendo que o AP se assume como uma *bridge* entre a rede 802.11 e a rede *wired*. A rede no seu todo é neste contexto designada de ESS (*Extended Service Set*). Para além disso, o sistema de distribuição interliga as várias redes *wireless* que formam um ESS com outras LANs através dos APs e do que se designa por um **portal** no âmbito das redes 802.11.

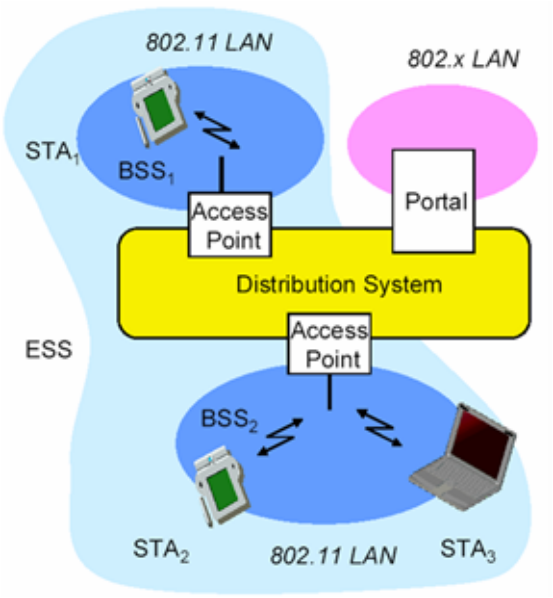


Figura A.1 Arquitectura de uma rede 802.11 baseada em infra-estrutura.

A arquitectura do sistema de distribuição não é especificada na norma IEEE 802.11, podendo esta basear-se em diferentes tipos de rede: *bridged* LANs, *links wireless* ou outros.

Uma rede 802.11 suporta *roaming* entre pontos de acesso, isto é, um utilizador consegue ter continuidade de sessão quando comuta entre pontos de acesso pertencentes ao mesmo ESS (*Extended Service Set*). Compete aos APs gerir todo o processo de *handover* através da troca de mensagens de sinalização, cabendo ao sistema de distribuição a transferência de dados entre os diferentes pontos de acesso. O suporte de mobilidade nestas redes é implementado ao nível MAC (nível 2), estando portanto limitado a um determinado domínio definido pelo ESS. Não está presente o conceito de mobilidade global, como sucede no caso da gestão de mobilidade ser realizada a nível 3 (nível IP). Adicionalmente, os APs fornecem mecanismos de sincronização dentro de um BSS, suportam gestão de consumo de energia, e podem controlar o acesso ao meio de modo a oferecer serviços do tipo *time-boumded* (voz, *streaming* de vídeo ou outros serviços que exijam transmissão em tempo real).

Além das redes 802.11 baseadas em infra-estrutura física estão também definidas no *standard*, tal como já mencionado acima, as redes *ad-hoc* nas quais participam apenas estações, formando dessa forma um ou mais BSSs, que neste modo de operação se designa de IBSS (*Independent Basic Service Set*). Um BSS comporta um conjunto de estações que usam a mesma frequência de rádio, comunicando directamente entre si. Aqui uma estação não consegue falar com todas as outras devido às inerentes limitações de alcance (note-se que a potência do sinal RF decai com o quadrado da distância, sendo que no caso da propagação através de obstáculos o decaimento é ainda mais elevado). Não existe, neste caso, qualquer ponto de acesso que estando ligado ao sistema de distribuição permita a um nó comunicar com outra estação fora do seu alcance rádio mas acessível através do DS. Por conseguinte, para comunicarem entre si as estações têm que estar dentro do alcance uma das outras. Assim, estações num mesmo BSS podem comunicar entre si, enquanto estações em BSSs distintos não conseguem estabelecer qualquer conexão. A constituição de múltiplos BSSs pode ser feita recorrendo à sua separação através da distância ou usando frequências diferentes para cada um dos *Basic Service Sets*. Neste último caso podem ser definidas várias redes *ad-hoc* fisicamente sobrepostas (no caso do 802.11 podem ter-se até três redes deste tipo a partilhar o mesmo espaço geográfico, sendo a razão para tal analisado com detalhe numa secção posterior).

A.2 Arquitectura Protocolar

Ao nível protocolar pode genericamente dizer-se que o IEEE 802.11 se insere num conjunto de *standards* definidos para as redes locais com fios – 802.x, assumindo porém algumas características especiais ajustadas às redes *wireless* de forma a contornar alguns problemas inerentes a estas. Visto que o cenário mais comum é a interligação entre uma rede 802.11 e uma rede *Ethernet* o *standard* está definido de tal forma que a presença de uma rede sem fios seja completamente transparente para as aplicações, ou seja, sem que exista qualquer diferença para estas, a menos da menor largura de banda disponibilizada. Consequentemente, as camadas superiores (IP, TCP e aplicação) aparecem de modo idêntico quer para o nó *wireless* quer para o nó *wired*, ou seja, pretende-se que para as camadas protocolares superiores a carta de rede 802.11 apareça como mais uma interface *Ethernet*, apesar de não o ser na realidade. A sub-camada de nível 2 LLC (*Logical Link Control*) do modelo OSI tem como função "emular uma rede *Ethernet* sobre uma rede 802.11", apresentando às camadas superiores a mesma interface que no caso das redes *wired*, escondendo dessa forma as diferenças de implementação existentes ao nível MAC.

A norma IEEE 802.11 especifica apenas a camada física **PHY** e a camada de acesso ao meio **MAC** – *medium access control*, tal como sucede para as normas da série 802.x. A camada física está subdividida numa camada designada de **PLCP** (*Physical Layer Convergence Protocol*) e uma denominada de **PMD** (*Physical Medium Dependent*). A subcamada PLCP fornece ao nível MAC um sinal de detecção de portadora – CCA (*Clear Channel Assessment*) além de disponibilizar para a camada de controlo de acesso ao meio um *Service Access Point* (SAP) independente da tecnologia de transmissão utilizada (FHSS, DSSS ou IrDA). A subcamada PMD trata das questões

relacionadas com a codificação dos bits em sinais (ou a operação inversa no caso da descodificação) que depois de modulados por uma portadora a 2.4 GHz permitem a transmissão dos dados via rádio. A camada PHY e a sub-camada MAC serão abordadas com mais detalhe nas secções A.2.1. e A.2.2, respectivamente. A figura A.2 apresenta o modelo OSI usualmente utilizado no contexto das redes de computadores, identificando as camadas protocolares caracterizadas pela norma 802.11b.

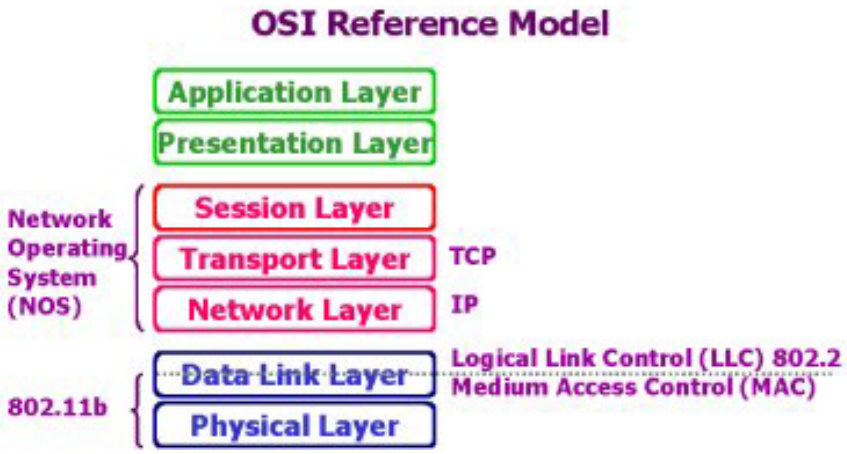


Figura A.2 Modelo OSI.

A.2.1 Camada Física (PHY layer)

Esta camada comporta a interface física entre os dispositivos envolvidos na rede *wireless* e é responsável pela transmissão dos bits através do canal de comunicação. Deste ponto de vista o 802.11b representa uma extensão do 802.11 tradicional, pelo facto de o primeiro permitir alcançar taxas de transmissão substancialmente mais elevadas face às concedidas pelo segundo. Enquanto a norma inicial suportava até 2 Mbit/s, a mais recente suporta 1, 2, 5.5 e 11 Mbit/s. Para alcançar taxas de transmissão da ordem dos 5.5 ou 11 Mbit/s o 802.11b usa uma técnica designada de CCK (*Complementary Code Keying*) associada a DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*) e DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). Na tabela 2.1 apresentam-se as especificações do *standard* 802.11b relativas às taxas de transmissão oferecidas, modulações utilizadas, e comprimento da sequência pseudo-aleatória usada em cada caso.

Data Rate	Code Length	Modulation	Symbol Rate	Bits/Symbol
1 Mbit/s	11 (*Barker code*)	DBPSK	1 MS/s	1
2 Mbit/s	11 (*Barker code*)	DQPSK	1 MS/s	2
5.5 Mbit/s	8 (CCK)	DQPSK	1.375 MS/s	4
11 Mbit/s	8 (CCK)	DQPSK	1.375 MS/s	8

Tabela A.1 Especificação para as taxas de transmissão oferecidas pela camada PHY

Como já referido na secção A.2 esta camada PHY fornece ao nível superior um sinal de detecção de portadora (CCA). Este é essencial para permitir ao nível MAC efectuar o controlo de acesso ao meio, indicando se o meio está actualmente ocupado ou livre. Para além disso, este nível protocolar disponibiliza ao nível superior um SAP com as taxas de transmissão já referenciadas anteriormente (1, 2, 5.5 e 11 Mbit/s), independentemente da tecnologia de transmissão utilizada. Adicionalmente a norma define o que se designa de *dynamic rate shifting* que permite que as taxas de transmissão sejam automaticamente ajustada tomando em consideração a relação sinal ruído disponível em cada momento. Significa isto que os dispositivos 802.11b transmitem a taxas cada vez mais baixas (5.5 Mbit/s, 2 Mbit/s, e 1 Mbit/s) à medida que a relação sinal ruído se vai deteriorando. Quando as condições melhoram, como pelo facto de a estação se ter aproximado do ponto de acesso, por exemplo, a taxa de transmissão aumenta automaticamente. Se a relação sinal ruído decair, para manter a mesma taxa de erros é inevitável a redução no débito do *link* entre a estação e o AP para compensar este facto.

Seguidamente apresentam-se as duas técnicas adoptadas no *standard* 802.11 para a transmissão rádio: FHSS e DSSS. De realçar, no entanto, o facto de a norma inicialmente proposta em 1997 prever a utilização de FHSS ou DSSS, enquanto o 802.11b define apenas a utilização de *Direct Sequence Spread Spectrum*.

A.2.1.1 FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)

A técnica de *frequency hopping* (saltos de frequência) envolve a mudança periódica na frequência de transmissão. Um sinal que utiliza esta técnica pode ser considerado como uma sequência de *bursts* modulados recorrendo à variação pseudo-aleatória da frequência da portadora. O método utiliza uma portadora de banda estreita cuja frequência é comutada mediante um padrão bem conhecido quer pelo emissor quer pelo receptor. No caso de uma rede infraestrutural, ambos (ponto de acesso e cliente) "saltam" entre frequências com base no mesmo padrão pseudo-aleatório, transferindo uma parte dos dados em cada salto de frequência. Ao conjunto de frequências possíveis para a transmissão dá-se o nome de *hopset*. Para um receptor que não tenha conhecimento da sequência pseudo-aleatória utilizada na emissão o sinal aparece como ruído impulsivo de curta duração.

O FHSS é uma técnica de espalhamento espectral que permite a coexistência de múltiplas redes no espaço físico, sendo estas separadas pela utilização de sequências de salto (*hopping sequences*) distintas. O *standard* 802.11 define um *hopset* de 79 canais para a América do Norte e Europa, e 23 para o Japão, sendo que cada um dos canais exibe 1 MHz de largura de banda na 2.4 GHz ISM *band*. Tal como se disse anteriormente, esta é uma das técnicas definidas no *standard* 802.11 normalizado em 1997. No entanto, actualmente a norma mais divulgada é o IEEE 802.11b, sendo aquela que se encontra com índices de utilização mais elevados em todo mundo, deixando cair em desuso a norma 802.11 tradicional. É, portanto, uma tecnologia com provas dadas amplamente implantada em universidades, aeroportos, hotéis, hospitais, entre outros locais, por toda a Europa e EUA. Para o conhecimento mais aprofundado desta técnica (FHSS) remete-se o leitor para as referências [Schiller2000], [Rapp2002]. Visto que o projecto aqui apresentado se baseou nas redes sem fios 802.11b, o interesse recai primordialmente na técnica

DSSS, sendo esta apresentada na secção seguinte com maior profundidade relativamente à que se descreveu nesta secção.

A.2.1.2 DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)

O espalhamento espectral por sequência directa (DSSS) é a alternativa ao método FHSS. Em lugar de recorrer à variação na frequência da portadora utiliza uma sequência pseudo-aleatória para realizar o espalhamento do sinal, conferindo a este último características de ruído branco para um receptor que não conheça o código utilizado na emissão. A utilização desta técnica está prevista em ambas as normas, IEEE 802.11 e IEEE 802.11b.

Um emissor DSSS realiza o espalhamento do sinal ao longo de uma banda mais extensa que aquela que o sinal originalmente ocupa. Deste modo, cada bit de informação é mapeado num padrão redundante de bits conhecido por *chipping code*. Cada bit deste padrão é designado por *chip*. Quanto maior for o *chipping code* maior será a probabilidade de o sinal ser recuperado no receptor. Contudo, o aumento do comprimento deste código implica a disponibilização de maior largura de banda para comportar o mesmo sinal original. Um aspecto relevante desta tecnologia reside no facto de mesmo que um ou mais bits sejam corrompidos durante a transmissão, a estatística inerente a este método permite a recuperação integral dos dados originais sem que haja necessidade de retransmissões. No destino, os *chips* que compõem o código são agora mapeados num único bit que representa a informação útil. Ambos, emissor e receptor, devem estar sincronizados para que este processo funcione. Com o objectivo de facilitar a sincronização os *chipping codes* utilizados exibem autocorrelação baixa, isto é, se a sequência original for deslocada temporalmente de um ou mais *chips* e for avaliada a correlação entre ela e a original, a autocorrelação entre as duas sequências será muito baixa. A sequência só está correlacionada consigo própria e não com aquelas que advêm de deslocamentos temporais da mesma. Deste modo, tem-se que o receptor se sincroniza com o emissor quando detecta à saída do correlacionador, usado em conjunto com um decisor para o mapeamento dos *chips* em bits de informação, um nível de sinal acima do limite pré-fixado.

A razão entre a banda ocupada depois do espalhamento do sinal e a aquela que o sinal original exibe é denominada de "*spreading ratio*". Quanto mais elevada for esta razão maior será a resistência a interferências, aumentando consequentemente a relação SIR (*Signal to Interference Ratio*). Para um receptor que não conheça a sequência de *chips* aplicada pelo emissor, o sinal DSSS aparece como ruído branco de baixa potência, sendo facilmente rejeitado. Uma razão de espalhamento reduzida aumenta a largura de banda disponível para o utilizador, com a desvantagem de reduzir a protecção contra interferências. As "*spreading ratios*" normalmente utilizadas para as WLANs são bastante baixas. Como indicado na tabela A.1 o *standard* 802.11b especifica uma "*spreading ratio*" de 8 para as taxas de transmissão de 5.5 e 11 Mbit/s e 11 para os débitos 1 e 2 Mbit/s, enquanto o 802.11 tradicional define apenas a utilização de uma sequência de 11 *chips* (*Barker code*), aplicada a cada bit de informação.

Os aspectos chave desta técnica são a robustez contra interferências e a insensibilidade à propagação por multipercurso (*time delay spread*), representando as

duas grandes motivações para a sua escolha no âmbito das comunicações sem fios. A rejeição de interferências é conseguida através do espalhamento do sinal numa banda maior que a originalmente definida, sendo assim possível ao receptor ignorar interferências de banda estreita. A figura A.4 ilustra a rejeição inerente ao método de espalhamento espectral por sequência directa. De igual modo a resistência face à propagação por multipercurso é conseguida pelo facto de o sinal original ser espalhado ao longo de uma banda mais alargada apresentando uma distribuição de energia uniforme. Recorrendo a uma análise espectral, pode concluir-se que num dado instante apenas uma determinada parte do espectro total do sinal DSSS é afectada, uma vez que os desvanecimentos por multipercurso são sensíveis à frequência. No domínio temporal pode dizer-se que as versões atrasadas do sinal DSSS originadas pela condição de multipercurso exibirão baixa correlação com a sequência pseudo-aleatória original, uma vez que esta apresenta autocorrelação baixa. Consequentemente, o sinal DSSS atrasado temporalmente de um ou mais *chips* aparecerá como ruído branco para o receptor e será ignorado, resultando idealmente na detecção apenas do sinal correspondente ao raio directo entre o emissor e o receptor.

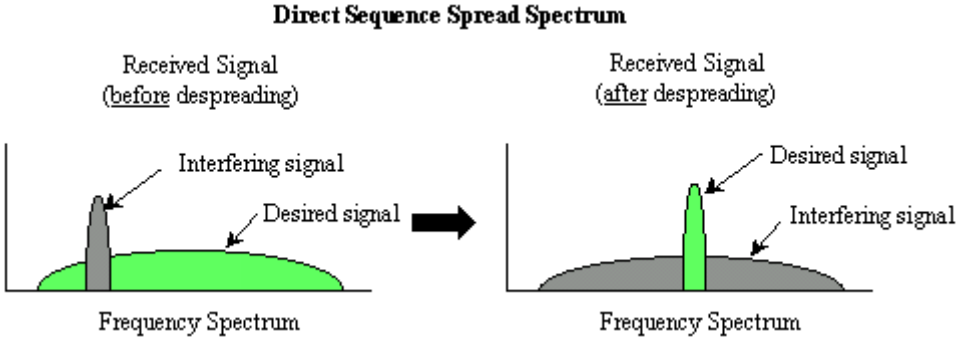


Figura A.3 Ilustração da rejeição de interferências por parte da técnica DSSS.

A.2.1.3 Subcamada PMD

O 802.11b define o DSSS como a técnica a utilizar pela subcamada física PMD para a transmissão da informação no caso do recurso a radiofrequência. Está também prevista no *standard* uma camada PMD baseada na tecnologia IrDA (*Infrared Data Association*) para a transmissão dos dados de utilizador. No entanto, a transmissão por RF é nitidamente a mais utilizada na implementação de *wireless* LANs 802.11b. Assim, estão definidos na norma 14 canais DSSS cuja separação entre frequências centrais é de 5 MHz, estando estes definidos dentro da banda 2.4 GHz ISM (2400 – 2483.5 MHz). Qualquer WLAN 802.11b deve operar num destes canais. A figura A.5 ilustra os canais DSSS definidos pelo *standard,* realçando os três que não se sobrepõem e que são aqueles normalmente utilizados no planeamento de frequências para uma rede sem fios deste tipo. Os canais identificados na figura A.5 são os, efectivamente, especificados na norma. No entanto, estes não estão definidos de modo uniforme à escala mundial. Por exemplo, no Estados Unidos e Canadá estão acessíveis apenas 11 canais (1 até ao 11), na Europa estão disponíveis 13 canais, à excepção da Espanha que tem apenas acesso a 2 dos 14 canais (10 e 11) e da França que define apenas os canais entre o 10 e o 13 e no Japão estão

disponíveis todos os canais indicados na figura. A figura A.6 identifica os canais não sobrepostos mencionados acima. Além disso, é mostrado em pormenor o espectro correspondente a um canal DSSS. As unidades dBr presentes na figura constituem um valor relativo, sendo a referência para o cálculo deste o máximo da densidade espectral de potência.

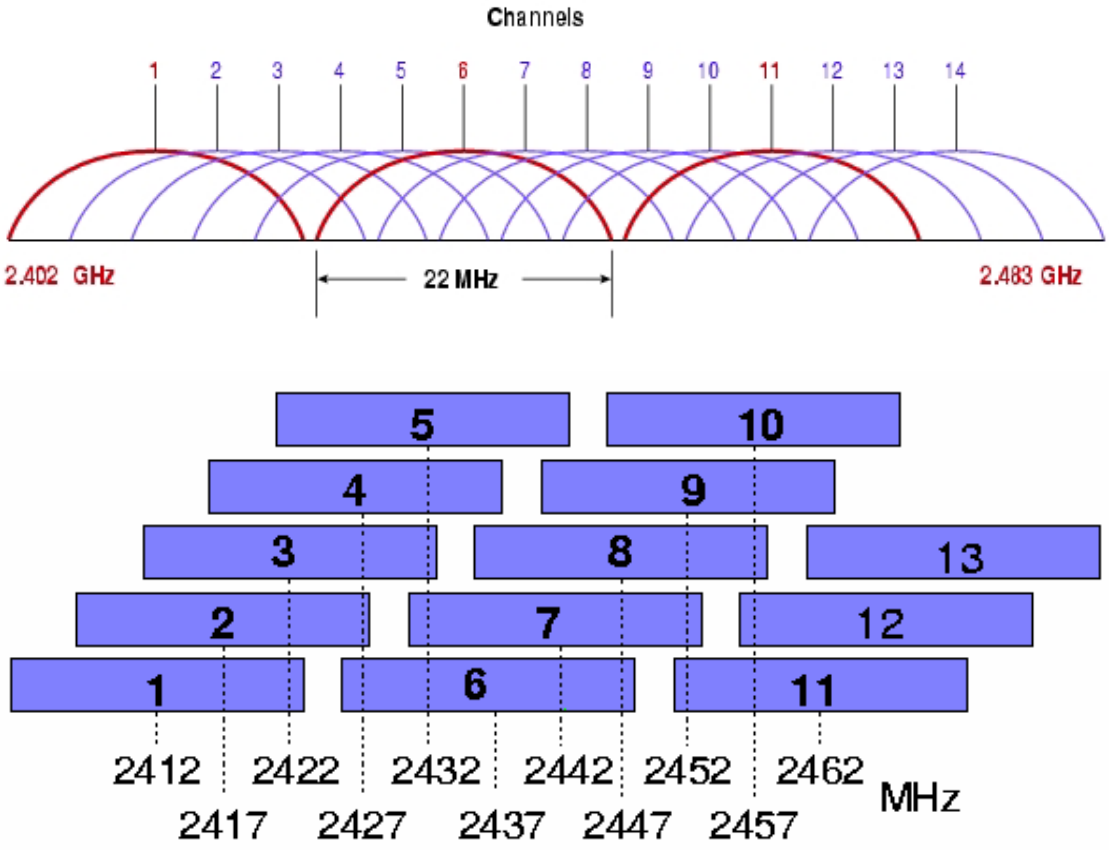


Figura A.4 Canais DSSS definidos pelo IEEE 802.11b

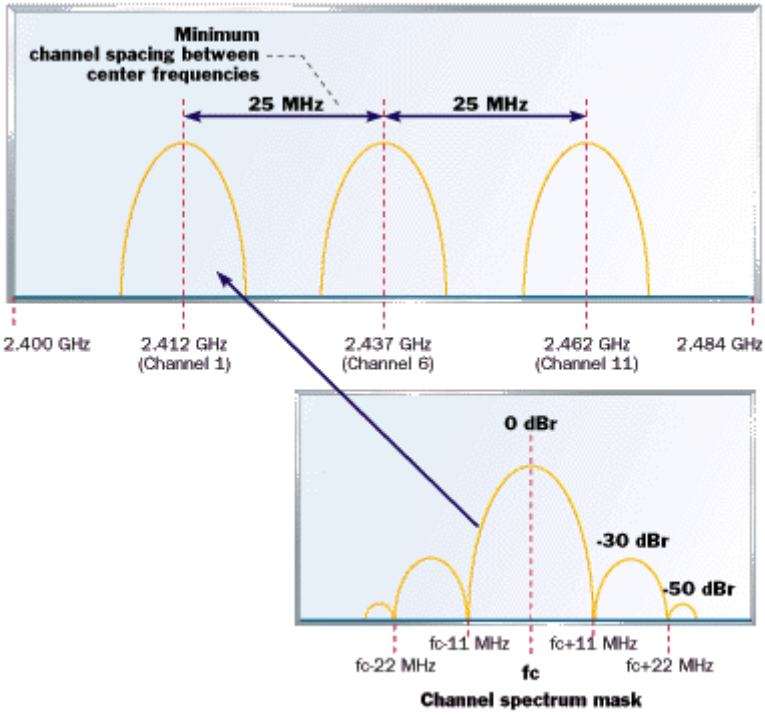


Figura A.5 Espectro com os três canais DSSS não sobrepostos.

A.2.1.4 Subcamada PLCP

A camada PHY do 802.11b está subdividida em duas sendo a subcamada superior designada de PLCP (*Physical Layer Convergence Protocol*). Esta subcamada tem como função fundamental oferecer ao nível MAC uma interface independente do tipo de tecnologia usada para transmitir os dados de utilizador, IrDA ou DSSS. A camada MAC acede aos serviços fornecidos pela subcamada PLCP através de um SAP (*Service Access Point*) com taxas transmissão de 1, 2, 5.5 e 11 Mbit/s. Além disso, o nível PLCP disponibiliza à subcamada superior um sinal denominado de CCA (*Clear Channel Assessment*) de forma a permitir o controlo de acesso ao meio por parte de uma estação ou de um ponto de acesso.

A trama PLCP apresenta-se com duas estruturas: preâmbulo longo (*long preamble*) e preâmbulo curto (*short preamble*). Todos os sistemas 802.11b devem implementar obrigatoriamente a primeira, enquanto a estrutura *short preamble* é opcional e aparece contemplada no *standard* com a finalidade de melhorar o débito da rede quando se transmitem dados com requisitos de tempo real, como VoIP (*Voice over IP*) ou *streaming* de video. A figura A.6 mostra as duas estruturas possíveis usando DSSS. Caso se use FHSS, a estrutura indicada na figura resulta ligeiramente alterada [Schiller2000]. A trama PLCP consiste em duas partes básicas: a parte PLCP (preâmbulo + cabeçalho) e o *payload* que constitui a informação proveniente do nível MAC.

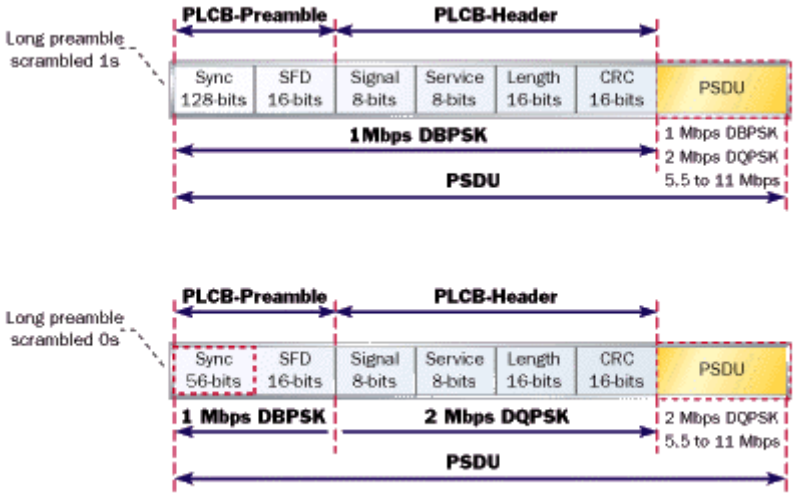


Figura A.6 Formato da trama PLCP

Tendo em conta a figura A.6 definem-se, de seguida, os campos especificados na trama PLCP:

1. **Preâmbulo PLCP**

   - **Sync –** consiste num conjunto de 128 bits para a estrutura long preamble e 56 bits para a mais reduzida.

   - **SFD –** usado para definir o início da trama.

2. **Cabeçalho PLCP**

   - **Signal –** indica qual o débito binário utilizado para transmitir o *payload*. (indicado na figura como PSDU).

   - **Service –** reservado para utilização futura.

   - **Length –** contém informação sobre o comprimento dos dados.

   - **CRC –** usado para detecção de erros. Protecção de cabeçalho.

É igualmente definido na figura A.6 o débito correspondente à transmissão do cabeçalho da trama PLCP e aquele que se verifica para a transmissão de dados de utilizador. Verifica-se desta forma que para as duas estruturas especificadas há variação no débito utilizado para a transmissão do cabeçalho da trama. No caso da estrutura *long preamble* está definido um débito constante de 1 Mbit/s, qualquer que seja o débito oferecido ao utilizador. Na variante *short preamble* está definido um par

de taxas de transmissão para o cabeçalho. Uma parte é transmitida a 1 Mbit/s e a restante usa 2 Mbit/s.

A.2.2 Camada de Controlo de Acesso ao Meio (MAC layer)

Esta camada tem como principal função o controlo de acesso ao meio. Para além disso, realiza encriptação dos dados de utilizador, fragmentação, fornece suporte de mobilidade (*roaming* entre pontos de acesso no mesmo ESS), autenticação e funções de gestão de potência de modo a maximizar o tempo entre recarregamentos das baterias associadas aos terminais móveis (tipicamente *laptops* ou *Pocket PCs*). O nível MAC comporta ambos os modos de operação *ad-hoc* e infraestrutural. Por outro lado, cada pacote desta camada tem associado um CRC calculado sobre toda a trama, assegurando a integridade dos dados provenientes da camada superior. Existe ainda a possibilidade de fragmentação dos dados que permite que os pacotes provenientes dos níveis superiores sejam transmitidos sob a forma de pacotes mais reduzidos através da interface *wireless*. Esta capacidade apresenta duas vantagens: redução das retransmissões, já que a probabilidade de erro de pacote aumento com o tamanho do mesmo, e, por outro lado, redução do tempo de retransmissão em caso de erro, uma vez que apenas é retransmitido um pequeno fragmento do pacote inicial.

Estão definidos na norma 802.11b três mecanismos de acesso ao meio: o método mandatório baseado em CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), um método de acesso opcional que tem como finalidade evitar o problema do terminal escondido (baseado em troca de mensagens RTS/CTS), e por último o mecanismo de *polling* gerido pelo ponto de acesso no caso de uma rede baseada em infra-estrutura física. Os dois primeiros designam-se de DCF (*Distributed Coordination Function*) e o terceiro de PCF (*Point Coordination Function*). O método obrigatório CSMA/CA é um mecanismo de acesso aleatório com detecção de portadora e prevenção de colisão através do que se designa na terminologia anglo-saxónica de *random backoff*. Se uma determinada estação escuta o meio e detecta que ele está livre durante um intervalo de tempo DIFS (definido na norma), recorrendo ao sinal CCA fornecido pela camada física (PLCP), pode aceder ao meio imediatamente e transmitir. Se o nó detecta que o meio está ocupado então deve aguardar durante o mesmo intervalo DIFS, entrando de seguida numa fase de contenção. O tempo de contenção é seleccionado a partir de uma janela de contenção (*contention window*) associada a cada nó da rede. Mais detalhes sobre este e os restantes métodos de acesso mencionados nesta secção podem ser consultados na referência [Schiller2000].

A.2.2.1 Roaming

Um dos aspectos importantes geridos por esta camada protocolar é o suporte de mobilidade (*roaming* entre pontos de acesso). Tipicamente, uma rede sem fios disponibilizada num edifício terá necessidade de mais do que um ponto de acesso para cobrir todos os compartimentos. Neste cenário, se um utilizador se deslocar ao longo do edifício com um receptor *wireless*, terá que existir a capacidade por parte da rede de continuidade de sessão enquanto o utilizador se movimenta entre pontos de

acesso. As etapas associadas a este processo são apresentadas de seguida de forma muito sucinta:

- Uma estação decide que a qualidade da ligação actual não é a melhor. Inicia então um processo de procura a fim de detectar outro ponto de acesso na vizinhança.
- A referida pesquisa pode ser de dois tipos: passiva ou activa. No primeiro caso a estação limita-se a escutar o meio de modo a identificar tramas provenientes de outro ponto de acesso (*beacon frames*) pertencente a um outro BSS (*Basic Service Set*). A procura activa prevê o envio de uma trama *probe* através de cada canal aguardando uma resposta. Quer as *beacon frames* quer a resposta às *probe frames* têm a informação suficiente para permitir à estação associar-se a um novo BSS.

- A estação selecciona o melhor ponto de acesso baseando-se, por exemplo, no nível de sinal disponível, e envia um pedido de associação para o AP correspondente.

- O novo ponto de acesso responde com uma confirmação do pedido anterior. Se este for positivo a estação foi associada com sucesso ao novo AP. De outro modo a estação terá que voltar à fase de pesquisa.

- O ponto de acesso que aceitou o pedido de associação sinaliza ao sistema de distribuição a presença da nova estação no seu BSS. Esta situação permite que o DS actualize a sua base de dados que contém a localização corrente das estações. Adicionalmente o sistema de distribuição pode informar o ponto de acesso antigo sobre a ausência da estação na sua área de cobertura (BSS).

Neste anexo realçaram-se os principais aspectos relativos à norma IEEE 802.11b. Começou-se pela apresentação da arquitectura de um sistema baseado neste *standard* mencionando os dois modos de operação possíveis: infraestrutural e *ad-hoc*. Prosseguiu-se com a referência à arquitectura protocolar definida pela norma apresentando-se os dois níveis protocolares definidos na mesma: PHY e MAC. Inserido na referência à camada PHY mencionaram-se as técnicas FHSS e DSSS, dando maior ênfase a esta última pelo facto de ser a utilizada pelo 802.11b. Para além disso, referiu-se a estrutura associada à trama PLCP definida pelo *standard*. Finalmente, descreveu-se de forma breve o nível MAC e principais funções associadas (autenticação, encriptação, *power managment* e *roaming*).

B Demonstração da Proveniência do Erro Introduzido pelo Software Associado à Carta de Rede Cisco

Ao analisar os resultados fornecidos pelo *software* ACU da Cisco verificou-se que este introduzia um erro sistemático nas medidas, relativamente ao valor de potência esperado com base nos modelos de propagação *indoor*, apresentados no capítulo 2 deste relatório. Após uma fase de pesquisa intensa de modo a encontrar explicações para este facto, percebeu-se o modo como deve ser medida a potência de sinal em cada momento por parte de uma carta de rede IEEE 802.11 [BarJoe2002]. O *standard* recomenda que a energia do sinal deve ser medida pela carta de rede através do recurso a um inteiro que pode variar entre 0 e 255 e denominado de RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*). Contudo, cada fabricante escolhe o seu RSSI máximo, normalmente abaixo deste limite (a CISCO usa um RSSI máximo de 101). É o valor deste inteiro que a carta de rede mede que vai ser usado como medida de potência para, por exemplo, ver se o canal está livre. Esse valor pode ser depois convertido pelo *software* da carta de rede para apresentar a energia em outras unidades, como percentagem ou dBm. Por este facto, verifica-se já que a resolução para a medição do sinal não é muito grande.

O parâmetro RSSI é medido pela subcamada ***PHY*** a partir da energia que chegou à antena na recepção do actual PPDU (*PLCP Protocol Data Unit*). O valor RSSI deve ser medido entre o início do delimitador da *frame* de início (SFD) e o fim do cabeçalho de controlo de erro da PLCP (HEC). O valor RSSI deve ser usado de uma maneira relativa – não é especificado uma leitura com precisão absoluta deste valor [BarJoe2002]. A partir destas considerações, fez-se a análise apresentada de seguida, considerando a trama PLCP definida no anexo A.

Na norma define-se que a carta de rede 802.11 deve medir a energia observada na antena usada para receber o pacote de dados actual, durante o intervalo de tempo que medeia a recepção do primeiro bit do campo SFD e o último correspondente ao HEC, que no caso do 802.11b é designado de CRC. Assim, tem-se:

$$\Delta t\,(\text{Intervalo de tempo}) = \frac{n^{o}\,bits}{débito\,(\text{bit/s})} = \frac{16+8+8+16+16}{1\times10^{6}} = \frac{64}{1\times10^{6}} = 64\times10^{-6}\,s = 64\times10^{-3}\,ms$$

Convertendo o valor de Δt em dBms (dB milisegundos) resulta

$$\Delta t_{dBms} = 10\log(64\times10^{-3}) = -11.9\,dBms$$

Sabendo que a potência é definida como

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

em que

P: Potência
E: Energia
Δt: Intervalo de tempo em que a energia foi medida

Resulta que

$$P_{dBm} = E_{dBm} - \Delta t_{dBms} \Rightarrow P_{dBm} = E_{dBm} + 11.9 \ dBm$$

Importa realçar que esta expressão é válida apenas quando se considera a estrutura *long preamble* definida na norma IEEE 802.11b para a trama PLCP. Nesse caso o cabeçalho da trama é transmitido com débito constante igual a 1 Mbit/s. Na situação de utilização da estrutura *short preamble*, opcionalmente implementada por um dispositivo 802.11b para transmissão de dados de utilizador com requisitos de tempo real, através do mesmo raciocínio chegar-se-ia a uma expressão semelhante. A única alteração seria a constante que aparece a somar na expressão, que passaria a valer 13.9 dB, pelo facto de neste caso a taxa de transmissão do cabeçalho PLCP ser superior.

Comprova-se assim que a informação que o *software* ACU associado à carta de rede da Cisco usada neste projecto fornece relativamente ao nível de sinal recebido refere-se a energia (em dBm) e não a potência. Após esta conclusão, este facto foi tido em conta nas medições que se fizeram com a carta de rede e os *logs* já realizados corrigidos.

C Logs Obtidos em Espaço Livre com o *Yellow Jacket Plus*

A fim de se confirmar que era a carta de rede da Cisco que dava a informação incorrecta de potência (apresentava um erro de 11,9 dB, conforme demonstrado no anexo, por considerar a energia recebida) e que a informação correcta a transmitir como medida devia ser a potência, geraram-se *logs* em espaço livre assim que se teve acesso ao aparelho *Yellow Jacket Plus* (foi a primeira coisa que foi feita com ele). Conforme se pode verificar nas figuras C.1 e C.2, as medidas feitas por ele são correctíssimas, não havendo necessidade de qualquer correcção. O aparelho apresenta a medida de potência em dBm e esta medida corresponde efectivamente à potência recebida do sinal enquanto a informação em dBm retornada pelo *software* associado à carta de rede da Cisco corresponde à energia do sinal, não fazendo a conversão para potência, como seria esperado pelos utilizadores.

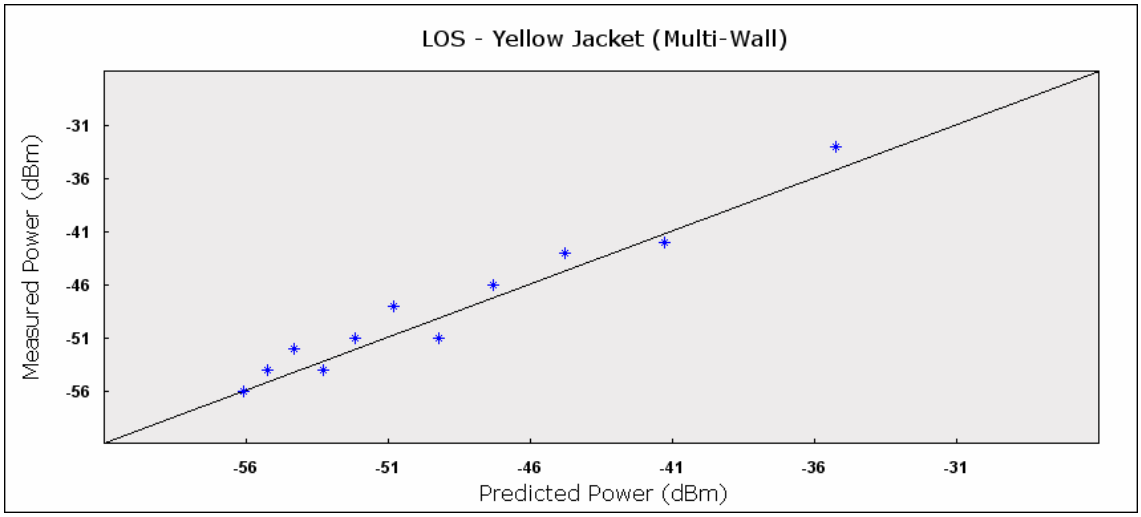


Figura C.1 *Log* de medidas em espaço livre com o *Yellow Jacket Plus* (1).

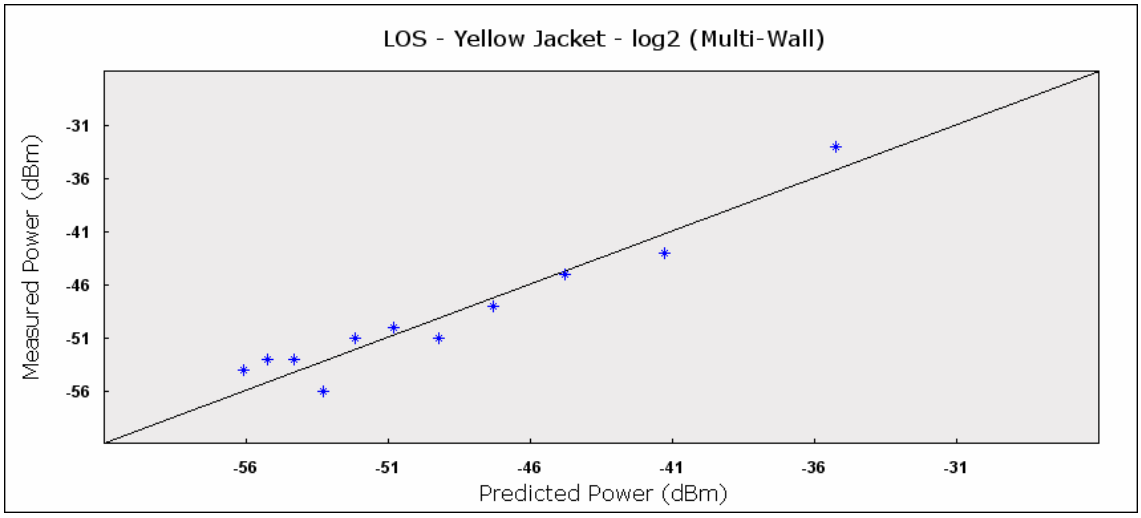


Figura C.2 *Log* de medidas em espaço livre com o *Yellow Jacket Plus* (2).

D Logs Usados na Optimização dos Parâmetros

Neste anexo apresentam-se os *logs* de medidas utilizados para optimização dos diversos elementos que caracterizam os ambientes *indoor* do edifício B e C (Biblioteca) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Tentou-se isolar ao máximo cada elemento, fazendo medidas apenas com esse elemento como condição de propagação, a fim de obter valores o mais rigorosos possíveis.

D.1 Edifício B

Os gráficos apresentados de seguida foram obtidos no edifico B da FEUP para os diversos elementos nele existentes. As previsões representadas graficamente foram obtidas recorrendo ao parâmetro optimizado para cada situação.

D.1.1 Parede Densa

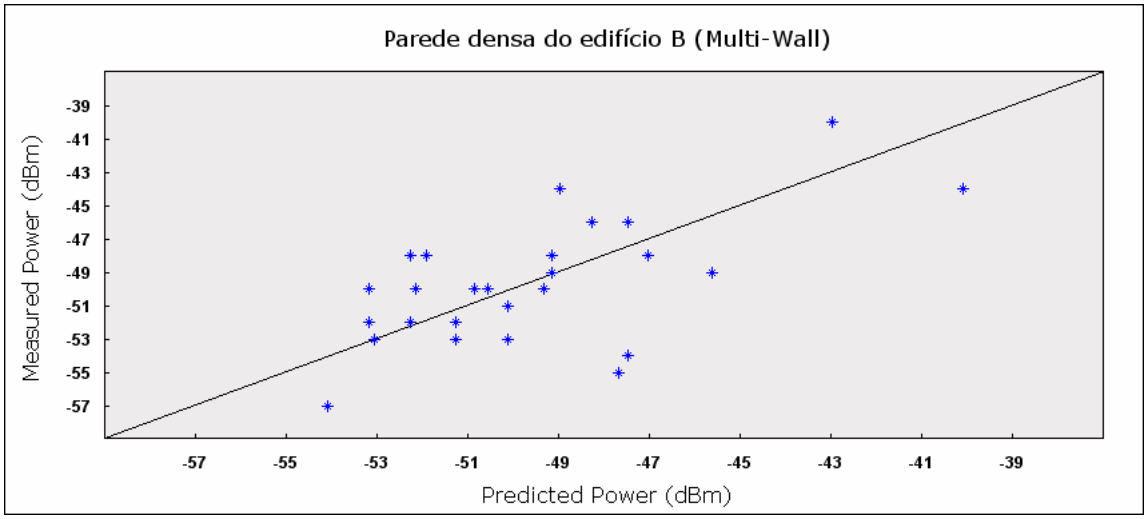


Figura D.1 Log optimizado para medidas com o elemento "parede densa" (1).

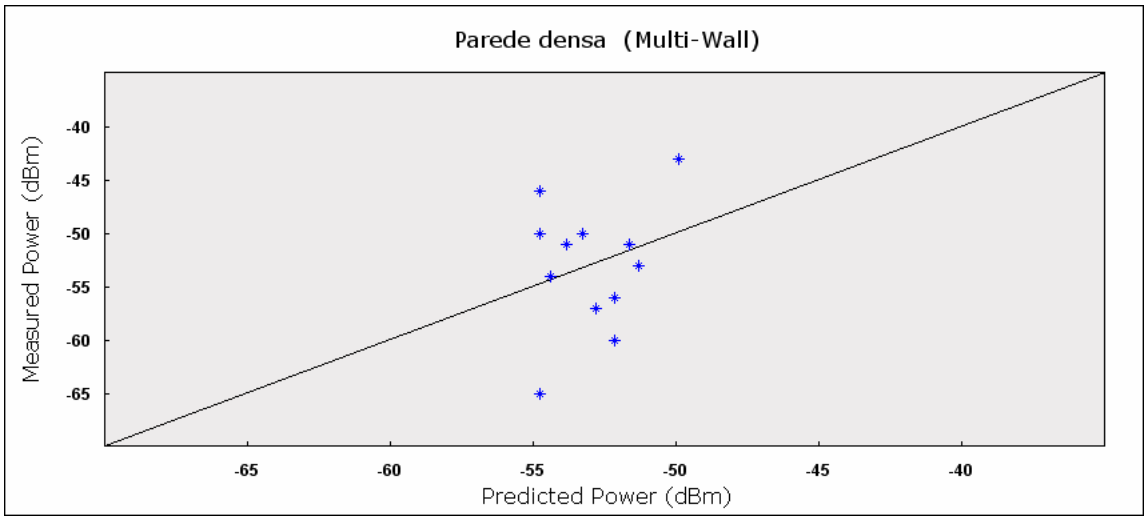


Figura D.2 Log optimizado para medidas com o elemento "parede densa" (2).

Atenuação: 15 dB

A optimização é feita usando a aplicação desenvolvida no âmbito deste projecto que fornece o valor refinado para a atenuação do obstáculo e o parâmetro N para o modelo ITU *Modified* (figura D.3).

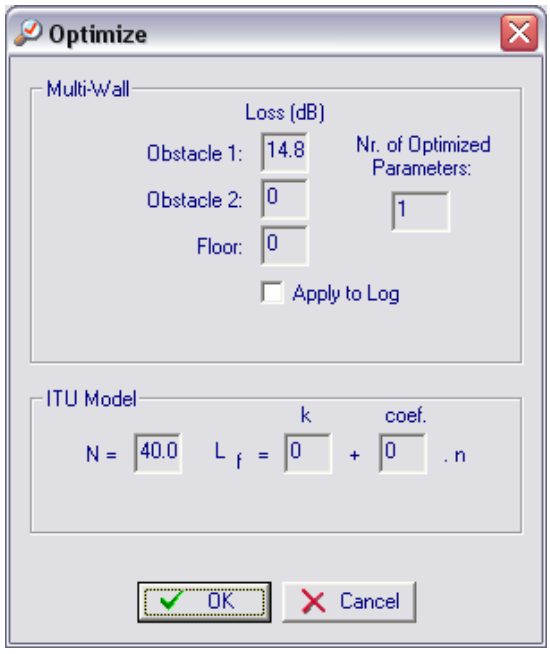


Figura D.3 Janela de optimização para o *log* da figura D.2

Figura D.4 Caracterização fotográfica do elemento "Parede densa" (LF = 15 dB).

D.1.2 Andar entre Corredores

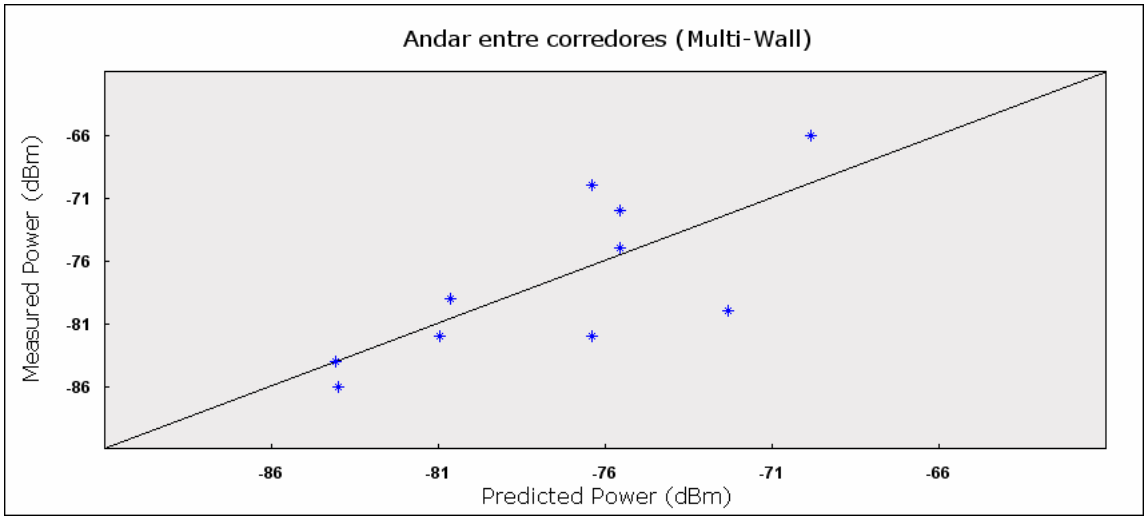


Figura D.5 Log optimizado para medidas com o elemento "andar entre corredores".

Atenuação: 37.3 dB

Figura D.6 Caracterização fotográfica do elemento "andar entre corredores" (LF = 37.3 dB).

D.1.3 Andar entre Salas

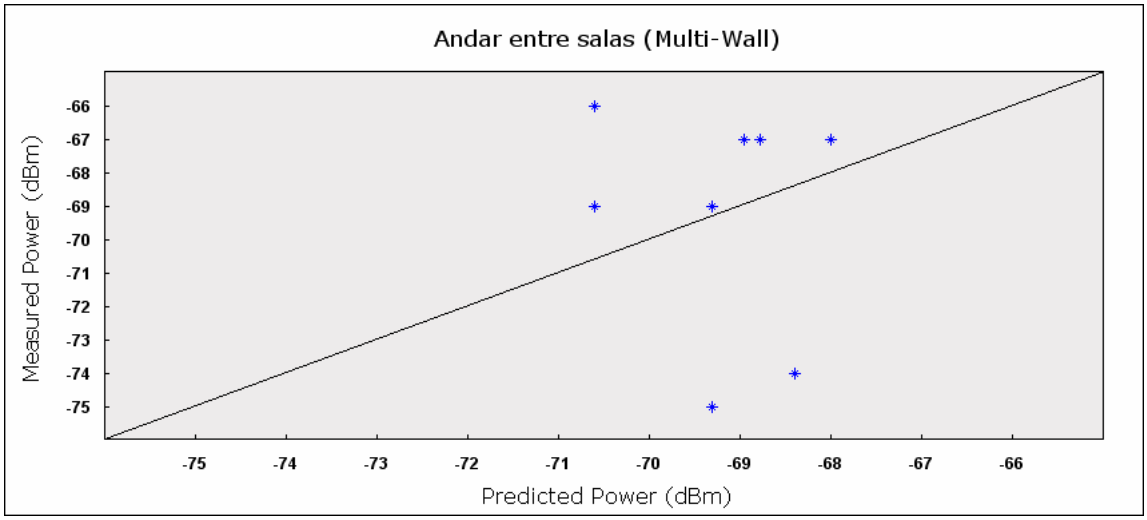


Figura D.9.7 Log optimizado para medidas com o elemento "andar entre salas".

Atenuação: 32.4 dB

No caso do cálculo do parâmetro óptimo para os andares não é possível ter grande precisão uma vez que é sempre difícil identificar com exactidão o local onde se encontra o ponto de acesso em relação à posição em que é feita a medida. Contudo, com várias medidas consegue-se chegar a um resultado correcto para a atenuação introduzida pelos andares.

D.1.4 Parede com Quadro

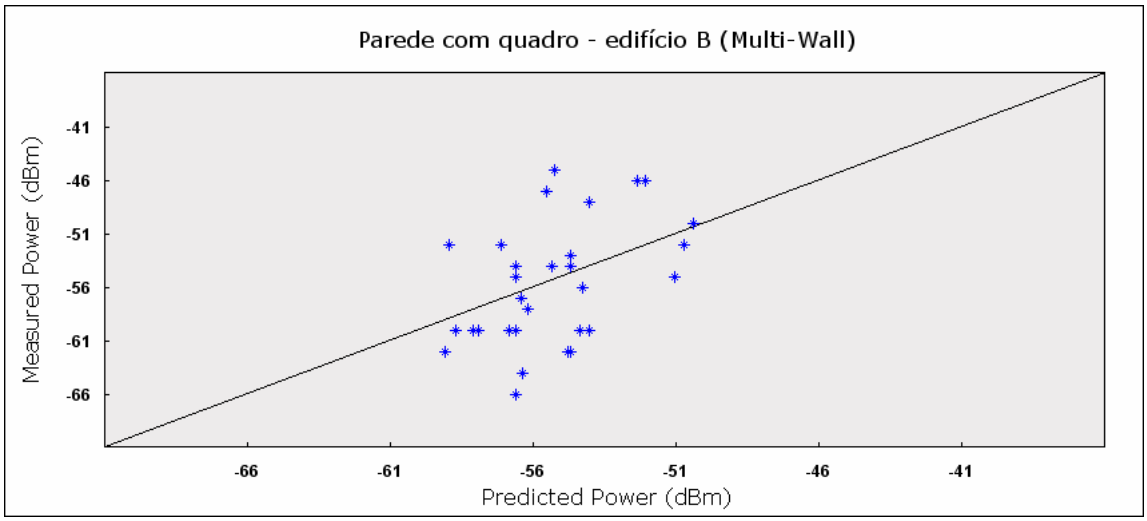


Figura D.8 Log optimizado para medidas com o elemento "parede com quadro".

Atenuação: 12 dB

Figura D.9 Caracterização fotográfica do elemento "parede com quadro" (LF = 12 dB).

D.1.5 Corredor Largo

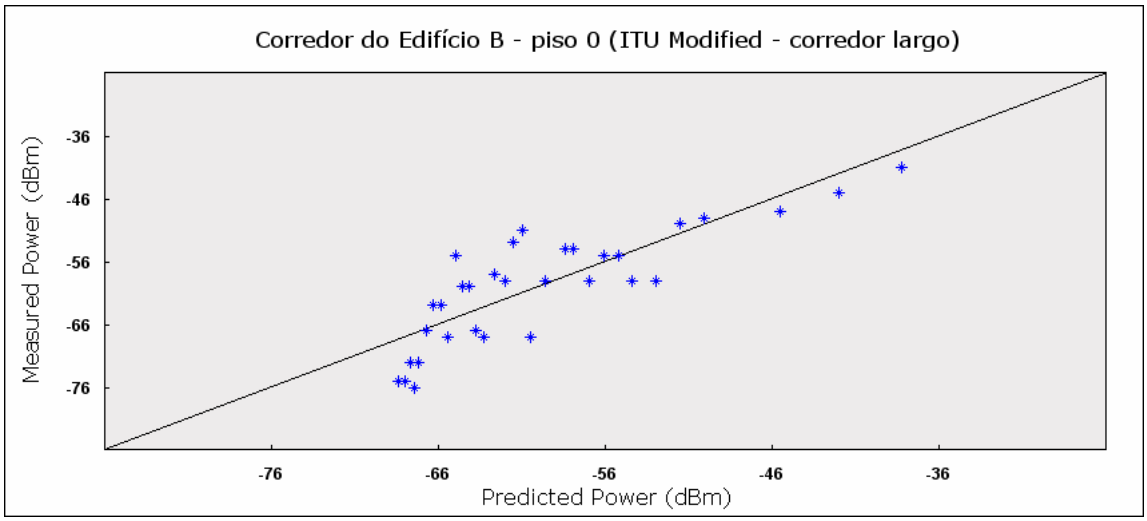


Figura D.10 Log optimizado para medidas com o elemento "corredor largo".

N = 21

Figura D.11 Caracterização fotográfica do elemento "corredor largo" (N = 21).

D.1.6 Corredor Estreito

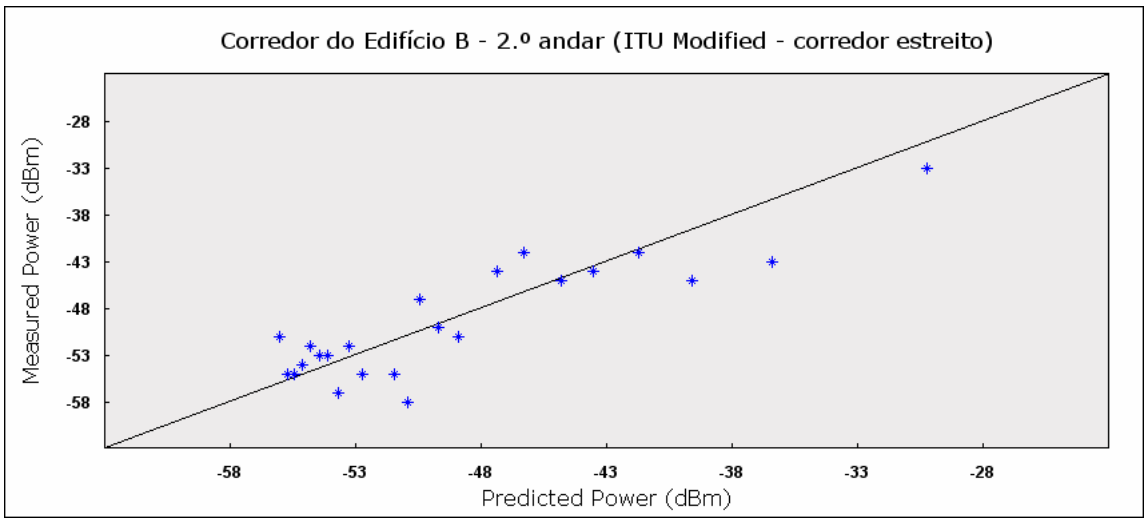


Figura D.12 Log optimizado para medidas com o elemento "corredor estreito".

N = 17

Figura D.13 Caracterização fotográfica do elemento "corredor estreito" (N = 17).

D.2 Edifício C (Biblioteca)

D.2.1 Coluna Principal

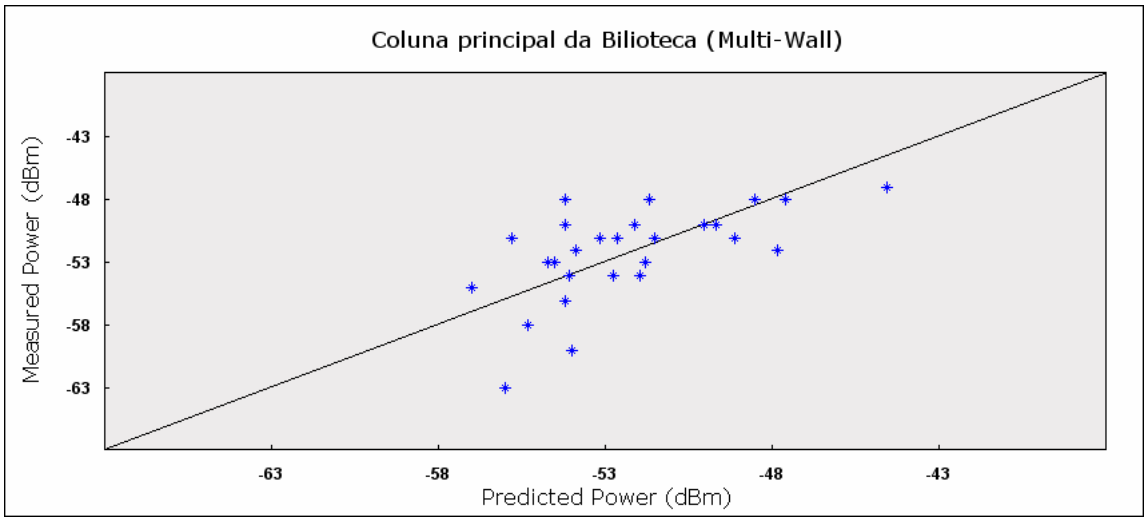


Figura D.14 Log optimizado para medidas com o elemento "coluna principal".

Atenuação: 7,5 dB

Figura D.15 Caracterização fotográfica do elemento "coluna principal" (LF = 7,5 dB).

D.2.2 Coluna Central

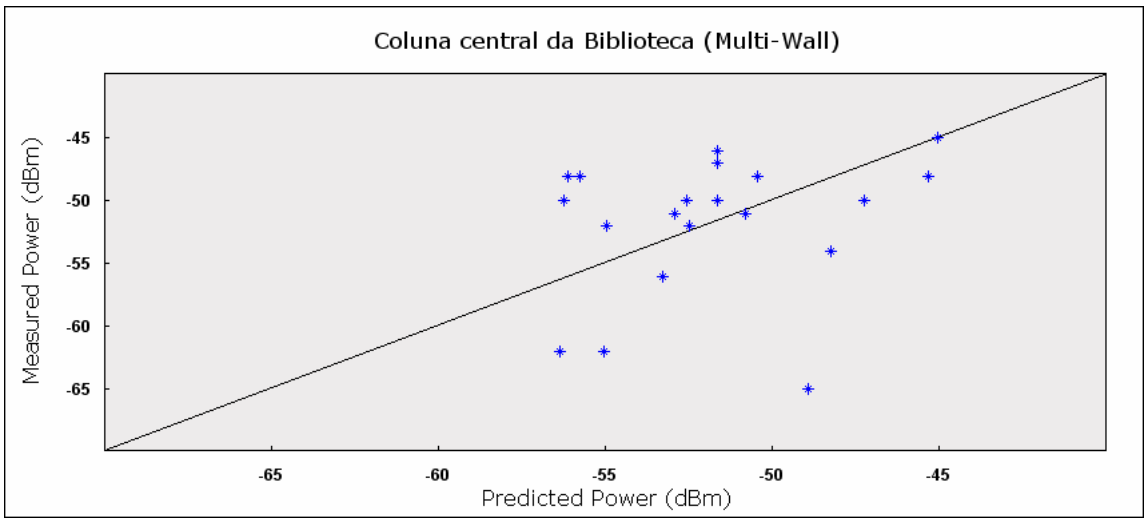


Figura D.16 Log optimizado para medidas com o elemento "coluna central".

Atenuação: 6,5 dB

Figura D.17 Caracterização fotográfica do elemento "coluna central" (LF = 6,5 dB).

E Identificação dos Pontos de Acesso em Operação na FEUP

Localização		MAC Address	SSID	Canal 802.11b	Potência de emissão
Edificio A	Piso 0 (Entrada)	00028A210E6A	wfeup-vpn	1	50 mW
	Piso 0 (por baixo do Auditório)	00028A1F9780	idem	11	50 mW
	Auditório	00028A210F0C	idem	1	30 mW
	Direcção	00028A210E65	idem	6	50 mW
	Sala de Actos	00028A112A8	idem	11	30 mW
Edificio B	B001 - Anfiteatro	00028A2231FC	idem	1	20 mW
	B003 - Anfiteatro	00028A2112A5	idem	6	20 mW
Biblioteca	Piso 0	00028A211002	idem	11	20 mW
	Piso 1	00028A210F09	idem	1	20 mW
	Piso 2	00028A210E52	idem	5	20 mW
	Piso 3	00028A21129F	idem	9	20 mW
	Piso 4	00028A1F978A	idem	3	20 mW
	Piso 6	00028A210E45	idem	1	50mW
	Piso 6	00028A1F9783	idem	6	50 mW
CICA	-	00028A210E5B	idem	1	-
	-	00028A0E4AF	idem	11	-
	-	00028AE34B2	idem	4	-
Ed. E	E006	00028A1F9707	idem	1	50 mW
Ed. F	F110	00028A2193FA	idem	6	30 mW
	F208	00028A191D1	idem	11	30 mW
Ed. G	G129	00028A21926F	idem	1	50 mW
Ed. H	Piso 1	00028A218FFB	idem	6	50 mW
Edificio I (Nascente)	Sala I012	00028A1F9710	idem	1	50 mW
	Piso 1 (Corredor)	00028A2231FB	idem	6	50 mW
	Sala I221	00028A210E55	idem	1	20 mW

Ed. I (Poente)	Sala I103	00028A1F9782	idem	5	50 mW
Ed. J	J202	00028A2112A2	idem	1	20 mW
Ed. L	Sala L202	00028A1F9503	idem	6	50 mW
Ed. M	M101	00028A218FDD	idem	11	50 mW

Tabela E.1 Pontos de acesso em operação na Faculdade de Engenharia

F Plantas do Projecto do Edifício de Botânica

Este anexo apresenta várias plantas dos 3 andares da Casa do Campo Alegre (Departamento de Botânica) com diversa informação. Na secção 1 estão assinaladas as zonas de utilizador, na secção 2 vem apresentado o projecto para o edifício e na secção 3 pode-se observar a área de cobertura em cada piso e para cada localização projectada para os pontos de acesso.

F.1 Áreas Prioritárias

Nas plantas seguintes estão assinaladas as zonas de utilizador. Embora existam outras áreas para além das pintadas onde se considerou importante ter boa cobertura, estas foram definidas como prioritárias, tendo o projecto subsequente o cuidado de analisar as questões de propagação de forma a fazer chegar sinal aceitável a todas as salas onde se previa uma futura utilização, se bem que não primordial.

No piso 1 foram definidas como zonas com maior prioridade o anfiteatro e as futuras salas de computadores, respectivamente. No piso 2 foi privilegiada a zona da Biblioteca. Na cave deu-se prioridade à zona do bar e *hall* contíguo, onde será esperada uma grande concentração de alunos. Foi ainda especificado que seria desejável ter uma boa cobertura no Laboratório de Didáctica de Biologia, embora a zona do Bar tenha sido considerada como mais importante. A definição destas áreas foi acordada com quem "encomendou" a rede, tendo já em conta o número de APs passível de financiamento para este edifício (4).

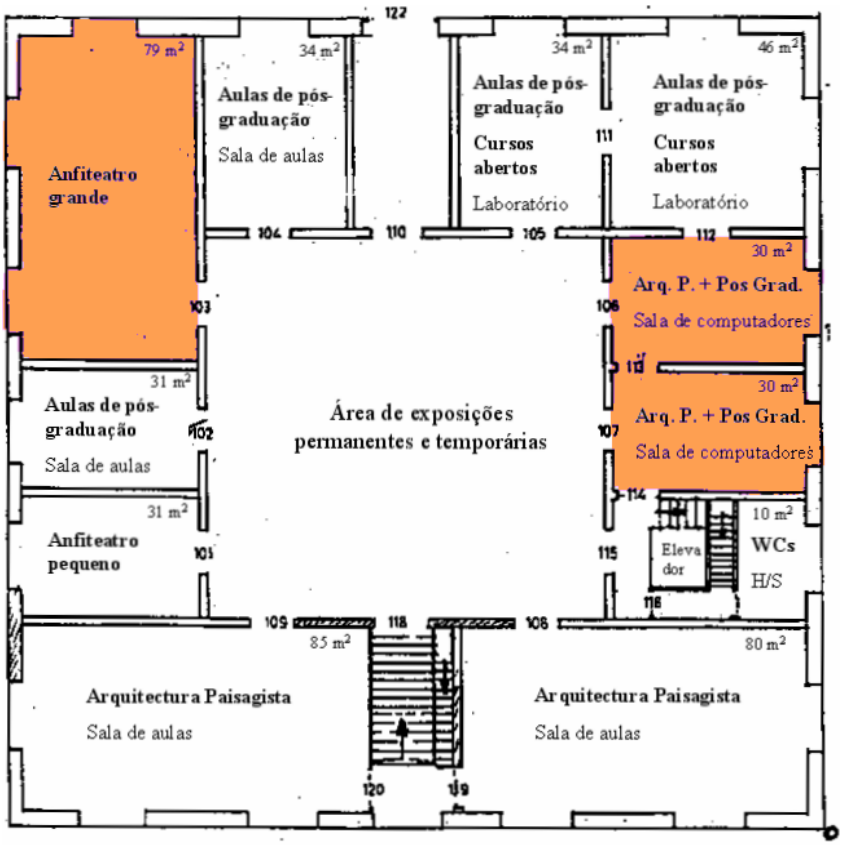


Figura F.1 Planta do piso 1 – áreas prioritárias.

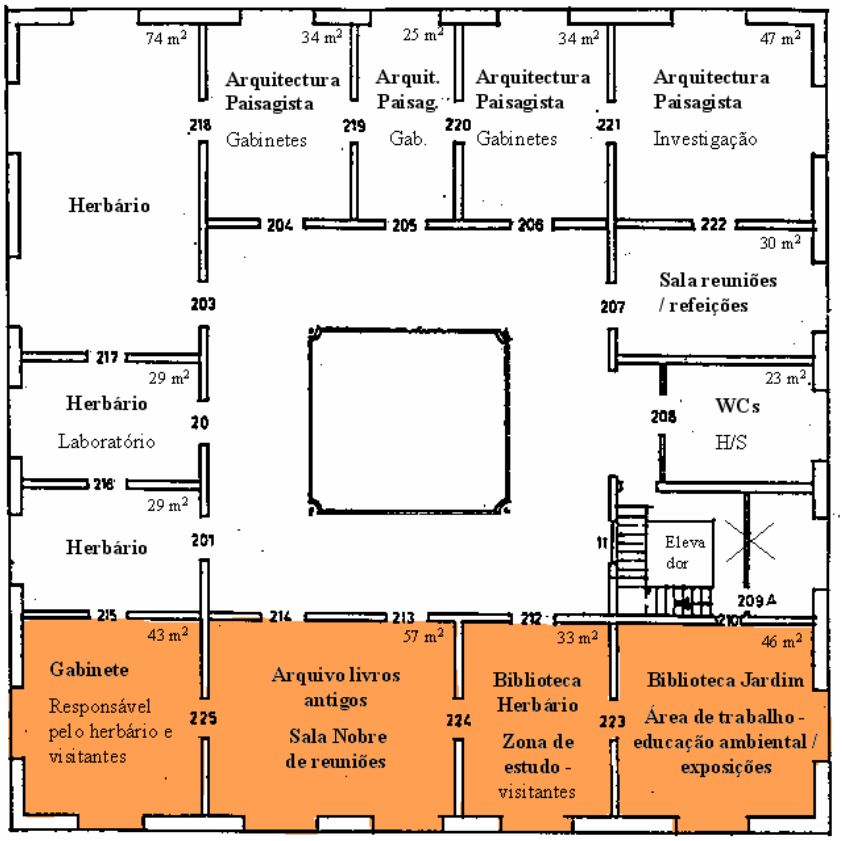


Figura F.2 Planta do piso 2 – áreas prioritárias.

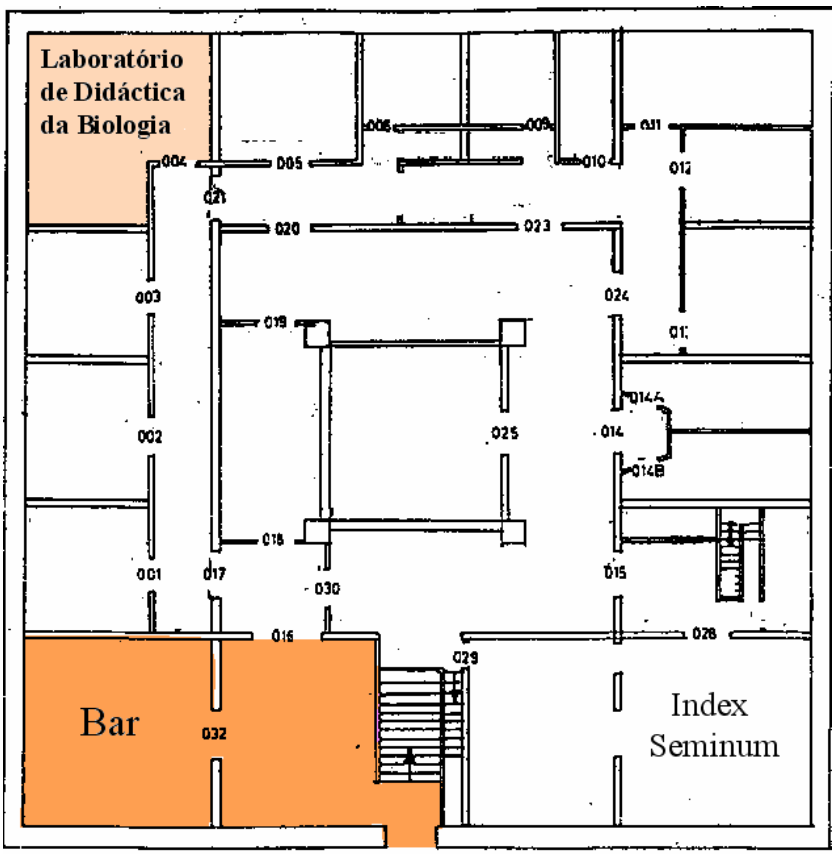


Figura F.3 Planta do piso 0 (cave) – áreas prioritárias.

F.2 Projecto

O projecto da rede consistiu na definição do número de pontos de acesso, localização, planeamento de frequências (canal a utilizar para cada AP) e escolha da potência de emissão de forma a obter a área de cobertura esperada evitando a possibilidade de interferência entre APs vizinhos que usem o mesmo canal. As plantas seguintes apresentam o projecto elaborado para os 3 pisos do edifício central do Jardim Botânico.

F.2.1 Projecto para o Piso 1

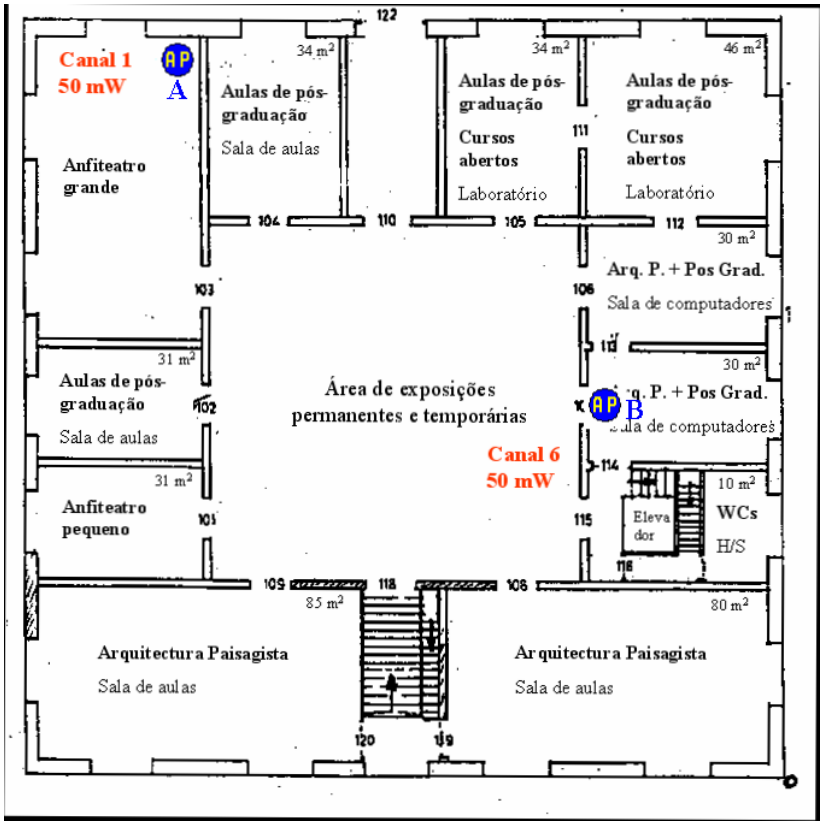


Figura F.4 Projecto para o piso 1.

- **Ap A**: A instalação deve ser feita conforme especificado na planta, numa posição a meio da altura da parede de forma a maximizar a propagação para as salas de aulas à direita do AP (na planta).

- **Ap B**: A instalação deve ser feita na bandeira da porta, do lado de dentro da sala, conforme ilustrado na figura F.5. Esta consideração é muito importante, pois todo o projecto e análise de cobertura foi feito neste pressuposto. Estando nesta localização, o AP cobre praticamente todo o andar com sinal muito bom. Se for colocado atrás da parede, o sinal esperado nas salas de computadores não se altera, mas a cobertura que este AP deveria dar no resto do piso será, naturalmente, inferior. Estando na bandeira da porta, que introduz uma atenuação muito fraca, o AP fica, praticamente, com linha de vista para as portas de todas as outras salas do piso. Estando instalado do lado de dentro, o AP não fica visível do *hall* principal, o que será também importante para não desvirtuar o estilo arquitectónico do edifício.

Figura F.5 Local de instalação do AP A.

F.2.2 Projecto para o Piso 2

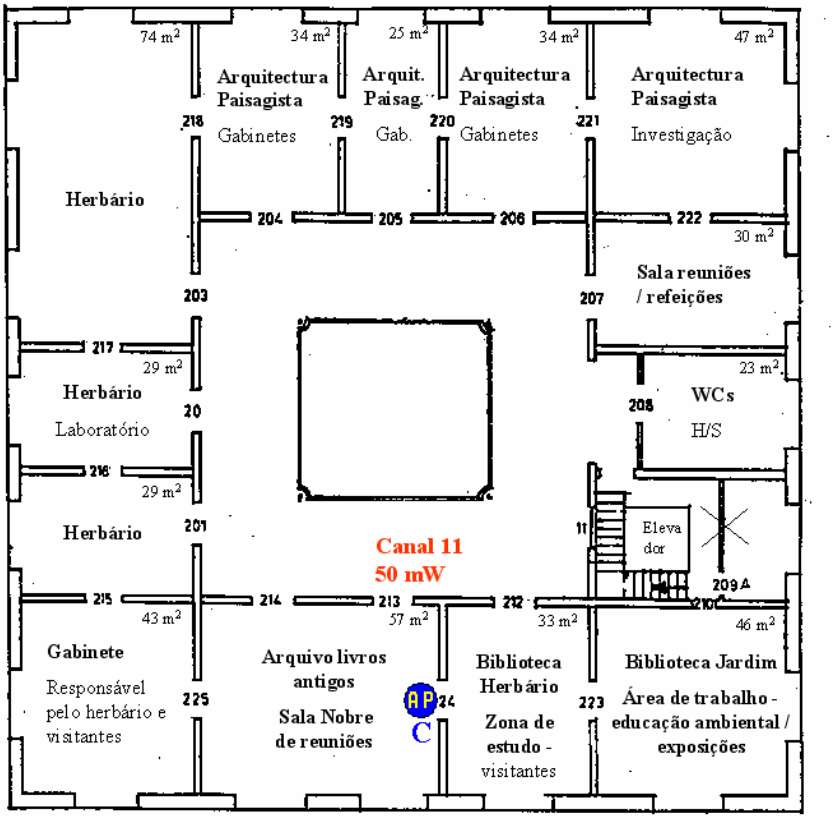


Figura F.6 Projecto para o piso 2.

- **AP C:** A instalação deste AP deve ser feita na bandeira da porta 224. Desta forma, o AP cobrirá muito fortemente toda esta ala do piso 2, uma vez que o sinal propagar-se-á pelas portas para as restantes divisões.

F.2.3 Projecto para o Piso 0

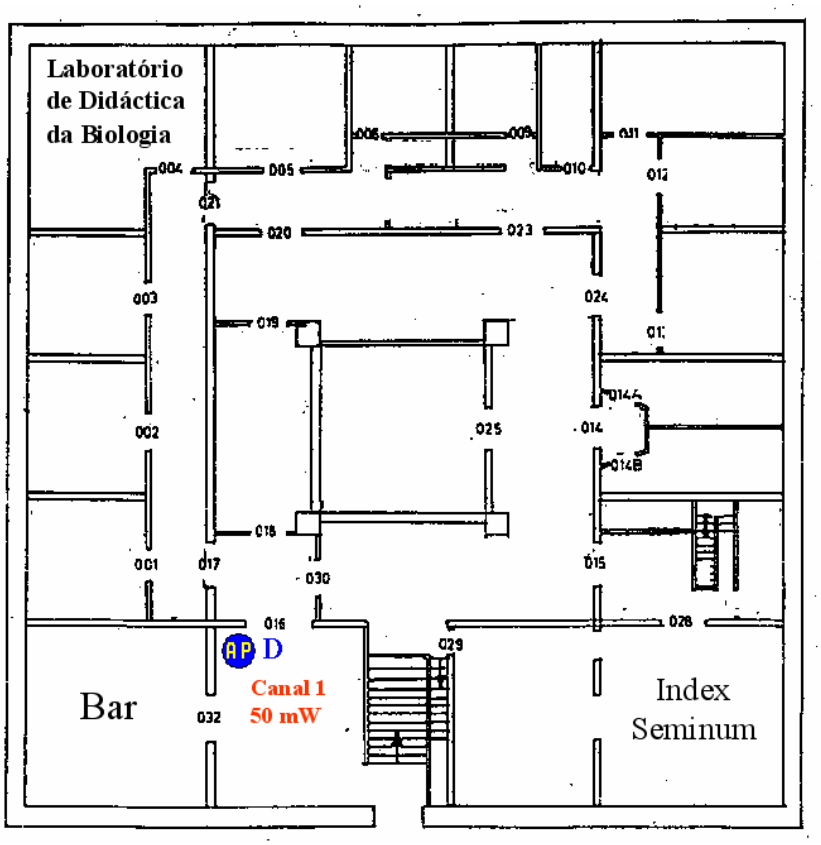


Figura F.7 Projecto para o piso 0 (cave).

- **AP D:** Deve ficar instalado no canto especificado na planta, junto ao tecto. De salientar que os APs devem estar protegidos com alguma segurança física, normalmente um cadeado que o prende ao local onde foi instalado. Este é um exemplo de um AP que ficará mais acessível dada a pouca altura do tecto neste local. Esta localização permitirá cobrir a a área do bar e adjacentes mas também grande parte das outras divisões da cave, tirando partido dos corredores aqui existentes para conduzir o sinal.

F.3 Análise Total de Cobertura

Nesta secção são apresentadas as plantas com o mapeamento de cobertura de cada AP e para cada piso. Fez-se assim uma análise de cobertura sistemática e total. A figura F.8 representa a legenda do mapa de cores usado em todas as plantas. As zonas brancas das plantas são zonas mapeadas onde se tentou registar medidas mas não se obteve qualquer sinal. As zonas cinzentas são zonas sem qualquer tipo de cobertura – nem valia a pena tentar captar sinal nelas. Cada ponto negro representado na planta significa uma medida de sinal realizada.

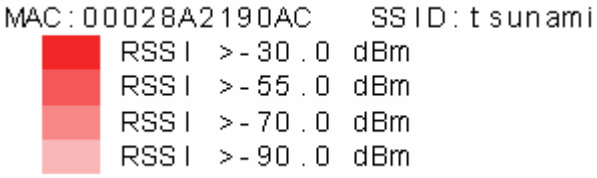


Figura F.8 Legenda dos mapas de cobertura.

F.3.1 AP A – Anfiteatro

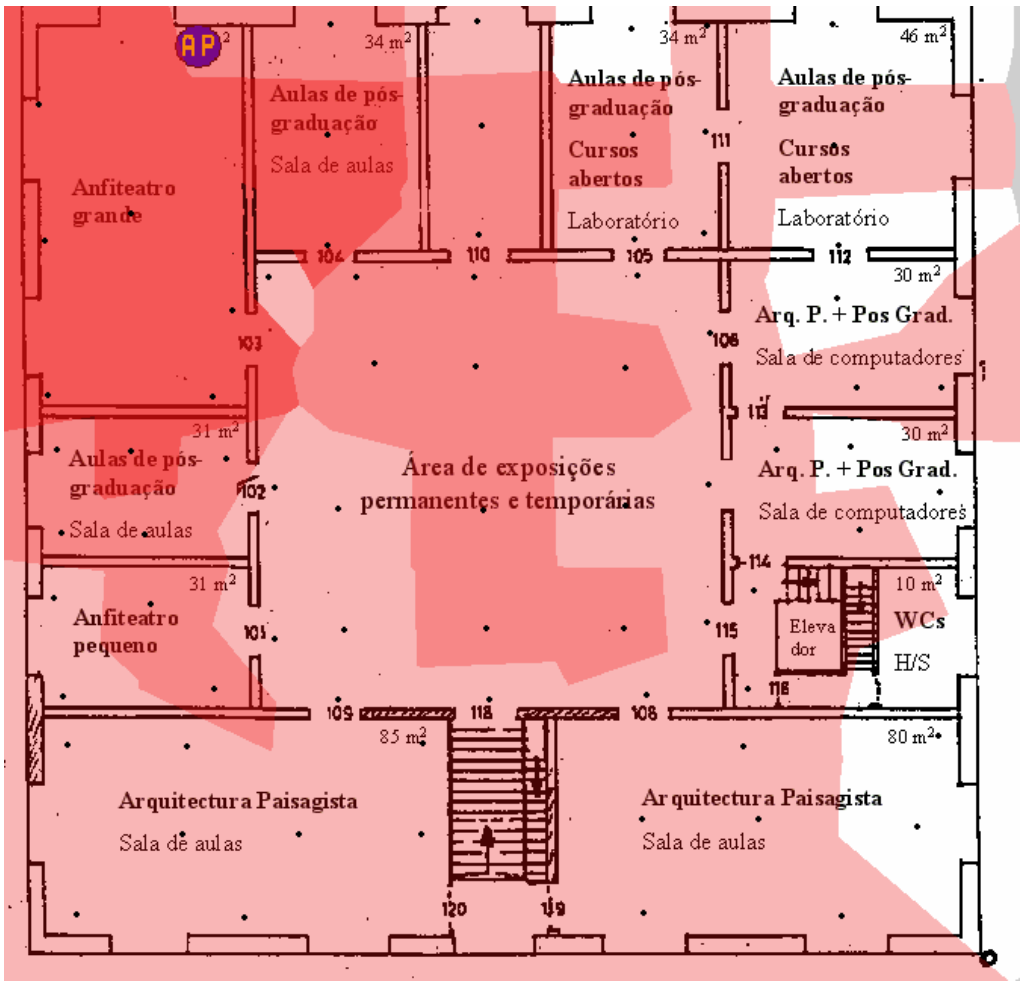


Figura F.9 Mapa de cobertura do AP A para o 1º piso.

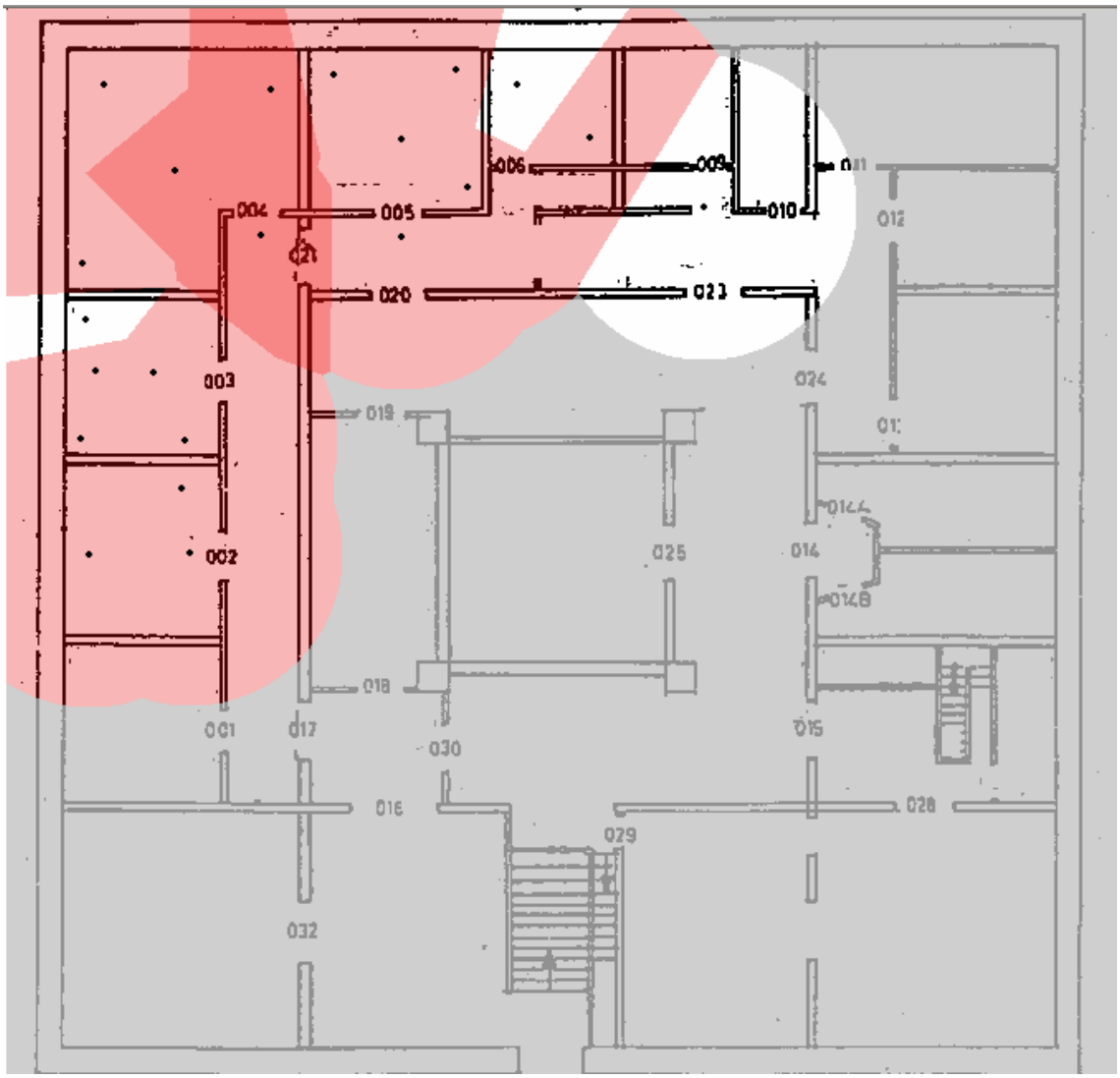


Figura F.10 Mapa de cobertura do AP A para a cave.

Conforme esperado, o AP A cobre a zona da cave que se encontra por baixo dele, com especial relevo para a sala do Laboratório de Didáctica da Biologia onde se pretendia boa cobertura.

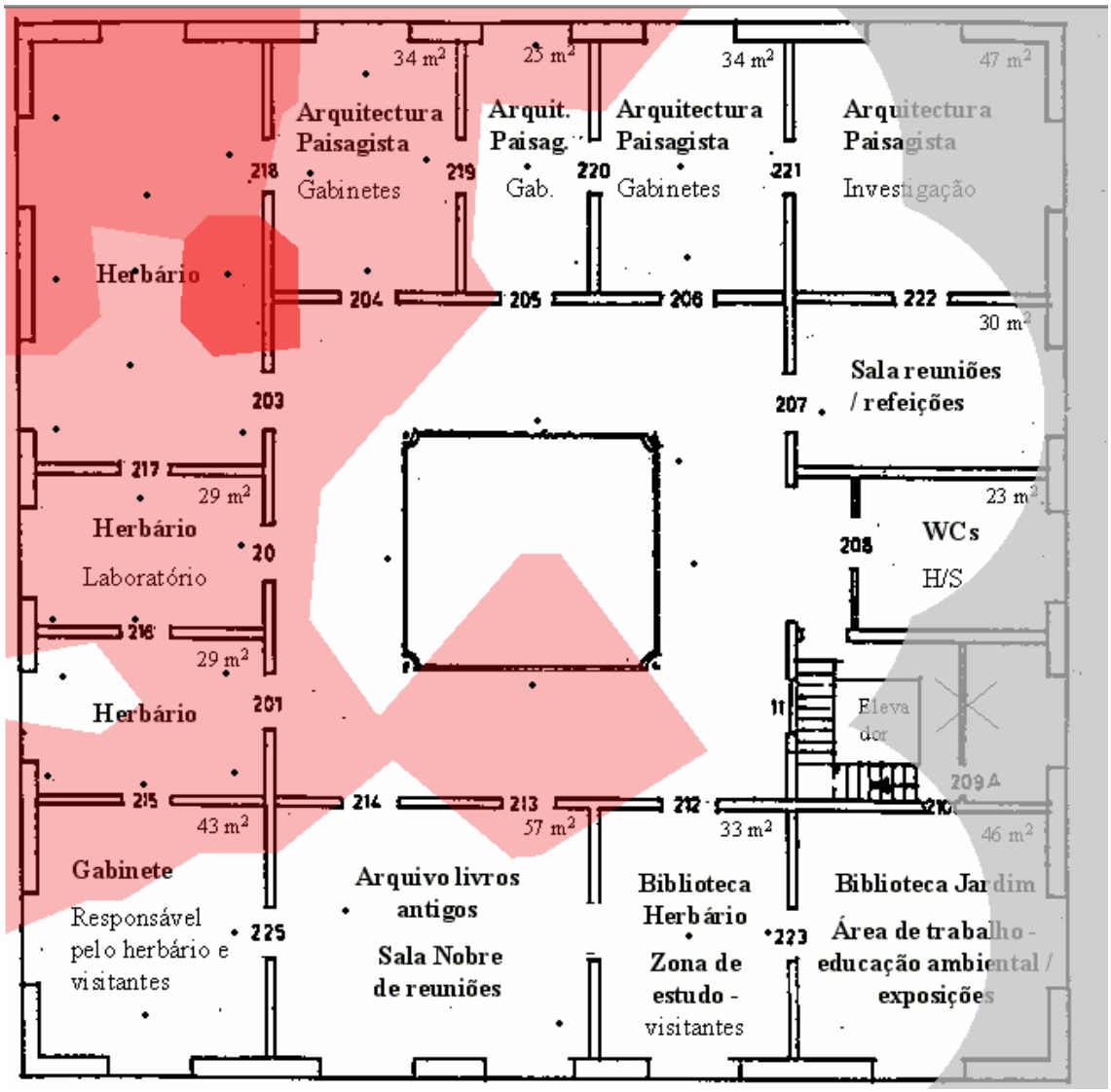


Figura F.11 Mapa de cobertura do AP A para o 2º piso.

É interessante observar nesta planta que exactamente por cima do AP se tem menos sinal que um bocadinho ao lado. Este facto pode ser explicado atendendo ao diagrama de radiação da antena do *Yellow Jacket* apresentado na figura 5.10. Exactamente por cima da antena, o ganho é menor que 1 pelo que ligeiramente ao lado este tem valores superiores.

F.3.2 AP B – Salas de Computadores

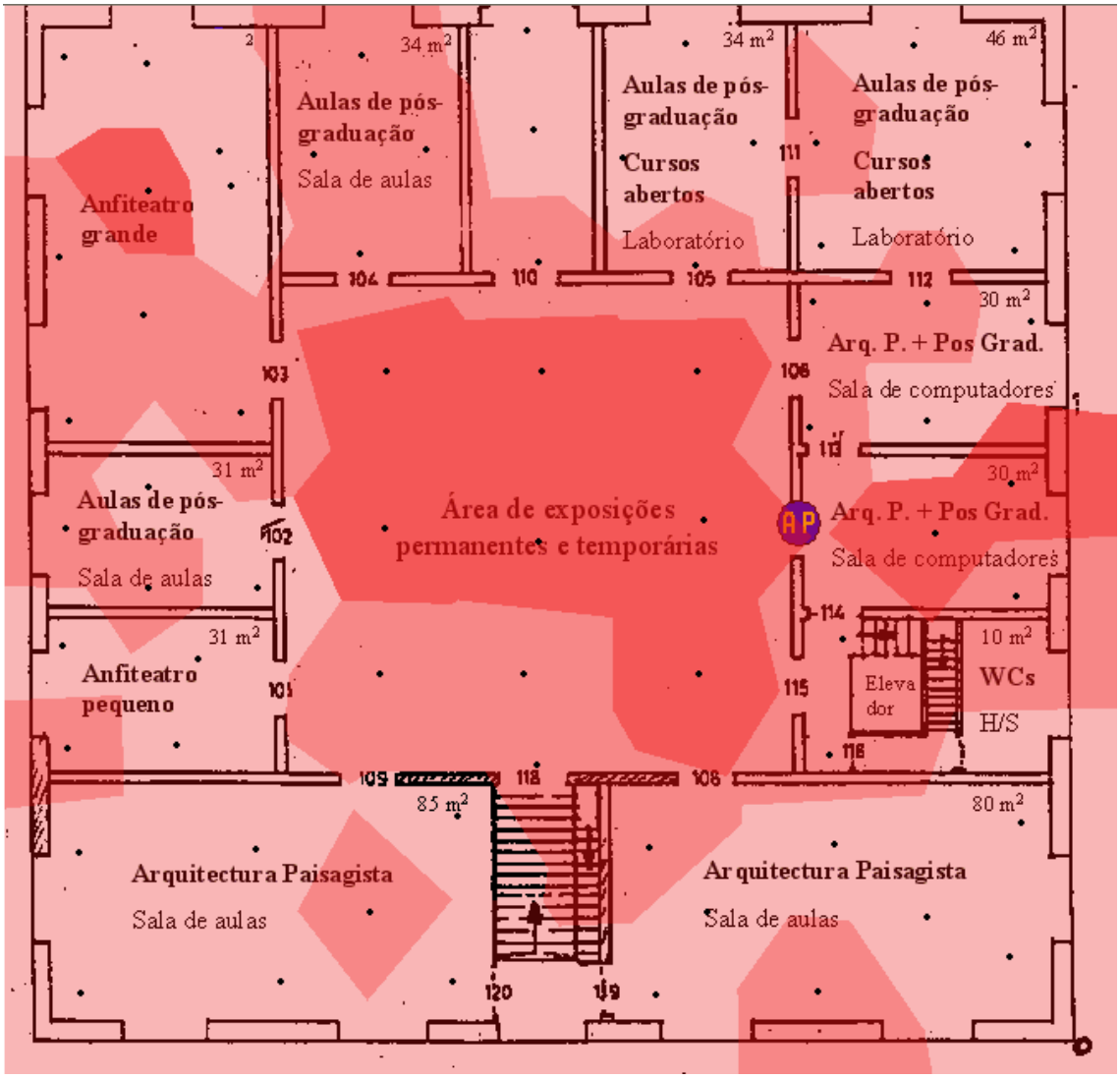


Figura F.12 Mapa de cobertura do AP B para o 1º piso.

Como se pode verificar na planta, a colocação deste AP (na bandeira da porta) faz com que todo o piso seja coberto com sinal muito satisfatório.

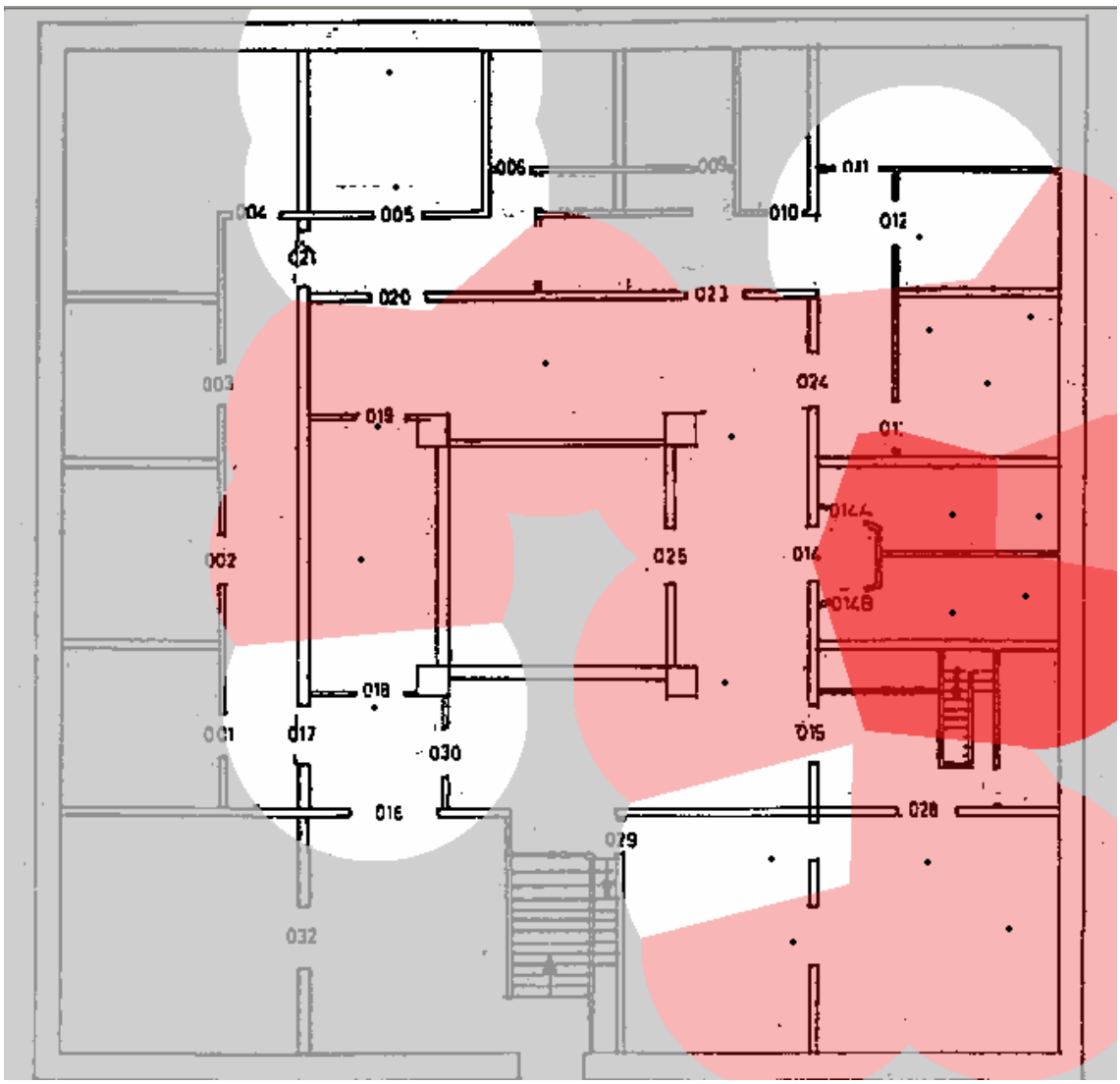


Figura F.13 Mapa de cobertura do AP B para a cave.

A cave, dadas as circunstâncias, é bem coberta por este AP, acabando por ficar quase totalmente coberta com a combinação dos APs A, B e D.

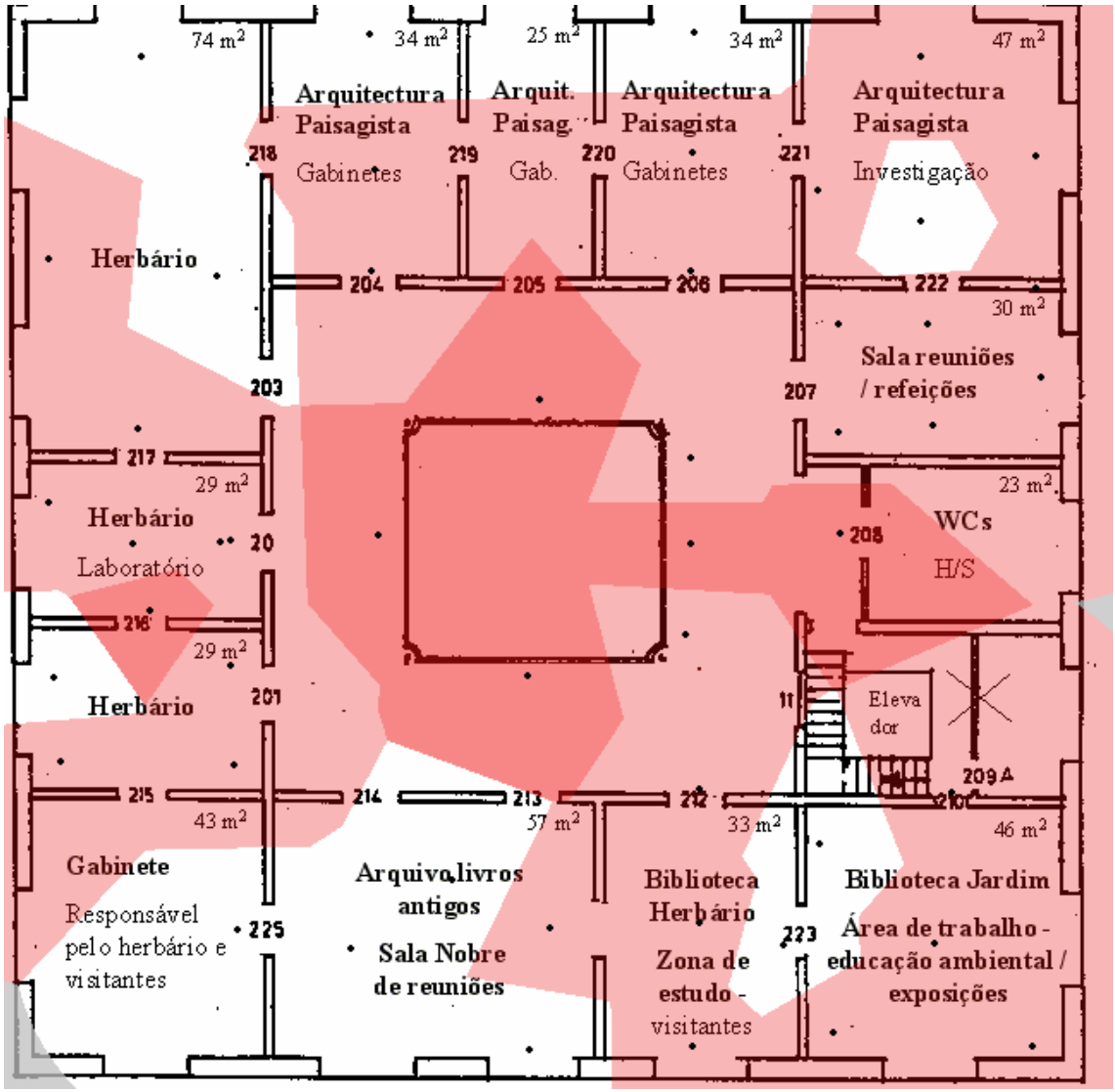


Figura F.14 Mapa de cobertura do AP B para o 2º piso.

Verifica-se que a cobertura do 2.º andar pelo AP B é também muito satisfatória. Em conjunto com os APs A e C o 2.º andar fica completamente coberto.

F.3.3 AP C – Biblioteca

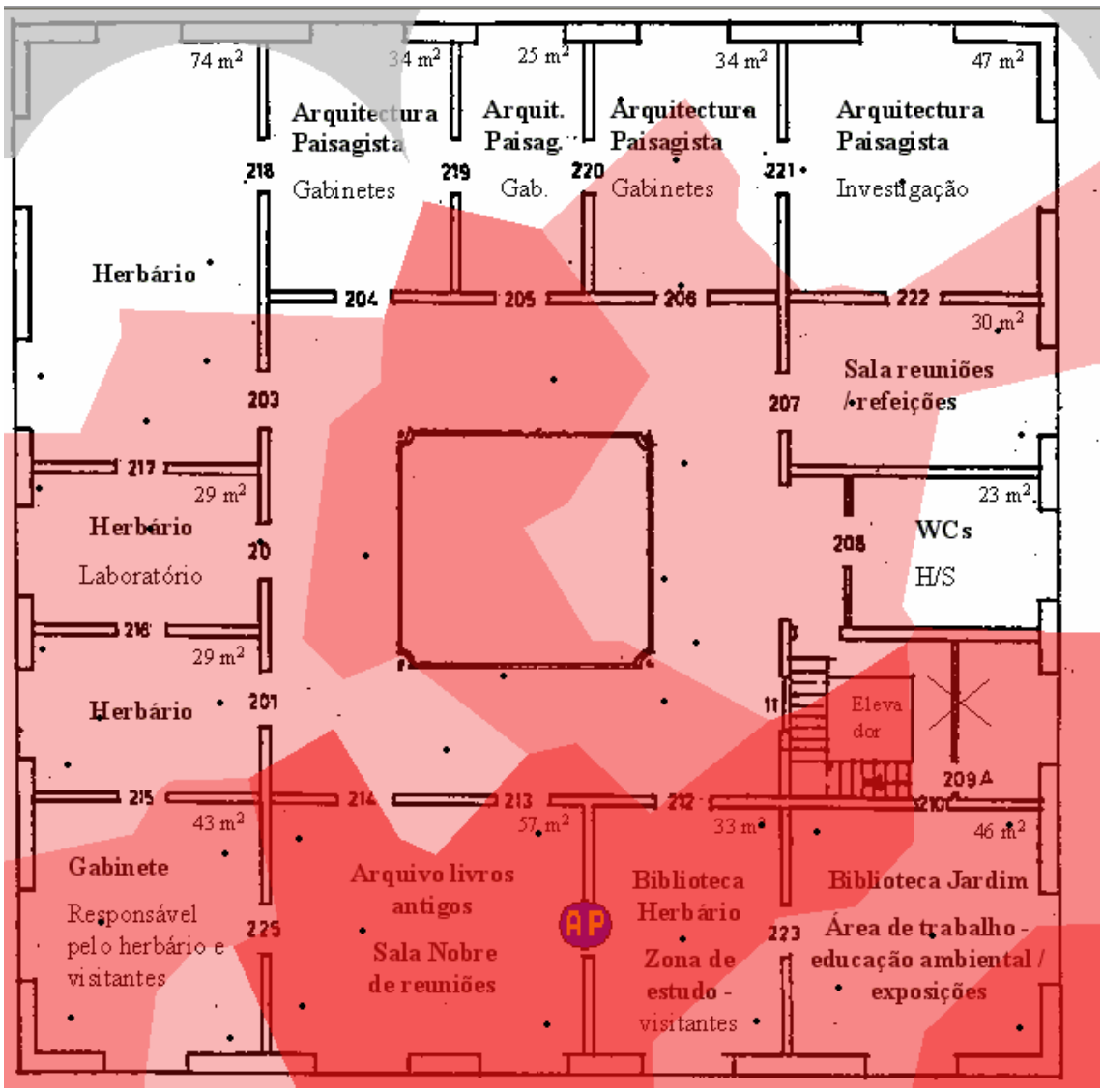


Figura F.15 Mapa de cobertura do AP C para o 2.º piso.

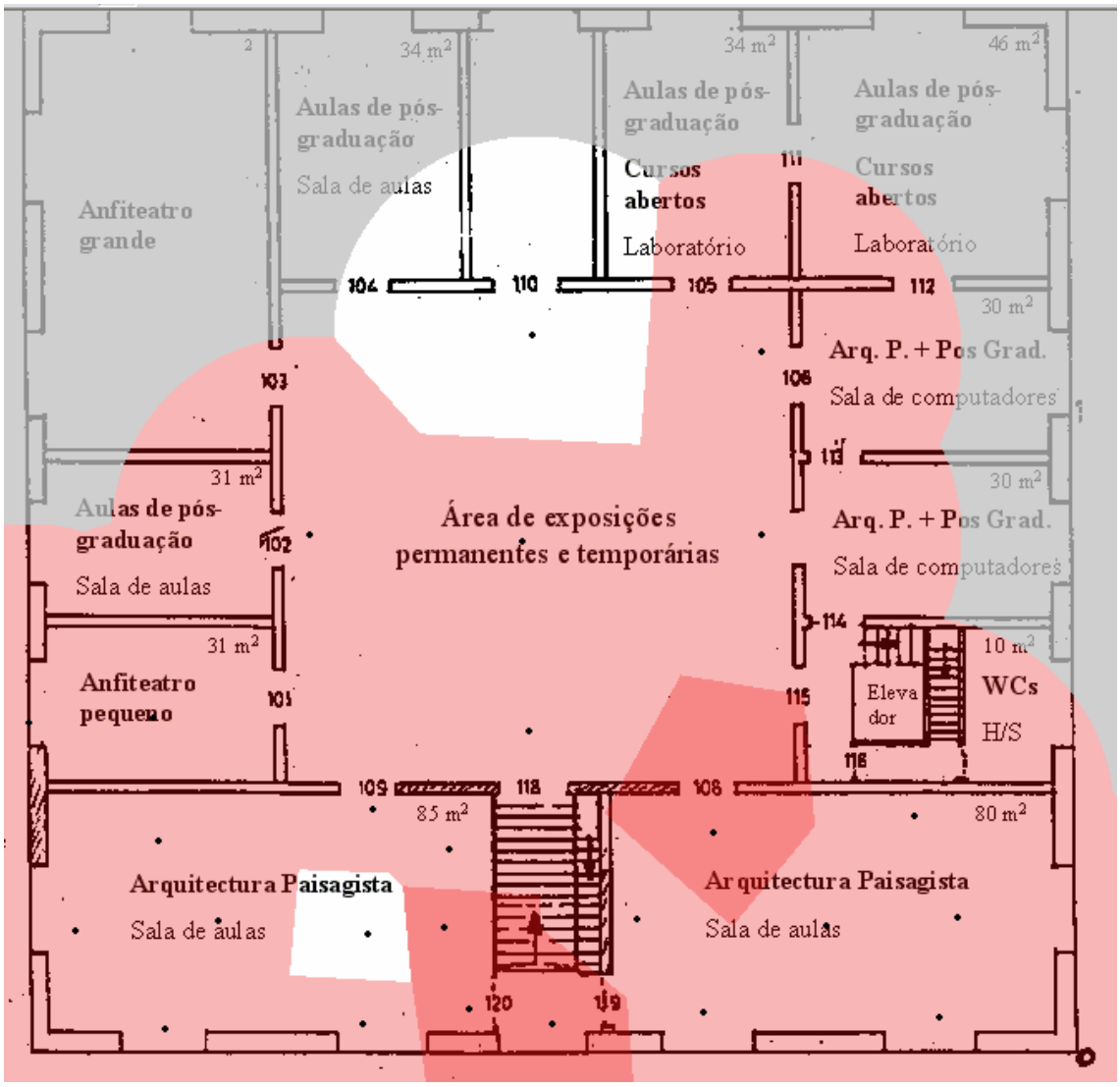


Figura F.16 Mapa de cobertura do AP C para o 1.º piso.

Em relação à cave, o sinal do AP C não consegue lá chegar em condições satisfatórias (teria de atravessar 2 pisos) pelo que se dispensa a apresentação da planta.

F.3.3 AP D – Junto ao Bar

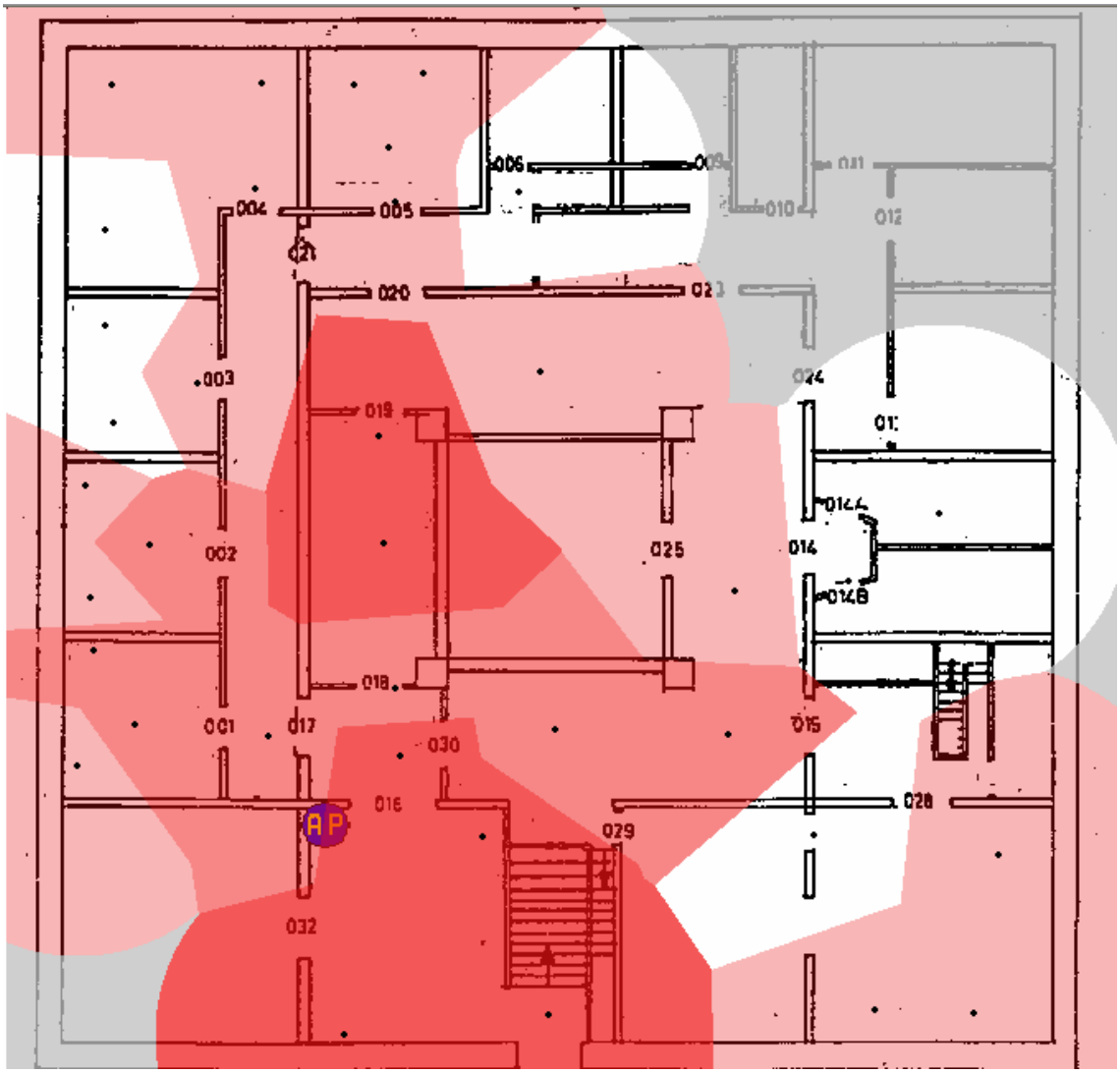


Figura F.17 Mapa de cobertura do AP D para a cave.

Comprova-se que a área de utilizador definida inicialmente fica totalmente coberta e ainda grande parte da cave, o que faz com que também se espere boa cobertura em quase todo este piso. No Bar não se tem informação de sinal pois foi impossível fazer medições nessa divisão, sendo óbvio que o sinal lá não será inferior a excelente. É ainda interessante notar, nesta planta, o efeito corredor que se verifica para a cobertura da sala 004. Na verdade, este AP não cobre correctamente a sala 003, mas a parte da sala 004 que fica em frente ao corredor vê o sinal conduzido até ela.

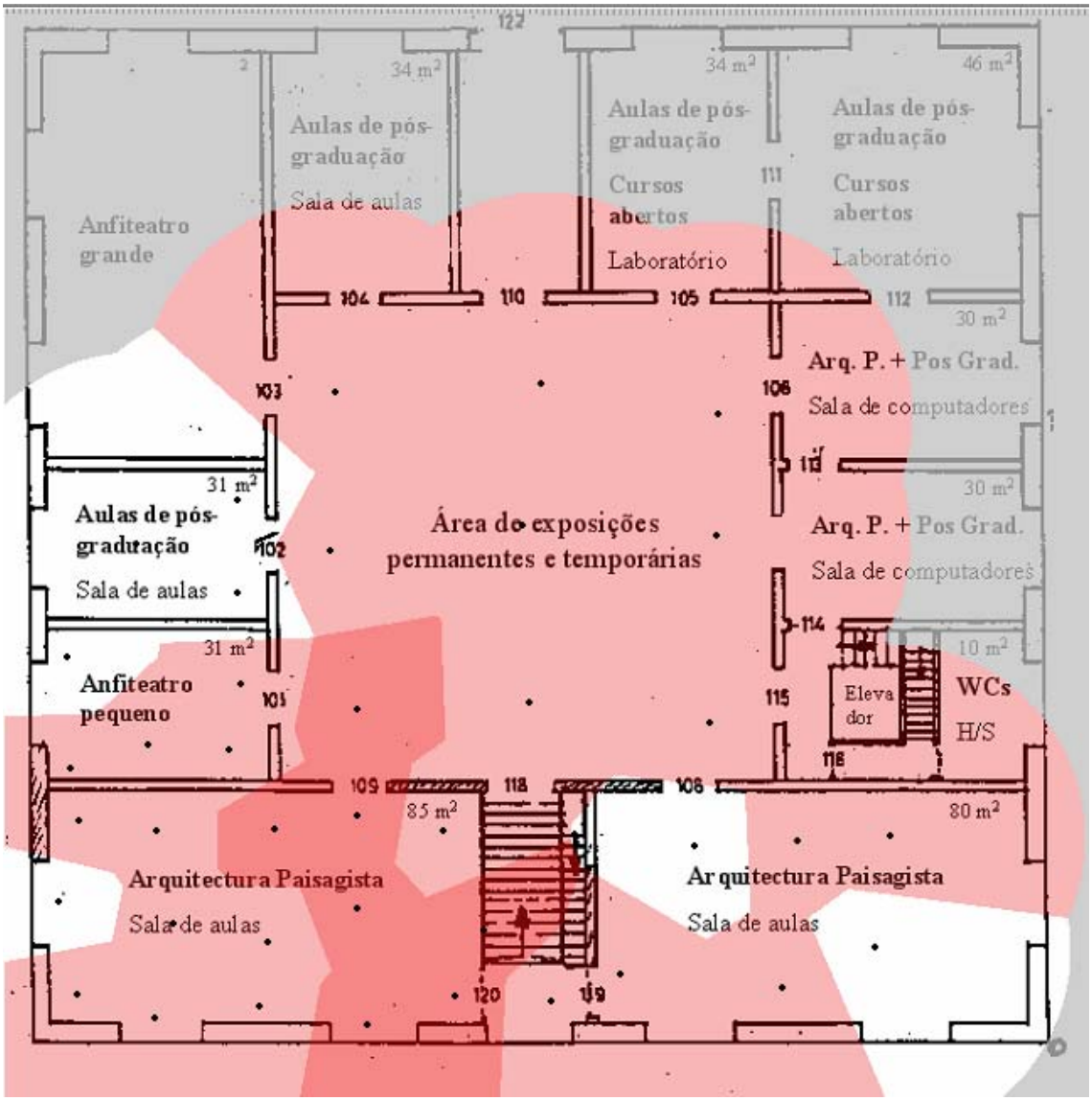


Figura F.18 Mapa de cobertura do AP D para o 1.º piso.

Verifica-se que o sinal do AP da cave ainda chega com bom nível a algumas zonas do primeiro andar. Ao longo da análise destas plantas percebe-se que o sinal do AP D nunca chega em boas condições a locais onde existe o sinal do AP A com bom nível e vice-versa. Esta consideração é determinante pois o projecto determinou que estes dois APs usassem o mesmo canal e, como comprovado, não existirá qualquer possibilidade de interferência. Já a solução que poderia ser alternativa a esta (APs C e D no mesmo canal) revela-se uma má solução pois no piso 1 ter-se-ia sinal em boas condições dos dois APs no mesmo canal. A opção tomada confirmou-se como sendo a melhor através desta análise.

G Evolução para a Norma IEEE 802.11g

O facto de o IEEE 802.11a (54 Mbit/s) operar numa banda diferente daquela que é usada pelo IEEE 802.11b e o equipamento correspondente ser mais caro, torna-o pouco atractivo para entidades que já possuem redes 802.11b instaladas ou que pretendem instalar uma rede sem fios de raiz. Mais prometedor é o *standard* IEEE 802.11g, ratificado em Junho de 2003, a operar na banda dos 2.4 GHz, à semelhança do 802.11b, mas com débito igual ao IEEE 802.11a, 54 Mbit/s, oferecendo total compatibilidade com a norma .11b (característica referida na norma como mandatória para qualquer dispositivo .11g). O 802.11g usa um método relativamente novo para codificar os bits de informação, de forma a atingir o débito de 54 Mbit/s através de um único canal. Este método é designado de OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* e é semelhante ao usado pela técnica DSL para transmissão de bits através do par de cobre de acesso à rede PSTN. Assim, o sinal correspondente aos dados de utilizador é divido em 48 sub-portadoras, constituindo assim 48 canais distintos para o envio de informação, que permitem obter taxas de transmissão de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, e 54 Mbit/s. Para cada uma das sub-portadoras é usado PSK ou QAM como técnica de modulação digital, tendo em conta o débito oferecido. Apesar de se referir que o 802.11g fornece até 54 Mbit/s de taxa de transmissão, esta situar-se-á na realidade entre os 20 e os 30 Mbit/s, contrastando, contudo, com a fornecida pelo 802.11b, situada entre os 4 e os 6 Mbit/s, na melhor das hipóteses. Através da utilização de um protocolo melhorado, o 802.11g permite a coexistência entre dispositivos .11b e .11g. Consequentemente, os equipamentos que obedecem à primeira norma transmitem à taxa de 11 Mbit/s, enquanto equipamentos 802.11g têm à disposição um débito até 54Mbit/s na mesma WLAN.

O *standard* 802.11b apresenta como grandes vantagens o melhor comportamento quanto às inevitáveis reflexões experimentadas pelo sinal RF num ambiente *indoor* e maior resistência a interferências. Pelo facto de a informação ser transmitida através de 48 canais diferentes permite-se que, caso exista uma fonte de interferência localizada ou desvanecimentos devido a multipercurso, o sistema se adapte a esta nova condição diminuindo, ou no limite omitindo por completo, a transmissão de dados nas sub-bandas OFDM para as quais se verifica a interferência, melhorando, deste modo, o desempenho global do sistema. Em conclusão, pode afirmar-se que, porque é possível a interoperabilidade entre a nova norma e o *standard* 802.11b que serve de base à grande maioria das WLANs instaladas em todo mundo, esta será, possivelmente, a norma a usar futuramente, apresentando como grande vantagem o facto de não ser necessário alterar o *hardware* das redes .11b já disponibilizadas, bastando o *upgrade* ao nível do *firmware* dos pontos de acesso e das NICs. Este *upgrade* poderá ser realizado remotamente a partir de um ponto de acesso central, que procederá à actualização de todos os outros que pertencem à mesma WLAN. Como desvantagem apresenta-se o facto de o alcance das redes sem fios 802.11g sem menor que no caso da norma .11b, podendo, eventualmente, ser necessário alterar a localização dos pontos de acesso e/ou adicionar outros.

H Aumento do Desempenho de uma WLAN Usando Fragmentação

De forma a proporcionar melhor utilização da largura de banda associada a uma WLAN é necessário ter em conta alguns parâmetros de configuração referentes ao 802.11. Opcionalmente este *standard* tem a capacidade, associada quer às NICs quer ao APs, de fragmentar os pacotes de informação, procurando-se atingir melhores desempenhos para a rede sem fios, na presença de interferências. De seguida descreve-se sucintamente como funciona a fragmentação de pacotes, no âmbito da norma 802.11, e em que situações esta técnica pode ser aplicada para melhorar o desempenho da rede *wireless*.

H.1 Fragmentação

Um emissor 802.11 (NIC ou ponto de acesso) usa fragmentação para dividir as tramas em pacotes mais reduzidos (fragmentos) que são enviados separadamente para o destino. Uma vez que a fonte de dados transmite cada fragmento de forma independente, a estação receptora responde com uma confirmação (ACK – *Acknowledgement*) para cada um deles. Um dispositivo 802.11 aplica fragmentação apenas às tramas que apresentam endereço destino do tipo *unicast*. Neste conjunto estão incluídas todas aquelas que se destinam a um único endereço. De modo a minimizar o *overhead* na rede, a norma 802.11 não permite a fragmentação de tramas *broadcast* (difusão) e *multicast* (multi-destino).

O uso de fragmentação pode aumentar a fiabilidade da transmissão de informação. Pelo facto de se enviarem pacotes mais pequenos há uma redução efectiva na probabilidade de ocorrência de colisões. Deste modo, o número de *bytes* que é necessário retransmitir em caso de erro virá efectivamente diminuído, aumentando o débito disponível. O tamanho de um fragmento é tipicamente seleccionado entre os 256 e os 2,048 bytes, sendo este valor controlável pelo utilizador. Na realidade, a fragmentação é activada através da configuração de um *threshold* (em bytes). Se a trama que o emissor está a enviar é maior que o *threshold* escolhido, a fragmentação é desencadeada. Se, pelo contrário, o tamanho do pacote for igual ou menor que o *threshold*, a fonte não procederá a qualquer fragmentação. Configurando o valor máximo indicado para o *threshold* (2,048 bytes) a fragmentação é desactivada.

Um bom método para determinar se a fragmentação deve ser activada é a monitorização da *wireless* LAN, a fim de avaliar o número de colisões que ocorrem, por exemplo, em cada 100 mil pacotes. Se for encontrado um número elevado, então deve experimentar-se a fragmentação como medida para solucionar o problema. Esta alternativa poderá aumentar o débito oferecido pela rede, caso o tamanho dos fragmentos seja ajustado correctamente. Por outro lado, se o número de colisões observadas for reduzido (menos de 5 %) não haverá qualquer interesse em usar este protocolo. Os cabeçalhos adicionais associados a cada fragmento iriam aumentar dramaticamente o *overhead* na rede, reduzindo, consequentemente, a taxa de transmissão fornecida pela WLAN.

Assim, a utilização do protocolo de fragmentação, previsto na norma IEEE 802.11, deve ter como base um estudo prévio da rede, de modo a avaliar o nível de colisões existente e, dessa forma, concluir sobre a utilidade desta técnica para melhorar o desempenho do sistema. Caso o número de colisões seja significativo pode, então, considerar-se o uso de fragmentação na tentativa de diminuir a probabilidade de ocorrência de colisões e, consequentemente, aumentar o débito disponível para transmissão de dados de utilizador.

I Poster de Apresentação do Projecto

Projecto de redes locais sem fios 802.11b
Análise de Localização

INESC PORTO — Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto
FEUP — Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia

Orientadores: Prof. Mário Jorge Leitão, Eng.º Carlos Oliveira
Alunos: Ricardo Pais de Oliveira, Rui Lopes Campos
PSTFC 2003

Objectivos:

1. Estudo de modelos de propagação e comparação com medidas de sinais da norma IEEE 802.11b (trabalho de campo) .
2. Desenvolvimento de uma aplicação de simulação e análise para o auxílio do projecto de redes.
3. Optimização dos modelos teóricos para diferentes instalações.
4. Aplicação de metodologias de análise de localização (*site survey*).
5. Análise de cobertura em redes instaladas.

Site Survey:

1. Definição dos requisitos da rede.
2. Identificação das áreas de utilizador.
3. Inspecção visual do local.
4. Detecção de fontes de interferência.
5. Caracterização das condições de propagação do edifício (opcional).
6. Definição da localização dos pontos de acesso (APs).
7. Planeamento de frequências e escolha dos níveis de potência.
8. Simulação pontual de propagação com base nas localizações dos APs.
9. Instalação da rede.

Modelos de Propagação:

1. Multi-Wall (COST-231 para ambientes *indoor: site-specific*)

$$L = L_{FS} + \sum_{i=1}^{N} K_{wi} L_{wi} + kf^{\left[\frac{k_f+2}{k_f+1}-b\right]} L_f \, (dB)$$

2. ITU (*site-general*)

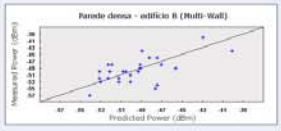
$$L = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + L_f(n) - 28 \, (dB)$$

	Residential	Office	Commercial
$L_f(n)$	$4n$	$15 + 4(n-1)$	$6 + 3(n-1)$
N	28	30	22

Refinamento

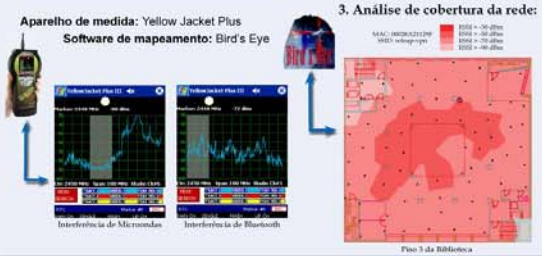
Trabalho de campo:

1. Obtenção de medidas para refinamento de elementos:



2. Projecto da rede do edifício do Departamento de Botânica (FCUP):

3. Análise de cobertura da rede:

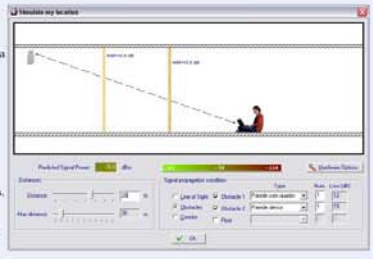


Aparelho de medida: Yellow Jacket Plus
Software de mapeamento: Bird's Eye

Aplicação desenvolvida:

SiProPA (*Signal Propagation Prediction and Analysis*)

- Geração e análise de Logs.
- Optimização dos parâmetros do modelo Multi-Wall.
- Criação de novos ambientes para o modelo ITU (*ITU modified*).
- Gestão de ficheiros de configuração associados ao local.
- Simulação de localizações.
- Referenciação fotográfica.
- Biblioteca de equipamentos.
- Adaptação a outras normas.
- Diferentes visualizações gráficas.
- Filtragem de obstáculos.
- Exportação de dados e gráficos.
- Interface *user-friendly*.



Optimização dos modelos:

1. Novos ambientes criados (*ITU modified*).

	Botânica	Biblioteca	Edifício B
N	38	26	40

2. Exemplos de elementos refinados (*Multi-Wall*):

Botânica:

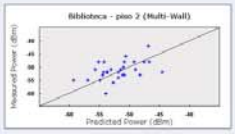
Parede	10 dB
Andar	14 dB

Biblioteca:

Coluna Principal	7.5 dB
Coluna Central	6.5 dB

Edifício B:

Andar (salas)	32 dB
Parede	15 dB
Parede (salas)	12 dB
Corredor (2.º p.)	N = 17



Conclusões:

1. A instalação de uma rede *wireless* não pode ser feita de forma simplista, mas deve ser precedida de um completo e rigoroso *site survey*.
2. A aplicação desenvolvida constitui uma ferramenta poderosa de auxílio ao projecto através da optimização de modelos de propagação.
3. A possibilidade de determinar parâmetros optimizados para cada edifício permite previsões precisas que evitam medidas exaustivas.

http://www.fe.up.pt/~ee98130/PSTFC

J Informação da Página do Projecto

A página do projecto encontra-se em http://www.fe.up.pt/~ee98130/PSTFC. Aí pode ser consultada informação relativa ao projecto e também uma retrospectiva das comunicações móveis, realizada no início do projecto a fim de contextualizar este trabalho, que se apresenta de seguida.

Onde estamos?

Desde as descobertas de Faraday, os cálculos de Maxwell e as experiências de Hertz, muito se passou até às redes *wireless* da actualidade e às redes e débitos que se prevêem para o futuro (com mais ou menos atraso na sua implementação). Com a *timeline* que abaixo se apresenta, pretende-se fazer uma retrospectiva histórica das comunicações sem fios, realçando o aparecimento das redes IEEE 802.11 para a contextualização do nosso trabalho.

1794	Claude Chappe inventa o telégrafo óptico.
1831	Michael Faraday descobre a indução electromagnética.
1864	James Clerk Maxwell demonstra matematicamente a existência de ondas electromagnéticas.
1888	Heinrich Hertz trasmite, pela primeira vez, ondas electromagnéticas, provando que elas podem ser reflectidas.
1890	Branly desenvolve o *cohéreur* ou condutor de rádio para detectar ondas de rádio.
1894	Guglielmo Marconi, com o objectivo de detectar e transmitir ondas de rádio sobre longas distâncias, desenvolve o protótipo de um telégrafo sem fios em Itália (invenção da rádio).
1896	Em Londres, Marconi regista a sua primeira patente para um telégrafo via rádio e cria a *Wireless Telegraph and Signal Company Limited*, a primeira empresa de rádio do mundo.
1897	Marconi demonstra a capacidade das ondas de rádio de fornecer permanente contacto com os navios que atravessavam o canal Inglês.
1900	Reginald Fessenden transmite a voz humana a uma distância de uma milha.
1901	Marconi efectua a primeira transmissão de rádio transatlântica, em Código Morse.
1906	Lee Forest inventa o tríodo, um amplificador que permite restituir, à chegada, a voz humana. Este invento possibilita que a voz humana seja ouvida pela primeira vez em rádio e prova a potencialidade da radiotelefonia - o envio de mensagens telefónicas pela rádio. Fessenden cria rádio AM com transmissão de voz e música. Consegue também uma transmissão telegráfica por rádio nos dois sentidos entre o Massachusetts e a Escócia, melhorando a comunicação unidireccional de Marconi e transmitindo voz em vez de código.
1907	As primeiras ligações transatlânticas comerciais são estabelecidas. Exigem antenas com mais de 100 metros nos dois lados do Atlântico.

1910	Lars Magnus Ericsson e a sua esposa, Hilda, começam a trabalhar no primeiro telefone para um carro, na Suécia.
1911	Um dos primeiros transmissores móveis vai a bordo de um Zeppelin.
1915	Primeira transmissão via rádio de voz através do Atlântico, da Virgínia para Paris.
1920	Receptores móveis instalados nos carros de polícia em Detroit. Início de transmissão da primeira estação de rádio comercial - KDKA de Pittsburgh. Marconi descobre as ondas curtas, que reflectem na ionosfera.
1922	O Governo Português concede a instalação e exploração de postos de comunicações via rádio à *Marconi's Wireless Telegraph Company*. Esta companhia inglesa fica, assim, com o monopólio da via rádio internacional e, também, com a obrigação de criar uma companhia portuguesa privada para explorar essa concessão.
1926	A primeira conversa telefónica transatlântica via rádio bidirecional, de Nova York para Londres. Primeiro telefone a funcionar num comboio. Cabos paralelos à linha de ferro funcionavam como antena.
1928	Vários testes de transmissão de televisão.
1933	Armstrong inventa a Frequência Modulada (FM) para melhorar a transmissão de rádio. Esta tecnologia reduziu o "peso" do equipamento necessário e melhorou a qualidade da transmissão.
1941	Telefones "celulares" são criados em laboratórios militares dos Estados Unidos durante a segunda Guerra Mundial. Hedy Lamarr e George Antheil patenteiam um sistema para guiar torpedos através de um sinal de rádio. Embora nunca tenha sido usado, tornou-se a base para as comunicações por satélite.
1946	As companhias AT&T e Southwestern Bell criam o primeiro serviço comercial de rádio-telefone móvel nos Estados Unidos, aplicado a carros. Os sistemas usavam um único transmissor de grande potência numa grande torre para poder cobrir distâncias até 50 km. Era usada uma largura de banda de 120 kHz em *half-duplex mode*. A personagem Dick Tracy, da banda desenhada, aparece com um rádio com transmissão bidirecional no pulso.
1947	D.H. Ring, nos Laboratórios Bell, propõe a ideia de rede celular.
1956	A Motorola desenvolve o primeiro pager portátil.
1962	Os Estados Unidos lançam o Telstar I, um satélite de comunicações que recebe, amplifica e envia sinais.
1968	A Comissão Federal de Comunicações dos Estados Unidos aceita o projecto de um sistema de telefone celular dos Laboratórios Bell.
1971	Portugal torna-se membro da Intelsat (*International Telecommunications Satellite Organization*), sendo a Companhia Portuguesa Rádio Marconi a sua representante.
1971	Desenvolvimento da primeira *wireless Lan*, através da cooperação entre especialistas de redes e de comunicações na Universidade do Hawai, no

	projecto de investigação ALOHNET. A topologia em estrela bidireccinal do sistema incluía sete computadores localizados em quatro ilhas que comunicavam com o computador central na ilha Oahu, sem usar linhas telefónicas.
1978	A Companhia de telefones do Bahrein começa a operar um sistema de telefone celular comercial. Os Laboratórios Bell testam um sistema celular em Chicago.
1979	O primeiro sistema celular comercial do mundo abre em Tóquio, implementado pela NTT. Usa 600 canis duplex FM na banda dos 800 MHz.
1981	O serviço de telefone celular começa na Suécia, Noruega, Dinamarca e Finlândia usando o sistema NMT (*Nordic Mobile Telephone*) que define canais de 25 kHz na banda dos 450 MHz.
1982	É fundado o *Groupe Spéciale Mobile* para desenvolver um standard europeu para um sistema de telefones móveis na banda de 900 MHz, com possibilidade de *roaming*, sendo completamente digital e oferendo serviços de voz e de dados.
1983	*O sistema analógico Advanced Mobile Phone System* (AMPS) é desenvolvido nos Estados Unidos na banda dos 900 MHz: suporta 666 canais duplex. O primeiro sistema de telefone celular dos Estados Unidos é iniciado em Chicago, montado pela AT&T e pela Motorola. Ganha 200 mil subscritores até ao fim do ano
1984	Airfone introduz telefones na aviação comercial.
1985	Serviços de telefone celular iniciam-se em vários países da Europa. Em geral, esta primeira geração de serviços celulares é incompatível de país para país devido às diferentes frequências e protocolos de comunicações utilizados.
1989	Groupe Spècial Mobile define o standard europeu para o telefone celular digital, GSM.
1990	O número de subscritores de telefones celulares nos Estados Unidos ultrapassa os 5 milhões. Desenvolvimento do sistema de telefone por satélite *Iridium*, projectado para chegar a qualquer ponto do globo.
1991	O GSM é adoptado na Europa e o TDMA é adoptado nos Estados Unidos; ambos os sistemas digitais aumentam a capacidade e melhoram a qualidade do som. O standard CDMA é demonstrado. O standard DECT (*Digital European Cordless Telephone*) é adoptado pela ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Funciona na banda 1880-1900 Mhz com um alcance de 100-500m. Mais tarde DECT passou a designar *Digital Enhanced Cordless Telecommunications*.
1992	São atribuídas pelo ICP (Instituto de Comunicações de Portugal) as licenças GSM para os operadores TMN e TELECEL. São também atribuídas licenças de Trunking e Paging.
1993	*IS-95 code-division multiple-access (CDMA) spread-spectrum digital cellular system* desenvolvido nos Estados Unidos.

	Fundada a IRda (*Infrared Data Association*) com o objectivo de criar e manter um standard para comunicação de baixo custo através de infravermelhos num modelo de utilizador ponto-a-ponto.
1994	O sistema GSM é adaptado nos Estados Unidos, rebaptizado de *Global System for Mobile Communications.* Sistemas *Dual-Band* - GSM a 1800 MHz - células mais pequenas. Início do desenvolvimento do *Bluetooth*. Os membros fundadores foram grandes fabricantes como a Ericsson, IBM, Toshiba, Nokia e INTEL. Com o Bluetooth pretende-se essencialmente uma tecnologia de rádio de curto alcance para interligar componentes de forma simples e constituir assim PANs (*Personal Area Networks*) sem fios.
1995	A TMN lança o primeiro cartão pré-pago do mundo, o Mimo, conceito que viria rapidamente a ser adoptado em todo o mundo. Formação do grupo de trabalho GPRS (*General Packet Radio Service*), um standard desenvolvido pela ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) para oferecer serviços de tráfego de pacotes em redes GSM que permitam débitos até, teoricamente, 171.2 kbps por utilizador. Os serviços comerciais de GPRS agora utilizados suportam um máximo de 115 kbps enquanto os serviços GSM apenas operam a 9.6 kilobits. Publicação do standard TETRA (*TErrestrial Trunked RAdio*), uma rede móvel via rádio para utilizadores profissionais. TETRA é um sistema digital com boa qualidade de voz e de serviços de dados, para a indústria e serviços, forças de segurança e Protecção Civil. Foi projectado para aplicações críticas no tempo, muitas vezes relacionadas com vidas humanas. TETRA usa multiplexagem TDMA (*Time Division Multiple Access*) com 4 canais para o utilizador numa portadora e 25 kHz de espaçamento entre os canais. Na Europa, a banda utilizada para sistemas de emergência é a dos 380-383 MHz e 390-393 MHz e para sistemas civis a banda reservada é a dos 410-430 MHz, 870-876 MHz / 915-921 MHz, 450-470 MHz, 385-390 MHz / 395-399,9 MHz.
1996	A ETSI lança o standard HIPERLAN (*High Performance Radio Local Area Network*) para as redes locais sem fios. Funciona na banda dos 5,2 GHz e permite débitos até 23.5 Mbit/s.
1997	É introduzido o standard IEEE 802.11 para redes *wireless*. Suporta 1 a 2 Mbps utilizando técnicas FHSS (*frequency hopping spread spectrum*) ou DSSS (*direct sequence spread spectrum*). O standard especifica as camadas MAC (*Medium Access Control*) e PHY (*Physical*) para transmissão de dados na banda não licensiada ISM (*Industrial, Science and Medical*) - 2,4 GHz.
1998	Wap (*Wireless Application Protocol 1.0*) é introduzido para oferecer acesso À Internet aos telefones móveis. Início do uso de satélites nas comunicações móveis através do sistema Iridium: 66 satélites em órbita baixa que usa a banda dos 1,6 GHz para comunicar com os telefones móveis. Especificação do sucessor do GSM - UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*). Proposta europeia para a ITU. O UMTS promete um verdadeiro sistema de *world-wide roaming* com ligações de banda larga suportando vídeo e multimédia e débitos até 2 Mbps para cada ligação. Atribuída licença GSM ao terceiro operador móvel português - Optimus.

1999	O IEEE publica dois suplementos ao standard 802.11: 802.11a e 802.11b. A versão b usa a banda não licenciada dos 2,4 GHz e consegue débitos até 11 Mbps, usando DSSS. A versão a usa a banda não licenciada dos 5,4 GHz e consegue débitos até 54 Mbps usando OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Lançamento do fórum para a norma HiperLAN2 simultaneamente em Atlanta e Londres. Esta norma permite débitos até 54 Mbps. Especificação da interface de rádio do futuro sistema 3G (terceira geração)
2000	Licenças do espectro para 3G são vendidas pelos governos da Europa e Ásia.
2001	Vai surgindo o conceito de 2.5 G (geração 2 e meio) devido à utilização de serviços de pacotes (GPRS) e de débitos mais elevados em relação à segunda geração e ao adiamento das soluções 3G.
2002	Sucessivos adiamentos do lançamento comercial de serviços 3G. Desenvolvimento do standard ZigBee, a partir de alguns fabricantes, que define uma tecnologia *wireless* de baixa potência e baixo custo, que suporta débitos baixos, segurança e fiabilidade. Usa a banda livre dos 2,4 GHz e pode suportar débitos até 250 kbps. A sua principal aplicação será automação doméstica. O número de subscrições do serviço móvel terrestre em Portugal ascendeu a 8,53 milhões no final de 2002. Mais de 600 milhões de pessoas (cerca de 10% da população mundial) usam telefone móvel. Espera-se que este número chegue aos 50% no final da primeira década do século XXI.
2003	Esperado para Junho a aprovação final pelo grupo de trabalho do IEEE do standard 802.11g, extensão para 54Mbps das 802.11b *Wireless Local Area Networks.* Esperado o aparecimento de produtos que usem a tecnologia UWB (*Ultra-WideBand*). Esta modulação foi inicialmente utilizada para fins militares mas tende agora a ser libertada para fins comerciais. UWB usa muito pouca potência e impulsos de muito curta duração (podem chegar aos picosegundos) para tranferir dados via rádio numa gama muito vasta de frequências (vários GHz). Inicialmente, UWB terá débitos entre 40Mbps a 600Mbps e estes valores poderão evoluir para gigabits/s (com maior potência). UWB usa muito menos potência que o Bluetooth e consegue ter débitos incrivelmente superiores. As utilizações iniciais serão para interligar via wireless os vários aparelhos multimédia, como a televisão ao DVD, PC, ... Sucessivos adiamentos do lançamento comercial de serviços 3G !!! Esperado para final do ano o standard IEEE 802.11i que vem fortalecer os esquemas de segurança do 802.1x e EAP. Requer novos *chipsets* o que representa um maior investimento para se ter um protocolo seguro standard. Revogada licença 3G da Oniway por parte da ANACOM e atribuição de frequências adicionais aos outros 3 operadores de redes móveis de terceira geração UMTS - TMN, Vodafone e Optimus.

	O n.º de dispositivos móveis com capacidade de acesso à Internet supera neste ano e a nível mundial o n.º de computadores com essa capacidade!
...	Todos ligados? Redes de cobertura mundial bem como pessoal? Completa interconectividade? Débitos gigantescos? Sempre Online? Mobilidade Total? Que novas questões, paradigmas, perigos, possibilidades e alargados horizontes se desenvolverão?

Proposta Timeline Apresentação Progresso Relatório Poster Links Bibliografia

© 2003, Ricardo Oliveira e Rui Campos | rmpoliveira@portugalmail.pt, rui_campos@portugalmail.pt
Site principalmente testado nos browsers: Opera 7, Netscape 7 e Internet Explorer 6.

OUTRAS APOSTILAS EM:
www.projetoderedes.com.br

Bibliografia

[Rapp2002] Rappaport, Theodore S. (2002), "*Wireless Communications – Principles and Practice*", 2nd Edition, Prentice Hall.

[Schiller2002] Schiller, Jochen (2000), "*Mobile Communications",* Addison-Wesley

[Gui1999] Guimarães, Rui Campos e Cabral, José A. Sarsfield (1999), "*Estatística*", McGraw-Hill, Amadora.

[Joe2002] Joe Bardwell, VP of Professional Services (2002), "*Converting Signal Strength Percentage to dBm Values*".

[WiFi2001] Dell (2001), "*Deploying 802.11b (Wi-Fi) in the enterprise network*".

[Rec. ITU] ITU, "*Rec. ITU-R P.1238-2*".

[Che1997] K.W. Cheung, J.H.M. Sal, and R.D. Murch (1997), "*A new Empirical Model for Indoor Propagation Prediction*", Hong Kong.

[Intel2000] Intel (2000), "*IEEE 802.11b High Rate Wireless Local Area Networks".*

[COST231] Lahteenmaki, Jaakko, "*Cost-231 Final Report", 4.7 – Indoor Propagation Models*", VTT Information Technology, Finland.

[Kan2001] Sarinnapakorn, Kanoksri (2001), "*IEEE 802.11b "High Rate" Wireless Local Area Networks*".

[Stein] Stein, John C., "*Indoor Radio WLAN Performance - Part II: Range Performance in a Dense Office Environment*", Florida.

[Golmie1999] Golmie, N., *"Interference in the 2.4 GHz ISM Band: Challenges and Solutions", Gaithersburg, Maryland 20899.*

[Chinitz2001] Chinitz, Leigh (2001), "*Interference Immunity of 2.4 GHz Wireless LANs*".

[Rapp] Rappaport, Theodore S., Bach Anderson, Jorgen, and Yoshida, Susumu, "*Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels".*

[Yee2002] Yee, Jung, and Pezeshki-Esfahani, Hossain (2002), "*Understanding Wireless LAN Performance Trade-offs*".

[Geier1 2002] Geier, Jim (2002), "*RF Site Survey Steps*".

[Geier2 2002] Geier, Jim (2002), "*Defining WLAN Requirements: In depth".*

[Geier3 2002] Geier, Jim (2002), "*Assigning 802.11b Access Point Channels*".

[Geier4 2002] Geier, Jim (2002), "*Minimizing 802.11 Interference Issues*".