

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Trabalho Final de Curso

Implementação de Modelos de Propagação para Micro-Células Urbanas em GSM

> Ana Beatriz Alves Carla Marina Ribeiro

Lisboa, Fevereiro de 1998

Trabalho realizado sob a orientação do Professor Luís M. Correia da Secção de Propagação e Radiação

"... Foi ainda sugerido que havia uma substância chamada éter presente em todo o lado, mesmo no espaço vazio. As ondas de luz propagar-se-iam através do éter assim como as ondas sonoras se propagam através do ar..."

> "Breve História do Tempo", Stephen W. Hawking, Editora Gradiva, 1998

Agradecimentos

Gostariamos de endereçar o nosso primeiro agradecimento ao Professor Luís Correia, pelo apoio, disponibilidade e compreensão demonstradas ao longo deste trabalho.

À Telecel, nas pessoas do Eng. Luís Gomes e ao Sr. Domingos Morgado, sem a qual não teria sido possível realizar este trabalho.

Aos funcionários da Secção de Propagação e Radiação, D. Olivia, Sra. Isabel Rocha, Sr. Brito e Jorge, pela colaboração e disponibilização das instalações, equipamento e material, necessários para a realização deste trabalho.

Aos Engs. Nuno Gonçalves e Paulo Francês pelas explicações e ajuda prestadas para a compreensão do RMÓVEL

Aos colegas do Grupo Móvel, Ana Claro, Ana Domingues, Beniamino Barilese, Carlos Pardelinha, Dragana Kristic, Fernando Velez, Filippo Gaggioli, Francisco Gil, Gerado Ângelo, Isabel Neto, José Ferreira, José Queijo, Juan Carlos, Krzysztof Kurek, Lívio Santos, Lúcio Studer, Mayte Rodrigo, Pedro Vasconcelos, Sandra Almeida, Valentina Garcia e Wojciech Sadowski, pela partilha de experiências.

À Lena, D. Madalena, D. Isilda e Sr. Pinto pelo sorriso com que sempre nos acolheram.

À Ângela e ao Paulo...não temos palavras...

Ao Bosisio e Bibi, um nosso muito Grazie, pela alegria e amizade que sempre demonstraram. Não esqueceremos as vossas deliciosas Pastas.

Ao Pedro, a ajuda e interesse demonstrados e os saborosos pãezinhos com chouriço e bolas de berlim, que são sempre bem-vindos...

Às nossas familias por acreditarem em nós.

Finalmente queremos pedir desculpa ao Professor Luís Correia por termos batido o *record* de permanência no Laboratório Figanier.

Resumo

Pretende-se com este trabalho comparar os diferentes modelos de propagação para ambientes de micro-células, com o objectivo de se escolher aquele que melhor estima a atenuação de propagação total. Para tal, realizou-se uma campanha de medidas em GSM, efectuada em colaboração com a Telecel, na qual foi medida a potência do sinal recebido pelo móvel, em dois cenários de teste: a Baixa Pombalina e Campo de Ourique.

Os modelos sobre os quais incide este estudo são os de Ikegami, Walfish e Bertoni, Xia, Maciel e COST 231 Walfish-Ikegami. Além destes, estudaram-se também modelos constituídos por termos de atenuação provenientes de diferentes modelos, tendo em vista analisar se, ao combinarem-se termos de atenuação de diferentes modelos, se obtém uma melhor previsão da atenuação de propagação total.

Antes de se analisarem as medidas, efectuou-se um estudo teórico dos modelos, usando valores típicos dos parâmetros nos cenários de teste considerados. Neste estudo, verifica-se que os parâmetros que conduzem a uma maior variação da atenuação são a distância entre a base e o móvel, a altura da estação de base, o ângulo de rua e o espaçamento entre centros de edifícios. Após a análise dos resultados, verificou-se que, para além dos parâmetros atrás referidos, também a altura dos edifícios influencia consideravelmente a atenuação de propagação. Para além disso, quando a estação de base se encontra abaixo dos edifícios, observa-se que, para intervalos de variação semelhantes dos mesmos parâmetros, se verificam maiores variações da atenuação de propagação. Da análise dos resultados, constatase que os modelos que melhor estimam o sinal recebido pelo móvel, para a estação de base acima dos edifícios, são os de Xia e Maciel+Xia, e para a estação abaixo, o de Xia+Ikegami. A média dos desvios padrão, para a estação de base acima dos edifícios, oscila entre 4 e 5 dB, enquanto que, quando está abaixo, toma valores no intervalo 3 a 8 dB. Verifica-se também que, nas ruas mais estreitas e nas perpendiculares à estação de base, os modelos que apresentam os melhores resultados são, na maior parte dos casos, o de Ikegami e seus combinados. Outro resultado a evidenciar é que, nas ruas alinhadas com a estação de base, tanto o desvio padrão como as médias apresentam valores superiores aos dos outros casos, havendo por isso uma maior dificuldade dos modelos teóricos em estimar o sinal recebido pelo móvel, nesta situação.

Palavras Chave

GSM, Modelos de Propagação, Micro-células, Atenuação, RMÓVEL, Campanha de Medidas

v

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Índice	v
Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	ix
Lista de Simbolos	xi
1. Introdução	1
2. Modelos de Propagação	3
2.1 Considerações Gerais	
2.2 Modelo de Ikegami <i>et al</i>	5
2.3 Modelo de Walfish e Bertoni	9
2.4 Modelo de Xia e Bertoni	13
2.5 Extensão de Maciel et al.	17
2.6 Modelo COST-231-Walfish-Ikegami	
3. Comparação e Implementação dos Modelos de Propagação	
3.1 Cenários de Teste	
3.2 Comparação Teórica dos Modelos	
3.2.1 Modelos Originais e Combinados	
3.2.2 Análise da Variação dos Termos da Atenuação de Propagação	
3.2.2.1 Análise de L_0	
3.2.2.2 Análise de L_{rts}	
3.2.2.3 Análise de <i>L_{msd}</i>	
3.2.3 Análise da Variação da Atenuação de Propagação Total	
3.2.4 Conclusões	43
3.3 Implementação dos Modelos no Programa RMÓVEL	45
3.3.1 O Programa RMÓVEL	45
3.3.2 Aproximações Efectuadas	
4. Campanha de Medidas e Análise de Resultados	
4.1 Descrição da Campanha de Medidas	
4.1.1 Áreas de Medida	51
4.1.2 Equipamento	53
4.1.3 Perfis	

4.1.4 Vegetação	61
4.2 Análise dos Resultados	61
4.2.1 Parâmetros de Análise	61
4.2.2 Estações de Base acima dos Edifícios	64
4.2.2.1 Baixa Pombalina	64
4.2.2.2 Campo de Ourique	73
4.2.3 Estações de Base abaixo dos Edifícios	77
4.3 Escolha do Modelo de Propagação	81
5. Conclusões	85
Referências	91
Bibliografia	93
Anexo A - Dedução da Atenuação de Propagação para o Modelo de Ikegami	A.1
Anexo B - Dedução do Termo de Atenuação L_{rts} para o Modelo de Walfish e Bertoni	B.1
Anexo C - Estudo da Continuidade para o Modelo de Xia	C.1
Anexo D - Estudo da Variação de L_{rts} para a EB acima da Altura dos Edifícios	D.1
Anexo E - Estudo da Variação de L_{rts} para a EB abaixo da Altura dos Edifícios	E.1
Anexo F - Estudo da Variação de L_{msd} para a EB acima da Altura dos Edifícios	F.1
Anexo G - Estudo da Variação de <i>L_{msd}</i> para a EB abaixo da Altura dos Edifícios	G.1
Anexo H - Estudo da Variação de L_p para a EB acima da Altura dos Edifícios	H.1
Anexo I - Estudo da Variação de L_p para a EB abaixo da Altura dos Edifícios	I.1
Anexo J - Perfis para as Estações L31, L79, L101 e L175	J.1
Anexo L - Fotografias dos Cenários de Teste	L.1
Anexo M - Perfis para a Estação L192	M.1
Anexo N - Gráficos das Potências Recebidas	N.1
Anexo O - Valores Médios dos Parâmetros	0.1
Anexo P - Caracterização Estatística para as Restantes Ruas	P.1

Índice de Figuras

Fig. 2.1 - Geometria dos dois raios principais considerados no modelo de Ikegami	. 6
Fig. 2.2 - Perfil do percurso entre a estação de base e o móvel	. 7
Fig. 2.3 - Trajecto dos vários raios para propagação em UHF na presença de edifícios	. 9
Fig. 2.4 - Zona de Fresnel para a propagação de uma onda num desfiladeiro diélectrico	10
Fig. 2.5 - Comparação entre duas curvas de $Q(g_p)$, obtidas por Walfish e Bertoni e por Maci	el
et al	18
Fig. 3.1 - Baixa Pombalina	24
Fig. 3.2 - Campo de Ourique	25
Fig. 3.3 - Variação do termo L_{rts} com o ângulo de rua	33
Fig. 3.4 - Variação do termo L_{msd} com a altura da base, para EB abaixo dos edifícios	37
Fig. 3.5 - Variação da Atenuação Total com <i>d</i> , sem a correcção de <i>L_{msd}</i>	40
Fig. 3.6 - Variação da Atenuação Total com d , com a correcção de L_{msd}	40
Fig. 3.7 - Interface do RMÓVEL.	45
Fig. 3.8 - Perfil original	47
Fig. 3.9 - Perfil normalizado	47
Fig. 3.10 - Cálculo do ganho das antenas	49
Fig. 4.1 - Representação das ruas da Baixa Pombalina e das estações de base	52
Fig. 4.2 - Representação das ruas de Campo de Ourique e das estações de base	52
Fig. 4.3 - Formato de um ficheiro fmt	55
Fig. 4.4 - Representação de dois percursos entre as estações de base L31 e L101, e o móvel	
situado na R. do Comércio	56
Fig. 4.5 - Perfil n.º4 entre a estação de base L101 e o móvel situado na R. do Comércio 5	57
Fig. 4.6 - Perfil n.º 4 entre a estação de base L31 e o móvel situado na R. do Comércio	57
Fig. 4.7 - Perfil n.º 8, original e cortado, para a R. Ferreira Borges, L192	50
Fig. 4.8 - Rua do Comércio - L31B	55
Fig. 4.9 - Rua da Coelho da Rocha - L175A.	79

Índice de Tabelas

Tab. 3.1 - Valores dos parâmetros para EB acima dos edifícios. 2	25
Tab. 3.2 - Valores dos parâmetros para EB abaixo dos edifícios	26
Tab. 3.3 - Parâmetros contabilizados no cálculo de L_{rts} para os vários modelos	32
Tab. 3.4 - Variação de L_{rts} com ϕ , para os modelos de Ikegami e COST 231	33
Tab. 3.5 - Parâmetros contabilizados no cálculo de L_{msd} , para os vários modelos	35
Tab. 3.6 - Parâmetros contabilizados no cálculo da Atenuação Total, para os vários modelos.	39
Tab. 3.7 - Parâmetros contabilizados no cálculo da Atenuação Total, para os vários modelos.	42
Tab. 3.8 - Menor e maior intervalos máximos de atenuação, para os vários modelos4	44
Tab. 4.1 - Características das Estações de Base. 5	53
Tab. 4.2 - Estações de base e ruas consideradas na análise dos resultados, para a Baixa 5	54
Tab. 4.3 - Estações de base e ruas consideradas na análise dos resultados, para Campo de	
Ourique5	55
Tab. 4.4 - Caracterização estatística, para a EB L31B, para os vários modelos	54
Tab. 4.5 - Intervalo máximo de variação de atenuação com os vários parâmetros, para as três	
ruas da Baixa, estação L31B, e para os vários modelos em estudo	58
Tab. 4.6 - Caracterização estatística, para a EB L101A, para os vários modelos	70
Tab. 4.7 - Intervalo máximo de variação de atenuação com os vários parâmetros, para as três	
ruas da Baixa, estação L101A, e para os vários modelos em estudo	72
Tab. 4.8 - Caracterização estatística, para a EB L79C, para os vários modelos	74
Tab. 4.9 - Intervalo máximo de variação de atenuação com os vários parâmetros, para as três	
ruas de Campo de Ourique, estação L79C, e para os vários modelos em estudo7	76
Tab. 4.10 - Caracterização estatística, para a EB L175A, para os vários modelos	78
Tab. 4.11 - Caracterização estatística, para a EB L192B, para os vários modelos	78
Tab. 4.12 - Intervalo máximo de variação de atenuação com os vários parâmetros, para duas	
ruas de Campo de Ourique, estação L175A, e para os vários modelos em estudo	80
Tab. 4.13 - Intervalo máximo de variação de atenuação com os vários parâmetros, para duas	
ruas de Campo de Ourique, estação L192B, e para os vários modelos em estudo	81
Tab. 4.14 - Valores médios dos parâmetros estatísticos	82

Lista de Símbolos

- *b* distância entre centros de edifícios
- *d* distância entre a estação de base e o móvel
- \overline{E} valor médio do campo
- f frequência de trabalho
- *g*_{*p*} parâmetro adimensional que traduz a dependência com a frequência e a geometria
- h_B altura da estação de base
- h_M altura do móvel
- h_R altura do nível médio dos edifícios
- *L_{msd}* perdas por difracção nos edifícios entre a antena da estação de base e o topo do último edifício que antecede o móvel
- L_0 atenuação em espaço livre
- *L_P* atenuação de propagação total
- L_r perdas por reflexão
- L_{rts} perdas por difracção entre o móvel e o edifício que o antecede
- R largura da rua
- W distância entre o móvel e o edifício que o antecede
- Δh_B altura entre o nível médio dos edifícios e a antena estação de base
- Δh_R altura entre o nível médio dos edifícios e o móvel
- α ângulo que o raio incidente faz com a horizontal
- ϕ "ângulo de rua" (ângulo que o raio faz com a perpendicular aos edifícios na horizontal)

1. Introdução

"....Tou, Tou sim..."

"...Onde é que estás ?..."

Este tipo de diálogo está cada vez mais presente no nosso dia-a-dia. A possibilidade de fazer e receber chamadas através de um pequeno terminal sem fios, onde quer que estejamos e em qualquer instante, tem atractivos óbvios, não só pela sua crescente acessibilidade, como também pelo sentimento de segurança que incute nas pessoas. Por estas e outras razões, observa-se uma massificação das telecomunicações móveis, que tem tomado proporções nunca antes imaginadas e a um ritmo quase incontrolável.

O sistema que está por detrás de tudo isto é um sistema celular que, para além de oferecer a mobilidade aos seus utilizadores, tem características distintas dos sistemas móveis convencionais. Neste sistema, a potência radiada pelas estações de base é mantida num mínimo, e as antenas estão localizadas apenas a uma altura suficiente para atingir a cobertura da área geográfica desejada (célula), servindo os vários terminais móveis que se encontram no seu interior. A dimensão das referidas células está dependente do tráfego e das condições de propagação esperadas.

A exigência de uma maior capacidade foi intensificada como consequência do rápido aumento do número de utilizadores. Essa exigência pode ser satisfeita, quer pela reutilização de frequências, quer pela divisão das células ("*cell spliting*"). No que diz respeito ao primeiro conceito, as frequências usadas numa dada célula são reutilizadas noutras células a uma distância suficiente para manter as inevitáveis interferências, criadas pelo uso do mesmo espectro, a um nível aceitável. Assim, a reutilização de frequências, em padrões eficientes, é uma das chaves para se ter uma capacidade elevada. O *cell spliting* consiste na redução sucessiva do tamanho das células, que tem evoluído progressivamente até ao aparecimento dos sistemas micro-celulares, permitindo assim aumentar o número de clientes que podem ser servidos numa determinada área, sem se modificar o número de canais disponíveis.

Observa-se então, e cada vez mais, nas zonas urbanas, cujos cenários são do tipo "desfiladeiro dieléctrico", estruturas micro-celulares como consequência directa da expansão da rede móvel. Nestas, as antenas das estações de base têm uma tendência, cada vez maior, para se localizarem abaixo dos edifícios. Esta solução permite limitar a cobertura de cada célula a áreas cada vez menores, de modo a conseguir-se suportar grandes quantidades de tráfego.

Neste tipo de cenários, a variabilidade do percurso de propagação entre a base e o móvel (que está relacionada não só com a mobilidade deste último, mas também com a componente de mudança que o próprio cenário pode ter) faz com que a sua descrição, através dos modelos teóricos, seja bastante complexa. Desta forma, para se garantir uma cobertura cada vez mais alargada e eficiente, visando a qualidade do serviço, é fundamental um conhecimento profundo dos fenómenos envolvidos na propagação, descritos pelos modelos teóricos. É o estudo desses modelos que se pretende fazer com este trabalho. Ir-se-á comparar os vários modelos, desenvolvidos para micro-células, com o objectivo de se verificar qual (ou quais deles) é que melhor estima a atenuação de propagação, num determinado cenário. A comparação e a escolha do melhor modelo vai ser efectuada com base em medidas da potência do sinal recebido pelo móvel, na banda de GSM.

No Capítulo 2, será efectuada uma breve descrição dos vários modelos, das suas condições de aplicação e intervalos de validade. Posteriormente, no Capítulo 3, serão escolhidas as zonas da cidade de Lisboa onde será efectuada a campanha de medidas. Serão ainda comparados, numa perspectiva teórica, os vários modelos, com base nos valores típicos que os parâmetros geométricos tomam nos cenários de teste. Esses modelos serão implementados numa ferramenta de *software* já existente, denominada RMÓVEL. Seguidamente, no Capítulo 4, far-se-á a descrição da campanha de medidas, realizada em colaboração com a TELECEL, a análise dos resultados obtidos e a escolha do melhor modelo. No Capítulo 5 serão apresentadas as conclusões deste trabalho.

Adicionalmente, apresenta-se nos Anexos A e B, deduções relativas à atenuação de propagação, para os modelos de Ikegami e Walfish e Bertoni. No Anexo C, é feito um estudo da continuidade, para o modelo de Xia. As figuras relativas à variação da atenuação de propagação, para a estação de base acima e abaixo dos edifícios, encontram-se nos Anexos D a I. São também apresentados, nos Anexos J e M, os perfis obtidos para vários percursos entre a base e o móvel, e para todas as estações de base consideradas. No Anexo L podem observar-se fotografias dos cenários de teste, e no Anexo N os gráficos da potência recebida pelo móvel e a sua estimativa pelos vários modelos. Para finalizar, apresenta-se no Anexo O, os valores médios dos parâmetros da atenuação, nos cenários de teste considerados, e no Anexo P é feita uma caracterização estatística dos resultados obtidos, para algumas ruas.

2. Modelos de Propagação

Neste capítulo vão ser descritos alguns modelos de propagação existentes para microcélulas urbanas em GSM, que se julga mais representativos da investigação na área da previsão do valor médio da intensidade do sinal numa célula.

Um dos modelos a ser estudado é o de Ikegami, que visa a previsão da atenuação que advém das várias reflexões do sinal, devido ao efeito multipercurso. O modelo de Walfish e Bertoni é outro dos modelos em estudo, e contabiliza, fundamentalmente, a atenuação originada pela difracção do sinal nos edifícios que antecedem o móvel. Será também estudado o modelo COST-231 Walfish-Ikegami, baseado nestes dois últimos, e sujeito a algumas alterações, introduzidas sob a forma de factores correctivos. Para além dos modelos referidos, este estudo contempla ainda outros, tais como o de Maciel *et al*, que introduz uma reformulação ao modelo de Walfish e Bertoni, com base em dados numéricos. Finalmente estuda-se o modelo de Xia, que pode ser aplicado em vários cenários de propagação não considerados no de Walfish e Bertoni (nomeadamente a possibilidade da antena da estação de base poder estar acima, ao mesmo nível, ou abaixo dos edifícios).

2.1 Considerações Gerais

A determinação da atenuação de propagação é um passo muito importante num sistema de rádio móvel, sendo necessários métodos precisos de previsão do sinal, de modo a proporcionar uma cobertura eficiente e fiável.

Até à data, os modelos clássicos que se usam em sistemas de rádio móvel conduzem à previsão do valor médio do sinal, como é o modelo de Okumura [1]. Estes apenas consideram as perdas de propagação no percurso entre a estação de base e o móvel, raios das células superiores a 1 km, e alturas efectivas da estação de base elevadas. Deste modo, não podem ser aplicados a micro-células, onde o caminho de propagação é na ordem das centenas de metro e as antenas das estações de base são, por vezes, colocadas abaixo do topo dos edifícios adjacentes.

Num cenário de micro-células urbanas, o cálculo da atenuação que o campo sofre desde a estação de base até ao móvel é bastante complexo. O ideal seria ter-se um modelo

teórico que, através de uma descrição fiel do cenário de propagação, conseguisse fazer a correspondente previsão do sinal recebido pelo móvel. No entanto, isso é virtualmente impossível, uma vez que o sinal se propaga por uma multiplicidade de trajectos com diferentes comprimentos, após ter sofrido difracção em obstáculos, reflexão ou dispersão pelo solo e pelas paredes. Na realidade, o próprio deslocamento do móvel vai implicar não só a alteração, em cada instante, do perfil dos obstáculos que se encontram entre as duas antenas, mas também os possíveis percursos das ondas electromagnéticas até atingirem a antena do móvel. Para além disso, a própria vegetação que existe na zona urbana pode, em geral, influenciar a propagação, introduzindo atenuação ou dispersando a energia incidente em múltiplas direcções. Este é um efeito bastante difícil de contabilizar.

Face ao que foi referido anteriormente, e sendo estes apenas alguns fenómenos que podem provocar atenuações no sinal, é natural esperar-se que qualquer modelo, considerado para prever o sinal que chega ao móvel, não esteja isento de inúmeros erros, ou não fosse esta a definição de modelo. Apesar de haver inúmeros modelos de propagação, não existe nenhum de aplicação genérica para todos os tipos de ambientes, frequências e parâmetros. Deste modo, cabe ao projectista escolher aquele que é mais adequado para o caso em estudo, devendo ser sensível aos diferentes tipos de modelos, assim como às suas condições de aplicação.

Os modelos de propagação dividem-se em duas categorias: teóricos e empíricos. Os teóricos dão resultados satisfatórios apenas num número restrito de cenários, em que a geometria e a realidade electromagnética podem ser descritas numericamente com algum pormenor. Na maior parte dos casos não existe essa descrição, estando fora de causa criar uma base de dados para cada cenário novo que se analise. É de referir que estes modelos não contabilizam todos os factores que influenciam o sinal (vegetação, diferentes materiais que constituem os obstáculos, etc.); no entanto, os seus parâmetros podem ser facilmente alterados e corrigidos. Os modelos empíricos são construídos sobre medidas reais e apresentados sob a forma de equações ou de curvas que melhor se ajustam às medidas. Têm a vantagem de abordar cenários muito mais complexos, pois contêm em si a influência de todos os parâmetros conhecidos e desconhecidos. No entanto, a informação que se consegue por este processo é apenas por zonas. O principal inconveniente é o caso da informação estatística que se acaba por utilizar ter como base, em geral, resultados experimentais obtidos em locais com

realidades diferentes da zona de estudo. Necessitam, por isso, de ser sujeitos a validação para locais, frequências e condições diferentes dos ambientes de medida iniciais.

Os futuros modelos de propagação devem tomar em consideração caminhos de propagação tridimensionais, usar métodos determinísticos como a TGD (Teoria Geométrica da Difracção) e recorrerem a bases de dados topográficas contendo a informação relativa às ruas, forma e tamanhos dos edifícios. No entanto, existem duas desvantagens que restringem a aplicabilidade de tais métodos: a primeira prende-se com o facto de essas bases de dados não estarem disponíveis, excepto para algumas áreas de teste. A segunda é que o *software* que usa informação tão detalhada necessita de muito tempo de processamento.

Um estado intermédio, que é actualmente utilizado, pode ser a combinação de modelos estatísticos e determinísticos para caminhos de propagação de duas dimensões.

2.2 Modelo de Ikegami et al.

O modelo de Ikegami *et al.* [2], aplicado em ambientes urbanos, foi desenvolvido com a finalidade de se calcular o campo recebido por uma estação móvel, contabilizando as perdas associadas ao percurso efectuado pela onda electromagnética, desde a estação de base situada no topo de um edifício até à estação móvel que se encontra ao nível da rua.

Através de medidas experimentais, Ikegami *et al.* [3] constataram que, apesar de haver um número finito de ondas que chegam ao receptor através de vários percursos, as ondas dominantes são aquelas que se enquadram na Teoria de Raios da Óptica Geométrica, face às que sofrem um espalhamento nos edifícios próximos. Entende-se por ondas dominantes aquelas cujo sinal apresenta maior potência e cuja forma é bem definida.

Os autores consideram que das reflexões de primeira ordem que podem ocorrer, reflexão no edifício que se encontra a seguir ao móvel e reflexão no solo, a segunda pode ser desprezada face à primeira, sendo esta uma escolha muito pouco fundamentada. Uma razão para tal pode dever-se ao facto do material que constitui o edifício (normalmente betão) ser mais reflector que o que cobre o solo (tipicamente asfalto). De acordo com estudos anteriores [4], foi verificado que o raio reflectido no solo pode ser desprezado face ao que é reflectido no edifício que se encontra a seguir ao móvel, sendo este último, para o mesmo factor de reflexão, cerca de 5 vezes superior. No que diz respeito às reflexões de ordem superior à

primeira, estas também são ignoradas, uma vez que, ao existirem muitas reflexões, o campo vai sendo cada vez mais atenuado (o produto dos vários factores de reflexão cujo módulo é inferior à unidade toma valores cada vez menores). Deste modo, os autores restringem o seu estudo a dois raios principais: um é o difractado no telhado do edifício entre a estação de base e o móvel e o outro sofre uma reflexão simples no edifício imediatamente após o móvel, tal como se pode verificar na Fig. 2.1.

Apesar da Teoria de Raios também contemplar outros percursos em que os raios podem sofrer várias reflexões e/ou difracções, estes resultam em ondas mais atenuadas que as dominantes, razão pela qual se considera que o modelo de dois raios pode ser suficiente para descrever, em termos genéricos, a propagação das ondas na proximidade do móvel. Ao desprezarem-se os raios provenientes de outras direcções, uma parte da potência não vai ser contabilizada. No entanto, se a potência desprezada for igual ou menor à potência considerada, pode admitir-se que o erro cometido está dentro de 3 dB, de acordo com [2].



Fig. 2.1 - Geometria dos dois raios principais considerados no modelo de Ikegami.

Uma vez que o modelo contempla apenas dois raios, o valor médio do campo eléctrico total junto do móvel, $\overline{E}(x)$, é dado pela expressão:

$$\bar{E}(x) = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (2.1)$$

As duas componentes do campo foram deduzidas considerando os seguintes pressupostos simplificativos:

 existe linha de vista entre a antena da estação de base e o telhado do edifício onde se dá a difracção, sendo o processo de difracção apenas sobre um obstáculo.

♦ o edifício onde se dá a reflexão é substituído por uma lâmina infinitamente longa, e transversal à direcção de propagação da onda.

As simplificações acima mencionadas vão com certeza introduzir erros. Por um lado, a modelação do edifício por uma lâmina significa, à priori, que se está a desprezar a atenuação introduzida pela geometria do obstáculo, bem como das suas características eléctricas. Por outro, ao considerar-se apenas um obstáculo, não se contabiliza a difracção nos múltiplos obstáculos que antecedem o móvel. Para além destas simplificações, considera-se que a onda incidente no último ecrã é plana. A Fig. 2.2 ilustra o percurso do sinal, de acordo os pressupostos acima mencionados, entre a estação de base e o móvel.



Fig. 2.2 - Perfil do percurso entre a estação de base e o móvel.

Para se calcular a intensidade do campo recebido pelo móvel, considerando que existe apenas um obstáculo entre a antena de base e a antena da estação móvel, é utilizado o Modelo do Obstáculo em Lâmina [1], que permite obter a seguinte expressão aproximada:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{\sqrt{2}}{2\pi v} = \frac{0.225}{v} (2.2)$$

- *v* parâmetro de Fresnel;
- E_0 campo em espaço livre [V/m].

Esta expressão é válida para $\nu \ge 1$ e introduz no máximo um erro de 1 dB. Note-se que embora o autor tenha considerado válida a condição de Fresnel subjacente às expressões utilizadas, esta é certamente violada uma vez que, na maior parte dos casos, a distância do móvel aos obstáculo é tipicamente menor que a altura deste.

O campo médio total, tomando como válida a aproximação do campo ser constante ao longo da secção transversal da rua, vem, para o centro da rua:

$$\bar{E} \left[\frac{1}{B\mu V/m} \right] = E_0 \left[\frac{1}{B\mu V/m} \right]^+ 5.8 + 10 \log \left(1 + \frac{3}{L_r^2} \right) + 10 \log \left(\frac{3}{L_r^2} \right) + 20 \log \left(\frac{3}{R} - h_M \right)^2 - 10 \log \left(\frac{3}{L_r^2} \right) + 10 \log$$

em que,

•*f* - frequência;

- h_R altura do nível médio dos edifícios;
- h_M altura do móvel;
- L_r parâmetro que contabiliza as perdas por reflexão tomando valores tipicamente entre os 4 e os 10 dB, segundo medidas nas bandas de UHF¹ e VHF² [2];
- *R* largura da rua;
- ϕ ângulo que o raio faz com a perpendicular aos edifícios na horizontal, ou ângulo de rua.

Com base no que foi mencionado anteriormente, é possível obter-se uma equação que contabilize a atenuação de propagação total. Esta dedução encontra-se no Anexo A.

$$L_{p} = 26.65 + 20 \log(d_{km}) + 30 \log(f_{MHz}) - 10 \log(1 + \frac{3}{L_{r}^{2}}) - 10 \log(2 +$$

.

sendo,

- *d* distância da estação de base à antena do móvel;
- L_p atenuação de propagação total.

Com este modelo simplificado da Óptica Geométrica não é possível descrever o efeito do campo nas ruas transversais, uma vez que o mecanismo físico que lhe está associado é, preponderantemente, o da difracção pelas arestas associadas às esquinas dos edifícios.

¹ Ultra High Frequency

² Very High Frequency

2.3 Modelo de Walfish e Bertoni

O modelo proposto por Walfish e Bertoni [5], foi desenvolvido com a finalidade de se calcular a atenuação que o campo sofre quando o móvel se encontra em zonas de sombra geométrica relativamente à estação de base. Esta atenuação é fundamentalmente originada pelas difracções sucessivas nos topos dos edifícios, sendo este factor dominante em relação às perdas de propagação entre os edifícios ou através deles.

Na construção do modelo foram adoptados alguns pressupostos simplificativos, tais como:

- os edifícios são considerados obstáculos cilíndricos de altura uniforme;
- ♦ a dimensão dos cilindros é grande quando comparada com o comprimento de onda;
- os edificios estão alinhados por filas paralelas;
- os campos que são difractados duas vezes para trás são desprezados;
- ♦ os campos que são reflectidos duas ou mais vezes entre os edifícios, e/ou devidos a difracções com ângulos grandes, são desprezados, uma vez que a sua amplitude é pequena.

A Fig. 2.3 ilustra o trajecto de vários raios no cenário de propagação idealizado.



Fig. 2.3 - Trajecto dos vários raios para propagação em UHF na presença de edifícios.

De acordo com a Fig. 2.3 define-se:

- *b* distância entre o centro dos dois edifícios [m];
- *h_B* altura da estação de base [m];
- Δh_B altura entre o nível médio dos edifícios e a antena da estação de base [m];
- Δh_R altura entre o nível médio dos edifícios e o móvel [m].

Além da distância *d*, também a altura entre a estação base e a altura média dos edifícios influencia o valor de α (ângulo que o raio incidente faz com a horizontal) dado que:

$$\alpha_{rad} = \tan^{-1} \frac{\Delta h_B}{d} \approx \frac{\Delta h_B}{d} \quad (2.5)$$

Neste modelo assume-se que:

• é válida a aproximação de onda plana local;

◆ para uma sequência semi-infinita (0,1,2..) de filas de edifícios, quando o número de filas é grande, o campo no telhado tem um valor constante;

 ♦ as filas de edifícios são substituídas por ecrãs opacos de espessura desprezável e, devido às reflexões do chão serem ignoradas, considera-se que os ecrãs são semi-infinitos;

♦ assume-se propagação perpendicular à fila de edifícios, em que o campo magnético é polarizado paralelamente ao chão.

Tendo em conta as considerações mencionadas anteriormente, o campo difractado numa série de semi-planos, pode ser obtido através dum método recursivo baseado no integral de Kirchhoff-Huygens. Assim, o campo no edifício n é usado para calcular o campo no edifício n+1. Devido ao facto do integral ser infinito, este tem de ser truncado para uma valor finito; esta última aproximação matemática vai introduzir um erro que pode ser minimizado se o intervalo de integração for suficientemente grande. Do ponto de vista fisico, o facto de se truncar o integral significa que nesse ponto se tem um semi-plano que absorve toda a radiação originando, por consequência, outro erro. Resta então saber qual o valor que se deve considerar para a terminação, de modo a minimizar o erro.

De acordo com estudos anteriores, verificou-se que existe uma dependência da perturbação do campo quando a zona de Fresnel, Fig. 2.4, se encontra obstruída.



Fig. 2.4 - Zona de Fresnel para a propagação de uma onda num desfiladeiro diélectrico.

Da Fig. 2.4 definem-se os seguintes parâmetros:

- n índice do edifício (0..N);
- *N* número máximo de edifícios a contabilizar;

• *S* - distância genérica marcada sobre o raio directo entre a estação de base e o último edificio antes do móvel;

• ε - erro cometido quando não se considera toda a zona de Fresnel.

De acordo com a Fig. 2.4, para um valor genérico de *S* marcado ao longo do raio do elipsóide de Fresnel e para $\varepsilon \ll 1$, se a zona de Fresnel de largura dada por $\sqrt{\lambda S / 2\pi\varepsilon}$ estiver desimpedida, então o erro que se comete nesse ponto é menor que ε .

Para não haver uma grande perturbação devido à terminação do integral considera-se que o ponto de terminação deve estar acima do ponto y_c (limite superior do integral de Kirchhoff-Huygens), de modo a que toda a zona de Fresnel seja contabilizada, sendo este dado pela seguinte expressão:

$$y_c = N b \tan \alpha + \sqrt{\frac{N \lambda b}{2 \pi \varepsilon}} \sec \alpha$$
 (2.6)

onde,

• λ - comprimento de onda.

Verificou-se que, para um valor de *n* suficientemente elevado e com $\alpha \neq 0$, a amplitude do campo tende para um valor constante, podendo mesmo dizer-se que a partir de um valor de *n* elevado essa amplitude é independente deste parâmetro. Para além disso, observou-se que a influência do primeiro ecrã diminui à medida que *n* aumenta.

Apesar de Walfish e Bertoni terem considerado um número de ecrãs bastante elevado, em micro-células urbanas este valor é menor, pois entre a estação de base e o móvel existem geralmente menos de 10 edifícios.

Por observação das figuras verificou-se que a amplitude do campo oscila ligeiramente, constatando-se que para $n = 0.1 N_0$ se obtém uma boa aproximação do valor final do campo, com uma precisão menor que 1 dB. Note-se que N_0 é o número de ecrãs, em que quando $n = N_0$, o ecrã n = 0 está fora da zona de Fresnel.

A influência dos edifícios que intervêm no campo que se obtém no topo dos mesmos é dada pelo factor normalizado $Q(\alpha\sqrt{b/\lambda})$, sendo este a razão entre a amplitude do campo calculada e a amplitude do campo incidente. Para se obter uma expressão de Q em função de $\alpha\sqrt{b/\lambda}$, Walfish e Bertoni ajustaram uma recta aos pontos calculados, passando pelo ponto

(0.03,0.1), com declive 0.9, que constitui uma boa aproximação para pontos até $\alpha \sqrt{b/\lambda} \le 0.4$. O factor normalizado é então dado por:

$$Q(g_p) = 2.35 g_p^{0.9}$$
 (2.7)

sendo g_p (parâmetro adimensional que traduz a dependência com a geometria e a frequência) definido por:

$$g_p = \sin \alpha \sqrt{\frac{b}{\lambda}} \approx \alpha \sqrt{\frac{b}{\lambda}}$$
 (2.8)

válida para α em radianos, e para ângulos pequenos (α < 0.5 rad).

O modelo descrito anteriormente pode ser usado para prever a atenuação média que ocorre no percurso entre a estação de base e o móvel. São essencialmente três os factores que têm de ser contabilizados para o seu cálculo:

1) atenuação em espaço livre entre as antenas;

2) atenuação que existe entre a estação de base e o último edifício que antecede o móvel, devendo-se esta essencialmente às difracções múltiplas que ocorrem nesse percurso, contabilizadas por $Q(g_p)$;

3) atenuação que existe entre o móvel e o último edifício que o antecede, causadas pelas reflexões que ocorrem ao nível da rua.

Pelas considerações anteriores, a atenuação total L_p pode ser obtida somando a atenuação em espaço livre L_0 com o factor L_{ex} que dá conta das últimas duas atenuações anteriormente referidas (nos pontos 2) e 3)), tal como se pode verificar pela expressão abaixo:

$$L_{p} dB_{-}^{=} = L_{0} dB_{-}^{+} + L_{ex} dB_{-}^{-}$$
(2.9)

em que,

- L_0 atenuação em espaço livre;
- L_{ex} atenuação suplementar devida ao percurso.

sendo a primeira por:

$$L_0 \downarrow_B = 32.4 + 20 \log \left(f_{MHz} + 20 \log \left(l_{km} \right) \right)$$
(2.10)

e a segunda dada por:

$$L_{ex} = 57.1 + A + \log \left(f_{MHz} \right) + 18 \log \left(l_{km} \right) - 18 \log \left(h_B \right) \quad (2.11)$$

em que A é uma atenuação suplementar utilizada no cálculo de L_{ex} , de acordo com:

$$A \downarrow B \exists 5 \log \left[\left(\frac{b}{2} \right)^2 + \left(h_R \right)^2 \right] - 9 \log \left(\frac{b}{2} + 20 \log \left\{ \tan^{-1} \left[2 \frac{\left(h_R \right)}{b} \right] \right\}$$
(2.12)

Em (2.11) não foi contabilizado o factor referente à curvatura da Terra uma vez que, no presente trabalho, se consideram micro-células, onde a distância *d* é muito pequena quando comparada com o raio da Terra.

2.4 Modelo de Xia e Bertoni

O modelo de Xia e Bertoni [6] surgiu na tentativa de ultrapassar algumas limitações encontradas no modelo proposto por Walfish e Bertoni, nomeadamente no que diz respeito ao problema das difracções que ocorrem nos topos dos edificios, desde a estação de base até ao último edifício antes do móvel. Por conseguinte, neste modelo, o valor do ângulo de incidência α pode ser negativo, o que não era possível no modelo descrito anteriormente, significando assim que a antena da estação de base está mais baixa relativamente ao nível médio dos edificios, o que pode frequentemente acontecer em ambientes urbanos.

É ainda de referir que este modelo tem particular interesse para ângulos de incidência pequenos, uma vez que é nestes casos que o problema da difracção é complicado, não podendo ser usada a Teoria Geométrica da Difracção (TGD) para o descrever. Os autores recorrem à aproximação da Física Óptica, uma vez que esta é válida na região de transição de cada edifício. Xia e Bertoni são então capazes de avaliar a difracção, para o caso de uma onda plana, ao usarem repetidamente o integral de Kirchhoff-Huygens para cada ecrã, de uma forma recursiva, processo este idêntico ao utilizado por Walfish e Bertoni. É, de facto, usando a aproximação da Física Óptica que é possível exprimir o campo incidente, nos sucessivos topos dos edificios, numa soma de funções já anteriormente estudadas por Boersma.

Uma outra vantagem deste modelo é o facto de não existir limitação do número de ecrãs contabilizados, sendo esta uma condição exigida anteriormente devido ao tempo de cálculo envolvido. Este método permite então uma avaliação numérica, válida tanto para as

ondas incidentes planas como cilindricas, mesmo quando o número de topos de edificios é maior que 1000.

Os resultados obtidos por este modelo, para α 's positivos, estão de acordo com os encontrados por Walfish e Bertoni. Quando $\alpha = 0$ (onda incidindo rasante ao obstáculo) verifica-se que a amplitude do campo decresce monotonicamente com *N* (número de edificios considerados), sendo independente tanto da frequência como da distância que os separa. A dependência com a frequência e com a distância reaparece para $\alpha \neq 0$, além de depender também com a altura da estação de base. É ainda de realçar que, para valores negativos de α , a amplitude do campo difractado decresce mais rapidamente com o número de planos envolvidos do que para o caso de incidência rasante, mesmo quando se trata de ângulos negativos pequenos.

Posteriormente, foi desenvolvida uma versão simplificada [7] do modelo de Xia e Bertoni que pode ser aplicada em três tipos de cenários de propagação, ou seja, contempla os casos em que a antena da estação de base está localizada acima, abaixo ou à mesma altura do nível médio dos edifícios.

Como já foi referido anteriormente, a atenuação total que o sinal sofre, desde a estação de base até ao móvel, resulta da soma de três contribuições:

$$L_p = L_0 + L_{rts} + L_{msd}$$
 (2.13)

onde,

- L_{rts} atenuação entre o móvel e o edifício que o antecede;
- L_{msd} atenuação devida às difracções múltiplas nos edifícios que antecedem o móvel.

Assim, nesta nova extensão de Xia [7] e para os três cenários considerados, o termo L_{rts} não varia, o mesmo já não acontecendo com L_0 e com L_{msd} . Analisar-se-á de seguida estes cenários, separadamente.

I. Antena da estação de base à mesma altura que o nível médio dos edifícios

Quando a estação de base está à mesma altura do nível médio dos edifícios, então $\Delta h_B = 0$ e d = Nb. Deste modo, o parâmetro Q é dado pela seguinte expressão:

$$Q = \frac{1}{N} = \frac{b}{d} \quad (2.14)$$

e a atenuação total vem:

$$L_p = -10\log\left(\frac{\lambda}{2\sqrt{2}\pi d}\right)^2 - 10\log\left[\frac{\lambda}{2\pi^2 r}\left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta}\right)^2\right] - 10\log\left(\frac{b}{d}\right)^2$$
(2.15)

em que *r* é definido por:

$$r = \sqrt{\Delta h_R^2 + W^2} \tag{2.16}$$

onde:

• W- distância entre o móvel e o edifício que o antecede,

e θ por:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta h_R}{W} \right) \quad (2.17)$$

O primeiro termo da expressão (2.15) corresponde à atenuação em espaço livre, afectado de um factor de 2, para contabilizar o "espalhamento local" que o sinal sofre devido aos obstáculos que rodeiam a estação de base, e que por sua vez vai reforçar o sinal na direcção contrária.

Considerando algumas medidas típicas em ambientes urbanos e suburbanos, tais como:

* $\Delta h_M = 10.5 \text{ m};$ * W = 30 m;* b = 80 m;* $h_R = 12 \text{ m}$ (edificios de 4 andares).

pode obter-se uma expressão ainda mais simplificada, que depende apenas da distância da estação de base ao móvel e da frequência:

$$L_p \downarrow B \equiv 40 \log (l_{\text{Im}} = + 30 \log (f_{\text{Im}} = + 49 (2.18)))$$

Pode concluir-se então que, para uma estação de base à altura do nível médio dos edifícios, o sinal recebido tem uma dependência de $1/d^4$ com a distância, e de $1/f^3$ com a frequência.

II. Antena da estação de base acima do nível médio dos edifícios

O facto de a estação de base se encontrar alguns metros acima do nível médio dos edifícios vai permitir uma maior área de cobertura, sendo esta a solução que é normalmente utilizada em sistemas macro-celurares. Neste caso, a difracção nos múltiplos edifícios que antecedem o móvel é a contabilizada pelo factor Q (2.7), e a atenuação total pode obtida através da expressão (2.19):

$$L_{p} \downarrow_{B} = -10 \log \left(\frac{\lambda}{4 \pi d}\right)^{2} - 10 \log \left[\frac{\lambda}{2 \pi^{2} r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2 \pi + \theta}\right)^{2}\right]$$

$$-10 \log \left[2.35^{2} \left(\frac{\Delta h_{B}}{d} \sqrt{\frac{b}{\lambda}}\right)^{1.8}\right]$$
(2.19)

Tal como anteriormente, para alguns valores típicos em ambientes urbanos e suburbanos, pode obter-se a seguinte expressão simplificada:

$$L_{p} = 38 \log \left(l_{\text{km}} \right) - 18 \log \left(h_B \right) + 21 \log \left(f_{\text{MHz}} \right) + 81.5 \quad (2.20)$$

Pela expressão obtida pode concluir-se que, para a estação de base acima do nível médio dos edifícios, o sinal recebido tem uma dependência de $1/d^{3.8}$ com a distância, de $1/f^{2.1}$ com a frequência, e de $\Delta h_B^{1.8}$ com a diferença entre a altura da antena da estação de base e do nível médio dos edifícios.

III. Antena da estação de base abaixo do nível médio dos edifícios

Para sistemas micro-celulares, a antena da estação de base encontra-se, normalmente, abaixo do nível médio dos edifícios. De facto, quando a antena da estação de base está suficientemente abaixo do nível médio dos edifícios, de tal modo que a segunda fila de edifícios fica fora da região da primeira, o processo da difracção múltipla de uma onda plana 16

pode separar-se em dois. Neste caso, a primeira fila de edifícios actua como uma fonte de energia onde as difracções múltiplas podem ser tratadas com a TGD, ou seja, tal como foram tratadas no caso da difracção de uma onda desde o topo do edifício até à rua. As restantes difracções múltiplas de uma onda cilíndrica são tratadas de acordo com o estudo efectuado por Xia e Bertoni. Deste modo, a redução do campo devido aos dois processos de difracção das ondas cilindricas é contabilizada na expressão abaixo:

$$Q = \left[\frac{b}{2\pi(d-b)^2}\right]^2 \frac{\lambda}{\sqrt{\Delta h_B^2 + b^2}} \left(\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{2\pi + \varphi}\right)^2 (2.21)$$

 $\operatorname{com} \varphi$ definido por:

$$\varphi = -\tan^{-1} \left(\frac{\Delta h_B}{d} \right) \quad (2.22)$$

A atenuação total é dada por:

$$L_{p} \mu_{B_{-}}^{-} = -10 \log \left(\frac{\lambda}{2\sqrt{2} \pi d} \right)^{2} - 10 \log \left[\frac{\lambda}{2 \pi^{2} r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^{2} \right]$$
$$-10 \log \left\{ \left[\frac{b}{2\pi (d - b)^{2}} \right]^{2} \frac{\lambda}{\sqrt{\Delta h_{B}^{2} + b^{2}}} \left(\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{2\pi + \varphi} \right)^{2} \right\} (2.23)$$

Para as medidas típicas em ambientes urbanos e suburbanos (já apresentadas) e considerando $\Delta h_B = -5 m$, obtém-se a seguinte expressão simplificada:

$$L_{p}_{\text{HB}_{-}} = 40 \log \left(d_{\text{Km}_{-}} \right) + 40 \log \left(f_{\text{MHz}_{-}} \right) + 35 \quad (2.24)$$

Pode concluir-se então que, para uma estação de base abaixo do nível médio dos edifícios, o sinal recebido tem uma dependência de $1/d^4$ com a distância, e de $1/f^4$ com a frequência.

2.5 Extensão de Maciel et al.
Quando um sistema é constituído por micro-células, a distância entre a estação base e o último edifício antes do móvel pode ser pequena, o que leva g_p a tomar valores maiores do que 0.4. Foi neste sentido que Maciel *et al.* [8] ajustaram um polinómio de terceiro grau a dados numéricos, obtendo a seguinte expressão para $Q(g_p)$:

$$Q(\mathbf{g}_p) = 3.502 g_p - 3.327 g_p^2 + 0.962 g_p^3 (2.25)$$

Da expressão (2.25) e para valores de g_p no intervalo [0.01,1] observa-se que existe uma diferença em cerca de 0.5 dB relativamente aos valores obtidos através dos resultados numéricos. Este valor é melhor do que o obtido por Walfish e Bertoni, que foi de 0.8 dB para g_p no intervalo [0.01,0.4]. Na Fig. 2.5 apresentam-se as duas curvas obtidas para $Q(g_p)$:



Fig. 2.5 - Comparação entre duas curvas de $Q(g_p)$, obtidas por Walfish e Bertoni e por Maciel *et al.*

em que $Q_1(g_p)$ é a curva traçada a partir de (2.7) e $Q_2(g_p)$ a partir de (2.25). Observando a Fig. 2.5 verifica-se que, para valores de menores que 0.4, as duas curvas têm um comportamento semelhante. Para valores mais elevados de g_p , Q_2 descreve a curva que se observa para valores experimentais.

2.6 Modelo COST-231-Walfish-Ikegami

Na proposta do modelo COST-231 [9] foram utilizados dois modelos que se complementam, pois enquanto que o modelo de Walfish e Bertoni contabiliza as perdas entre a estação base e o topo do último edifício antes do móvel, o de Ikegami *et al.*, partindo do campo existente no topo do edifício, contabiliza as perdas que este sofre até chegar ao móvel.

Em micro-células urbanas as ruas são ladeadas por blocos contínuos de edifícios formando o que se pode chamar um "desfiladeiro diélectrico". Num ambiente deste tipo, e havendo linha de vista entre a antena da estação de base e a antena do móvel, a atenuação é dada por:

$$L_B = 42.6 + 26 \log (d_{\rm km}) + 20 \log (f_{\rm MHz})$$
, $d \ge 20 \text{ m} (2.26)$

Quando não existe a linha de vista, o modelo divide-se em três termos. O primeiro, L_0 , dá conta da atenuação sofrida pelo sinal em condições ideais de propagação, isto é quando apenas se contabilizam as perdas em espaço livre. O segundo, L_{rts} , traduz as perdas desde o topo do edifício até ao móvel e foi determinado através do modelo proposto por Ikegami *et al.* O terceiro e último termo, L_{msd} , introduz as perdas relativas aos vários edifícios que se encontram entre a antena da estação de base e o topo do último edifício antes do móvel, que é contabilizado pelo factor $Q(g_p)$ estudado por Walfish e Bertoni. Desta forma, somando os três termos pode obter-se a atenuação total sofrida pelo sinal devido a todos os obstáculos, com a condição de estes serem edifícios, pois foi este o caso que foi estudado por Walfish e Bertoni e por Ikegami *et al.* Foram, no entanto, feitos ajustes às equações destes modelos, com base em medidas efectuadas na cidade de Estocolmo, entre outras.

A atenuação total L_p é dada por:

$$L_{p} \parallel B = \begin{cases} L_{0} + L_{rts} + L_{msd} & , \quad L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_{0} & , \quad L_{rts} + L_{msd} \le 0 \end{cases}$$
(2.27)

A atenuação em espaço livre pode ser obtida de (2.10). As perdas devido à difracção sofrida pelo sinal desde o topo dos edifícios até ao móvel são:

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log \, (f_{\rm MHz}) + 20 \log \, (h_R) + L_{ori}$$
(2.28)

e L_{ori} representa a dependência da atenuação com o "ângulo da rua" ϕ , definida por:

$$L_{ori} \text{ IB}_{-}^{-} \begin{cases} -10 + 0.354 \phi , \quad 0 \le \phi < 35^{\circ} \\ 2.5 + 0.075 \phi - 35 \end{bmatrix} , \quad 35^{\circ} \le \phi < 55^{\circ} \quad (2.29) \\ 4.0 - 0.114 \phi - 55 \end{bmatrix} , \quad 55^{\circ} \le \phi < 90^{\circ} \end{cases}$$

As perdas por difracção devido aos edifícios são dadas por:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log d \quad \text{km} + k_f \log f \quad \text{MHz} = -9 \log 6 \quad (2.30)$$

onde,

• L_{bsh} - atenuação introduzida quando a altura da estação de base é superior ou inferior ao nível médio dos edifícios.

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log \left(+ \Delta h_B \right) , \quad h_B > h_R \\ 0 & , \quad h_B \le h_R \end{cases}$$
(2.31)

• k_a - constante que depende da diferença de alturas entre a estação de base e o nível médio dos edifícios, assim como da distância a que a primeira se encontra do móvel.

$$k_{a} = \begin{cases} 54 & , h_{B} > h_{R} \\ 54 - 0.8 \Delta h_{B} & , d \ge 0.5 e h_{B} \le h_{R} \\ 54 - 0.8 \Delta h_{B} & \frac{d}{0.5} & , d < 0.5 e h_{B} \le h_{R} \end{cases}$$
(2.32)

• k_d - constante que depende da altura da estação de base e do nível médio dos edifícios.

$$k_{d} = \begin{cases} 18 & , h_{B} > h_{R} \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_{B}}{h_{R}} & , h_{B} \le h_{R} \end{cases}$$
(2.33)

• k_f - constante que depende da frequência e do ambiente circundante.

$$k_{f} \quad \text{HB}_{-}^{=-4} + \begin{cases} 0.7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) & \text{(a)} \\ 1.5 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) & \text{(b)} \end{cases}$$
(2.34)

(a) para cidades de tamanho médio e centros suburbanos com vegetação moderada.(b) para centros metropolitanos.

As condições de aplicação do modelo são as seguintes:

•
$$f \in [300, 2000]$$
 MHz
• $h_B \in [4, 50]$ m
• $h_M \in [1, 3]$ m
• $d \in [0.002, 5]$ km

A primeira parte deste capítulo visa a escolha dos cenários de teste, nos quais se realizará a campanha de medidas, para além de se apresentarem também algumas características dos mesmos.

Posteriormente, será efectuada uma comparação teórica dos modelos, com base nos valores que os parâmetros geométricos tomam nos respectivos cenários. Esta comparação está dividida em duas partes. Na primeira, serão analisados os termos da atenuação de propagação em separado, e na segunda a atenuação de propagação como um todo. Em seguida, serão apresentadas algumas conclusões relativas a este estudo.

Para finalizar este capítulo, é feita uma breve descrição do programa utilizado para implementar os modelos, assim como algumas aproximações aí efectuadas.

3.1 Cenários de Teste

Uma vez que o objectivo deste trabalho é a comparação dos vários modelos de propagação, é de todo o interesse escolher inicialmente os cenários de teste onde irão ser efectuadas as medidas da potência do sinal. A campanha de medidas, feita em colaboração com a Telecel, serve para, através de uma comparação das mesmas com os resultados teóricos, aferir qual (ou quais) dos modelos, para os locais considerados, é aquele que mais se ajusta à realidade.

A escolha dos cenários de teste teve em consideração os pressupostos assumidos pelos diversos modelos, que são, essencialmente, os seguintes:

• os edifícios têm uma altura uniforme;

• a estrutura urbana é regular, o que significa que as ruas são paralelas e perpendiculares entre si;

♦ o terreno é plano.

Tendo em conta a estrutura urbana pouco regular da cidade de Lisboa (ao nível da orientação das ruas, da orografia do terreno e da altura dos edifícios), verificou-se que apenas

algumas zonas satisfaziam os requisitos necessários. Destas, optou por se escolher apenas duas, que foram as de Campo de Ourique e da Baixa Pombalina. Como se pode observar na Fig. 3.1, a Baixa Pombalina tem uma estrutura bastante regular, apesar de a largura das ruas e a distância entre o centro dos edifícios não ser constante. Na Fig. 3.2 está representada a zona de Campo de Ourique que, apesar de ter uma estrutura igualmente regular, apresenta algumas variações relativas à altura dos edifícios e à orografia do terreno. Além disso, esta última zona tem ainda alguma vegetação, cuja influência na atenuação de propagação não está contabilizada em nenhum dos modelos teóricos. Terá pois interesse verificar qual o seu "peso" nos resultados obtidos na campanha de medidas, quando confrontados com os previstos teoricamente. Dentro destas duas zonas foram escolhidas as ruas indicadas nas Figs 3.1 e 3.2.

- R. da Prata;
- R. do Ouro;
- R. da Madalena;
- R. dos Fanqueiros;
- R. do Comércio;
- R. dos Correeiros;
- R. de São Julião;
- R. da Conceição;



Fig. 3.1 - Baixa Pombalina.

- R. Ferreira Borges;
- R. Saraiva de Carvalho;
- R. Almeida e Sousa;
- R. Coelho da Rocha;
- R. Azedo Gneco;
- R. Quatro de Infantaria;
- R. de Infantaria Dezasseis.



Fig. 3.2 - Campo de Ourique.

Para caracterizar os ambientes onde foram efectuadas as medidas apresentam-se, nas Tabs 3.1 e 3.2, os valores dos parâmetros dos modelos, assim como os seus intervalos de variação, distinguindo os casos em que a estação de base, EB, está acima ou abaixo dos edifícios. Optou por atribuir-se a cada um dos parâmetros um valor fixo, que será uma média dos diferentes valores possíveis.

Tab. 3.1 - Valores dos parâmetros para EB acima dos edifícios.

Estação de base acima dos edifícios					
Parâmetro	Valor	Variação			
<i>b</i> [m]	60.0	[35,102]			
<i>d</i> [m]	500.0	[83,943]			
f[MHz]	937.0	[935,942]			
h_B [m]	25.0	[20,32]			
h_M [m]	1.7	[1,2]			
h_R [m]	15.0	[13,18]			
<i>R</i> [m]	15.0	[11,20]			
Δh_B [m]	10.0	[2,19]			
Δh_M [m]	13.3	[11,17]			
φ[°]	45.0	[3,87]			

Estação de base abaixo dos edifícios					
Parâmetro	Valor	Variação			
<i>b</i> [m]	60.0	[35,102]			
<i>d</i> [m]	500.0	[244,933]			
f[MHz]	937.0	[935,942]			
<i>h</i> _{<i>B</i>} [m]	20.0	[18,24]			
<i>h_M</i> [m]	1.7	[1,2]			
<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	25.0	[25,27]			
<i>R</i> [m]	15.0	[11,20]			
Δh_B [m]	-5.0	[-9,-1]			
Δh_M [m]	23.3	[23,26]			
φ[°]	45.0	[6,86]			

Tab. 3.2 - Valores dos parâmetros para EB abaixo dos edifícios.

3.2 Comparação Teórica dos Modelos

3.2.1 Modelos Originais e Combinados

Nesta secção será efectuado um estudo teórico dos modelos de propagação descritos no Capítulo 2. Este estudo permitirá, não só ter uma ideia dos valores expectáveis para a atenuação de propagação (num cenário típico de micro-células urbanas), mas também compreender melhor os resultados obtidos aquando da comparação dos modelos teóricos com as medidas de potência do sinal.

Como já foi referido anteriormente, a atenuação total de propagação é composta, essencialmente, por três termos:

▶ a atenuação em espaço livre: L_0 ;

> as perdas por difracção nos múltiplos edifícios entre a estação de base e o edifício que antecede o móvel: L_{msd} ;

> as perdas por difracção entre o móvel e o edifício que o antecede: L_{rts} .

Assim, a atenuação total vai variar consoante o modelo de propagação considerado, podendo incluir os três termos acima mencionados ou apenas dois, sendo um deles, necessariamente, a atenuação em espaço livre.

Uma vez que os vários modelos contabilizam de maneira diferente os parâmetros envolvidos, pode haver um termo de atenuação de um determinado modelo que, juntamente com outro de outro modelo, prevejam com maior precisão a atenuação total sofrida num determinado local. Assim, pretende-se obter uma expressão para a atenuação total que resulte da combinação dos vários termos que compõem cada modelo (Ikegami, Walfish e Bertoni, Xia, Maciel e COST-231 Walfish-Ikegami), de modo a conseguir-se um modelo que melhor descreva o cenário electromagnético existente. Os modelos estudados permitem obter os seguintes termos da atenuação total de propagação:

♦ Modelo de Ikegami:	\Rightarrow	L _{rts} I
♦ Modelo de Walfish e Bertoni:	\Rightarrow	$L_{msd}WB$
♦ Modelo de Xia:	\Rightarrow	$L_{msd}X$, $L_{rts}X$
♦ Modelo de Maciel:	\Rightarrow	$L_{msd}M, L_{rts}X$
♦ Modelo COST-231 Walfish-Ikegami:	\Rightarrow	$L_{msd} C, L_{rts} C$

As iniciais acrescentadas a L_{rts} e L_{msd} indicam a que modelo se referem: I (Ikegami), WB (Walfish e Bertoni), X (Xia), M (Maciel) e C (COST-231 Walfish-Ikegami).

Deste modo, ir-se-ão estudar, além dos modelos originais (pois estes são a base da comparação), os modelos combinados. As alternativas possíveis para este estudo são então as seguintes:

1) Ikegami:	$L_p I = L_0 + L_{rts} I$	[dB]
2) Walfish e Bertoni:	$L_p WB = L_0 + L_{msd} WB + L_{rts} WB$	[dB]
3) Xia:	$L_p X = L_0 + L_{msd} X + L_{rts} X + F$	[dB]
4) COST 231 WI:	$L_p C = L_0 + L_{msd} C + L_{rts} C$	[dB]
5) Maciel + Ikegami:	$L_p MI = L_0 + L_{msd} M + L_{rts} I$	[dB]
6) Xia + Ikegami:	$L_p XI = L_0 + L_{msd} X + L_{rts} I + F$	[dB]
7) Maciel + Xia:	$L_p MX = L_0 + L_{msd} M + L_{rts} X$	[dB]

A razão pela qual não se estudaram todas as combinações deve-se ao facto de os modelos combinados estarem repetidos, uma vez que alguns deles apresentam as mesmas expressões para certos termos da atenuação. Tome-se como exemplo o modelo de Xia, no que diz respeito ao termo L_{msd} : para a situação da estação de base se encontrar acima dos

edifícios, esse em nada difere do de Walfish e Bertoni. Por esta razão, os modelos combinados Walfish e Bertoni + Ikegami e o Xia+Ikegami são os mesmos no que toca à atenuação total, assim como os de Xia+Maciel e o Xia+Xia. Também no modelo de Maciel, o termo que contabiliza a atenuação ao nível da rua (L_{rts}) provém do modelo de Xia para a estação de base acima dos edifícios, pelo que o combinado Xia+Maciel vai coincidir com o de Maciel. Nos casos em que os modelos coincidem nas expressões da atenuação de propagação total, vai limitar-se o estudo a apenas um deles. O modelo COST 231 não foi combinado com nenhum outro, pois já deriva de outros dois, os de Walfish e Bertoni e de Ikegami, e não faria sentido estar a combiná-lo novamente. Para além disso, é de notar que é não-determinístico, pois inclui factores correctivos que foram introduzidos através de ajustes resultantes duma campanha de medidas.

O factor *F* nos pontos 3) e 6) representa uma atenuação suplementar. Esta é devida à influência dos edifícios perto da estação de base, que é introduzida no modelo de Xia, e que só será contabilizada na atenuação total quando o modelo combinado incluir o termo $L_{msd} X$.

Para o estudo teórico dos modelos houve necessidade, em alguns casos, de se efectuarem "decomposições" das expressões apresentadas no Capítulo 2. Estas alterações serão descritas de seguida.

Modelo de Ikegami

A equação (2.4) contabiliza a atenuação que o sinal sofre entre o móvel e o edifício que o antecede, juntamente com a atenuação em espaço livre. Uma vez que se pretende combinar os vários termos dos modelos, deduziu-se uma equação que contabilizasse apenas a primeira atenuação referida:

$$L_p I = L_{rts} I + L_0 \quad (3.1)$$

com,

$$L_{rts}I = -8.19 - 10\log(R) + 10\log(f_{MHz}) + 20\log(\Delta h_R) + 10\log\left[\sin\left(\phi\frac{\pi}{180}\right)\right]$$
(3.2)

Para efeitos de cálculo utilizou-se, na equação (2.4), o valor típico de $L_r = 6$ dB.

28

Modelo de Walfish e Bertoni

Na formulação original do modelo de Walfish e Bertoni, a atenuação de propagação total é dada por:

$$L_p WB = L_{ex} + L_0 (3.3)$$

estando L_{ex} definido em (2.11).

No entanto, e por uma questão de coerência no estudo efectuado, optou por dividir-se o termo L_{ex} (atenuação entre a estação de base e o móvel) em duas parcelas, $L_{msd}WB$ e $L_{rts}WB$, pois estas são as atenuações mais relevantes para o presente estudo, até porque se pretende isolar os diferentes tipos de atenuações que existem nesse percurso. Esta dedução encontra-se no Anexo B.

$$L_{msd}WB = -10\log(Q_{WB}^2) \quad (3.4)$$
$$L_{rts}WB = -11.8 + 5\log\left[\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \Delta h_R^2\right] + 20\log\left[\tan^{-1}\left(2\frac{\Delta h_R}{b}\right)\right] + 10\log(f_{MHz}) \quad (3.5)$$

em que Q_{WB} está definido em (2.7).

Um outro motivo que levou à separação da atenuação em dois termos foi o facto de se verificar que certos valores dos parâmetros dos modelos podem conduzir a valores de atenuação negativos. Tal não faz sentido, uma vez que, assim, se estaria a contabilizar um ganho. Caso não tivesse sido efectuada a referida separação, o problema não teria sido detectado, pelo que a sua correcção com valores de L_{msd} nulos não teria sido possível. Este assunto será abordado posteriormente com maior detalhe.

Modelo de Xia

O modelo de Xia pode ser aplicado em três cenários de propagação: estação de base acima, abaixo ou ao mesmo nível dos edifícios. Em termos de combinação e comparação com os restantes modelos, serão apenas utilizados os termos deduzidos para a primeira e última situações. Tal deve-se ao facto de ser apenas nestas circunstâncias que os restantes modelos

são válidos. Apesar de se diferenciarem estas três situações, o termo $L_{rts}X$ não é afectado, e é dado pela expressão (3.6):

$$L_{rts} X = -10 \log \left[\frac{\lambda}{2\pi r^2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right] (3.6)$$

Quanto ao termo $L_{msd}X$, este depende do cenário de propagação considerado. Assim, definiram-se, os seguintes termos:

$$L_{msd} Xu = -10 \log \left[\left(2.35 \left(\frac{\Delta h_B}{d} \sqrt{\frac{b}{\lambda}} \right) \right)^2 \right] (3.7)$$
$$L_{msd} Xn = -10 \log \left[\left(\frac{b}{d} \right)^2 \right] (3.8)$$
$$L_{msd} Xd = -10 \log \left\{ \left[\frac{b}{2\pi \langle \! d \! - \! b \rangle^2} \right]^2 \frac{\lambda}{\sqrt{\Delta h_B^2 + b^2}} \left(\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{2\pi + \varphi} \right)^2 \right\} (3.9)$$

em que,

- $L_{msd} Xu$: aplicável quando a estação de base está acima dos edifícios;
- $L_{msd} Xn$: aplicável quando a estação de base está ao mesmo nível dos edifícios;
- $L_{msd} Xd$: aplicável quando a estação de base está abaixo dos edifícios.

O factor F deve ser somado à atenuação de propagação quando o modelo em questão é constituído pelo termo $L_{msd}X$, sendo dado por:

$$F_{IB} = \begin{cases} 0 & \text{, EB acima dos edificios} \\ 5\log (2) & \text{, EB ao nivel ou abaixo dos edificios} \end{cases} (3.10)$$

Efectuou-se um estudo da continuidade de cada uma das equações no Anexo C, de modo a verificar-se a validade da sua aplicação, independentemente da situação em análise.

Modelo de Maciel

Maciel apenas introduziu alterações, relativamente ao modelo de Xia, no termo que contabiliza o L_{msd} . Assim, a equação utilizada para calcular a atenuação de propagação total foi:

$$L_p M = L_{msd} M + L_{rts} Xu + L_0 (3.11)$$

$$L_{msd} M = 10 \log(Q_M^2)$$
 (3.12)

em que Q_M é dado por (2.25).

O estudo teórico dos modelos contempla duas partes: numa primeira parte, serão estudados em separado, nomeadamente no que diz respeito à variação dos termos de atenuação L_0 , L_{rts} e L_{msd} , com os parâmetros que os constituem; numa segunda parte, analisa-se a variação da atenuação total, tanto para os modelos originais como para os combinados, em função dos mesmos parâmetros. Este estudo vai ser efectuado variando um dos parâmetros e mantendo os outros constantes, para todos eles.

É importante referir que, uma vez que já foram escolhidos os cenários de teste, os parâmetros dos modelos têm já uma base real. Estes foram retirados dos cenários mencionados, pelo que se espera que a comparação teórica dos modelos dê resultados próximos dos que se irão obter na realidade. Para se proceder a essa comparação, poderia ter--se utilizado os valores típicos dos parâmetros da atenuação de propagação, propostos por Xia [7]. No entanto, faz mais sentido utilizar valores característicos dos locais em estudo, de modo a poder efectuar-se essa comparação com maior rigor. Para além disso, é ainda necessário diferenciar duas situações que podem ocorrer, uma vez que são tratadas de uma forma distinta: quando a estação de base está acima dos edifícios e quando está abaixo.

3.2.2 Análise da Variação dos Termos da Atenuação de Propagação

3.2.2.1 Análise de L_0

Os únicos parâmetros que entram para o cálculo da atenuação em espaço livre são a distância entre a base o móvel (d) e a frequência (f).

O primeiro deles pode variar dentro de uma gama de valores relativamente elevada. Além disso, considerou-se que esta gama seria diferente caso a EB estivesse acima ou abaixo dos edifícios. Para o primeiro caso, o intervalo de valores fixado foi [83, 943] m, podendo o intervalo máximo de variação de L_0 com d, atingir cerca de 21 dB. Quando a EB está abaixo dos edifícios, sendo o intervalo agora considerado o de [244, 933] m, esta variação máxima é de 12 dB. Uma vez que a dependência da atenuação com a distância não é linear, este é um parâmetro que pode provocar uma diferença de atenuação bastante elevada.

Já para a frequência, o intervalo de valores deste parâmetro é independente da localização da estação de base. Apesar disto, verificou-se que a variação máxima de atenuação por si provocada é muito pequena (inferior a 0.1 dB).

3.2.2.2 Análise de L_{rts}

Na Tab. 3.3 pode observar-se os vários parâmetros contabilizados no cálculo de L_{rts} , para os modelos teóricos.

	Parâmetros contabilizados no cálculo de L _{rts}					
Modelo	b	b f h_M h_R R q				
Ikegami						
Walfish e Bertoni						
Xia						
COST 231 WI						

Tab. 3.3 - Parâmetros contabilizados no cálculo de L_{rts} para os vários modelos.

No Anexo D encontram-se as figuras que ilustram a dependência de L_{rts} com os vários parâmetros que entram para o seu cálculo, para EB acima dos edifícios.

EB acima dos Edifícios

b: Tal como se pode observar na Tab. 3.3, o modelo de Walfish e Bertoni é o único que contabiliza o espaçamento entre os centros dos edifícios (*b*), podendo este parâmetro

32

provocar, no seu intervalo de variação, uma atenuação (L_{rts}) até 4 dB. No entanto, verifica-se (Fig. D.1) que, apesar de ser contabilizado este acréscimo, o termo, na sua totalidade, não apresenta uma maior atenuação, relativamente aos mesmos termos provenientes de outros modelos. Tal pode dever-se, por exemplo, ao facto de o modelo de Walfish e Bertoni não contabilizar nem a largura (R) nem o ângulo de rua (ϕ).

 ϕ No que diz respeito ao ângulo de rua, este só é contabilizado nos modelos de Ikegami e COST 231. Para ambos os casos, e no seu intervalo de variação para a EB acima dos edifícios ($\phi \in [3^\circ, 87^\circ]$), a sua contribuição para o L_{rts} pode variar até cerca de 13 dB, Fig. 3.3 (D.2). No entanto, no modelo COST 231 são apresentadas três expressões, cada uma para um intervalo específico, para o cálculo da atenuação com ϕ , enquanto que no de Walfish e Bertoni é apresentada apenas uma. Para uma melhor análise deste parâmetro, em cada um dos intervalos considerados no modelo de COST 231, apresenta-se a Tab. 3.4.



Fig. 3.3 - Variação do termo L_{rts} com o ângulo de rua.

Tab. 3.4 - Variação de $L_{rts} \operatorname{com} \phi$, para os modelos de Ikegami e COST 231.

Variação de ϕ	L _{rts} WB [dB]	L _{rts} C [dB]
[3°,34°]	~ 11.0	~ 10.3
[35°,54°]	~ 1.5	~ 1.5
[55°,87°]	~ 3.7	~ 1.0

Ao observar-se na Tab. 3.4, conjuntamente com a Fig. 3.3, verifica-se que é, sem dúvida, para ângulos pequenos (até 35°) que existe uma maior atenuação. Já para os restantes intervalos, esta atenuação não é tão elevada.

Note-se que no último intervalo de variação de ϕ , enquanto que o modelo de Walfish e Bertoni contabiliza o acréscimo de atenuação com o aumento do ângulo, o COST 231 contabiliza o decréscimo.

R: Quanto à largura da rua (Fig. D.3) verifica-se que o intervalo máximo de variação de atenuação ocorre para os modelos de Ikegami e COST 231, sendo de cerca de 2.6 dB. Tal semelhança pode dever-se ao facto de o termo L_{rts} do COST 231 ser baseado no modelo de Ikegami. Por outro lado, o modelo de Xia apresenta uma variação de atenuação de 1.8 dB.

f, $h_M e h_R$: Os restantes parâmetros: *f*, h_M e h_R são contabilizados em todos os modelos (I, WB, X, C). A variação da atenuação com a frequência (Fig. D.4) é quase inexistente (0.03 dB). Quanto à variação de L_{rts} com h_R (Fig. D.5), esta é semelhante para todos eles, podendo atingir um valor máximo de 3.2 dB, assim como para h_M (Fig. D.6), cuja variação máxima é de 0.6 dB. Apesar da diferença entre os vários modelos ser mínima, o modelo de Xia é aquele que apresenta um menor intervalo de variação deste termo, tanto para h_M como para h_R .

O termo L_{rts} não é afectado nem pela distância entre a base e o móvel, nem pela altura da base.

EB abaixo dos Edifícios

As expressões do L_{rts} (dos vários modelos) utilizadas quando a EB está abaixo dos edifícios são as mesmas quando está acima. Os intervalos máximos de variação deste termo com os vários parâmetros diferem, uma vez que os valores destes últimos dependem do cenário de teste.

No Anexo E apresentam-se as curvas da variação de L_{rts} com os vários parâmetros contabilizados no seu cálculo, para os vários modelos e na situação da estação de base estar localizada a uma altura superior à dos edifícios (Figs E.1 a E.5). Da observação das figuras nota-se que todos os intervalos de variação máxima deste termo, para os modelos COST 231 e Ikegami, são iguais à excepção do ângulo de rua (ϕ), sendo este, no entanto, também bastante semelhante. Esta igualdade pode ser explicada pelo facto do modelo COST 231, para este termo de atenuação, basear-se no de Ikegami. Para além disso e de um modo geral, o modelo de Xia contabiliza um menor intervalo de variação da atenuação que os dois últimos. Verifica-

-se também que a maioria dos parâmetros apresentam um valor para o referido intervalo da mesma ordem de grandeza dos obtidos para a EB acima dos edifícios. As diferenças observadas estão directamente relacionadas com os valores que os parâmetros tomam neste cenário e não com os modelos propriamente ditos, uma vez que as expressões utilizadas para o cálculo deste termo são as mesmas, tal como foi dito anteriormente.

3.2.2.3 Análise de Lmsd

Na Tab. 3.5 pode observar-se os vários parâmetros contabilizados no cálculo de L_{msd} , para os vários modelos.

	Parâmetros contabilizados no cálculo de L_{msd}						
Modelo	b	b d f h_B h_R					
Walfish e Bertoni							
Xia ($L_{msd} Xu$)							
Xia ($L_{msd} Xn$)							
Xia ($L_{msd} Xd$)							
Maciel							
COST 231 WI							

Tab. 3.5 - Parâmetros contabilizados no cálculo de L_{msd} , para os vários modelos.

A análise deste termo de atenuação será efectuada em duas partes: para a EB acima e abaixo dos edifícios.

EB acima dos Edifícios

No Anexo F encontram-se as figuras que ilustram a dependência de L_{msd} com os vários parâmetros que entram para o seu cálculo, para a EB acima dos edifícios.

Tal como se pode verificar na Tab. 3.5, os parâmetros que entram no cálculo deste termo de atenuação (b, d, f, h_B, h_R) são contabilizados em todos os modelos, excepto no de Xia, quando a estação de base está ao nível dos edifícios. No entanto, esta situação não será

aqui analisada, uma vez que, nos cenários de teste escolhidos, este caso nunca acontece. Tal como já foi referido anteriormente, para alguns parâmetros e considerando o seu intervalo de variação, o termo de atenuação L_{msd} apresentava valores negativos. Este facto registou-se para a distância (*d*) e para a altura da base (h_B), para todos os modelos em estudo. Tal também se verificou para *b*, mas apenas para o modelo COST 231.

d: No que diz respeito à distância, o referido termo (L_{msd}) toma valores negativos para valores deste parâmetro inferiores a 300 m, aproximadamente (Fig. F.1). Cada um dos modelos vai, naturalmente, ter um valor da distância para o qual o termo de atenuação toma o valor de 0 dB. Denominou-se esta distância por distância "crítica". Assim, para valores inferiores à distância "crítica", atribui-se o valor de 0 dB ao termo L_{msd} , e para valores superiores, este é calculado através das expressões correspondentes, para cada modelo. Para além disso verificou-se que o intervalo de variação máximo com a distância é de 7.7 dB, para os modelos de Xia e Walfish e Bertoni, embora para os restantes modelos este intervalo máximo seja também na ordem dos 7 dB.

 h_B : No que se refere ao parâmetro h_B , a máxima variação de atenuação é na ordem dos 7-8 dB (Fig. F.2), consoante o modelo (o valor máximo é registado para os modelos de Xia e de Walfish e Bertoni). Note-se que a altura da base varia em 12 m.

 h_R : No que diz respeito à altura dos edifícios (Fig. F.3), o intervalo máximo de atenuação registado (3-4 dB) é aproximadamente metade do obtido para h_B ; no entanto, o valor da altura dos edifícios varia apenas em 5 m, nos cenários de teste considerados, enquanto que a da base varia em 12 m. É ainda de referir que o termo L_{msd} não toma valores negativos, dentro do intervalo de valores de h_R .

b: Quanto à distância entre os centros dos edifícios (Fig. F.4), considerando os possíveis valores que este parâmetro pode tomar ([35,102] m), que é relativamente elevado, a variação máxima da atenuação registada é de 3-4 dB.

f: A frequência (Fig. F.5), tal como para o termo L_{rts} , quase não varia (cerca de 0.02 dB), no intervalo considerado.

Tal como já foi referido, o termo L_{msd} não varia com R, $h_M e \phi$.

EB abaixo dos Edifícios

No Anexo G encontram-se as figuras que ilustram a dependência de L_{msd} com os vários parâmetros que entram para o seu cálculo, para a EB abaixo dos edifícios.

d: Um dos parâmetros que tem interesse estudar, para analisar a influência na atenuação da posição da estação de base relativamente aos edifícios, é a distância entre a base e o móvel. No intervalo de variação deste parâmetro ([244,933] m), que é inferior em 171 m ao considerado no caso da EB estar acima dos edifícios, a variação do termo L_{msd} toma valores entre 14 e 16 dB (Fig. G.1), ou seja, o dobro da registada para o caso anterior.

 h_B : Outro parâmetro de interesse neste estudo é a altura da base. Na Fig. 3.4 (G.2) pode verificar-se a discrepância entre as curvas correspondentes ao termo L_{msd} , para os modelos Xia e COST 231.



Fig. 3.4 - Variação do termo L_{msd} com a altura da base, para EB abaixo dos edifícios.

Enquanto que, no modelo de Xia, ao variar-se h_B em 6 m, no intervalo considerado, a variação máxima registada é de 17 dB, no modelo COST 231 esta atinge, no máximo, 4 dB. É ainda importante confrontar estes resultados com os obtidos no caso em que a estação de base está acima dos edifícios. Neste último, apesar de h_B variar em 12 m (o dobro do caso em estudo), o intervalo de variação da atenuação registada é cerca de metade (7-8 dB). Pode então

dizer-se, de um modo geral, que à medida que a altura da base decresce registam-se atenuações (L_{msd}) cada vez mais elevadas.

 h_R : Relativamente à altura dos edifícios (Fig. G.3), h_R , o intervalo máximo de variação é pequeno (1-3 dB); no entanto, deve ter-se em consideração que, para o presente caso (EB abaixo dos edifícios), este parâmetro foi variado apenas em 2 m ([25,27] m). A título de curiosidade, e considerando-se uma diferença de 6 m entre a altura máxima e mínima dos edifícios ([21,27] m), o intervalo de atenuação máximo registado toma valores da mesma ordem de grandeza dos verificados para h_B (para EB abaixo). Para este caso, obter-se-ia um intervalo de variação máximo de 17 dB para o modelo de Xia e de 4 dB para o COST 231.

b: Para a distância entre centros de edifícios (Fig. G.4), verifica-se que o modelo de COST 231 apresenta valores semelhantes aos registados para a EB acima dos edifícios (aproximadamente 4 dB). Note-se que o intervalo de valores que este parâmetro pode tomar nestes dois casos (EB acima e abaixo dos edifícios) é o mesmo. Para o modelo de Xia, o intervalo de variação máximo é de 6 dB, o que já é ligeiramente superior ao encontrado para este modelo no caso da EB acima dos edifícios.

f: Quanto à frequência (Fig. G.5) observa-se um ligeiro aumento do intervalo máximo de variação de atenuação, relativamente ao caso anterior; no entanto, este continua a ser mínimo (0.1 dB).

3.2.3 Análise da Variação da Atenuação de Propagação Total

Uma vez que o estudo anterior apenas contemplou a análise dos termos de atenuação de propagação em separado, vai agora efectuar-se a análise para os modelos originais, assim como para os combinados, da atenuação total de propagação. Este estudo é importante na medida em que permite a comparação entre os vários modelos, o que não era possível apenas com a análise anterior.

Sendo a atenuação total constituída pelos três termos de atenuação, e dado que alguns parâmetros que entram para o seu cálculo variam apenas com um deles, a sua análise estaria repetida. Deste modo, irá analisar-se apenas a variação da atenuação com os parâmetros que entrarem em dois ou mais termos de atenuação.

EB acima dos Edifícios

Na Tab. 3.6 pode observar-se os vários parâmetros contabilizados no cálculo da atenuação total de propagação, no caso em que a estação de base está acima dos edifícios, para os vários modelos.

		Parâmetros Contabilizados no Cálculo da Atenuação Total						
Modelo	b	d	f	h_B	h_M	h_R	R	φ
M+I								
X+I								
X+X								
X+M								
С								
Ι								
WB								

Tab. 3.6 - Parâmetros contabilizados no cálculo da Atenuação Total, para os vários modelos.

No Anexo H encontram-se as figuras que ilustram a variação da atenuação total de propagação com os vários parâmetros que a constituem, no intervalo de valores que cada um deles pode tomar, dentro dos cenários de teste escolhidos. As figuras apresentadas no respectivo Anexo já incluem a correcção efectuada às expressões utilizadas para o cálculo da atenuação quando o termo L_{msd} apresenta valores negativos. Neste Anexo, podem também observar-se, a título de curiosidade, as figuras sem a respectiva correcção, para os parâmetros que o justificam $(d, h_B e b)$.

De um modo geral, pode constatar-se que existem várias classes de modelos. Por ordem decrescente de atenuação, tem-se um primeiro grupo de modelos que engloba os de X+X, M+X, X+I e M+I, uma vez que estão relativamente próximos uns dos outros; posteriormente, tem-se o modelo de Ikegami, seguido dos de COST 231 e de Walfish e Bertoni.

Tal como já foi mencionado anteriormente, um dos parâmetros para os quais L_{msd} <0 dB é a distância entre a base e o móvel. As diferenças entre os resultados obtidos com e sem correcção podem ser observadas nas Figs. 3.5 e 3.6 (H.1 e H.2), para o referido parâmetro.



Fig. 3.5 - Variação da Atenuação Total com d, sem a correcção de L_{msd} .



Fig. 3.6 - Variação da Atenuação Total com d, com a correcção de L_{msd} .

Como se pode verificar na Fig. 3.6, para valores de distância até, aproximadamente, 300 m, o termo L_{msd} apresenta valores negativos pelo que, nestes casos, a atenuação total de propagação é apenas constituída por L_0 e L_{rts} . As curvas da referida figura ilustram o ponto de "quebra" onde se dá esta transição. Este facto pode, também, ser observado quando se varia a altura da base. Neste caso, é para alturas superiores a, aproximadamente, 29 m, que o termo L_{msd} toma valores inferiores a 0 dB. Tal também acontece, mas agora apenas para o modelo COST 231, para a distância entre centros de edifícios (*b*), quando o seu valor é superior a 100 m.

d: A distância *d* é um parâmetro bastante sensível a variações, uma vez que é contabilizado em dois dos três termos da atenuação total (L_0 e L_{msd}). Na maioria dos modelos, o intervalo máximo de variação de atenuação é cerca de 28 dB, excepto para o modelo de Ikegami, que apresenta um valor máximo de 21 dB. Tal pode dever-se ao facto de, para este último, não existir o termo L_{msd} , pelo que a atenuação total vai ser menor, e igual ao intervalo máximo de variação de L_0 com *d*.

 h_R : No que diz respeito à altura dos edifícios, e sendo este um parâmetro contabilizado em todos os modelos, verifica-se que o intervalo máximo de variação oscila entre 6-7 dB (Fig. H.3). Apesar de h_R entrar para o cálculo de L_{rts} , de L_{msd} ou de ambos, o intervalo máximo de variação da atenuação total tem valores semelhantes para os vários modelos, excepto para o de Ikegami. O facto desse intervalo ser menor para este último caso, podendo atingir somente os 3 dB, pode ser explicado pela não contabilização do termo L_{msd} . Isto porque o referido modelo contempla, fundamentalmente, a atenuação ao nível da rua (L_{rts}) e, deste ponto de vista, a atenuação existente entre a base e o móvel deixa de ter grande importância, o que se reflecte numa menor atenuação total de propagação.

b: Para o parâmetro *b*, verifica-se que a variação máxima de atenuação é dada pelo modelo de Walfish e Bertoni, podendo esta atingir os 8.5 dB (Figs. H.4 e H.5). Isto pode ser explicado pelo facto de esse modelo privilegiar a propagação entre a base e o edifício que antecede o móvel (L_{rrs}) e de *b* entrar para o cálculo, tanto de L_{msd} , como de L_{rrs} . Para os restantes modelos, excepto para o de Ikegami (pois não contabiliza este parâmetro), esse intervalo máximo de variação de atenuação é de, apenas, 3-4 dB.

f: Ainda relativamente à frequência (Fig. H.6), resta apenas referir que é um parâmetro cuja variação da atenuação total é muito pequena, podendo atingir no máximo cerca de 0.1 dB.

 ϕ , R, h_M e h_B : A análise da variação de ϕ , R e h_M (Figs. H.7 a H.9) na atenuação total, é análoga à efectuada para os mesmos parâmetros em L_{rts} , assim como a variação de h_B (Fig. H.10 e H.11) em L_{msd} , para EB acima dos edifícios.

EB abaixo dos Edifícios

Neste estudo serão apenas analisados três modelos (X,C,X+I), uma vez que os restantes não são válidos para a situação em que a estação de base se encontra abaixo dos edifícios.

Na Tab. 3.7 pode observar-se os vários parâmetros contabilizados no cálculo da atenuação total de propagação, no caso em que a estação de base está abaixo dos edifícios, para os vários modelos.

Tab. 3.7 - Parâmetros contabilizados no cálculo da Atenuação Total, para os vários modelos.

		Parâmetros Contabilizados no Cálculo da Atenuação Total						
Modelo	b	b d f h_B h_M h_R R					φ	
X+X								
X+I								
С								

No Anexo I apresentam-se as figuras da variação da atenuação total de propagação, para o caso em estudo (EB abaixo dos edifícios), com os parâmetros que a constituem. De um modo geral, e através da observação das várias figuras, verifica-se que existem essencialmente duas classes de modelos. Por um lado tem-se o modelo COST 231 que apresenta, em todos os casos, um valor de atenuação total mais baixo, e por outro os de Xia e Xia+Ikegami, cujas curvas de atenuação são bastante semelhantes.

d: No intervalo de valores de *d* ([244, 933] m), num cenário onde a estação de base está localizada abaixo dos edifícios, a variação máxima registada, para os três modelos, encontrase entre 25 dB e 27 dB (Fig. I.1). No entanto, para se poder comparar com o caso em que a EB está acima dos edifícios, considerou-se o intervalo de variação da distância, correspondente ao último caso ([83, 943] m). Aí verifica-se que a atenuação já varia, no máximo, cerca de 47 dB para os modelos de Xia e Xia+Ikegami e 52 dB para o COST 231, enquanto que para a EB acima dos edifícios variava cerca de 28 dB. Assim, pode dizer-se que a atenuação aumenta 42

consideravelmente com a distância, como seria de esperar, para além de a sua variação ser maior para o caso em que a EB está abaixo dos edifícios.

 h_R : No que diz respeito à altura dos edifícios, h_R , a variação máxima de atenuação situase no intervalo entre 2 e 4 dB, dependendo do modelo considerado (Fig. I.2). Da análise efectuada anteriormente (EB acima dos edifícios), este parâmetro variava, no máximo, cerca de 6-7 dB, para a maioria dos modelos. No entanto, deve ter-se em conta que a diferença entre o valor máximo e mínimo para h_R é de 6 m, para a situação em que a estação de base está acima dos edifícios, e 2 m para quando está abaixo. Analogamente ao que se fez no estudo do termo L_{rts} , para EB abaixo dos edifícios, com este parâmetro, se o intervalo de variação fosse [21,27] m (uma diferença de 6 m), o intervalo de variação máximo de atenuação era de 13 dB para os modelos Xia e Xia+Ikegami e de 5 dB para o COST 231. Estes resultados estão em concordância com os obtidos para o caso mencionado.

f: Para a frequência (Fig. I.3), dado que o intervalo de valores que este parâmetro pode tomar é muito pequeno, a variação de atenuação registada é mínima, tal como já foi referido anteriormente.

 ϕ , R, h_M , b e h_B : A análise da variação de ϕ , R, h_M (Figs. I.4 a I.6) na atenuação total, é análoga à efectuada para os mesmos parâmetros em L_{rts} , assim como a variação de b e h_B (Figs. I.7 e I.8) em L_{msd} , para EB abaixo dos edifícios.

3.2.4 Conclusões

Da análise comparativa dos modelos teóricos, pode concluir-se que, de um modo geral, os vários modelos apresentam variações de atenuação muito menores para o termo L_{msd} do que para o L_{rts} .

Os modelos que, num contexto geral e para a EB acima dos edifícios, são mais optimistas, isto é, prevêem uma menor atenuação total de propagação, são os de Walfish e Bertoni e o de COST 231. Os menos optimistas são os de Xia, Maciel e seus combinados, enquanto que o de Ikegami se encontra numa posição intermédia. Relativamente à EB abaixo dos edifícios, verifica-se que o mais optimista continua a ser o COST 231 face aos de Xia e Xia+Ikegami, o que está em concordância com a situação anterior.

Na Tab. 3.8 apresenta-se uma síntese do estudo anterior, para as situações da estação de base estar acima e abaixo dos edifícios. Nesta, pode observar-se o menor e o maior valor dos intervalos de variação máximos da atenuação, para os vários parâmetros, dos modelos de propagação.

	EB acima dos edifícios	EB abaixo dos edifícios
Parâmetros	menor e maior ∆max	menor e maior ∆max
	[dB]	[dB]
b	3.1 - 8.5	4 - 6
d	21.1 - 28.8	25 - 27
f	0.068 - 0.074	0.12 - 0.13
h_B	7.6 - 8.6	4 - 17
h _M	0.5 - 0.6	0.3 - 0.4
h_R	3.1 - 7.3	2 - 4
R	1.8 - 2.6	1.2 - 2.6
ϕ	12.8 - 12.9	10 - 12

Tab. 3.8 - Menor e maior intervalos máximos de atenuação, para os vários modelos.

Da tabela acima pode verificar-se que os parâmetros que sofrem uma maior variação na atenuação total, no intervalo de valores que podem tomar em cada cenário, são a distância (d), a altura da base (h_B) , o ângulo de rua (ϕ) e o espaçamento entre centros de edifícios (b).

A distância entre a base e o móvel é, sem dúvida, o parâmetro que provoca uma maior variação de atenuação, pelas razões já enunciadas.

Como já foi referido anteriormente, $\phi \dot{e}$ bastante sensível a valores no intervalo [0,34°]. Isto porque, neste intervalo, a modelação dos edifícios por lâminas (sendo este um pressuposto dos modelos) não será a mais correcta.

Outro facto a salientar é a importância de *b*, no modelo de Walfish e Bertoni, para o qual a variação máxima da atenuação total pode atingir os 8.5 dB, para EB acima dos edifícios, e de 6 dB para abaixo. Já para os restantes modelos, este valor oscila entre 3-4 dB, quer para EB acima quer para EB abaixo dos edifícios.

Note-se ainda que, para o modelo COST 231 quando a EB está abaixo dos edifícios, a variação da atenuação total com h_B é bastante menor relativamente aos outros modelos (4 dB face a 17 dB).

No que diz respeito a h_R , no modelo de Ikegami para a EB acima dos edifícios, a sua influência na atenuação total é pouco relevante. Enquanto que nos restantes modelos a variação máxima da atenuação é cerca de 6-7 dB, neste último é de 3 dB.

3.3 Implementação dos Modelos no Programa RMÓVEL

3.3.1 O Programa RMÓVEL

A implementação dos modelos teóricos, descritos no capítulo anterior, vai ser efectuada recorrendo a uma ferramenta desenvolvida no Instituto Superior Técnico, no âmbito de Trabalhos Finais de Curso realizados em anos anteriores [4]. Este programa, designado por RMÓVEL, não é mais do que uma interface amigável, para o utilizador, de um programa de cálculo, Fig. 3.7.



Fig. 3.7 - Interface do RMÓVEL.

Essa interface permite uma fácil inserção dos dados (frequência, altura da base e do móvel, potência da base, etc.) relativos à situação em estudo. Além disso, tem ainda a opção de visualizar gráficos do diagrama de radiação da antena utilizada, da potência recebida pelo móvel, dos vários perfis entre a estação de base e o móvel, entre outros.

O funcionamento do programa pode dividir-se em duas partes que, apesar de distintas, são complementares. A primeira corresponde à interface com o utilizador, isto é, à forma como este insere os dados e como os visualiza, tendo sido desenvolvida em *Visual Basic*. A segunda refere-se ao cálculo das potências, sendo constituída por programas independentes desenvolvidos em linguagem FORTRAN ou C++ e que são executados pelo RMÓVEL. Estes últimos utilizam os dados provenientes do RMÓVEL, sob a forma de ficheiros (que podem conter, por exemplo, a especificação de uma determinada antena escolhida pelo utilizador ou simplesmente os dados por ele introduzidos), para determinar o valor das potências, de acordo com o modelo escolhido.

O RMÓVEL, além da informação que o utilizador introduz, necessita também de dados relativos à cota do terreno, ao tipo de urbanização existente, à localização das ruas e ao diagrama de radiação das antenas. Esta informação encontra-se disponível em ficheiros, sendo possível ao utilizador alterar aqueles que pretende que sejam utilizados. Quando os modelos o exigem, pode também ser necessário informação relativa a parâmetros mais específicos a cada um deles, como por exemplo a largura das ruas. Neste último caso, é necessário introduzi-la nos ficheiros já existentes, de acordo com o formato pré-definido.

A estrutura do RMÓVEL permite que sejam facilmente introduzidos novos modelos de propagação, sem que isso traga muitas alterações ao programa inicial. No entanto, deve terse especial atenção ao formato dos ficheiros utilizados, quer sejam de entrada, quer de saída, uma vez que estes têm que ser compatíveis dentro do RMÓVEL.

3.3.2 Aproximações Efectuadas

Na implementação dos modelos de propagação deve ter-se em consideração que os ambientes onde são efectuadas as medidas nem sempre apresentam as características ideais, requeridas pelos modelos. Assim sendo, são necessárias aproximações, de modo a poder aplicar-se o modelo às zonas em estudo.

Como se pode observar na Fig. 3.8, tanto as cotas do terreno como a altura dos edifícios nem sempre são constantes, o que dificulta a determinação dos valores dos parâmetros relativos à morfologia do terreno. Nestes, incluem-se a altura entre o nível médio dos edifícios e a antena da estação de base (Δh_B), assim como a altura entre o nível médio dos edifícios e o móvel (Δh_R).



Fig. 3.8 - Perfil original.

De modo a poder ultrapassar-se este problema, foi implementado um método que calcula as médias, tanto das alturas dos edifícios como das cotas dos terrenos, permitindo que, posteriormente, se reconstitua um outro cenário com base nos novos valores assim obtidos. Neste método não só foram contabilizados os edifícios que interferem no primeiro elipsóide de Fresnel [4], mas todos os que se encontram entre a estação de base e o móvel. O perfil representado na Fig. 3.9, é o perfil normalizado, que se obtém após a aplicação deste método ao perfil acima representado.



Fig. 3.9 - Perfil normalizado.

Utilizando os perfis obtidos por este processo, é então possível calcularem-se os novos parâmetros. A uniformização dos vários perfis simplifica, por um lado, a implementação do programa mas, por outro, pode fazer com que vários perfis diferentes originem perfis normalizados iguais. Consequentemente, a análise dos resultados deve ser efectuada de uma forma cuidada, uma vez que este processo pode conduzir, em situações muito especiais, a perfis sem qualquer significado físico, ou a situações diferentes da realidade inicial. Tome-se como exemplo o caso de a estação de base estar muito próxima do nível dos edifícios, mas ainda se encontrar acima. Depois de se efectuarem as médias, tanto das cotas como dos edifícios, a estação (de base ou móvel) pode ficar representada abaixo do nível dos edifícios. Tal pode levar à utilização de equações inadequadas ao caso real e, como consequência, a resultados com um erro maior. Por este motivo manteve-se, tanto a estação de base como o móvel, na sua verdadeira cota.

Quando uma rua é introduzida no ficheiro Vias.dat (que contém a toda informação relativa às ruas), não existe a garantia de que todos os dados necessários ao cálculo das atenuações estejam inseridos. Pode então ocorrer uma das seguintes situações:

- não existe informação sobre a largura da rua e a distância entre edifícios;
- não existe informação sobre a distância entre edifícios.

No primeiro caso, optou por se considerar que existe um erro (o programa termina, sem calcular potências), uma vez que era impossível arbitrar um valor para a largura da rua. Já no segundo, considera-se que a distância entre edifícios é cinco vezes maior do que a largura da rua. Este valor foi escolhido por se considerar que a relação entre estes dois parâmetros era razoável. Tal como todas as aproximações efectuadas, também esta pode conduzir a erros no cálculo das potências. No entanto foi considerada como uma opção de implementação dos modelos.

Outro problema encontrado foi o facto de os ficheiros que contêm os vários perfis poderem ter uma resolução muito baixa¹, podendo esta variar de perfil para perfil. Para distâncias (entre a base e o móvel) da ordem de 1 km, e considerando o caso típico de 8 pontos numa rua, obtém-se uma resolução de cerca de 142.9 m. Tendo em consideração que uma rua pode ter, tipicamente, 20 m de largura, verifica-se que a determinação da posição do

Comment [.1]: Entende-se como baixa resolução quando a distância entre pontos consecutivos é muito grande quando comparada com a largura da rua.

¹ Entende-se como baixa resolução quando a distância entre pontos consecutivos é muito grande, quando comparada com a largura da rua.

último edifício antes do móvel não pode ser efectuada com base no ficheiro que contém os perfis. Nestes casos, considerou-se então que o último edifício antes do móvel se encontra a uma distância que é metade da largura da rua. Esta aproximação, excepto em casos muito especiais (móvel na proximidade de jardins ou de áreas abertas), dá, em princípio, uma boa estimativa do valor real.

Para além das aproximações efectuadas ao nível do cenário, foi também necessário estimar-se o ganho das antenas. Para o ganho da estação de base, utilizou-se um ficheiro que contém a informação relativa ao diagrama de radiação de cada antena. Uma vez que não é possível definir-se o valor do ganho para cada ângulo no plano horizontal, é necessário calcula-

-lo recorrendo a uma interpolação. Como se pode observar na Fig. 3.10, o ganho da antena da estação de base, numa dada direcção, pode ser calculado linearizando os ganhos (em unidades lineares) dos ângulos inferior e superior, obtendo-se, de seguida, o ganho na direcção de interesse.



Fig. 3.10 - Cálculo do ganho das antenas.

O erro que se comete ao utilizar-se este processo depende, em larga escala, do grau de precisão do ficheiro utilizado. Isto verifica-se porque as representações do diagrama de radiação das antenas têm resoluções diferentes (pode tomar valores de 1°,15°, etc.). Quando a resolução é baixa, pode acontecer que, numa dada direcção, exista um nulo; no entanto, a sua detecção pode não ser possível, devido ao processo utilizado. Apesar disso, não é de esperar que tal aconteça, uma vez que os ângulos de rua variam entre [-90°, 90°]. Isto porque nestas direcções, as antenas têm o lobo de radiação principal que, normalmente, tem uma abertura suficiente para não existirem mínimos mais ou menos acentuados na direcção de interesse. Referem-se aqui mínimos e não nulos uma vez que a existência destes últimos, em diagramas de radiação reais, é pouco provável.

Uma vez que não se dispunha de informação sobre o diagrama de radiação das antenas no plano vertical, foi utilizada a expressão (3.14) para a determinação do ganho.

$$G \mathbf{\Theta} = \sin^n \mathbf{\Theta} (3.13)$$

onde,

- θ ângulo que o raio incidente faz com a vertical;
- *n* factor de forma do diagrama de radiação.

O valor de *n* varia de antena para antena e, como tal, tem que ser calculado para cada um dos casos em separado. Uma vez que é conhecido o valor de α_{-3} dB (metade da largura de feixe a -3 dB), é então possível determinar-se o valor de *n* resolvendo a equação (3.14).

$$G\left(\alpha_{-3dB}\right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \implies n = -\frac{\log \mathbf{e}}{2\log \sin \left(\alpha_{-3dB}\right)} (3.14)$$

O ganho da antena da estação de base obtém-se multiplicando o ganho vertical pelo ganho horizontal, calculados pelo processo atrás descrito.

No caso da antena do móvel, considerou-se que esta era um dipolo de meia onda, com um ganho de -2.15 dBi. Quanto ao plano vertical, o ganho é definido pela expressão abaixo.

$$G \mathbf{\Theta} = \frac{\cos\left[\frac{\pi}{2}\cos\mathbf{\Theta}\right]}{\sin\mathbf{\Theta}} \quad (3.15)$$

O ganho total obtém-se multiplicando os ganhos nos dois planos.

As aproximações efectuadas na implementação dos modelos podem ser separadas em dois grupos. O primeiro está relacionado com o cenário, e as aproximações visam, fundamentalmente, aproximar os perfis existentes dos requisitos dos modelos. O segundo engloba as estimativas de ganho das antenas, cujas aproximações não são de fácil contabilização. Isto verifica-se porque não é possível saber-se, com exactidão, qual é a direcção do raio que chega ao móvel. Por este motivo, assume-se que é a do raio directo que liga o móvel à estação de base.

4. Campanha de Medidas e Análise de Resultados

Neste capítulo será efectuada uma descrição pormenorizada da campanha de medidas, nomeadamente no que diz respeito às áreas de medição, equipamento, perfis e vegetação.

A comparação entre os resultados experimentais e os estimados teoricamente, vai ser efectuada tendo em conta alguns parâmetros estatísticos, que são o desvio padrão, a média e a média absoluta.

A análise dos resultados encontra-se dividida em duas partes. A primeira contempla a situação em que a estação de base se encontra acima dos edifícios. Nesta, serão estudadas, em separado, as zonas da Baixa e de Campo de Ourique. A segunda, a de a estação estar abaixo dos edifícios, sendo esta análise efectuada para o único local onde estas estações se encontram, ou seja Campo de Ourique.

Para finalizar este capítulo serão escolhidos os melhores modelos de propagação, com base nos resultados obtidos, para as duas situações em estudo.

4.1 Descrição da Campanha de Medidas

4.1.1 Áreas de Medida

Nesta parte do trabalho vai ser feita uma descrição mais pormenorizada da campanha de medidas, efectuada em colaboração com a Telecel. Tal como já foi referido anteriormente, esta realizou-se nas zonas de Campo de Ourique e na Baixa Pombalina. As principais razões que levaram a esta escolha foram já enunciadas na Secção 3.1.

Nas Fig. 4.1 e 4.2, estão representadas as várias ruas dos referidos locais, assim como as estações de base que fazem a sua cobertura. Note-se que, embora existissem mais estações de base na sua proximidade, foram apenas consideradas aquelas que estavam nas suas imediações, pois as restantes já se encontravam a uma distância considerável.

A representação destas figuras foi efectuada com base no ficheiro Vias.dat, que contém a informação sobre as ruas (utilizado pelo RMÓVEL no cálculo da potência recebida pelo móvel), e na localização das estações de base (informação fornecida pela Telecel).



Fig. 4.1 - Representação das ruas da Baixa Pombalina e das estações de base.

Pode ainda observar-se os sectores das antenas das estações de base utilizados. Apenas se consideraram, para este estudo, aqueles que radiam directamente para as respectivas zonas, uma vez que esta é a situação prevista pelos modelos.



Fig. 4.2 - Representação das ruas de Campo de Ourique e das estações de base.

Na Tab. 4.1 podem observar-se quais os sectores das estações de base utilizados, a localização (em coordenadas cartesianas) das estações de base, as suas cotas e a altura das mesmas em relação ao solo.

	Local	ização		
Estação de Base	X [m]	Y [m]	Cota [m]	h _B [m]
L31B - Lisboa	112 195	194 530	45	22
L79C - Amoreiras	110 300	195 420	93	32
L101A - Praça do Comércio	112 555	193 790	4	30
L175A - Prazeres	110 020	194 570	79	20
L192B - Campo de Ourique	109 700	195 410	80	20

Tab. 4.1 - Característi	cas das Estações de Base.
-------------------------	---------------------------

4.1.2 Equipamento

A estação móvel da Telecel, utilizada na campanha de medidas, estava equipada com:

• um telefone celular (que estava sempre a ligar para um número inexistente, de modo a terse um registo permanente do sinal entre o móvel e a base);

• um computador portátil, que permitia visualizar graficamente (através do programa TEMS¹), a potência recebida (em RXLEV) pelo móvel, o processo de handover e as seis estações de base de onde o sinal recebido era mais forte;

• GPS ("*Global Positioning System*"), de modo a determinar a posição do móvel em termos de latitude e longitude.

Apesar de a estação móvel estar equipada com GPS, este processo não foi utilizado para determinar a posição do móvel devido, essencialmente, a duas razões: a primeira é que não estava a funcionar na sua totalidade, isto é, em algumas ruas nem sempre era possível obter essa informação; a segunda é que o GPS pode introduzir erros na ordem dos 50 m, o que pode ser significativo no estudo em curso. Uma das razões para o GPS não estar a funcionar prende-se com o facto de, para a determinação completa da posição, o terminal móvel ter de estar em linha de vista com pelo menos 3 dos 18 satélites, o que nem sempre é possível. Tal deve-se ao facto de, em ambientes urbanos, os satélites ficarem temporariamente escondidos pelos edifícios.

Face ao que acima foi referido, houve necessidade de arranjar um método alternativo para o posicionamento do móvel, que foi o de construir um ficheiro por rua. Assim, sabendo o comprimento total da rua percorrida e admitindo que o móvel se desloca a uma velocidade

¹ "*Test Mobile Station*" da Erisoft.
constante, pode conhecer-se a sua posição, com base nas medidas efectuadas, assim como determinar-se a potência num determinado ponto da rua. Deste modo, quando se divide o comprimento total da rua pelo número de amostras, estas correspondem, idealmente, à posição considerada. Este método, apesar de ser eficiente e de fácil tratamento, apresenta algumas falhas que devem ser consideradas quando se analisam os resultados. O facto de o móvel ter de parar frequentemente nos semáforos, para além de haver trânsito, impossibilitando-o de manter uma velocidade constante, vai conduzir a erros de medida. Devido ao trânsito que se verifica na Baixa Pombalina durante o dia, as medições foram efectuadas de noite de modo a minimizar a dificuldade mencionada.

Outro problema encontrado foi o facto de, para algumas ruas, ter havido falhas de amostras, pelo que estas foram obtidas em quantidades diferentes, para a mesma rua e diferentes estações de base. Apesar de o número de pontos obtidos para uma rua ser, tipicamente, entre 700 e 900 (tantos mais quanto maior for a rua), o seu intervalo de variação é [376, 1026] pontos. Verifica-se então que existe uma discrepância no número de amostras obtidas, quer para uma rua e diferentes estações de base, quer para diferentes ruas, o que advém da campanha de medidas. Nos casos em que o número de pontos era bastante inferior (cerca de 20% do valor máximo de pontos), considerou-se que estes eram insuficientes para se realizar o estudo. Também não se consideraram os casos em que uma determinada estação de base (das utilizadas dentro das zonas consideradas) não se encontrava dentro das seis primeiras, de onde o sinal recebido era mais forte. Assim, os casos considerados para a análise dos resultados, foram os que se encontram nas Tabs 4.2 e 4.3.

	Estações	de Base
Ruas	L 31 (B)	L 101 (A)
Comércio		
Conceição		
Correeiros		
Fanqueiros		
Madalena		
Ouro		
Prata		
São Julião		
Sapateiros		

Tab. 4.2 - Estações de base e ruas consideradas na análise dos resultados, para a Baixa.

_	Est	tações de Ba	ise
Ruas	L79 (C)	L175 (A)	L192 (B)
Almeida e Sousa			
Azedo Gneco			
Coelho da Rocha			
Ferreira Borges			
Infantaria Dezasseis			
Quatro de Infantaria			
Saraiva de Carvalho			

Tab. 4.3 - Estações de base e ruas consideradas na análise dos resultados, para Campo de Ourique.

Nas tabelas apresentadas anteriormente, encontra-se a *bold* as ruas que serão analisadas com maior detalhe na Secção 4.2.

Na Fig. 4.3, está representado o formato de um ficheiro de dados do programa TEMS. É com base neste ficheiro que é retirada a informação referente a cada estação de base. Cada uma delas tem uma identificação única, que se obtém combinando os valores do BSIC ("*Base Station Identification Code*") e do ARFCN ("*Absolute Radio Frequency Channel Number*"). O passo seguinte, após a identificação da estação de base, é retirar os valores das potências medidas (em RXLEV²), podendo construir-se, posteriormente, os gráficos da potência recebida pelo móvel nas várias ruas e para as diferentes estações de base, como se verá na Secção 4.2.

SERVING	GELL						RADIC) ENVIRC	NME	NT	
							RXLE\	/ RXQ	UAL	RXLEV	RXQUAL
CELL	CI	BSIC	ARECN	N MCC	MNC	LAC	FULL	FUL	_	SUB	SUB
			0	26				38	C	39	0
			0	26				38	C	39	0
			0	26				38	C	39	0
	3f3		0	26	268	1	1	38	C	39	0
	3f3		0	26	268	1	1	38	C	39	0
	3f3		0	26	268	1	1	30	C) 31	0
	3f3		0	26	268	1	1	30	C	31	0
	3f3		0	26	268	1	1	30	C	31	0
	3f3		0	26	268	1	1	30	C) 31	0
	3f3		0	26	268	1	1	32	C	32	0
	3f3		0	26	268	1	1	32	C	32	0
	3f3		0	26	268	1	1	32	C) 32	0
	3f3		0	26	268	1	1	35	C) 35	0
	3f3		0	26	268	1	1	35	C	35	i 0
	3f3		0	26	268	1	1	35	C	35	0
	3f3		0	26	268	1	1	35	C	35	0
	3f3		0	26	268	1	1	36	C	34	. 0
	3f3		0	26	268	1	1	36	C	34	. 0

Fig. 4.3 - Formato de um ficheiro fmt.

² Para se converter RXLEV em dBm, subtrai-se -110 dB.

4.1.3 Perfis

O ficheiro perfis.dat é gerado pelo RMÓVEL, após a introdução dos dados relativos à situação em estudo, tais como a escolha da rua, da estação de base, etc. Com base neste ficheiro, podem traçar-se os gráficos relativos às cotas e a altura dos edifícios. Para cada rua obtiveram-se 8 perfis. Este valor foi utilizado porque permite calcular a potência recebida em mais pontos da rua, para todos os casos, obtendo-se, deste modo, uma representação com maior exactidão.

Como não se pretendia um estudo exaustivo da orografia do terreno, foram apenas escolhidas três ruas, em cada zona, para se efectuar o estudo dos vários perfis. Para Campo de Ourique, as ruas seleccionadas foram a Azedo Gneco, Coelho da Rocha e Ferreira Borges; e na Baixa as do Comércio, Ouro e Prata. No Anexo J encontram-se os perfis obtidos para estas ruas e para cada estação de base. Para cada um dos casos considerados (uma rua e uma estação de base), apresentam-se apenas três dos oito perfis gerados pelo RMÓVEL: um no princípio, um no meio e outro no fim da rua ou seja, os perfis 1, 4 e 8.

Baixa

Na Fig. 4.4, estão representados dois possíveis percursos entre as estações de base (L31 e L101) e o móvel que se encontra na R. do Comércio, e que serão analisados de seguida.



Fig. 4.4 - Representação de dois percursos entre as estações de base L31 e L101, e o móvel situado na R. do Comércio.

Como se pode verificar, o perfil traçado entre a estação L31 e o móvel contém também informação respeitante a outras ruas, como por exemplo a R. do Ouro e a R. dos Sapateiros. Nas Figs. 4.5 e 4.6 estão representados os perfis n.º 4 entre o móvel que se situa na R. do Comércio e as estações de base L101 e L31, respectivamente.

As figuras apresentadas não só contêm informação sobre a cota e a altura dos edifícios, como também das suas médias, ou seja os valores dos parâmetros que o RMÓVEL utiliza no cálculo da potência recebida pelo móvel, para os vários modelos. Assim, através da observação destas figuras, pode ter-se uma ideia das aproximações efectuadas pelo RMÓVEL para implementar os modelos.



Fig. 4.5 - Perfil n.º4 entre a estação de base L101 e o móvel situado na R. do Comércio.



Fig. 4.6 - Perfil n.º 4 entre a estação de base L31 e o móvel situado na R. do Comércio.

Para o caso apresentado, pode concluir-se que o perfil entre a estação de base L101 e o móvel é muito mais regular do que o obtido para a L31. Isto porque esta última estação se encontra relativamente afastada da zona junto ao rio que é mais plana, e onde se encontra o móvel. Para além disso, a estação L31 está a uma cota relativamente elevada, e portanto varia muito mais (a diferença entre os valores máximo e mínimo é de cerca de 50 m) em termos de altura, do que a L101 (esta varia em apenas alguns metros), para os vários perfis.

Outro aspecto que deve ser relembrado é que, de modo a implementar os modelos no programa, se optou por calcular as médias tanto das cotas do terreno como da altura dos edifícios, e manter o móvel e a estação de base na sua verdadeira cota. Esta escolha foi, meramente, uma opção de implementação dentro das muitas possíveis, e como aproximação que é, vai certamente introduzir erros. Um deles, que é visível nas figuras, é o facto de os valores obtidos para as médias se afastarem dos reais. Se por um lado, como se pode observar na Fig. 4.5, o erro cometido ao longo da rua é bastante pequeno (porque o cenário real é muito semelhante ao idealizado pelos modelos), por outro, a diferença entre o valor real e o implementado pode chegar aos 30 m (Fig. 4.6), devido à irregularidade do perfil.

No Capítulo 3 verificou-se que o parâmetro h_R (altura dos edifícios) é bastante susceptível a variações, tendo-se referido também que no seu intervalo de variação, para a situação da EB estar acima dos edifícios ([13, 18] m), alguns modelos poderiam sofrer uma variação máxima de atenuação de cerca de 6-7 dB. Assim, 30 m de diferença entre o valor real e o implementado pode originar um erro considerável, em termos de atenuação contabilizada.

De um modo mais geral, enquanto que os perfis obtidos para a L31, para as várias ruas, podem apresentar estas discrepâncias, os que se referem à L101 já são muito mais regulares.

Relativamente aos perfis obtidos para as várias ruas da Baixa e para a estação L101, verifica-se também uma certa inconstância da rua alinhada com a referida estação de base (R. do Ouro), ou seja aquela que está quase em linha de vista com a EB, bem como das ruas paralelas a essa. Tal pode ser observado, a título de exemplo, nas Figs. J.7 a J.9 (Anexo J), que se referem aos perfis obtidos para a R. do Ouro e estação L101. O sentido desta rua é do Rossio para a Praça do Comércio. Assim, quando o móvel está no princípio da rua (Perfil n.º 1), o perfil obtido para a estação L101 afasta-se mais do implementado tanto para o meio (Perfil n.º 4) como para o fim da rua (Perfil n.º 8). Isto acontece porque, à medida que o móvel

se desloca na mesma, a sua distância à EB é cada vez menor, aproximando-se cada vez mais da zona plana. Consequentemente, a discrepância entre os parâmetros reais e os implementados é também cada vez menor. Já para a R. do Comércio e a mesma estação, esta variação dos perfis ao longo da rua não se verifica. Tal deve-se à localização da rua relativamente à EB, pois uma vez que a rua se situa toda na parte "plana" da Baixa, tal como a L101, tanto a altura dos edifícios como as cotas não sofrem grandes variações ao longo da mesma.

Um problema encontrado relativamente à estação de base L31, foi o de a cota estimada pelo RMÓVEL ser cerca de 9 m abaixo do valor fornecido pela Telecel. Tal pode dever-se a dois factores. O primeiro é que o cálculo das coordenadas cartesianas pode ter um erro; o segundo é que a estimativa da cota pelo RMÓVEL é uma média ponderada da distância do ponto aos vértices de um quadrado que tem de lado 50 m, podendo esta aproximação levar ao referido erro. O facto de a cota estar mal estimada pelo RMÓVEL pode conduzir a uma discrepância entre os valores medidos e implementados, quando se considera esta estação de base, e, tal como já foi referido, este parâmetro é bastante sensível a variações. Verificaram-se também diferenças para as outras estações de base; no entanto, este foi o pior caso encontrado.

Campo de Ourique

No caso de Campo de Ourique, os perfis obtidos para as várias ruas e para as estações L79 e L175 constam também do Anexo J. As figuras para a EB L192 encontram-se num outro anexo, pois constitui um caso à parte, que será descrito posteriormente com maior detalhe.

Das figuras em anexo pode concluir-se que, para o caso destas duas estações de base, os perfis não apresentam grandes variações, tanto ao nível das cotas como da altura dos edifícios. Note-se, no entanto, que para a estação de base L175, que se encontra a uma cota menor que a da L79 (79 m versus 93 m, respectivamente), os perfis apresentam uma diferença entre os valores (reais) máximo e mínimo dos parâmetros (cota e altura dos edifícios) de aproximadamente 20 m, o que já é bastante considerável. Pode também verificar-se que a discrepância entre os valores reais dos parâmetros e os implementados não é tão acentuada, nem brusca, como para o caso da Baixa para a estação L31.

É ainda de referir que, relativamente à altura dos edifícios, apesar de Campo de Ourique ser constituída, predominantemente, por prédios novos de 4-5 andares, existem ainda algumas vivendas antigas, o que a torna uma zona muito mais irregular, ao nível dos edifícios, quando comparada com a Baixa. Tal pode ser observado na Fig. L.1 (R. Saraiva de Carvalho) do Anexo L, onde se encontram as fotografias do cenário de teste. No que diz respeito à Baixa, todos os prédios são praticamente da mesma altura (cerca de 4 andares, ou seja edifícios de altura de cerca de 12 m). A Fig. L.2 (R. da Prata) ilustra o cenário típico nesta última zona. No entanto, a Baixa varia mais em termos de cota do que Campo de Ourique. Na Fig. L.3 do mesmo anexo, pode observar-se a variação da cota, na R. da Madalena (Baixa Pombalina). Assim, pode dizer-se que as irregularidades do cenário, em Campo de Ourique, devem-se essencialmente à estrutura urbana (edifícios) e, na Baixa, à estrutura orográfica (cotas do terreno).

No caso da estação de base L192, que está localizada em Campo de Ourique, verifica--se que esta se encontra posicionada antes de um "vale". O facto de se encontrar abaixo da altura dos edifícios não constitui qualquer problema, uma vez que os modelos de Xia, COST 231 e o combinado Xia+Ikegami prevêem esta situação. O problema encontrado relativamente a este facto foi que, devido ao "vale", e uma vez efectuadas as médias da altura dos edifícios e das cotas, o móvel ficava localizado acima da altura dos edifícios, o que não faz sentido. O procedimento efectuado, de modo a ultrapassar este problema, foi o de retirar os pontos do perfil correspondentes ao "vale". O critério adoptado na supressão destes pontos foi o de eliminar todos aqueles que se encontravam a uma cota inferior à da estação de base, onde se localizava o "vale", tal como se pode observar na Fig. 4.7.



Fig. 4.7 - Perfil n.º 8, original e cortado, para a R. Ferreira Borges, L192.

Na Fig. 4.7 está representado a vermelho o "vale" que foi "cortado" no perfil original, tendo este sido substituído pelo perfil que está a verde. Esta é, sem dúvida, uma das grandes limitações dos modelos, ou seja, o facto de haver necessidade de adaptar os cenários de teste a outros mais próximos dos idealizados pelos modelos, para se poder efectuar o seu estudo.

Os perfis originais e cortados, obtidos para a estação L192, encontram-se no Anexo M.

4.1.4 Vegetação

Em relação à vegetação pode-se, desde já, afirmar que esta é inexistente na Baixa Pombalina, para as ruas em estudo. Quanto a Campo de Ourique, a R. Saraiva de Carvalho tem árvores dos dois lados da rua, de altura aproximadamente de 9 m e com alguma folhagem, tal como se pode observar na Fig. L.4 do Anexo L. Na R. Ferreira Borges, o cenário é idêntico ao descrito anteriormente, mas as árvores têm cerca de 10 m (Fig. L.5). O quarteirão compreendido entre as ruas Infantaria Dezasseis, Almeida e Sousa, Quatro de Infantaria e Tomás da Anunciação é um jardim (Jardim da Parada), pelo que tem também algumas árvores de altura entre 10-12 m, e com bastante folhagem. A Fig. L.6, do Anexo L, foi tirada do cruzamento da R. Quatro de Infantaria com a R. Infantaria Dezasseis, e dá uma perspectiva do referido jardim. Note-se, mais uma vez, que a atenuação da vegetação não é contabilizada pelos modelos, e como tal, deve ser um facto a ter em conta, aquando da análise dos resultados.

4.2 Análise dos Resultados

4.2.1 Parâmetros de Análise

O objectivo deste estudo é o de comparar o sinal da potência recebida pelo móvel, obtido através da campanha de medidas atrás descrita, com o previsto teoricamente, para os vários modelos. Pretende-se então verificar qual ou quais são os modelos que melhor descrevem os fenómenos de propagação, nos cenários de teste considerados. Para esta análise irão ser estudadas, em pormenor, três ruas em cada uma das zonas escolhidas. Os resultados obtidos para as restantes ruas, apresentar-se-ão em anexo, de modo a não tornar esta secção demasiado extensa.

O estudo está dividido em duas partes, correspondentes a duas situações: quando a estação de base está localizada acima dos edifícios, e quando está abaixo destes. Dentro de cada uma destas serão ainda estudadas, separadamente, as zonas da Baixa e de Campo de Ourique, uma vez que têm características diferentes, podendo obter-se resultados distintos entre elas. Deve, no entanto, referir-se que, para a Baixa Pombalina, não existem estações de base abaixo dos edifícios.

Para além de se procurar uma interpretação dos mecanismos físicos de propagação prevalecentes, irá também ser efectuada uma caracterização, em termos estatísticos, dos resultados experimentais obtidos para os cenários de teste.

Para uma correcta análise estatística do sinal, há que individualizar as características que o sinal medido exibe, podendo estas ser flutuações numa escala lenta, ou rápida. Deste modo, é habitual definirem-se janelas de observação do sinal medido, de modo a isolar os comportamentos que se pretendem estudar.

Dado que os modelos teóricos considerados dão uma estimativa do valor médio do sinal, a característica do sinal medido que aqui se pretende isolar é o desvanecimento lento (este deve-se essencialmente ao efeito de sombra, enquanto que o desvanecimento rápido traduz o efeito multipercurso). Assim, a janela de observação varia, tipicamente, entre 30λ e 50λ [10], ou seja, aproximadamente entre 10 e 15 m, uma vez que as medidas são feitas na banda dos 900 MHz. Para o presente estudo utilizou-se uma janela de 10 m.

As estatísticas que descrevem o nível médio do sinal recebido são classificadas como estatísticas de primeira ordem, pois não dependem da velocidade a que o móvel se desloca. Os parâmetros utilizados para a análise dos resultados foram os três que se enunciam de seguida.

▲ Média:

A média traduz o grau de proximidade entre duas curvas e pode ser calculada de acordo com (4.1).

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{n=1}^{N} \Delta P_n}{N} \tag{4.1}$$

$$\Delta P_n = P_n^{fil} - P_n^{mod} \tag{4.2}$$

em que,

- $\overline{\Delta}$ média;
- P_n^{fil} sinal obtido depois de se filtrar o desvanecimento rápido do sinal medido;
- P_n^{mod} sinal estimado pelo modelo teórico;
- *N* número de pontos considerados.

O problema de se utilizar unicamente a média, para efectuar a análise estatística, é que duas curvas podem cancelar-se, apresentando um valor nulo para a média do desvio, quando na realidade estas não são coincidentes.

▲ Média Absoluta:

Usa-se também a média absoluta para se ter uma ideia mais concreta do desvio absoluto entre as duas curvas, que é dada por:

$$\overline{|\Delta|} = \frac{\sum_{n=1}^{N} |\Delta P_n|}{N}$$
(4.3)

▲ Desvio Padrão

O desvio padrão traduz o grau de semelhança entre duas curvas, sendo este calculado segundo (4.4).

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum\limits_{n=1}^{N} \left(\Delta P_n - \bar{\Delta}\right)^2}{N}}$$
(4.4)

É importante referir que quanto mais baixo for o valor destes três parâmetros, mais próximo está o sinal medido do previsto pelo modelo teórico. Idealmente, para os sinais serem coincidentes, os valores do desvio padrão e das médias deveriam ser nulos.

De modo a obter-se uma boa caracterização estatística, é também conveniente utilizarse um conjunto de pontos considerável. Uma vez que o RMÓVEL calcula a potência recebida pelo móvel em apenas 8 pontos, é necessário estimar o seu valor para os restantes. Por esta razão, efectuou-se uma linearização entre os 8 pontos utilizados pelo RMÓVEL, obtendo-se a potência para valores intermédios.

4.2.2 Estações de Base acima dos Edifícios

4.2.2.1 Baixa Pombalina

No Anexo N encontram-se as figuras que permitem visualizar o sinal medido, o médio e o previsto teoricamente, para os vários modelos.

No Anexo O podem observar-se os valores típicos dos parâmetros, para cada rua e estação de base, obtidos na campanha de medidas.

<u>L31</u>

Na Tab. 4.4 podem observar-se os valores estatísticos obtidos para os vários modelos, para a estação de base L31B e para as três ruas da Baixa consideradas nesta análise.

				Mo	delos Ori	iginais e	Combina	dos	
EB	Rua	C.Est.	MI	MX	WB	Ι	XI	XX	С
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 4.6	- 7.8	- 11.7	- 4.6	- 4.6	- 7.8	- 9.6
L31B	Comércio	$\overline{ \Delta }$ [dB]	5.1	7.8	11.7	5.1	5.1	7.8	9.6
		σ [dB]	3.6	3.5	3.5	3.6	3.6	3.5	3.5
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 5.5	- 6.3	- 9.9	- 5.5	- 5.5	- 6.3	- 10.9
L31B	Ouro	$\overline{ \Delta }$ [dB]	7.2	7.2	10.1	7.2	7.2	7.2	11.4
		σ [dB]	5.7	5.0	5.1	5.7	5.7	5.0	6.6
		$\overline{\Delta}$ [dB]	2.3	0.9	- 2.9	2.3	2.3	0.9	- 2.2
L31B	Prata	$\overline{ \Delta }$ [dB]	3.7	2.8	3.7	3.7	3.7	2.8	3.4
		σ [dB]	3.7	3.4	3.6	3.7	3.7	3.4	4.2

Tab. 4.4 - Caracterização estatística, para a EB L31B, para os vários modelos.

Pode constatar-se que existem, claramente, quatro conjuntos de modelos. Isto acontece porque os termos $L_{msd} M$ e $L_{msd} X$ são nulos, o que origina que os seus combinados contabilizem apenas o termo referente ao L_{rts} , para além da atenuação em espaço livre (que entra no cálculo de todos os modelos). A razão pela qual um dos termos de atenuação se anula 64 deve-se ao facto de a estação de base L31 estar a uma cota bastante elevada, relativamente à zona considerada. Desta forma, o trajecto de propagação que tem mais importância não é o da difracção nos edifícios que antecedem o móvel, mas o referente ao nível da rua, sendo este contabilizado pelo termo L_{rts} . Assim, o que varia, de modelo para modelo, no cálculo da atenuação total é o termo $L_{rts}I$, nos modelos MI, I e XI, e o $L_{rts}X$, nos de MX e XX.

Relativamente aos valores apresentados verifica-se que, ao nível do desvio padrão, os modelos não apresentam uma grande discrepância entre si, para cada rua. No entanto, o COST 231, para a R. do Ouro e da Prata, apresenta valores do desvio ligeiramente superiores, quando comparado com os restantes. Já para a R. do Comércio, o desvio padrão é aproximadamente igual para os vários modelos. A diferença fundamental, entre as várias ruas, reside então nas médias. Para a R. do Comércio e para a R. do Ouro, aqueles que apresentam a melhor média são os que contêm o termo $L_{rts}I$ (MI e XI). Seguidamente vêm os que são constituídos por $L_{rts}X$ (XX e MX), depois o COST 231 e por último o de Walfish e Bertoni.

Na Fig. 4.8 pode observar-se a potência recebida pelo móvel, na R. do Comércio e para a estação L31B, assim como a prevista pelos vários modelos em estudo.



Fig. 4.8 - Rua do Comércio - L31B.

Como se pode observar na figura anterior, o sinal medido foi obtido apenas para uma parte da rua. Tal deveu-se ao facto se a R. do Comércio se encontrar parcialmente vedada (por motivo de obras), aquando da campanha de medidas. No entanto, este facto não vai influenciar os resultados finais, uma vez que se ignoram os valores obtidos pelo RMÓVEL, para esta parte do percurso.

Ao observar-se a figura pode constatar-se que os modelos não conseguem prever as flutuações do sinal, independentemente da sua natureza. Em particular, os picos de potência

observados na referida figura correspondem aos cruzamentos que existem ao longo da R. do Comércio, podendo as várias ruas ser identificadas com a ajuda de uma planta da zona. Por exemplo, contando os cruzamentos a partir do inicio da rua, verifica-se, através da distância entre as duas ruas, que o terceiro pico de potência registado corresponde à R. Augusta.

Para a R. da Prata verifica-se que, para além dos valores das médias serem menores, a ordem acima apresentada para os modelos é ligeiramente diferente. Neste caso, o modelo de Xia e seus derivados apresentam melhores resultados, tanto a nível das médias como do desvio padrão, seguindo-se os que provêm do modelo de Ikegami, e por último os modelos Wafish e Bertoni e COST 231.

Uma razão para o modelo de Ikegami e seus combinados apresentarem, em alguns casos, melhores resultados pode explicar-se pela contabilização da atenuação ao nível da rua, como o factor dominante de propagação que está em jogo. Consequentemente, o modelo de Walfish e Bertoni, que se preocupa fundamentalmente com a propagação sobre os edifícios que antecedem o móvel, não apresenta bons resultados. Isto pode dever-se ao facto de a estação estar relativamente elevada face aos edifícios (a uma diferença de cerca de 25-30 m), o que faz com que estes não provoquem grandes obstruções. Tal pode ser observado na Fig. L.7 do Anexo L.

No que diz respeito às restantes ruas da Baixa, os resultados obtidos para as médias e para o desvio padrão encontram-se no Anexo P (Tab. P.1). Da análise pode constatar-se o seguinte:

- Para as ruas perpendiculares³, os desvios padrão são menores (3-4 dB) que para as ruas paralelas⁴ (neste caso, os valores do desvio oscilam entre 3.4 e 6.4 dB). No entanto, as médias registadas para as ruas perpendiculares são mais elevadas que para as ruas paralelas.

- O modelo de Ikegami apresenta sempre melhores resultados para as ruas perpendiculares. Uma explicação, das muitas possíveis, pode ser o facto de não contabilizar, tanto quanto os outros modelos, a altura dos edifícios na atenuação de propagação.

- A R. do Ouro, que é a que se encontra mais em linha de vista com a estação L31B, apresenta, de um modo geral, valores mais elevados tanto para as médias como para o desvio

³ De modo a facilitar a referência às várias ruas definiram-se como ruas perpendiculares, para a Baixa, a R. do Comércio, da Conceição e de São Julião.

⁴Definiram-se como ruas paralelas, para a Baixa, a R. do Ouro, da Prata, dos Correeiros, dos Fanqueiros e da Madalena.

padrão, relativamente às outras ruas paralelas a esta EB. Tal seria de esperar, pois os modelos assumem propagação perpendicular, o que não acontece neste caso.

- As ruas paralelas mais estreitas (R. da Madalena, dos Fanqueiros, dos Correeiros e dos Sapateiros), apresentam valores mais elevados para o desvio padrão, que para as mais largas (R. da Prata e do Ouro). Para se quantificar, a diferença entre estes dois tipos de ruas é cerca de 6 m.

- Para as ruas paralelas mais estreitas, nomeadamente a dos Correeiros (Fig. L.8) e dos Sapateiros, verifica-se que o modelo de Ikegami apresenta melhores resultados do que o de Xia. Tal pode ser explicado pelo facto de, nestas ruas, o modelo de Ikegami, que é um modelo de dois raios, prever melhor a atenuação de propagação do que o de Xia. Note-se que este último é um modelo de apenas um raio. Assim, pode dizer-se que o termo L_{rts} tem muito mais importância do que o L_{msd} , sendo o primeiro melhor contabilizado no modelo de Ikegami, nas ruas mais estreitas.

- Para as ruas dos Fanqueiros e da Madalena, o modelo de Xia apresenta valores próximos do de Ikegami; no entanto, o primeiro é ligeiramente melhor. Note-se que estas ruas são mais largas do que as duas anteriores (Correeiros e Sapateiros) e que, para além disso, estão mais distantes da estação de base, o que pode justificar a obtenção destes resultados. Como não está em causa o termo L_{msd} (pois este é nulo para estas ruas), o modelo de Xia, ao contabilizar apenas um raio, pode ser suficiente para descrever a propagação ao nível da rua, enquanto que o de Ikegami está a sobrestimar esta atenuação. É, no entanto, bastante difícil dizer qual o parâmetro que está a influenciar os resultados porque existem inúmeros parâmetros que variam em cada situação, para além da propagação ter componentes imprevisíveis.

- O modelo de Walfish e Bertoni, para todas as ruas e relativamente à estação L31, apresenta maus resultados, nomeadamente no que diz respeito às médias, pois os seus valores são bastante elevados.

- O modelo COST 231 é aquele que, na generalidade dos casos, apresenta valores mais elevados para o desvio padrão, apesar de as médias observadas serem menores do que para o de Walfish e Bertoni.

De modo a poder interpretar-se a análise estatística apresentada anteriormente e a complementá-la efectuou-se, paralelamente, um outro estudo teórico considerando valores

típicos dos cenários de teste. Assim, foram utilizados valores dos vários parâmetros que entram para o cálculo da atenuação nos vários modelos. Estes foram obtidos a partir dos ficheiros gerados pelo RMÓVEL, e para os 8 perfis utilizados pelo mesmo, no cálculo da potência recebida pelo móvel.

Uma vez que cada perfil é constituído por um número variável de pontos (dependendo da distância entre o móvel e a base), foi necessário fazer-se uma média dos vários valores obtidos, para cada um dos parâmetros e para os 8 perfis. Assim obtém-se, embora grosseiramente, um valor médio desses parâmetros, para uma determinada rua e estação de base, o que facilita a análise para cada situação considerada. Estes valores médios encontram--se no Anexo O.

Adicionalmente apresenta-se na Tab. 4.5 os valores mínimo e máximo que os parâmetros geométricos podem tomar no cenário de teste e para cada situação (uma rua e uma estação de base), bem como o intervalo máximo de variação de atenuação registado, para os vários modelos.

_					ΔLI	[dB]			
Rua	Param.	Min-Max	MI	MX	WB	Ι	XI	XX	С
	<i>d</i> [m]	695.4 - 842.0	1.9	1.9	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	<i>h_M</i> [m]	5.7 - 6.7	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
Comércio	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	38.5 - 53.1	5.1	3.8	4.0	3.2	4.7	3.5	4.4
	φ [°]	54.5 - 80.3	0.8			0.8	0.8		2.9
	<i>d</i> [m]	298.1 - 781.6	9.0	9.0	8.4	8.4	84	8.4	8.4
Ouro	<i>h_M</i> [m]	11.7 - 37.0	1.7	1.0	1.3	1.7	1.7	1.0	1.7
	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	46.1 - 51.1	1.9	1.5	1.1	1.1	1.3	0.9	1.1
	φ [°]	14.6 - 50.0	4.8			4.8	4.8		8.5
	<i>b</i> [m]	35.3 - 78.8	1.2	1.2	2.7		0.6	0.6	0.3
	<i>d</i> [m]	426.6 - 830.1	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	<i>h_M</i> [m]	4.7 - 11.7	1.8	1.1	1.5	1.8	1.8	1.1	1.8
Prata	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	41.4 - 43.0	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4
	φ [°]	23.0 - 63.7	3.6			3.6	3.6		5.9
	<i>b</i> [m]	35.6 - 66.6	0.3	0.3	1.8		0	0	0

Tab. 4.5 - Intervalo máximo de variação de atenuação com os vários parâmetros, para as três ruas da Baixa, estação L31B, e para os vários modelos em estudo.

Note-se que os valores, tanto de h_R como de h_M e h_B , já incluem os valores das cotas dos terrenos. Apesar de, nos modelos teóricos, estes parâmetros não as contabilizarem, foram incluidas neste estudo, uma vez que são os dados fornecidos pelo RMÓVEL. No entanto, apesar da sua contabilização, o que entra no cálculo da atenuação total são as diferenças destes parâmetros, ou seja o Δh_B e o Δh_R . Assim, não existe problema em utilizar estes valores para esta análise, pois ao serem contabilizados nos parâmetros referidos, o seu efeito anula-se.

Da Tab. 4.5 verifica-se que um dos parâmetros que provoca uma maior variação na atenuação é a distância. Os valores obtidos, para a variação máxima de atenuação com este parâmetro, para as várias ruas, estão de acordo com os valores previstos no estudo teórico dos modelos, no Capítulo 3.

Pode ainda verificar-se que, para a R. do Comércio, a atenuação pode variar com a altura dos edifícios (h_R) até 5 dB, o que já não acontece para as outras ruas (Ouro e Prata) que variam até 2 dB. Isto deve-se ao facto de este parâmetro variar muito mais para a R. do Comércio que para as restantes. Note-se que na R. do Comércio a altura dos edifícios varia cerca de 15 m, e nas outras duas apenas entre 2 e 6 m.

Outro facto a referir é que nas ruas da Prata e do Ouro, ϕ pode tomar valores dentro do primeiro intervalo do ângulo de rua que foi definido no Capítulo 3, [3°,34°], e verifica-se que, de acordo com o estudo efectuado na Secção 3.2.2, a variação máxima de atenuação, para este intervalo, pode ser considerável; como se pode observar na Tab. 4.5, essa variação pode atingir os 8.5 dB. Na R. do Comércio, uma vez que ϕ toma valores próximos dos 90° (encontra-se no segundo intervalo de valores, [55°,87°], definido para este ângulo no Capítulo 3), a variação máxima de atenuação registada é, no máximo, de 3 dB. É de referir que este é o intervalo de valores deste parâmetro que provoca menos variações na atenuação de propagação.

Relativamente à R. da Prata e do Ouro, deve notar-se que a largura da rua varia ao longo da mesma, o que já não acontece na R. do Comércio. Tal provoca uma variação de atenuação, que é contabilizada principalmente no modelo de Walfish e Bertoni.

Para as ruas do Ouro e da Prata constata-se que o modelo de Xia e seus combinados apresentam resultados ligeiramente melhores do que os que derivam do de Ikegami. O que pode estar aqui a acontecer é que estes últimos contabilizem uma maior atenuação devido ao ângulo de rua, que não é contabilizado no modelo de Xia.

Também para o modelo COST 231 existe uma grande diferença no que diz respeito à variação da atenuação com ϕ , dos restantes modelos. Os valores do intervalo máximo de variação com este parâmetro, para o COST 231 são bastante superiores aos apresentados para os outros modelos, podendo este ser um dos factores que contribui para os seus maus resultados.

Relativamente aos restantes parâmetros, os valores obtidos para a variação máxima de atenuação encontram-se dentro dos valores previstos teoricamente no Capítulo 3.

<u>L101A</u>

Na Tab. 4.6 apresentam-se os valores obtidos para o desvio padrão e para as médias, para as três ruas da Baixa em análise.

				Мо	delos Or	iginais e	Combina	dos	
EB	Rua	C.Est.	MI	MX	WB	Ι	XI	XX	С
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 2.8	- 0.9	- 6.5	- 3.0	- 3.0	- 1.1	- 8.4
L101A	Comércio	$\overline{ \Delta }$ [dB]	4.0	2.7	6.5	4.3	4.2	2.9	8.6
		σ [dB]	3.9	3.1	3.2	4.1	4.0	3.2	5.0
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 7.0	- 2.8	- 7.8	- 10.2	- 6.8	- 2.6	- 14.2
L101A	Ouro	$\overline{ \Delta }$ [dB]	7.1	3.4	7.8	10.3	6.9	3.4	14.2
		σ [dB]	3.7	3.1	3.0	5.3	3.7	3.2	4.7
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 4.0	- 3.0	- 7.9	- 7.1	- 3.8	- 2.8	- 9.4
L101A	Prata	$\overline{ \Delta }$ [dB]	6.2	5.0	8.7	9.2	6.0	4.9	10.3
		σ [dB]	6.1	5.3	4.9	7.7	6.0	5.3	6.0

Tab. 4.6 - Caracterização estatística, para a EB L101A, para os vários modelos.

De acordo com os valores estatísticos atrás apresentados, existem quatro e cinco conjuntos de modelos, consoante as ruas. A diferença reside no facto de, por exemplo, para a R. do Comércio, o modelo de Ikegami apresentar valores semelhantes aos dos seus combinados (MI e XI), o que já não acontece para a R. da Prata e do Ouro. Nestas, verifica-se que os modelos MI e XI apresentam valores idênticos e o de Ikegami apresenta valores do desvio padrão e da média, bastante diferentes dos que contêm o termo $L_{rts}I$.

Por observação da Tab. P.2 que se encontra no Anexo P, e que contém a informação estatística para esta estação e para as restantes ruas da Baixa, verifica-se que, em todas as ruas

paralelas, o modelo de Ikegami apresenta piores valores que os de MI e XI. Uma possível explicação para este facto é que, nestas ruas, a contribuição do termo L_{msd} já é considerável e esta atenuação não é contabilizada no modelo de Ikegami.

Na Tab. P.2 pode também observar-se que os valores obtidos para os modelos I, MI e XI são bastante semelhantes nas ruas perpendiculares. Tal pode dever-se ao facto de, nestas, o termo L_{msd} ser muito próximo de zero, o que leva estes modelos, que têm em comum o termo $L_{rts}I$ para além da atenuação em espaço livre, a serem quase coincidentes.

Outro facto verificado é que o COST 231 é o modelo que apresenta os menores desvios nas ruas mais estreitas, para além de o valor do desvio ser o menor de todos eles, nas ruas paralelas. No entanto é aquele que apresenta as médias mais elevadas.

O modelo que, geralmente, tem o pior desvio padrão é o de Ikegami, excepto para o caso das ruas mais estreitas (R. dos Correeiros e dos Sapateiros), em que prevê melhor o sinal recebido pelo móvel. Este último resultado está de acordo com o verificado para a EB L31B.

Para as ruas perpendiculares é difícil tirar conclusões sobre qual dos conjuntos de modelos é o melhor; se os de I, MI e XI, ou os de MX e XX, uma vez que os resultados para as várias ruas são contraditórios.

Os modelos de Walfish e Bertoni e COST 231 apresentam, na globalidade, maus resultados.

Nas ruas perpendiculares, os desvios padrão apresentam valores que oscilam, tipicamente, entre 3-4 dB, tal como para a L31B. No que diz respeito às ruas paralelas os modelos MX e XX são os que apresentam desvios padrão e médias mais baixos, excepto para as ruas mais estreitas, tal como já foi referido. Nestas ruas, o intervalo de variação do desvio padrão já é bastante mais acentuado que no das ruas perpendiculares, ou seja [3.0, 7.7] dB. Mais uma vez, pode dizer-se que os modelos têm maior dificuldade em prever a atenuação de propagação nas ruas paralelas que nas perpendiculares. Isto porque a propagação nestas últimas ruas, se efectua de acordo com os pressupostos dos modelos teóricos, tal como já foi mencionado.

Na Tab. 4.7 apresentam-se os intervalos máximos de variação de atenuação, obtidos através do estudo teórico complementar efectuado, assim como os valores máximo e mínimo dos parâmetros, para cada rua.

Novamente, verifica-se que a distância entre a base e o móvel é o parâmetro que provoca a maior variação de atenuação, podendo esta atingir os 20 dB. Note-se que este parâmetro é contabilizado não só na atenuação em espaço livre como também no termo L_{msd} .

					ΔL	p [dB]			
Rua	Param.	Min-Max	MI	MX	WB	Ι	XI	XX	С
	<i>d</i> [m]	128.2 - 386.0	11.0	11.0	10.6	9.6	10.6	10.6	9.9
Comércio	<i>h_M</i> [m]	5.7 - 6.7	0.6	0.4	0.5	0.6	0.6	0.4	0.6
	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	21.2 - 21.5	0.3	0.3	0.4	0.2	0.4	0.3	0.4
	φ [°]	19.4 - 86.7	4.8			4.8	4.8		7.1
	<i>d</i> [m]	123.4 - 630.8	19.7	19.7	20.1	14.2	20.1	20.1	19.4
	<i>h_M</i> [m]	3.7 - 11.7	4.7	3.6	4.4	4.7	4.7	3.6	4.7
Ouro	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	20.3 - 26.2	8.1	7.3	8.3	3.4	8.5	7.7	8.0
	φ [°]	9.6 - 60.1	7.2			7.2	7.2		10.6
	<i>b</i> [m]	35.3 - 78.8	2.8	2.8	6.3		3.1	3.1	3.1
	<i>d</i> [m]	258.1 - 667.7	13.9	13.9	14.5	8.3	14.4	14.4	13.7
	<i>h_M</i> [m]	4.7 - 11.7	4.3	3.4	4.1	4.3	4.3	3.4	4.3
Prata	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	20.9 - 27.8	10.5	9.5	10.5	3.8	10.7	9.8	9.9
	φ [°]	21.3 - 79.2	4.3			4.3	4.3		6.5
	<i>b</i> [m]	35.6 - 66.6	2.2	2.2	4.9		2.5	2.5	2.5

Tab. 4.7 - Intervalo máximo de variação de atenuação com os vários parâmetros, para as três ruas daBaixa, estação L101A, e para os vários modelos em estudo.

Outro resultado a destacar é a importância da altura dos edifícios na atenuação total de propagação. Como se pode observar na Tab. 4.7, o intervalo máximo de variação de atenuação com h_R na R. do Comércio é bastante pequeno, até porque esta altura varia apenas em 0.4 m. Este facto é ilustrado na Fig. L.9 do Anexo L. No entanto, nas ruas paralelas, a influência deste parâmetro na atenuação é notória, podendo atingir uma variação máxima de 10.7 dB, ao variar cerca de 6-7 m nos perfis entre a base e o móvel. Este facto pode ser a razão pela qual os modelos de MX e XX apresentam os melhores resultados estatísticos, pois conseguem contabilizar melhor a influência dos edifícios no percurso de propagação que antecede o móvel.

Relativamente ao verificado para a estação L31B e para a R. do Comércio, ainda no que diz respeito à altura dos edifícios, verificou-se que o intervalo de variação máximo para esta estação é inferior ao obtido para a L101A. Tal pode dever-se ao facto da estação L31B estar bastante acima dos edifícios (cerca de 25-30 m), e por isso, estes provocarem menos

obstruções que para a L101A, que se encontra aproximadamente a 10 m dos edifícios. A Fig. L.10, permite visualizar a estação de base L101.

Quanto ao ângulo de rua, verifica-se que este varia bastante para as três ruas consideradas, para além de tomar valores bastante pequenos (o menor valor deste parâmetro é de 9.6°), em alguns casos. Tal como para a estação L31B, o modelo que prevê uma maior variação de atenuação com este parâmetro é o COST 231. Neste, e para o caso da R. do Ouro, que é o pior caso (uma vez que é a rua que se encontra mais alinhada com a EB e, consequentemente, onde se verificam os menores ângulos), o intervalo máximo de variação da atenuação é de cerca de 10.6 dB. Para a L31B o valor deste intervalo é de 8.5 dB, podendo explicar-se pelo facto de a R. do Ouro não estar tão alinhada com a L31B assim como está com a L101A.

No que diz respeito ao espaçamento entre edifícios (*b*), verifica-se que os valores obtidos para o intervalo máximo de variação de atenuação são mais elevados que os da L31B. Para este parâmetro, continua a verificar-se que o modelo de Walfish e Bertoni é o que apresenta o maior valor deste intervalo. É ainda de relembrar que, para este modelo, este parâmetro é contabilizado tanto no L_{msd} como no L_{rts} . Note-se que, nos restantes modelos, este parâmetro é apenas contabilizado no L_{msd} .

Relativamente ao parâmetro h_M , pode também constatar-se que o intervalo máximo de variação de atenuação para esta estação é superior ao da L31B, apesar de este parâmetro variar igualmente nos dois casos. Note-se que o intervalo de variação da atenuação foi determinado mantendo constante todos os parâmetros à excepção daqueles em estudo. Por isso, o que pode estar aqui em causa é que os restantes parâmetros levam a que a atenuação seja superior para o caso da L101A.

O facto de se verificar um valor elevado para o intervalo máximo de variação da atenuação com a altura do móvel, pode também dever-se ao facto de esta altura variar em cerca de 6 m. Na realidade não é a altura do móvel que está a variar, mas sim o valor da cota do terreno, o que quer dizer que é necessário não só observar os resultados obtidos através deste estudo, como também, e sobretudo interpretá-los no contexto do cenário de teste.

4.2.2.2 Campo de Ourique

<u>L79C</u>

Na Tab. 4.8 podem observar-se os valores do desvio padrão e das médias, obtidos para as três ruas de Campo de Ourique consideradas neste estudo, para a estação de base L79C.

				Moc	lelos Ori	ginais e	Combin	ados	
EB	Rua	C.Est.	MI	MX	WB	Ι	XI	XX	С
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 4.5	- 3.1	- 9.7	- 5.2	- 4.8	- 3.3	- 9.6
L79C	Azedo Gneco	$\overline{ \Delta }$ [dB]	4.6	3.2	9.7	5.2	4.8	3.4	9.6
		σ [dB]	2.4	2.1	2.2	2.8	2.6	2.2	3.2
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 9.6	- 9.8	- 17.6	- 10.2	- 10.1	- 10.2	- 16.8
L79C	Coelho Rocha	$\overline{ \Delta }$ [dB]	10.6	10.8	17.6	11.0	10.8	11.1	16.8
		σ [dB]	6.8	6.9	6.9	6.8	6.7	6.9	7.8
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 16.6	- 8.3	- 14.5	- 16.7	- 16.7	- 8.5	- 23.5
L79C	Ferreira Borges	$\overline{ \Delta }$ [dB]	16.6	8.3	14.5	16.7	16.7	8.5	23.5
		σ [dB]	3.3	3.4	3.4	3.4	3.3	3.4	3.0

Tab. 4.8 - Caracterização estatística, para a EB L79C, para os vários modelos.

Na análise efectuada anteriormente para as estações L31B e L101A verifica-se que, de acordo com os resultados estatísticos obtidos, existem quatro e cinco grupos de modelos. Para a estação L79C, e para as três ruas de Campo de Ourique, pode constatar-se que existem apenas três grandes conjuntos de modelos. Nas estações analisadas anteriormente, existia uma clara distinção entre os conjuntos de modelos I, MI e XI, por um lado, e os de MX e XX, por outro. Relativamente à estação de base em análise, a diferença entre estes dois conjuntos de modelos não é tão visível, à excepção de duas ruas, como se terá oportunidade de verificar. Este resultado pode ser comprovado com os valores estatísticos obtidos para as restantes ruas, que constam do Anexo P, na Tab. P.3.

O facto de os modelos que contêm o termo $L_{rts}I$ (I, MI e XI) apresentarem valores estatísticos idênticos, já tinha acontecido para algumas ruas da Baixa, para as estações analisadas anteriormente. Tal deve-se ao facto de o termo L_{msd} se anular sob determinadas circunstâncias, prevalecendo aqui o efeito da propagação dentro da rua, descrita pelo termo L_{rts} e que é comum a este conjunto de modelos. O que há aqui de novo, relativamente aos resultados obtidos para as outras estações de base, é o conjunto de modelos atrás referido apresentar valores semelhantes aos dos modelos MX e XX. Isto quer dizer que os termos $L_{rts}I$ e $L_{rts}X$ contabilizam a respectiva atenuação da mesma maneira. A título de curiosidade, pode ainda adiantar-se que a atenuação prevista para este termo, para os modelos teóricos referidos, vale cerca de 30 dB, enquanto que a de espaço livre vale aproximadamente 84 dB. Estes valores foram obtidos considerando o valor fixo dos parâmetros que entram no cálculo da atenuação total.

Tal como já foi referido, existem duas ruas em que os modelos derivados do de Ikegami (I, MI e XI) e do de Xia (MX e XX) apresentam resultados distintos. Numa delas, a R. Ferreira Borges, estes dois conjuntos de modelos apresentam uma diferença de 8 dB para as médias. No entanto o valor do desvio padrão é semelhante, nas várias ruas. Verifica-se também que, nesta rua, o melhor conjunto de modelos é o composto pelos de MX e XX.

No Anexo P pode constatar-se que a outra rua que apresenta resultados que não coincidem com os obtidos para as restantes (no que diz respeito à semelhança dos dois conjuntos de modelos atrás referidos), é a R. Quatro de Infantaria. Nesta, os valores das médias assim como os do desvio padrão, para os dois conjuntos de modelos, estão distanciados de cerca de 2-3 dB. É de notar que, tal como para a R. Ferreira Borges, os modelos que melhor prevêem o sinal medido são os de MX e XX. Tal pode dever-se à localização da estação L79C relativamente a estas duas ruas. Ao observar-se a Fig. 4.2, verifica-se que o sector C da estação L79, que se encontra na R. Ferreira Borges, está a apontar directamente para a R. Quatro de Infantaria. Assim, pode acontecer que a propagação se faça paralelamente à rua, contrariando os pressupostos assumidos pelos modelos teóricos.

Uma possível explicação para os modelos de MX e XX apresentarem melhores resultados do que os obtidos para os derivados de Ikegami, é que a contabilização de apenas um raio (e não de dois), possa ser suficiente para descrever a atenuação ao nível da rua.

Na Fig. L.11 (Anexo L) pode observar-se o sector C, da EB L79, que é aquele que se encontra a uma altura mais elevada relativamente aos outros dois sectores.

Pode também verificar-se que, de um modo geral, o desvio padrão oscila entre 3-4 dB, sendo o seu intervalo de variação [2.1, 7.4] dB e a variação das médias já é bastante superior, relativamente às apresentadas para o parâmetro anterior.

O modelo COST 231 apresenta, na maior parte dos casos, desvios padrão da mesma ordem de grandeza que os dos outros modelos; o mesmo já não acontece para as médias. Esta consideração aplica-se também ao modelo de Walfish e Bertoni. Assim, da análise para as estações L31B e L101A, pode concluir-se que, para as estações acima dos edifícios, estes dois modelos não descrevem bem a atenuação de propagação para os cenários de teste considerados.

Comparando ainda os resultados obtidos para a L79C com os anteriores, verifica-se que os valores das médias (assim como os de alguns desvios padrão), para Campo de Ourique são superiores aos da Baixa. Tal era de esperar, uma vez que a primeira é uma zona muito mais irregular a nível da estrutura urbana, o que faz com que as previsões do sinal se afastem mais do sinal medido, registando-se então piores resultados. Deve ainda relembrar-se que, em Campo de Ourique, a atenuação devido à vegetação não é contabilizada nos modelos teóricos. O mesmo não acontece para o sinal medido, podendo ser este um dos factores que leva à obtenção de piores resultados que os registados na Baixa. Note-se que a atenuação provocada pela vegetação é, tipicamente, de 10 dB, o que já é considerável. No entanto, este valor depende de vários factores, tais como a quantidade e densidade das folhas ou o tipo de árvores, podendo variar bastante com as diferentes estações do ano.

Ou seja, para a EB L79C, os modelos de MX e XX apresentam valores do desvio padrão e das médias idênticos aos de I, MI e XI. No entanto, para as ruas Ferreira Borges e Quatro de Infantaria, que estão numa situação particular relativamente à EB, os modelos de MX e XX apresentam, claramente, melhores resultados que o segundo conjunto (I, MI e XI).

Na Tab. 4.9 encontram-se os valores do intervalo de variação máxima de atenuação, para os parâmetros que a constituem, assim como os valores mínimo e máximo dos mesmos, para os vários modelos e para as três ruas de Campo de Ourique.

Tab. 4.9 - Intervalo máximo de variação de atenuação com os vários parâmetros, para as três ruas de
Campo de Ourique, estação L79C, e para os vários modelos em estudo.

					ΔL_{j}	p [dB]			
Rua	Param.	Min-Max	MI	MX	WB	Ι	XI	XX	С
	<i>d</i> [m]	372.0 - 734.2	7.8	7.8	7.5	6.0	7.5	7.5	7.0
Azedo	<i>h_M</i> [m]	92.7 - 93.7	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
Gneco	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	107.2 - 110.5	3.1	2.8	3.4	1.9	3.4	3.0	3.3
	φ [°]	23.8 - 53.8	3.0			3.0	3.0		5.5
	<i>d</i> [m]	584.2 - 736.0	3.1	3.2	3.1	2.0	3.1	3.1	2.6
Coelho	<i>h_M</i> [m]	92.7 - 101.7	5.6	5.0	5.5	5.6	5.6	5.0	5.6
da Rocha	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	110.6 - 113.4	2.9	2.7	3.3	1.7	3.4	3.2	3.2
	φ [°]	52.4 - 87.1	1.0			1.0	1.0		3.5

	<i>d</i> [m]	83.2 - 691.2	20.6	20.6	20.5	18.4	20.4	20.4	19.8
Ferreira	<i>h_M</i> [m]	92.7 - 100.4	4.4	3.9	4.3	4.4	4.4	3.9	4.4
Borges	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	110.8 - 113.0	2.3	2.1	2.6	1.3	2.6	2.4	2.5
	φ [°]	3.3 - 28.7	9.2			9.2	9.2		9.0

Campanha de Medidas e Análise de Resultados

Verifica-se que, para as três ruas consideradas, tal como para as outras estações, aquela que apresenta a maior variação da atenuação com a distância é a R. Ferreira Borges (com um intervalo máximo de 20.6 dB). No entanto, este parâmetro varia cerca de 600 m, nesta rua, enquanto que nas restantes apenas entre 200-300 m.

O intervalo máximo de variação de atenuação com h_R , que varia no máximo 3 m, toma valores entre 2-3 dB. É de referir que o modelo de Ikegami é aquele que menos varia com este parâmetro, tal já seria de esperar uma vez que, neste modelo, não existe o termo L_{msd} .

Os intervalos de variação máxima de atenuação com h_M apresentam valores que estão de acordo com os das outras estações analisadas.

Da tabela anterior, verifica-se também que o ângulo de rua pode variar bastante. O valor mais elevado do intervalo de variação com ϕ foi obtido para a R. Ferreira Borges e vale aproximadamente 9.2 dB. Tal deve-se ao facto de, nesta rua, os ângulos serem muito pequenos ([3.3°, 28.7°]), o que conduz a uma maior variação da atenuação. Para além disso, o modelo para o qual se regista o maior intervalo máximo de variação de atenuação com o ângulo de rua é o COST 231, tal como já foi verificado para as outras estações analisadas.

4.2.3 Estações de Base abaixo dos Edifícios

L175A e L192B

Nesta secção, vão ser analisadas as estações de base L175A e L192B, que se encontram abaixo da altura dos edifícios. Optou por se fazer uma análise conjunta, uma vez que ambas fazem a cobertura da mesma zona, e em cada uma delas só existe informação relativa a duas das três ruas consideradas. Para além disso, nessa situação, são apenas válidos três dos sete modelos em estudo.

Nas Tabs. 4.10 e 4.11 encontram-se os valores para o desvio padrão e para as médias obtidos para as ruas de Campo de Ourique e para os vários modelos.

_			Modelos Or	iginais e Co	mbinados
EB	Rua	C.Est.	XI	XX	С
	Azedo	$\overline{\Delta}$ [dB]	32.3	39.4	17.9
L175A	Gneco	$\overline{ \Delta }$ [dB]	32.3	39.4	17.9
		σ [dB]	4.5	4.0	5.7
	Coelho	$\overline{\Delta}$ [dB]	- 2.2	- 1.6	- 10.6
L175A	da	$\overline{ \Delta }$ [dB]	6.9	6.3	11.9
	Rocha	σ [dB]	8.2	7.8	7.5

Tab. 4.10 - Caracterização estatística, para a EB L175A, para os vários modelos.

Tab. 4.11 - Caracterização estatística, para a EB L192B, para os vários modelos.

			Mode C	elos Origina combinados	is e
EB	Rua	C.Est.	XI	XX	С
	Azedo	$\overline{\Delta}$ [dB]	7.0	8.8	- 3.7
L192B	Gneco	$\overline{ \Delta }$ [dB]	7.0	8.8	4.4
		σ [dB]	4.5	5.0	3.6
	Ferreira	$\overline{\Delta}$ [dB]	6.0	6.4	- 6.8
L192B	Borges	$\overline{ \Delta }$ [dB]	6.3	6.7	7.0
		σ [dB]	3.5	3.6	3.4

Das tabelas apresentadas, verifica-se que a R. Azedo Gneco para a EB L175A apresenta valores para as médias que se destacam dos restantes por serem muito superiores, podendo variar desde 17.9 dB (para o COST 231) até 39.4 dB (modelo de XX).

Ao observar-se a Fig. 4.1, verifica-se que a R. Azedo Gneco se encontra alinhada com a EB L175 tal como a R. Quatro de Infantaria, ou seja o lobo principal de radiação da antena da base tem a orientação da rua. Este pode ser um dos factores que leva à obtenção de médias tão elevadas para todos os modelos. A Fig. L.12 ilustra o sector A da estação L175.

Já para a EB L192 e para a mesma rua (R. Azedo Gneco), não se observam valores tão elevados das médias (estes variam aproximadamente entre 4 e 9 dB), o que pode ficar a dever--se a esta se encontrar mais enviesada relativamente à estação de base.

Nas Tabs. P.4 e P.5, do Anexo P, apresentam-se os valores estatísticos obtidos para as restantes ruas de Campo de Ourique e para estas duas estações.

Analisando conjuntamente os resultados obtidos para as duas estações de base, pode constatar-se que o modelo COST 231 apresenta os desvios mais baixos para todas as ruas, excepto para a R. Azedo Gneco. As médias por ele apresentadas são, no entanto, as mais elevadas para todas as ruas, excepção feita à referida rua. Para além disso observa-se uma grande discrepância nos valores obtidos para as médias no COST 231 relativamente aos restantes modelos. Note-se que este modelo inclui factores correctivos, introduzidos como resultado de medidas efectuadas em algumas cidades da Alemanha (Mannheim e Darmstadt), tendo sido ajustado ao respectivo cenário de teste, que é diferente do de Lisboa. Este pode ser um motivo pelo qual se verifica um menor desvio e valores elevados para as médias, na situação em que a estação de base está abaixo dos edifícios.

Para a R. Azedo Gneco (Fig. L.13), tanto para a estação L175 como para a L192, o melhor modelo é o COST 231. Nas outras ruas, são os de XI e XX, e apresentam entre si valores estatísticos da mesma ordem de grandeza. No entanto, aquele que é melhor, de entre estes dois últimos, varia consoante a rua considerada sendo, por isso, difícil tirar uma conclusão generalizada.

Relativamente às médias para os modelos XI e XX, os valores mínimo e máximo são 1.1 dB e 6.7 dB, respectivamente. Quanto aos desvios padrão, são 2.8 e 8.9 dB. Tanto as médias como os desvios padrão são aproximadamente da mesma ordem de grandeza dos obtidos para o caso de a EB se encontrar acima dos edifícios.

Na Fig. 4.9 pode observar-se a potência recebida pelo móvel, na R. Coelho da Rocha e para a estação L175A, assim como a prevista pelos vários modelos em estudo.



Fig. 4.9 - Rua da Coelho da Rocha - L175A.

Na figura anterior, pode verificar-se que existe um pico de potência a cerca de 500 m do inicio da rua. Tal deve-se ao facto de o sinal que chega ao móvel ser pouco atenuado, pois nessa posição, o móvel encontra-se no cruzamento entre a R. Coelho da Rocha e a R. Azedo Gneco, ficando quase em linha de vista com a estação de base.

A R. Saraiva de Carvalho apresenta, para a L175A, um valor elevado da média absoluta (10-13 dB) assim como do desvio padrão (11-15 dB). É preciso referir que esta rua apresenta características bastante particulares: não só porque não é paralela ou perpendicular (tal como os modelos exigem) como as outras, mas também porque é constituída por uma grande parte de área aberta (que corresponde à Igreja de Santo Condestável). Note-se que, ainda aquando da campanha de medidas, a estação L175 não se encontrava (aparentemente) abaixo dos edifícios da R. Saraiva de Carvalho. Isto, pode ter também levado a uma má aplicação do modelo. Para além disso, uma vez que não se possuía informação relativa ao espaçamento entre edifícios, o respectivo parâmetro (*b*) é estimado pelo RMÓVEL como sendo cinco vezes a largura da respectiva rua. Esta aproximação foi uma opção de implementação deste programa, podendo naturalmente originar erros. Assim, os maus resultados obtidos para a R. Saraiva de Carvalho podem ser consequência de todos estes factores.

Nas Tabs. 4.12 e 4.13 encontram-se os intervalos máximos de variação de atenuação para as duas estações de base em análise e para as ruas em estudo, assim como os valores mínimo e máximo dos parâmetros, valores estes retirados dos vários perfis de cada rua.

Tab. 4.12 - Intervalo máximo de variação de atenuação com os vários parâmetros, para duas ruas de
Campo de Ourique, estação L175A, e para os vários modelos em estudo.

			∆Lp [dB]			
Rua	Param.	Min-Max	XI	XX	С	
	<i>d</i> [m]	244.8 - 696.4	19.3	20.2	20.2	
Azedo	<i>h_M</i> [m]	92.7 - 93.7	0.8	0.7	0.8	
Gneco	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	101.3 - 107.2	9.4	16.6	17.2	
	φ [°]	6.4 - 18.6	4.3		4.6	
	<i>d</i> [m]	326.0 - 560.8	9.6	10.9	10.9	
Coelho	<i>h_M</i> [m]	92.7 - 101.7	12.5	12.6	12.5	

da Rocha	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	102.6 - 105.7	6.3	9.9	9.9
	φ [°]	35.4 - 86.2	3.6		2.4

Tab. 4.13 - Intervalo máximo de variação de atenuação com os vários parâmetros, para duas ruas de
Campo de Ourique, estação L192B, e para os vários modelos em estudo.

			∆Lp [dB]		
Rua	Param.	Min-Max	XI	XX	С
	<i>d</i> [m]	366.2 - 734.1	13.8	13.0	13.0
Azedo	<i>h_M</i> [m]	92.7 - 93.7	0.7	0.6	0.7
Gneco	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	101.1 - 109.0	11.1	21.2	21.9
	φ [°]		5.5		3.0
	<i>d</i> [m]	643.1 - 933.8	6.3	6.8	6.8
Ferreira	<i>h_M</i> [m]	92.7 - 100.4	6.7	6.4	6.7
Borges	<i>h</i> _{<i>R</i>} [m]	103.2 - 108.6	10.1	15.2	15.2
	φ [°]	43.3 - 84.4	3.4		1.6

Das tabelas acima, um resultado que se destaca imediatamente é o valor do intervalo máximo de variação de atenuação com h_R . Este parâmetro, que varia entre 4-8 m, pode levar a uma variação de atenuação entre 6 dB a 22 dB. No caso da EB acima dos edifícios, verificou-se que, por exemplo para a R. da Prata e para a estação L101A, este parâmetro variava cerca de 7 m, levando a um intervalo máximo de variação de atenuação de cerca de 10-11 dB. No caso da R. Azedo Gneco, mas para a EB abaixo dos edifícios, cuja altura dos edifícios varia em cerca de 6 m, o respectivo intervalo, quando comparado com o caso acima mencionado, já é largamente ultrapassado (este varia entre 9-17 dB).

Esta diferença dos valores obtidos entre os casos da EB acima e abaixo dos edifícios é também observada para a altura do móvel. Atente-se na R. Coelho da Rocha para a EB L175A, em que o intervalo máximo de variação com h_M é de 12.5 dB, para uma variação de 9 m no intervalo [92.7, 101.7] m. Da Tab. 4.9 verifica-se que, para o mesmo intervalo de h_M , para a mesma rua e para a EB L79C, o intervalo máximo de variação da atenuação é de aproximadamente 5.5 dB, ou seja menos de metade do registado para a L175A.

No que diz respeito aos intervalos de variação de atenuação com ϕ e com *d*, estes estão em conformidade com os obtidos para o caso da estação de base estar acima dos edifícios.

4.3 Escolha do Modelo de Propagação

A escolha do melhor modelo de propagação deve ser efectuada numa perspectiva global, ou seja aquele que apresentar melhores resultados num maior número de casos. No entanto, não deve ser esquecido que existem situações particulares, nas quais outros modelos dão melhores estimativas da atenuação total de propagação. Esta escolha vai ser baseada nos valores médios do parâmetros estatísticos analisados, na secção anterior, que se encontram na Tab. 4.14.

Nesta, pode verificar-se que, para as estações de base acima dos edifícios, as médias do desvio padrão oscilam entre 4 e 5 dB, tanto para a Baixa (L31B e L101A), como para Campo de Ourique (L79C). Para as estações abaixo dos edifícios, a média dos desvios padrão varia entre 3 e 8 dB, o que é superior à registada no caso anterior.

		Modelos de Propagação						
Estação	Parâmetro	MI	MX	WB	Ι	XI	XX	C
L31B	$\bar{\Delta}$ [dB]	- 1.6	- 4.5	- 8.5	- 1.7	- 1.7	- 4.6	- 6.4
	$\overline{ \Delta }$ [dB]	5.3	6.4	9.1	5.3	5.3	6.4	7.6
	σ [dB]	4.7	4.5	4.5	4.7	4.7	4.5	5.0
	$\bar{\Delta}$ [dB]	- 5.6	- 4.6	- 10.1	- 8.5	- 5.5	- 4.4	- 11.4
L101A	$\overline{ \Delta }$ [dB]	6.4	5.6	10.3	9.2	6.3	5.5	11.6
	σ [dB]	4.2	4.0	4.0	4.7	4.2	4.1	4.2
	$\bar{\Delta}$ [dB]	- 8.4	- 5.7	- 13.0	- 8.7	- 8.6	- 6.0	- 14.5
L79C	$\overline{ \Delta }$ [dB]	9.0	7.4	13.2	9.3	9.2	7.6	14.6
	σ [dB]	4.4	4.1	4.2	4.5	4.4	4.1	4.7
	$\bar{\Delta}$ [dB]					5.8	8.1	- 4.7
L175A	$\overline{ \Delta }$ [dB]					11.4	12.6	12.5
	σ [dB]					8.0	7.8	7.2
L192B	$\bar{\Delta}$ [dB]					1.7	2.6	- 8.6
	$\overline{ \Delta }$ [dB]					6.0	6.3	8.8
	σ [dB]					3.8	4.1	3.3

Tab. 4.14 - Valores médios dos parâmetros estatíscos.

No que diz respeito aos valores obtidos para as médias das médias observa-se que, de um modo geral, são mais elevados para as estações de Campo de Ourique, quer estejam acima ou abaixo dos edifícios. Isto pode resultar da presença de vegetação nesta última zona. Face aos valores obtidos, pode dizer-se que, à partida, os modelos não apresentam grandes diferenças entre os dois cenários, que têm características diferentes. É necessário referir que, de modo a poder aplicar-se os modelos no RMÓVEL, houve necessidade de se adaptarem os cenários de teste a outros mais próximos dos idealizados pelos modelos. Consequentemente, os resultados obtidos para o sinal estimado pelos modelos teóricos em Campo de Ourique podem estar influenciados por esta aproximação, enquanto que a Baixa não sofre grandes variações a este nível. Esta pode ser uma razão para justificar os resultados obtidos que, nesta última zona, estão próximos dos da Baixa. Por outro lado, as médias das médias em Campo de Ourique revelam algumas diferenças, tal como já foi referido.

Observando-se a Tab. 4.14 verifica-se que, para a **EB acima dos edifícios**, os modelos cujo sinal estimado é mais próximo do medido, ou seja aqueles cujas médias e desvios padrão são menores, são os de **Maciel+Xia** e **Xia**.

Para a **EB abaixo dos edifícios**, apesar do COST 231 apresentar sempre os menores desvios padrão, as respectivas médias são as mais elevadas. Deste modo, o modelo que apresenta os melhores resultados, tendo em consideração os três parâmetros estatísticos, é o de **Xia+Ikegami**.

Note-se que, para a EB abaixo dos edifícios, a atenuação entre o móvel e o edifício que o antecede, é melhor prevista pelo modelo de Ikegami do que pelo do Xia. Tal pode dever-se ao facto de, nesta posição da EB relativamente aos edifícios, os raios difractados e reflectidos terem uma maior importância na propagação do que quando a estação está acima dos edifícios, e o modelo de Ikegami contabilizar um maior número de raios do que o de Xia.

5. Conclusões

Neste trabalho pretendeu-se comparar os diferentes modelos de propagação para ambientes de microcélulas através de uma campanha de medidas da potência do sinal recebido pelo móvel realizada em Lisboa.

A atenuação de propagação estimada pelos modelos de propagação pode dividir-se em três termos: a atenuação em espaço livre (L_0) , a atenuação por difracção nos edifícios que antecedem o móvel (L_{msd}) , e a atenuação por difracção que ocorre entre o móvel e o telhado do edifício que o antecede (L_{rts}) . A decomposição da atenuação total de propagação em três termos permitiu implementar os modelos combinados. O que se pretendeu com estes últimos foi verificar se, juntando dois termos de diferentes modelos, se obtinha uma melhor previsão da atenuação total.

Os sete modelos, sobre os quais incide este estudo, são: Walfish e Bertoni, Ikegami, Xia, COST 231 Walfish-Ikegami, Maciel+Ikegami, Maciel+Xia e Xia+Ikegami.

Antes de se proceder à campanha de medidas, que foi efectuada em colaboração com a Telecel, houve necessidade de se escolherem os cenários de teste. Para tal, teve-se em conta os pressupostos assumidos pelos modelos teóricos, que foram apresentados no Capítulo 2.

Uma das duas zonas seleccionadas foi a Baixa Pombalina, pois apresenta uma estrutura regular, ou seja as ruas são todas paralelas ou perpendiculares entre si, e os edifícios são praticamente todos da mesma altura (4 andares, ou seja aproximadamente 12 m). Para além disso, esta zona não tem vegetação, tal como é previsto nos modelos de propagação. No entanto, verifica-se que a estrutura orográfica da Baixa é bastante variável, no que diz respeito às cotas do terreno. Já a zona de Campo de Ourique, que foi o segundo local escolhido, apresenta irregularidades ao nível da estrutura urbana. Nesta, coexistem ainda algumas vivendas antigas e edifícios novos com 4-5 andares, existindo também vegetação. Apesar disto, aqui não se registam grandes variações da cota como na Baixa. A razão pela qual se escolheu Campo de Ourique foi para estudar a aplicabilidade dos modelos em zonas cujas características se distanciam das requeridas pelos mesmos.

Antes de se analisarem as medidas, efectuou-se um estudo teórico dos modelos, no Capítulo 3, com a finalidade de se obter uma ordem de grandeza para a variação da atenuação de propagação com os parâmetros que a constituem. Para tal, usaram-se valores típicos dos mesmos, retirados dos cenários de teste, de modo a obter-se valores próximos dos reais. Da análise comparativa dos modelos teóricos, constatou-se que o termo L_{rts} apresentava variações de atenuação muito superiores às do L_{msd} . Para além disso, verificou-se que este último termo podia apresentar valores negativos, para determinados valores dos parâmetros, e nestes casos considerou-se que o seu valor era nulo. Isto porque, caso contrário, estar-se-ía a contabilizar um ganho em vez de uma atenuação. Tal acontece, por exemplo, para valores da distância inferiores a 300 m.

Os parâmetros que sofrem uma maior variação na atenuação total, no intervalo de valores que podem tomar em cada cenário, são a distância (d), a altura da base (h_B) , o ângulo de rua (ϕ) e o espaçamento entre centros de edifícios (b). A distância entre a base e o móvel é, sem dúvida, o parâmetro que provoca uma maior variação de atenuação (esta pode variar até 29 dB, para as distâncias consideradas no cenário de teste), até porque é contabilizada em dois dos três termos de atenuação. Quanto ao ângulo de rua (ϕ), verifica-se que este pode provocar uma variação da atenuação bastante elevada (na ordem dos 13 dB), principalmente para ângulos pequenos (valores no intervalo $[0,34^{\circ}]$). Outro facto a salientar é a importância de b, no modelo de Walfish e Bertoni; note-se que este é o único modelo que o contabiliza nos dois termos de atenuação (L_{msd} e L_{rts}). No estudo teórico, obteve-se uma variação máxima da atenuação com b de 8.5 dB, para EB acima dos edifícios, e de 6 dB para abaixo. No que diz respeito a h_R , no modelo de Ikegami e para a EB acima dos edifícios, a sua influência na atenuação total é pouco relevante; esta varia no máximo cerca de 3 dB, enquanto que para os restantes modelos aproximadamente 6-7 dB. Isto faz sentido na medida em que este modelo não contabiliza a atenuação por difracção nos edifícios que antecedem o móvel. Ainda relativamente à altura dos edifícios, o intervalo máximo de variação da atenuação obtido para a EB abaixo foi de 2-4 dB. Quanto à altura da base verificou-se que, para o modelo COST 231 quando a EB está abaixo dos edifícios, a variação da atenuação total é bastante menor face à prevista pelos restantes modelos modelos (4 dB e 17 dB, respectivamente).

A análise de resultados efectuada no Capítulo 4 permitiu tirar as conclusões que se apresentam de seguida. Os modelos que melhor descrevem, na globalidade dos casos, a atenuação de propagação e para o caso de a estação de base estar acima dos edifícios, são o de Xia e o Maciel+Xia. Nessa situação, os modelos COST 231 e Walfish e Bertoni apresentam, em geral, os piores resultados. Das estações de base em estudo, verificou-se que a L31 se 86 encontrava muito acima dos edifícios (cerca de 25-30 m). Este facto faz com que a atenuação por difracção nos edifícios que antecedem o móvel, se anule. Isto significa que esses edifícios, nestas circunstâncias, não influenciam o comportamento da atenuação total de propagação, e são fundamentalmente os termos $L_{rts}I$ e $L_{rts}X$ que distinguem os melhores modelos. Nas ruas paralelas mais largas, tanto para a L31B como para a L101A, os modelos que apresentam melhores resultados são os constituídos pelo segundo termo $L_{rts}X$, ou seja os de MX e XX. Nas ruas paralelas mais estreitas, registaram-se melhores resultados para o modelo de Ikegami e combinados, para a L31. Tal pode dever-se ao facto de, nestas ruas, não ser suficiente a contabilização de apenas um raio difractado, mas sim de dois, tal como é previsto no modelo de Ikegami. Ainda para estas ruas, mas agora relativamente à EB L101, não se conseguem tirar conclusões sobre qual dos conjuntos de modelos é o melhor, se os combinados do de Ikegami se os de Maciel. Nas ruas perpendiculares, os modelos que dão a melhor estimativa da potência recebida pelo móvel são o Ikegami e seus combinados, para a L31. No caso da EB L101 é também difícil de tirar conclusões relativamente a estes dois grupos de modelos, pois variam consoante a rua considerada. Para a EB L79, observa-se que os modelos I, MI, XI, MX e XX apresentam resultados semelhantes, excepto para as ruas que se encontram alinhadas com a estação de base.

Nas ruas alinhadas com a estação de base os modelos que apresentam melhores resultados são os de MX e XX. Para além disso, nesta situação, registam-se valores relativamente mais elevados do desvio e das médias. Tal pode dever-se ao facto de a atenuação não ser bem contabilizada nos modelos, quando o móvel se encontra em linha de vista com a estação de base.

Quando a estação de base se encontra abaixo dos edifícios (L192 e L175), o COST 231 é o que apresenta os menores desvios. No entanto, os valores obtidos para as médias são os mais elevados. Tal pode dever-se aos factores correctivos introduzidos neste modelo, que resultaram de medidas efectuadas em cidades da Alemanha, podendo estas diferir das zonas de teste consideradas.

Dada a importância das estações de base abaixo dos edifícios em ambientes microcelulares, sugere-se que sejam estudados os referidos factores correctivos, relativos ao modelo atrás indicado, uma vez que se regista o menor desvio padrão de todos eles. Para EB abaixo dos edifícios e tendo em consideração tanto os desvios padrão como as médias, o modelo que apresenta melhores resultados é o de Xia+Ikegami.

Ainda do estudo complementar efectuado, aquando da análise dos resultados, há a ressaltar alguns aspectos importantes. O primeiro é que o modelo COST 231 é o que contabiliza a maior variação de atenuação com o ângulo de rua, quando a EB se localiza abaixo dos edifícios, e principalmente para ângulos pequenos.

Para além disso, o intervalo máximo de variação de atenuação com a altura dos edifícios toma valores superiores aos previstos no estudo teórico dos modelos, efectuado no Capítulo 3. Para a EB acima dos edifícios, os valores previstos eram de 3 dB para o modelo de Ikegami e de 6-7 dB para os restantes. No entanto, obtiveram-se valores do referido intervalo de 4 dB e 11 dB, respectivamente. Esta diferença é muito mais marcada para a estação de base abaixo dos edifícios. Nesta situação, a previsão teórica indicava valores para o intervalo máximo de variação da atenuação, de 2-4 dB, enquanto que os obtidos no estudo complementar oscilavam entre 6 e 22 dB.

No que diz respeito ao espaçamento entre centros de edifícios, verifica-se que o modelo de Walfish e Bertoni é o que contabiliza a maior variação de atenuação com este parâmetro, tal como já tinha sido verificado no Capítulo 3. Observa-se também que este intervalo nunca atinge o valor máximo previsto inicialmente no estudo teórico (8.5 dB), ficando-se apenas pelos 6 dB.

A título de conclusão, os modelos que melhor descrevem a atenuação de propagação, nos cenários de teste analisados e tendo em conta não só os resultados obtidos mas as aproximações de implementação dos modelos no RMÓVEL, são o de Xia e Maciel+Xia, para a estação de base acima dos edifícios, e o de Xia+Ikegami, quando a estação de base se encontra abaixo dos mesmos.

A escolha do melhor modelo de propagação deve ser efectuada numa perspectiva geral, e que englobe um maior número de casos. É, no entanto, necessário ter presente que cada situação é um caso particular, e ao escolher-se um modelo de aplicação genérica, como foi atrás efectuado, estão a cometer-se erros, pois não se podem contemplar todas as situações. No entanto, dada a impossibilidade de as descreverem, são necessárias soluções de compromisso. Assim, é de todo o interesse ter-se um modelo de propagação que estime, o melhor possível, a atenuação que o sinal sofre do móvel até à base. Não se deve esquecer, que por muito bom que seja o modelo, este não terá grande utilidade se não houver por detrás as ferramentas e a informação que permita que seja aplicado em toda a sua extensão.

Esperamos que, de alguma forma, este trabalho possa contribuir para estudos futuros que levem ao desenvolvimento de um melhor modelo de propagação.
Referências

- [1] J. D. Parsons,"The Mobile Radio Propagation Channel", Pentech Press, London, UK, 1992
- [2] Fumio Ikegami, Susumu Yoshida, Tsutomu Takeuchi, Masahiro Umehira,
 "Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Streets",
 IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-32., N° 8, August 1984
- [3] Fumio Ikegami, Susumu Yoshida,
 "Analysis of Multipath Propagation Structure in Urban Mobile Environments",
 IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-28., N° 4, July 1980
- [4] Ana Domingues, Diana Caiado, Nuno Gonçalves,
 " Adaptação do Modelo de Propagação COST-231-WI à Cidade de Lisboa ", Trabalho Final de Curso, IST, Lisboa, 1995
- [5] Joram Walfish e Henry L. Bertoni,
 "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments",
 IEEE Transactions on Antennas an Propagation, Vol. 36, N° 12, December 1988
- [6] Howard H. Xia e Henry L. Bertoni,
 " Diffraction of Cylindrical and Plane Waves by an Array of Absorbing Half-Screens ", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol 40, N° 2, February 1992
- [7] Howard H. Xia,
 "An Analytical Model for Predicting Path Loss in Urban and Suburban Environments ",
 PIMRC' 96, Taipei, Taiwan, October 1996
- [8] Leandro Rocha Maciel, Henry L. Bertoni e Howard H. Xia,
 "Unified Approach to Prediction of Propagation Over Buildings for All Ranges of Base Station Antenna Height",
 IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol 42, N° 1, February 1993
- [9] COST-231 Working Group on Propagation Models
 " Urban transmission loss models for mobile radio in the 900- and 1.800-Mhz bands " (Revison 2),
 COST-231 TD (41) 73,
 The Hague, The Netherlands, September, 1991

[10] Prof. Carlos António Cardoso Fernandes,
 "Aspectos de Propagação em Serviços de Rádio Móvel ",
 Texto Complementar da cadeira de Aspectos de Propagação na Atmosfera,
 Secção de Propagação e Radiação, DEEC - IST, Lisboa, Janeiro de 1993

Bibliografia

- C.Déchaux and R Scheller,
 "What are GSM and DCS ? ",
 Reprinted from Electrical Communications 2nd quarter 1993, pp. 118-127
- [2] Jonh Oetting,
 "Cellular Mobile Radio An Emerging Technology",
 Reprinted from IEEE Communications Magazine, pp. 10-15, Nov., 1983
- [3] Prof. Luís Correia,
 " Comunicações Móveis ",
 Associação de Estudantes do Instituto Superior Técnico, Março de 1993 (Revisto em Fevereiro de 1997)
- [4] M. Mouly e M.B Pautet,"The GSM System for Mobile Communications", GSM, 1992
- [5] Bernard H. Fleury and Peter E. Leuthold,
 "Radiowave Propagation in Mobile Communications: An Overview of European Research ",
 http://www.ieee.org/comsoc/leuthold.html
- [6] Karl Löw,
 "Amendments to the modified urban path loss models of Walfish and Ikegami", COST 231 TD (90) 108, Darmstadt, December 1990
- [7] Karl Löw,
 "A comparison of CW-measurements performed in Darmstadt with the COST-231-Walfish-Ikegami model ",
 COST 231 TD (91) 74,
 Darmstadt, September 1991
- [8] Raymond Steele,
 "Mobile Radio Communications",
 Pentech Press, Publishers London, 1992
- [9] Garry C. Hess," Land Mobile Radio System Engeneering ",Mobile Communications Series, Artech House, 1993

Anexo A

Dedução da Atenuação de Propagação para o Modelo de Ikegami No modelo de Ikegami é apresentada uma expressão para o campo eléctrico. Assim, uma vez que se pretendem estudar os termos de atenuação de propagação, torna-se necessário deduzi-los, tal como vai ser aqui apresentado.

A atenuação de propagação é definida de acordo com:

$$L_P \downarrow B_{-}^{-} = P_E \downarrow BW_{-}^{-} + G_E \downarrow Bi_{-}^{-} - P_R \downarrow BW_{-}^{-} + G_R \downarrow Bi_{-}^{-} (A.1)$$

e o campo eléctrico em espaço livre dado por:

$$E_{0} = \frac{1}{18\mu V/m} = 74.77 + P_{E} = \frac{1}{18W_{-}^{-+}} - G_{E} = \frac{1}{18H_{-}^{--}} = 20 \log \left(d_{E} m_{-}^{--} \right) \Rightarrow (A.2)$$

$$P_{E} = \frac{1}{18W_{-}^{-+}} + G_{E} = \frac{1}{18H_{-}^{--}} = E_{0} = \frac{1}{18\mu V/m} = 74.77 + 20 \log \left(d_{E} m_{-}^{--} \right) = (A.3)$$

Ao reescrever-se a equação (A.1) em termos do campo eléctrico em espaço livre, e substituindo-se o ganho e a potência de emissão pela expressão (A.3), obtém-se:

O passo seguinte consiste na determinação de uma expressão que substitua a potência e o ganho da antena na equação (A.4). Sabendo que a potência disponível aos terminais da antena de recepção pode ser escrita na forma:

$$P_{R \mid BW_{-}^{-}=-107.21 + \overline{E} \mid B\mu V/m] + G_{R \mid Bi_{-}^{-}=-20 \log \left(f \mid MHz_{-}^{-} \right) \Rightarrow (A.5)$$
$$-P_{R \mid BW_{-}^{-}+G_{R \mid Bi_{-}^{-}=}=107.21 - \overline{E} \mid B\mu V/m] + 20 \log \left(f \mid MHz_{-}^{-} \right) (A.6)$$

é possível, substituindo a equação (A.6) em (A.4), obter-se uma expressão para a atenuação de propagação:

$$L_{P} IB_{-}^{-} = E_{0} IB_{\mu}V/m - \overline{E} IB_{\mu}V/m + 32.44 + 20\log(d_{m}) + 20\log(f_{MHz})$$
(A.7)

Finalmente, substituíndo-se a diferença dos campos pela expressão apresentada por Ikegami, obtém-se a equação (A.8) para a atenuação de propagação.

$$L_{P} \downarrow B_{-}^{=} = -26.65 + 20 \log \left(l \downarrow_{R} m_{-}^{-} \right) + 30 \log \left(f \downarrow_{MHZ} m_{-}^{-} \right) - 10 \log \left(1 + \frac{3}{L_{r}^{2}} \right)$$
(A.8)
- 10 log (R) + 20 log (h_R - h_M) + 10 log (in ϕ)

Anexo B

Dedução do Termo de Atenuação L_{rts} para o Modelo de Walfish e Bertoni O modelo de Walfish e Bertoni, contabiliza os dois termos de atenuação (L_{rts} e L_{msd}) numa só expressão (L_{ex}). Assim, é necessário fazer a sua decomposição de modo a que se possa comparar os termos deste modelo com os dos restantes. As razões que levaram à decomposição prendem-se, essencialmente, com o facto de se assumir que L_{msd} é zero, quando o seu valor é negativo. Se, para a comparação dos modelos, fossem utilizadas as expressões de atenuação de propagação total, a análise dos termos em separado não seria possível.

A atenuação de propagação do modelo de Walfish e Bertoni é dada pela equação:

$$L_P = L_{ex} + L_0$$
(B.1)

onde L_{ex} é expresso por:

$$L_{ex} = L_{msd} + L_{rts} = 57.1 + 5\log\left[\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \Delta h_R^2\right] - 9\log \textcircled{r} \log \textcircled{r}_{MHz}^2$$

$$+ 20\log\left\{\tan^{-1}\left[\frac{2\Delta h_R}{b}\right]\right\} - 18\log \textcircled{r}_{B} + 18\log \textcircled{r}_{R}^2$$
(B.2)

De modo a poder determinar-se uma expressão para L_{rts} , há que subtraír L_{msd} a L_{ex} . A expressão para a atenuação devido à difracção no topo dos edifícios (L_{msd}) é dada por:

$$L_{msd} = -20 \log \left[0.1 \left(\frac{\alpha \sqrt{\frac{b}{\lambda}}}{0.03} \right)^{0.9} \right]$$
(B.3)

sendo α dado por:

$$\alpha = \frac{\Delta h_B}{d}$$
(B.4)

Desenvolvendo-se a expressão (B.3), obtém-se:

$$L_{rts} = 68.87 - 18 \log (\Lambda h_B) + 18 \log (H_{km}) - 9 \log (F_{MHz}) (B.5)$$

Substituíndo-se esta equação em (B.2), obtém-se então o termo pretendido:

$$L_{rts} = -11.77 + 5\log\left[\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \Delta h_R^2\right] + 10\log\left(f_{MHz}\right) + 20\log\left\{\tan^{-1}\left[\frac{2\Delta h_R}{b}\right]\right\}$$
(B.6)

Anexo C

Estudo da Continuidade para o Modelo de Xia O estudo da continuidade, para o modelo de Xia, vai incidir apenas sobre o termo L_{msd} , uma vez que as expressões para L_{rts} e L_0 são as mesmas nos três casos (EB acima, abaixo e ao mesmo nível dos edificios).

~

• Estação de base acima da altura média dos edifícios:

$$L_{msdu} = -7.4 - 18 \log \textcircled{2}{9} \log \left(\frac{b}{\lambda}\right)$$
(C.1)

• Estação de base ao nível dos edifícios:

$$L_{msdn} = -20 \log\left(\frac{b}{d}\right) - 5 \log \mathbf{Q}_{\sim}^{\sim}(C.2)$$

• Estação de base abaixo da altura média dos edifícios:

$$L_{msdd} = -5\log \mathbf{Q} \ge 20\log\left[\left[\frac{b}{2\pi \mathbf{Q} - b}\right]^2 \frac{\lambda}{\sqrt{\alpha^2 d^2 + b^2}} \left(\frac{1}{\phi} - \frac{1}{2\pi + \phi}\right)^2\right] (C.3)$$

sendo:

$$\phi = -\tan^{-1}\left(\frac{\alpha \, d}{b}\right) \,\,(\mathrm{C.4})$$

Observando as expressões, verifica-se que o parâmetro que varia é o ângulo α , pelo que o estudo vai ser efectuado em função deste. O ângulo é definido de acordo com:

$$\alpha = \frac{\Delta h_B}{d} \ (C.5)$$

Uma vez que as expressões do termo de atenuação dependem de parâmetros geométricos relativos às características do cenário, é necessário defini-los de modo a poder traçar-se os gráficos para as três equações. Os parâmetros em questão são: a distância entre o centro dos edifícios (*b*), o comprimento de onda (λ) e a distância entre a estação de base e o móvel (*d*). O autor definiu um valor para *b*, igual a 80 m, sendo necessário arbitrar valores para os restantes. Como se trata de GSM, a banda de frequências é a de 900 MHz, o que corresponde a um comprimento de onda da ordem de 0.33 m. Uma vez que os modelos foram

definidos para micro-células urbanas, escolheu-se d=500 m, pois corresponde ao raio típico de uma célula. Na Fig. C.1, pode-se observar o gráfico relativo às três expressões para o cenário assim definido, variando α de igual modo para as três equações.



Fig. Anexo C .1 - Gráfico da variação do L_{msd} em função do ângulo α .

Verifica-se que existe continuidade das expressões, uma vez que existem valores do ângulo α para os quais as equações apresentam valores iguais. No entanto, verifica-se que estes pontos de continuidade dependem com os valores de *b*, *d* e λ , pelo que para cada situação será necessário calcular os seus valores, e com base neles determinar qual a equação que se deve usar. Para a situação em estudo tem-se: α_1 = - 0.045° e α_2 = 0.23°. Na Fig. C.2 está representada a atenuação de propagação por difracção no topo dos edifícios, obtida por este processo.



Fig. Anexo C .2 - Gráfico da atenuação de propagação combinando as três expressões.

Anexo D

Estudo da Variação de L_{rts} para a EB acima da Altura dos Edifícios



Fig. Anexo D.1 - Variação de L_{rts} com a distância entre edifícios (*b*).



Fig. Anexo D.2 - Variação de L_{rts} com o ângulo de rua (ϕ).



Fig. Anexo D.**3** - Variação de L_{rts} com a largura da rua (R).



Fig. Anexo D.4 - Variação de L_{rts} com a frequência (*f*).



Fig. Anexo D.5 - Variação de L_{rts} com a altura dos edifícios (h_R) .



Fig. Anexo D.6 - Variação de L_{rts} com a altura do móvel (h_M) .

Anexo E

Estudo da Variação de L_{rts} para a EB abaixo da Altura dos Edifícios



Fig. Anexo E .1 - Variação de L_{rts} com o ângulo de rua (ϕ).



Fig. Anexo E .2 - Variação de L_{rts} com a largura da rua (R).



Fig. Anexo E .3 - Variação de L_{rts} com a frequência (*f*).



Fig. Anexo E .4 - Variação de L_{rts} com a altura dos edifícios (h_R).



Fig. Anexo E .5 - Variação de L_{rts} com a altura do móvel (h_M) .

Anexo F

Estudo da Variação de L_{msd} para a EB acima da Altura dos Edifícios



Fig. Anexo F.1 - Variação de L_{msd} com a distância entre o móvel e a base (d).



Fig. Anexo F .2 - Variação de L_{msd} com a altura da base (h_B) .



Fig. Anexo F.3 - Variação de L_{msd} com a altura dos edifícios (h_R) .



Fig. Anexo F .4 - Variação de L_{msd} com a distância entre edifícios (*b*).



Fig. Anexo F .5 - Variação de L_{msd} com a frequência (f).

Anexo G

Estudo da Variação de L_{msd} para a EB abaixo da Altura dos Edifícios



Fig. Anexo G .1 - Variação de L_{msd} com a distância entre o móvel e a base (d).



Fig. Anexo G.2 - Variação de L_{msd} com a altura da base (h_B) .



Fig. Anexo G .3 - Variação de L_{msd} com a altura dos edifícios (h_R).



Fig. Anexo G.4 - Variação de L_{msd} com a distância entre edifícios (b).



Fig. Anexo G .5 - Variação de L_{msd} com a frequência (f).

Anexo H

Estudo da Variação de L_p para a EB acima da Altura dos Edifícios



Fig. Anexo H .1 - Variação de L_p com a distância do móvel à base (d), L_{msd} não corrigido.



Fig. Anexo H .2 - Variação de L_p com a distância do móvel à base (d), L_{msd} corrigido.


Fig. Anexo H .3 - Variação de L_p com a altura dos edifícios (h_R).



Fig. Anexo H .4 - Variação de L_p com a distância entre edifícios (*b*), L_{msd} corrigido.



Fig. Anexo H .5 - Variação de L_p com a distância entre edifícios (b), L_{msd} não corrigido.



Fig. Anexo H .6 - Variação de L_p com a frequência (*f*).



Fig. Anexo H .7 - Variação de L_p com o ângulo de rua (ϕ).



Fig. Anexo H .8 - Variação de L_p com a largura da rua (R).



Fig. Anexo H .9 - Variação de L_p com a altura do móvel (*h_M*).



Fig. Anexo H .10 - Variação de L_p com a altura da base (h_B), L_{msd} corrigido.



Fig. Anexo H .11 - Variação de L_p com a altura da base (h_B), L_{msd} não corrigido.

Anexo I

Estudo da Variação de L_p para a EB abaixo da Altura dos Edifícios



Fig. Anexo I .1 - Variação do L_p com a distância entre o móvel e a base (d).



Fig. Anexo I.2 - Variação do L_p com a altura dos edifícios (h_R) .



Fig. Anexo I .3 - Variação de L_p com a frequência (*f*).



Fig. Anexo I .4 - Variação do L_p com o ângulo de rua (ϕ).



Fig. Anexo I .5 - Variação do L_p com a largura da rua (R).



Fig. Anexo I .6 - Variação do L_p com a altura do móvel (h_M) .



Fig. Anexo I .7 - Variação do L_p com a distância entre o centro dos edifícios (b).



Fig. Anexo I .8 - Variação do L_p com a altura da base (h_B) .

Anexo J

Perfis para as Estações L31, L79, L101 e L175

Rua do Comércio - L101A



Fig. Anexo J .1- Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .2 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .3 - Perfil n.º 8.

Rua do Comércio - L31B



Fig. Anexo J .4 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .5 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .6 - Perfil n.º 8.

Rua do Ouro - L101A



Fig. Anexo J .7 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .8 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .9 - Perfil n.º 8.

Rua do Ouro - L31B



Fig. Anexo J .10 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .11 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .12 - Perfil n.º 8.

Rua da Prata - L101A



Fig. Anexo J .13 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .14 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .15 - Perfil n.º 8.

Rua da Prata - L31B



Fig. Anexo J .16 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .17 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .18 - Perfil n.º 8.

Rua Azedo Gneco - L79C



Fig. Anexo J .19 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .20 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .21 - Perfil n.º 8.

Rua Azedo Gneco - L175A



Fig. Anexo J .22 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .23 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .24 - Perfil n.º 8.





Fig. Anexo J .25 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .26 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .27 - Perfil n.º 8.





Fig. Anexo J .28 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .29 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .30 - Perfil n.º 8.

Rua Ferreira Borges - L79C



Fig. Anexo J .31 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo J .32 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo J .33 - Perfil n.º 8.

Appendix L

Anexo L

Fotografias dos Cenários de Teste

Fig. L.1 - R. Saraiva de Carvalho.

Fig. L.2 - R. da Prata.

Fig. L.3 - R. da Madalena.

Fig. L.4 - R. Saraiva de Carvalho.

Fig. L.6 - Jardim da Parada (tirada do cruzamento da R. Infantaria 16 com a R. 4 de Infantaria).

Fig. L.7 - Estação de Base L31.

Fig. L.8 - R. dos Correeiros.

Fig. L.9 - R. do Comércio.

Fig. L.10 - Estação de Base L101.

Anexo M

Perfis para a Estação L192

Rua Azedo Gneco - L192 B



Fig. Anexo M .1- Perfil n.º 1.



Fig. Anexo M .2 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo M .3 - Perfil n.º 8.





Fig. Anexo M .4 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo M .5 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo M .6 - Perfil n.º 8.

Rua Ferreira Borges - L192 B



Fig. Anexo M .7 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo M .8 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo M .9 - Perfil n.º 8.




Fig. Anexo M .10 - Perfil n.º 1.



Fig. Anexo M .11 - Perfil n.º 4.



Fig. Anexo M .12 - Perfil n.º 8.

Anexo N

Gráficos das Potências Recebidas pelo Móvel

Baixa Pombalina



Fig. Anexo N .1 - Rua do Comércio - L101A.



Fig. Anexo N .2 - Rua do Comércio - L31B.



Fig. Anexo N .3 - Rua da Conceição - L101A.



Fig. Anexo N .4 - Rua da Conceição - L31B.



Fig. Anexo N .5 - Rua dos Correeiros - L101A.



Fig. Anexo N .6 - Rua dos Correeiros - L31B.



Fig. Anexo N .7 - Rua dos Fanqueiros - L101A.



Fig. Anexo N .8 - Rua dos Fanqueiros - L31B.



Fig. Anexo N .9 - Rua da Madalena - L101A.



Fig. Anexo N .10 - Rua da Madalena - L31B.



Fig. Anexo N .11 - Rua do Ouro - L101A.



Fig. Anexo N .12 - Rua do Ouro - L31B.



Fig. Anexo N .13 - Rua da Prata - L101A.



Fig. Anexo N .14 - Rua da Prata - L31B.



Fig. Anexo N .15 - Rua de São Julião - L101A.



Fig. Anexo N .16 - Rua de São Julião - L31B.



Fig. Anexo N .17 - Rua dos Sapateiros - L101A.



Fig. Anexo N .18 - Rua dos Sapateiros - L31B.

Campo de Ourique



Fig. Anexo N .19 - Rua 4 de Infantaria - L79C.



Fig. Anexo N .20 - Rua 4 de Infantaria - L175A.



Fig. Anexo N .21 - Rua 4 de Infantaria - L192B.



Fig. Anexo N .22 - Rua Almeida e Sousa - L79C.



Fig. Anexo N .23 - Rua Almeida e Sousa - L175A.



Fig. Anexo N .24 - Rua Almeida e Sousa - L192B.



Fig. Anexo N .25 - Rua Azedo Gneco - L79C.



Fig. Anexo N .26 - Rua Azedo Gneco - L175A.



Fig. Anexo N .27 - Rua Azedo Gneco - L192B.



Fig. Anexo N .28 - Rua Coelho da Rocha - L79C.



Fig. Anexo N .29 - Rua Coelho da Rocha - L175A.



Fig. Anexo N .30 - Rua Ferreira Borges - L79C.



Fig. Anexo N .31 - Rua Ferreira Borges - L192B.



Fig. Anexo N .32 - Rua de Infantaria 16 - L79C.



Fig. Anexo N .33 - Rua de Infantaria 16 - L175A.



Fig. Anexo N .34 - Rua de Infantaria 16 - L192B.



Fig. Anexo N .35 - Rua Saraiva de Carvalho - L79C.



Fig. Anexo N .36 - Rua Saraiva de Carvalho - L175A.

Anexo O

Valores Médios dos Parâmetros

Baixa Pombalina

	b	d	f	h _B	h _M	h _R	R	ø	Δ h _B	Δh_R
	[m]	[m]	[MHz]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°]	[m]	[m]
R. Comércio	44.4	234.5	937	32.6	6.2	21.4	11.6	43.7	11.2	15.2
R. Ouro	44.2	365.5	937	32.6	8.0	22.9	12	22.5	9.7	14.9
R. Prata	43.8	438.2	937	32.6	8.2	22.5	12	41.2	10.1	14.3

Tab. Anexo O .1 - Valores médios dos parâmetros para a estação L101A.

Tab. Anexo O .2 - Valores médios dos parâmetros para a estação L31B.

	b [m]	d [m]	f [MHz]	h _B [m]	h _M [m]	h _R [m]	R [m]	φ [°]	∆ h _B [m]	Δh _R [m]
R. Comércio	44.4	757.7	937	76	6.2	45.1	11.6	66.7	30.9	38.9
R. Ouro	44.2	529.1	937	76	8.0	49.2	12	29.5	26.8	41.1
R. Prata	43.8	615.0	937	76	8.2	42.1	12	41.4	33.9	33.9

Campo de Ourique

	b [m]	d [m]	f [MHz]	h _B [m]	h _M [m]	h _R [m]	R [m]	φ [°]	∆ h _B [m]	Δh _R [m]
R. F. Borges	75	384.9	937	125.6	97.5	112.0	20	9.4	13.6	14.5
R. A. Gneco	69.5	547.9	937	125.6	93.2	109.5	15	35.8	16.1	16.3
R. C. Rocha	102	631.6	937	125.6	97.2	111.8	20	71.2	13.8	14.6

Tab. Anexo O .3 - Valores médios dos parâmetros para a estação L79C.

Tab. Anexo O .4 - Valores médios dos parâmetros para a estação L175A.

	b [m]	d [m]	f [MHz]	h _B [m]	h _M [m]	h _R [m]	R [m]	¢ [°]	Δ h _B [m]	Δh_R [m]
R. A. Gneco	69.5	469.4	937	99.4	93.2	104.8	15	10.8	-5.4	11.6
R. C.Rocha	102	403.5	937	99.4	97.2	104.5	20	60.1	-5.1	7.3

Tab. Anexo O .5 - Valores para a estação L192B.

	b	d	f	h _B	h _M	h _R	R	ø	Δh_B	Δh_{M}
	[m]	[m]	[MHz]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°]	[m]	[m]
R. F. Borges	75	760.8	937	100.4	97.5	107.0	20	61.6	-6.6	9.5
R. A. Gneco	69.5	539.9	937	100.4	93.2	106.0	15	36.5	-5.6	12.8

Anexo P

Caracerização Estatística para as Restantes Ruas

_				Мо	delos Ori	iginais e	Combina	dos	
EB	Rua	C.Est.	MI	MX	WB	Ι	XI	XX	С
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 5.7	- 9.8	- 15.0	- 5.7	- 5.7	- 9.8	- 10.6
L31B	Conceição	$\overline{ \Delta }$ [dB]	6.0	9.8	15.0	6.0	6.0	9.8	10.6
	σ [dB]	3.7	4.0	3.9	3.7	3.7	4.0	4.1	
		$\overline{\Delta}$ [dB]	0.5	- 3.2	- 6.7	0.4	0.5	-3.2	-3.6
L31B	Correiros	$\overline{ \Delta }$ [dB]	4.5	5.0	7.4	4.5	4.5	5.0	5.4
		σ [dB]	5.7	5.3	5.3	5.7	5.7	5.3	5.6
		$\overline{\Delta}$ [dB]	3.0	0.7	- 3.5	3.0	3.0	0.7	- 1.3
L31B	Fanqueiros	$\overline{ \Delta }$ [dB]	5.5	4.4	5.1	5.5	5.5	4.4	4.7
		σ [dB]	5.9	5.4	5.6	5.9	5.9	5.4	5.7
		$\overline{\Delta}$ [dB]	1.5	- 0.9	- 5.2	1.5	1.5	- 0.9	- 2.7
L31B	Madalena	$\overline{ \Delta }$ [dB]	5.8	5.6	6.6	5.8	5.8	5.6	6.1
		σ [dB]	6.4	6.1	6.0	6.4	6.4	6.1	6.3
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 5.7	- 10.3	- 14.1	- 5.9	- 5.9	- 10.4	- 11.2
L31B	São Julião	$\overline{ \Delta }$ [dB]	5.8	10.3	14.1	6.0	6.0	10.4	11.2
		σ [dB]	3.0	3.1	3.1	3.0	3.0	3.2	3.3
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 0.5	- 4.2	- 7.6	- 0.5	- 0.5	- 4.2	- 5.1
L31B	Sapateiros	$\overline{ \Delta }$ [dB]	3.7	4.9	7.9	3.7	3.7	4.9	6.0
		σ [dB]	4.8	4.3	4.3	4.9	4.9	4.3	5.5

Tab. Anexo P .1 - Caracterização estatística, para a EB L31B, para os vários modelos.

				Мо	delos Ori	iginais e	Combina	dos	
EB	Rua	C.Est.	MI	MX	WB	Ι	XI	XX	С
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 8.6	- 8.8	- 16.6	- 9.0	- 8.8	- 9.0	- 13.5
L101A	Conceição	$\overline{ \Delta }$ [dB]	8.7	8.9	16.6	9.0	8.9	9.0	13.5
	σ [dB]	2.9	3.0	3.0	3.0	2.9	3.0	3.2	
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 8.1	- 7.0	- 11.7	- 13.2	- 7.8	- 6.6	- 14.2
L101A	Correiros	$\overline{ \Delta }$ [dB]	8.3	7.5	11.8	13.2	8.0	7.2	14.2
		σ [dB]	3.9	4.6	4.7	3.3	4.0	4.8	3.5
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 5.4	- 5.2	- 10.7	- 9.9	- 5.2	- 4.9	- 10.5
L101A	Fanqueiros	$\overline{ \Delta }$ [dB]	6.1	5.7	10.7	10.6	5.9	5.4	10.5
		σ [dB]	3.9	3.6	3.6	5.3	3.8	3.7	3.4
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 5.8	- 6.1	- 11.7	- 10.3	- 5.6	- 5.8	- 11.0
L101A	Madalena	$\overline{ \Delta }$ [dB]	6.8	6.9	12.2	11.1	6.5	6.6	11.5
		σ [dB]	5.0	4.5	4.4	6.6	4.8	4.4	4.5
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 3.8	- 4.4	- 10.1	- 4.3	- 4.0	- 4.5	- 9.2
L101A	São Julião	$\overline{ \Delta }$ [dB]	4.9	5.0	10.1	5.4	5.1	5.2	9.3
		σ [dB]	3.8	3.3	3.4	4.1	3.9	3.4	3.8
		$\overline{\Delta}$ [dB]	- 5.1	- 2.8	- 7.7	- 9.9	- 4.8	- 2.5	- 12.5
L101A	Sapateiros	$\overline{ \Delta }$ [dB]	5.7	5.2	8.0	9.9	5.6	5.3	12.5
		σ [dB]	4.3	5.4	5.6	2.6	4.6	5.6	3.9

Tab. Anexo P .2 - Caracterização estatística, para a EB L101A, para os vários modelos.

			Modelos Originais e Combinados								
EB	Rua	C.Est.	MI	MX	WB	Ι	XI	XX	С		
	Almeida	$\overline{\Delta}$ [dB]	- 9.6	- 9.7	- 17.7	- 9.7	- 9.7	- 9.7	- 15.8		
L79C	e	$\overline{ \Delta }$ [dB]	9.6	9.7	17.7	9.7	9.7	9.7	15.8		
	Sousa	σ [dB]	3.3	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	4.0		
	Infantaria	$\overline{\Delta}$ [dB]	- 1.5	- 1.6	- 9.6	- 1.5	- 1.5	- 1.6	- 6.9		
L79C	Dezasseis	$\overline{ \Delta }$ [dB]	3.7	3.5	9.6	3.7	3.7	3.5	7.2		
		σ [dB]	4.1	4.0	4.0	4.1	4.1	4.0	4.5		
	Quatro	$\overline{\Delta}$ [dB]	- 6.1	3.1	- 3.5	- 6.2	- 6.2	3.0	- 12.5		
L79C	de	$\overline{ \Delta }$ [dB]	7.3	5.6	4.9	7.4	7.4	5.6	12.5		
	Infantaria	σ [dB]	7.2	5.4	5.6	7.4	7.4	5.6	6.6		
	Saraiva	$\overline{\Delta}$ [dB]	- 10.8	- 10.8	- 18.5	- 11.7	- 11.4	- 11.4	- 16.7		
L79C	de	$\overline{ \Delta }$ [dB]	10.8	10.8	18.5	11.7	11.4	11.4	16.7		
	Carvalho	σ [dB]	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.8		

Tab. Anexo P .3 - Caracterização estatística, para a EB L79C, para os vários modelos.

			Mode C	elos Origina ombinados	is e
EB	Rua	C.Est.	XI	XX	С
	Almeida	$\overline{\Delta}$ [dB]	2.7	3.0	- 7.5
L175A	e	$\overline{ \Delta }$ [dB]	6.6	6.4	9.8
	Sousa	σ [dB]	9.1	8.9	8.3
	Infantaria	$\overline{\Delta}$ [dB]	6.0	5.8	- 5.9
L175A	Dezasseis	$\overline{ \Delta }$ [dB]	6.4	6.3	8.8
		σ [dB]	8.6	8.6	8.2
	Quatro	$\overline{\Delta}$ [dB]	- 1.1	3.3	- 16.8
L175A	de	$\overline{ \Delta }$ [dB]	2.6	4.7	16.8
	Infantaria	σ [dB]	3.3	4.0	2.5
	Saraiva	$\overline{\Delta}$ [dB]	- 3.0	- 1.6	- 5.2
L175A	de	$\overline{ \Delta }$ [dB]	13.3	12.3	9.9
	Carvalho	σ [dB]	14.5	13.4	10.8

Tab. Anexo P .4 - Caracterização estatística, para a EB L175A, para os vários modelos.

Tab. Anexo P .5 - Caracterização estatística, para a EB L192B, para os vários modelos.

			Mode C	elos Origina ombinados	is e
EB	Rua	C.Est.	XI	XX	С
	Almeida	$\overline{\Delta}$ [dB]	- 6.5	- 5.3	- 14.9
L192B	e	$\overline{ \Delta }$ [dB]	6.7	5.7	14.9
	Sousa	σ [dB]	3.1	3.4	3.1
	Infantaria	$\overline{\Delta}$ [dB]	- 3.4	- 2.2	- 10.9
L192B	Dezasseis	$\overline{ \Delta }$ [dB]	4.9	4.6	11.0
		σ [dB]	5.1	5.6	4.0
	Quatro	$\overline{\Delta}$ [dB]	5.2	5.5	- 6.8
L192B	de	$\overline{ \Delta }$ [dB]	5.2	5.5	6.8

Infantaria σ [dB]	2.8	2.9	2.5
-------------------	-----	-----	-----

Errata

	Onde se lê	Deve ler-se
pág. 33, linha 10	Walfish e Bertoni	Ikegami
pág. 33, Tab. 3.4	$L_{rts}WB$	$L_{rts}C$
pág. 33, Tab. 3.4	$L_{rts}C$	$L_{rts}I$
pág. 34, linha 4, 5	Walfish e Bertoni	Ikegami
pág. 79, linha 20	Rua da Coelho da Rocha	Rua Coelho da Rocha