

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO



PLANEAMENTO CELULAR EM UMTS

Alberto Marinho, N°43701
David Antunes, N°43739

Sob a orientação de

Prof. Luís M. Correia

Secção de Propagação e Radiação
Departamento de Engenharia Electrotécnica e Computadores
Instituto Superior Técnico

‘Deus quer, o homem sonha, a obra nasce!’

Fernando Pessoa, A Mensagem.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Doutor Luís Manuel Correia, por ter proposto este trabalho, pela sua disponibilidade, pela sua orientação e apoio prestados ao longo deste tempo, pela generosidade na partilha dos seus conhecimentos, pelas suas reuniões semanais, pelas reuniões mensais, pelos seus comentários, pela motivação que nos deu, pela excepcional oportunidade que nos deu de tomarmos contacto com uma ferramenta de planeamento de UMTS “a sério” através do projecto ASILUM e pelos jantares, uma outra forma de convívio.

Ao pessoal do Laboratório João Figanier (e não só!): Hugo Rebordão, Rui Espadinha e Juan Mendez pelas conversas, as piadas e pelas trocas de experiências e de conhecimentos que partilhámos uns com os outros.

Ao pessoal das *Reuniões Móveis*, em especial a Gabriela Marques, Lúcio Ferreira e João Gil por partilharem connosco os seus conhecimentos e o seu trabalho, e nos darem sugestões e alento para continuarmos em frente.

Aos Engenheiros Carlos Caseiro e Pedro Lourenço da Telecel Vodafone pelas informações disponibilizadas.

Ao pessoal do Curso, com quem partilhámos estes cinco anos da nossa existência. Sem qualquer ordem de preferência: “Mangas”, Eduardo, Serras, Barriguinha, Caiado, Braz, Guida, Hélder, “JASP”

Aos nossos amigos, também sem qualquer ordem de preferência: “Puritanos”, Nuno Lima, Henrique, Samuel, Pedro, Rita, Sérgio Namora, Nuno Leitão, Hélder Prata, Solange, Nuno Marques e outras pessoas que por esquecimento momentâneo possam não figurar nesta lista.

À Anabela, pela paciência quase infinita e auxílio prestado ao longo destes anos.

E claro à nossa família pelo encorajamento, pela paciência e pela compreensão.

RESUMO

O objectivo deste trabalho é executar um estudo sobre o planeamento celular em UMTS, no modo FDD, considerando quer aspectos de propagação, quer aspectos relacionados com tráfego. Abordam-se questões relacionadas com o tráfego misto em UMTS, os serviços expectavelmente fornecidos, o espectro atribuído e, essencialmente, o acesso múltiplo em UMTS baseado em WCDMA que condiciona o processo de planeamento.

Foi desenvolvida uma ferramenta (simples) de planeamento na linguagem MATLAB que implementa uma aproximação analítica, em que é possível definir um grande número de parâmetros intimamente relacionados com o planeamento celular em UMTS: características dos serviços a oferecer (ritmo binário, relação sinal-ruído em ligação ascendente/descendente); perfil de tráfego; taxa de penetração dos serviços de UMTS; ambiente de propagação, perdas de penetração em edifícios/veículos.

Através desta aproximação analítica, cujo resultado final é a obtenção de valores correspondentes ao raio das células e à potência de emissão das estações de base, foram analisados três perfis de tráfego: um perfil de tráfego proposto pelo UMTS Forum, outro proposto pela Telecel Vodafone e finalmente o perfil de tráfego proposto pelo projecto Europeu ASILUM. Procedeu-se a vários tipos de análises de sensibilidade: considerando ou não os serviços de maior débito; considerando ou não perdas de penetração em interiores/veículos; executando ligeiras variações no perfil de tráfego; alterando a taxa de penetração dos serviços UMTS.

Posteriormente teve-se acesso a um simulador de UMTS em tempo real denominado SLEP e que permite aferir da validade dos resultados obtidos através da aproximação analítica desenvolvida.

Os resultados obtidos indicam que a aproximação analítica desenvolvida, ainda que simples, é bastante eficiente dado que produz resultados semelhantes aos do SLEP mas necessitando de muito menos tempo de processamento.

Verificou-se que a disponibilização de ritmos binários elevados bem como a cobertura de ambientes interiores imporá limitações significativas ao nível das dimensões celulares, exigindo também uma maior disponibilidade de potência por parte da estação de base. De entre a diversidade de serviços existentes, é de realçar que para o mesmo débito binário, os serviços baseados em comutação de circuitos exigem maiores recursos da rede rádio.

PALAVRAS CHAVE

Planeamento celular. UMTS. WCDMA. Códigos. Balanços de potência (*link budgets*). Interferência. Factor de carga.

ÍNDICE

Agradecimentos	v
Resumo e Palavras chave	vii
Índice	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xxi
Lista de Siglas	xxvii
Lista de Símbolos	xxix
1 Introdução	1
2 Aspectos Teóricos	3
2.1 SERVIÇOS EM UMTS E SUAS CARACTERÍSTICAS	3
2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO UMTS	7
2.2.1 Estrutura Celular	7
2.2.2 Espectro e Acesso Múltiplo	8
2.2.3 Códigos e Espalhamento Espectral	11
2.3 MODELOS DE PROPAGAÇÃO	13
2.4 TRÁFEGO	15
2.5 CENÁRIOS DE UTILIZAÇÃO	17
3 Planeamento Celular em UMTS	21
3.1 DIMENSIONAMENTO	21
3.1.1 Configuração das Ligações – Balanços de Potência	21
3.1.2 Influência da Interferência na Dimensão das Células	23
3.1.3 Atenuação de Propagação	27
3.2 DESCRIÇÃO DA APROXIMAÇÃO ANALÍTICA UTILIZADA PARA O DIMENSIONAMENTO DAS CÉLULAS	28
3.3 DESCRIÇÃO DO SIMULADOR SLEP	32
4 Análise de Resultados	35
4.1 PERSPECTIVA DO UMTS FORUM	35
4.1.1 Utilização em Mono-Serviço	35
4.1.2 Utilização em Multi-Serviço	38
4.2 PERSPECTIVA DA TELECEL VODAFONE	42
4.2.1 Utilização em Mono-Serviço	42
4.2.2 Utilização em Multi-Serviço	45
4.2.3 Análise da Sensibilidade do Sistema a Variações de Tráfego	49
4.3 PERSPECTIVA DO ASILUM	56
4.3.1 Aplicação do Simulador SLEP	56
4.3.2 Aplicação do Método Analítico Desenvolvido	59
5 Conclusões	63

Anexo A – Aspectos Técnicos em UMTS	A-1
A.1 MODO TDD	A-1
A.2 HANDOVER	A-2
A.3 ESTRUTURA DAS TRAMAS E MODULAÇÃO NOS CANAIS ASCENDENTE E DESCENDENTE	A-3
Anexo B – Modelos de Propagação	B-1
B.1 MODELO DE OKUMURA-HATA	B-1
B.2 MODELO DO COST 231 – WALFISCH-IKEGAMI	B-3
B.3 COBERTURA	B-6
Anexo C – Bloqueio em Comutação de Circuitos-	C-1
Anexo D – Previsões de Tráfego em UMTS	D-1
Anexo E – Previsões de Tráfego para a Cidade de Lisboa	E-1
Anexo F – Balanços de Potência	F-1
Anexo G – Aproximações Lineares Como Forma de Cálculo de Relações Sinal-Ruído	G-1
Anexo H – Obtenção da Expressão do Factor de Carga em Ligação Ascendente	H-1
Anexo I – Características das Bibliotecas Utilizadas pelo Simulador SLEP	I-1
Anexo J – Dimensões e Cargas das Células Resultantes da Aplicação Das Previsões de Tráfego do UMTS Forum Considerando Ligações Mono-Serviço	J-1
Anexo K – Dimensões e Cargas das Células Resultantes da Aplicação Das Previsões de Tráfego do UMTS Forum Considerando Ligações Multi-Serviço	K-1
Anexo L – Dimensões e Carga das Células Resultantes da Aplicação Das Previsões de Tráfego da Telecel Vodafone Considerando Ligações Mono-Serviço	L-1
Anexo M – Dimensões e Cargas das Células Resultantes da Aplicação Das Previsões de Tráfego da Telecel Vodafone Considerando Ligações Multi-Serviço	M-1

Anexo N – Perfis de Tráfego Utilizados em Análises de Sensibilidade-	N-1
N.1 TRÁFEGO USADO ORIGINALMENTE	N-1
N.2 AUMENTO DE 5% DO TRÁFEGO EM COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS	N-4
N.3 AUMENTO DE 10% DO TRÁFEGO EM COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS	N-6
N.4 AUMENTO DE 5% DO TRÁFEGO EM COMUTAÇÃO DE PACOTES	N-9
N.5 AUMENTO DE 10% DO TRÁFEGO EM COMUTAÇÃO DE PACOTES	N-12
N.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS	N-14
 Anexo O – Resultados Obtidos para Ambientes e Cenários Considerados no SLEP	 O-1
 Anexo P – Dimensões e cargas das Células Resultantes da Aplicação Das previsões de Tráfego do ASILUM Considerando Ligações Multi-Serviço	 P-1
 Referências	 R-1

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Débito binário em função da mobilidade do utilizador para vários sistemas (extraído de [3GGe00]).-----	3
Figura 2.2	Rede UMTS baseada em três camadas celulares (extraído de [UMTS98b]).-----	8
Figura 2.3	Espectro disponível para UMTS por região (extraído de [UMTS98b]).-----	8
Figura 2.4	Exemplo de controlo de potência em ligação ascendente (extraído de [HoTo00]).-----	10
Figura 2.5	Início da árvore de códigos OVSF (extraído de [Aghv00]).-----	11
Figura 3.1	Factor de carga na ligação ascendente em função do débito binário oferecido para diferentes factores de ortogonalidade.-----	24
Figura 3.2	Variação da margem de interferência com o factor de carga.-----	25
Figura 3.3	Variação do factor de carga com o número de utilizadores considerando apenas ligações mono-serviço e utilizadores de classe pedestre.-----	26
Figura 3.4	Percentagem de códigos ocupados em função do factor de carga na ligação descendente.-----	27
Figura 3.5	Atenuação de propagação em função do número de utilizadores Considerando ligações mono-serviço.-----	27
Figura 3.6	Determinação do raio máximo das células que permite oferecer cobertura a todos os serviços em qualquer ambiente e qualquer cenário.-----	29
Figura 3.7	Exemplo de equilíbrio de ligação.-----	30
Figura 3.8	Processo iterativo para cálculo do raio para o qual se têm factores de carga iguais ou menores que 50%.-----	31
Figura 3.9	Processo iterativo para cálculo do raio para o qual se tem uma potência de estação de base de 43 dBm.-----	31
Figura 3.10	Processo iterativo para cálculo do raio, paralelo aos processos ilustrados nas figuras 3.8 e 3.9.-----	32
Figura 4.1	Resultados para ambiente urbano denso considerando cobertura de interiores, previsões para 2005.-----	38

Figura 4.2	Aproximação analítica (ligação ascendente) usada para obter o raio máximo das células, ambiente urbano denso, com perdas de penetração em interiores, para rede consolidada, serviço de 384 kbps.- -----	46
Figura 4.3	Resultados para ambiente CBD, cenário 1.-----	56
Figura A.1	Características do modo TDD.-----	A1
Figura A.2	Princípio do <i>soft handover</i> e do <i>hard handover</i> (extraído de [CDMA96]).-----	A2
Figura A.3	Estrutura das tramas nas ligações descendente e ascendente (extraído de [3GPP00c]).-----	A3
Figura A.4	Operações de espalhamento e modulação no modo FDD (extraído de [Fern00]).-----	A4
Figura B.1	Cenário de propagação do modelo de Okumura-Hata (extraído de [OOKF68]).-----	B2
Figura B.2	Atenuação de propagação dada pelo modelo de Okumura-Hata numa cidade grande.-----	B2
Figura B.3	Cenário de propagação do modelo do COST 231 (Extraído de [Corr93]).-----	B4
Figura B.4	Atenuação de propagação considerando a transição entre os dois modelos utilizados para $f=1\,980$ MHz, cidade grande em ambiente urbano.-----	B5
Figura B.5	Percentagem de zonas cobertas em função da margem de desvanecimento para os modelos de Okumura-Hata ($\sigma=10,5$ dB) e de Walfisch-Ikegami ($\sigma=6$ dB).-----	B7
Figura C.1	Variação do bloqueio em função do tráfego para vários números de canais.-----	C2
Figura D.1	Procedimento de cálculo de OBQ (extraído de [UMTS98c]).-----	D4
Figura G.1	Interpolações lineares como forma de obtenção de relações sinal-ruído.-----	G2
Figura I.1	Exemplo de escolha de uma antena com base no diagrama de radiação pretendido. -----	I1
Figura I.2	Escolha de um agregado.-----	I1
Figura I.3	Exemplo de perfil de mobilidade.-----	I2

Figura I.4	Definição das características dos serviços.-----	I3
Figura I.5	Caracterização do canal rádio.-----	I5
Figura I.6	Configuração do ficheiro de simulação.-----	I5
Figura I.7	Configuração de uma tipologia geográfica.-----	I7
Figura I.8	Parâmetros das estações base.-----	I9
Figura I.9	Implementação das estações base.-----	I9
Figura I.10	Mapas de cobertura.-----	I10
Figura I.11	Exemplo de uma simulação em progresso.-----	I10
Figura J.1	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso,(voz).-----	J2
Figura J.2	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (voz).-----	J3
Figura J.3	Raio e factores de carga em ambiente rural (voz).-----	J4
Figura J.4	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (64 kbps CS).----	J5
Figura J.5	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (64 kbps CS).-----	J6
Figura J.6	Raio e factores de carga em ambiente rural (64 kbps CS).-----	J7
Figura J.7	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (64 kbps PS).----	J8
Figura J.8	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (64 kbps PS).-----	J9
Figura J.9	Raio e factores de carga em ambiente rural (64 kbps PS).-----	J10
Figura J.10	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (144 kbps CS).---	J11
Figura J.11	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (144 kbps CS).-----	J12
Figura J.12	Raio e factores de carga em ambiente rural (144 kbps CS).-----	J13
Figura J.13	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (144 kbps PS).---	J14
Figura J.14	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (144 kbps PS).-----	J15
Figura J.15	Raio e factores de carga em ambiente rural (144 kbps PS).-----	J16
Figura J.16	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (384 kbps PS).---	J17
Figura J.17	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (384 kbps PS).-----	J18

Figura J.18	Raio e factores de carga em ambiente rural (384 kbps PS).-----	J19
Figura J.19	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (2 Mbps PS).-----	J20
Figura J.20	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (2 Mbps PS).-----	J21
Figura J.21	Raio e factores de carga em ambiente rural (2 Mbps PS).-----	J22
Figura K.1	Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 2 Mbps, sem interiores).-----	K1
Figura K.2	Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 2 Mbps, sem interiores).-----	K2
Figura K.3	Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 2 Mbps, sem interiores).-----	K3
Figura K.4	Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 2 Mbps, interiores).-----	K3
Figura K.5	Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 2 Mbps, interiores).-----	K4
Figura K.6	Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 2 Mbps, interiores).-----	K5
Figura K.7	Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 384 kbps, sem interiores).-----	K5
Figura K.8	Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 384 kbps, sem interiores).-----	K6
Figura K.9	Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 384 kbps, sem interiores).-----	K7
Figura K.10	Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 384 kbps, interiores).-----	K7
Figura K.11	Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 384 kbps, interiores).-----	K8
Figura K.12	Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 384 kbps, interiores).-----	K9
Figura K.13	Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 144 kbps, sem interiores).-----	K9
Figura K.14	Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 144 kbps, sem interiores).-----	K10

Figura K.15	Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 144 kbps, sem interiores).-----	K11
Figura K.16	Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 144 kbps, interiores).-----	K12
Figura K.17	Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 144 kbps, sem interiores).-----	K12
Figura K.18	Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 144 kbps, sem interiores).-----	K13
Figura L.1	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (voz).-----	L2
Figura L.2	Raio e factores de carga em ambiente urbano (voz).-----	L3
Figura L.3	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (voz).-----	L4
Figura L.4	Raio e factores de carga em ambiente rural (voz).-----	L5
Figura L.5	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (64 kbps CS).----	L6
Figura L.6	Raio e factores de carga em ambiente urbano (64 kbps CS).-----	L7
Figura L.7	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (64 kbps CS).-----	L8
Figura L.8	Raio e factores de carga em ambiente rural (64 kbps CS).-----	L9
Figura L.9	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (64 kbps PS).----	L10
Figura L.10	Raio e factores de carga em ambiente urbano (64 kbps PS).-----	L11
Figura L.11	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (64 kbps PS).-----	L12
Figura L.12	Raio e factores de carga em ambiente rural (64 kbps PS).-----	L13
Figura L.13	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (144 kbps CS).---	L14
Figura L.14	Raio e factores de carga em ambiente urbano (144 kbps CS).-----	L15
Figura L.15	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (144 kbps CS).-----	L16
Figura L.16	Raio e factores de carga em ambiente rural (144 kbps CS).-----	L17
Figura L.17	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (144 kbps PS).---	L18
Figura L.18	Raio e factores de carga em ambiente urbano (144 kbps PS).-----	L19
Figura L.19	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (144 kbps PS).-----	L20

Figura L.20	Raio e factores de carga em ambiente rural (144 kbps PS).-----	L21
Figura L.21	Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (384 kbps PS).---	L22
Figura L.22	Raio e factores de carga em ambiente urbano (384 kbps PS).-----	L23
Figura L.23	Raio e factores de carga em ambiente suburbano (384 kbps PS).-----	L24
Figura L.24	Raio e factores de carga em ambiente rural. (384 kbps PS)-----	L25
Figura M.1	Resultados para ambiente urbano denso, rede inicial (até 384 kbps ,sem interiores).-----	M1
Figura M.2	Resultados para ambiente urbano, rede inicial (até 384 kbps ,sem interiores).-----	M2
Figura M.3	Resultados para ambiente suburbano, rede inicial (até 384 kbps ,sem interiores).-----	M3
Figura M.4	Resultados para ambiente rural, rede inicial (até 384 kbps ,sem interiores).-----	M3
Figura M.5	Resultados para ambiente urbano denso, rede consolidada (até 384 kbps ,sem interiores).-----	M4
Figura M.6	Resultados para ambiente urbano, rede consolidada (até 384 kbps ,sem interiores).-----	M5
Figura M.7	Resultados para ambiente suburbano, rede consolidada (até 384 kbps ,sem interiores).-----	M5
Figura M.8	Resultados para ambiente rural, rede consolidada (até 384 kbps ,sem interiores).-----	M6
Figura M.9	Resultados para ambiente urbano denso, rede inicial (até 384 kbps ,interiores).-----	M7
Figura M.10	Resultados para ambiente urbano, rede inicial (até 384 kbps ,interiores).-----	M7
Figura M.11	Resultados para ambiente suburbano, rede inicial (até 384 kbps ,interiores).-----	M8
Figura M.12	Resultados para ambiente rural, rede inicial (até 384 kbps ,interiores).-----	M9
Figura M.13	Resultados para ambiente urbano denso, rede consolidada (até 384 kbps ,interiores).-----	M9

Figura M.14	Resultados para ambiente urbano, rede consolidada (até 384 kbps ,interiores).-----	M10
Figura M.15	Resultados para ambiente suburbano, rede consolidada (até 384 kbps ,interiores).-----	M11
Figura M.16	Resultados para ambiente rural, rede consolidada (até 384 kbps ,interiores).-----	M11
Figura M.17	Resultados para ambiente urbano denso, rede inicial (até 144 kbps ,sem interiores).-----	M12
Figura M.18	Resultados para ambiente urbano, rede inicial (até 144 kbps ,sem interiores).-----	M13
Figura M.19	Resultados para ambiente suburbano, rede inicial (até 144 kbps ,sem interiores).-----	M13
Figura M.20	Resultados para ambiente rural, rede inicial (até 144 kbps ,sem interiores).-----	M14
Figura M.21	Resultados para ambiente urbano denso, rede consolidada (até 144 kbps ,sem interiores).-----	M15
Figura M.22	Resultados para ambiente urbano, rede consolidada (até 144 kbps ,sem interiores).-----	M15
Figura M.23	Resultados para ambiente suburbano, rede consolidada (até 144 kbps ,sem interiores).-----	M16
Figura M.24	Resultados para ambiente rural, rede consolidada (até 144 kbps ,sem interiores).-----	M17
Figura M.25	Resultados para ambiente urbano denso, rede inicial (até 144 kbps ,interiores).-----	M17
Figura M.26	Resultados para ambiente urbano, rede inicial (até 144 kbps ,interiores).-----	M18
Figura M.27	Resultados para ambiente suburbano, rede inicial (até 144 kbps ,interiores).-----	M19
Figura M.28	Resultados para ambiente rural, rede inicial (até 144 kbps ,interiores).-----	M19
Figura M.29	Resultados para ambiente urbano denso, rede consolidada (até 144 kbps ,interiores).-----	M20
Figura M.30	Resultados para ambiente urbano, rede consolidada (até 144 kbps ,interiores).-----	M21

Figura M.31	Resultados para ambiente suburbano, rede consolidada (até 144 kbps , interiores).-----	M21
Figura M.32	Resultados para ambiente rural, rede consolidada (até 144 kbps , interiores).-----	M22
Figura O.1	Aproximação linear e polinomial aos dados obtidos pelo simulador SLEP no ambiente CBD.-----	O3
Figura O.2	Aproximação linear e polinomial aos dados obtidos pelo simulador SLEP no ambiente urbano pedestre.-----	O5
Figura O.3	Aproximação linear e polinomial aos dados obtidos pelo simulador SLEP no ambiente urbano veicular.-----	O7
Figura O.4	Aproximação linear e polinomial aos dados obtidos pelo simulador SLEP no ambiente rural.-----	O9
Figura P.1	Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente CBD.-----	P1
Figura P.2	Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano pedestre.-----	P2
Figura P.3	Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano veicular.-----	P3
Figura P.4	Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente rural.-----	P3

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Características dos serviços segundo o UMTS Forum (extraído de [UMTS98c]).-----	5
Tabela 2.2	Classes de serviços segundo a classificação do 3GPP (extraído de [3GPP00a]).-----	6
Tabela 2.3	Qualidade de Serviço para algumas aplicações (extraído de [UMTS00d]).-----	6
Tabela 2.4	Potenciais utilizadores por ambiente (extraído de [UMTS98c]).-----	7
Tabela 2.5	Propriedades associadas aos diferentes tipos de células (extraído de [UMTS98b]).-----	8
Tabela 2.6	Factores de espalhamento (extraído de [HoTo00]).-----	12
Tabela 2.7	Diferentes tipos de códigos utilizados em WCDMA (extraído de [HoTo00]).-----	13
Tabela 2.8	Previsões de Tráfego do UMTS Forum para 2005.-----	18
Tabela 2.9	Dados de tráfego fornecidos pela Telecel Vodafone.-----	19
Tabela 3.1	Relações sinal-ruído desejadas para os vários serviços.-----	23
Tabela 3.2	Factores de ortogonalidade para os diferentes ambientes e cenários.----	25
Tabela 3.3	Características dos ambientes simulados no programa SLEP (extraído de [MFCV01]).-----	33
Tabela 3.4	Características dos cenários simulados no programa SLEP (extraído de [MFCV01]).-----	34
Tabela 4.1	Resultados para ligações mono-serviço segundo a perspectiva do UMTS Forum.-----	36
Tabela 4.2	Resultados para os diferentes ambientes, para as previsões de 2005, com serviços até 2 048kbps.-----	39
Tabela 4.3	Resultados para os diferentes ambientes, para as previsões de 2005, considerando serviços até 384 kbps.-----	40
Tabela 4.4	Resultados para os diferentes ambientes, para as previsões de 2005, com serviços até 144 kbps.-----	41
Tabela 4.5	Resultados para ligações mono-serviço de acordo com a perspectiva da Telecel Vodafone para rede consolidada.-----	42

Tabela 4.6	Resultados para existência de serviços até 384 kbps.-----	45
Tabela 4.7	Resultados para existência de serviços até 144 kbps.-----	47
Tabela 4.8	Resultados para um aumento do tráfego de comutação de circuitos de 5%.-----	49
Tabela 4.9	Resultados para um aumento do tráfego de comutação de circuitos de 10%.-----	50
Tabela 4.10	Resultados para um aumento do tráfego de comutação de pacotes de 5%.-----	52
Tabela 4.11	Resultados para um aumento do tráfego de comutação de pacotes de 10%.-----	53
Tabela 4.12	Resultados considerando perdas adicionais de penetração.-----	54
Tabela 4.13	Resultados não considerando perdas adicionais de penetração.-----	55
Tabela 4.14	Resultados para a totalidade de ambientes e cenários.-----	58
Tabela 4.15	Relação de mobilidade entre os perfis do ASILUM e os dados requeridos pela aproximação analítica.-----	59
Tabela 4.16	Características da antena utilizada na aproximação analítica.-----	60
Tabela 4.17	Densidades populacionais utilizadas na aproximação analítica.-----	60
Tabela 4.18	Modelos de propagação utilizados na aproximação analítica.-----	61
Tabela 4.19	Dados para os perfis do ASILUM.-----	61
Tabela D.1	Principais características dos serviços considerados.-----	D1
Tabela D.2	Tentativas de ligação na hora de ponta para os diferentes ambientes e cenários (extraído de [UMTS98c]).-----	D2
Tabela D.3	Densidades de potenciais utilizadores para os diferentes ambientes e cenários.-----	D2
Tabela D.4	Previsões do UMTS Forum para as taxas de penetração dos serviços, para os diferentes ambientes no ano 2005 (extraído de [UMTS98c]).--	D3
Tabela D.5	Densidades efectivas de utilizadores.-----	D3
Tabela D.6	Previsões de tráfego para os diferentes serviços, ambientes e cenários.-----	D5
Tabela D.7	Previsões de tráfego.-----	D5

Tabela E.1	Dados relativos à população para ambiente urbano denso na cidade de Lisboa.-----	E1
Tabela E.2	Dados relativos à população para ambiente urbano na cidade de Lisboa.-----	E2
Tabela E.3	Dados relativos à população para ambiente suburbano na cidade de Lisboa.-----	E3
Tabela E.4	Dados geográficos relativos ao ambiente rural para o concelho de Braga.-----	E3
Tabela E.5	Dados gerais relativos à população efectiva de Lisboa.-----	E4
Tabela E.6	Dados de tráfego fornecidos pela Telecel Vodafone.-----	E5
Tabela F.1	Balanços de potência para o serviço de voz.-----	F1
Tabela F.2	Balanços de potência para o serviço a 64 kbps em comutação de circuitos.-----	F3
Tabela F.3	Balanços de potência para o serviço a 64 kbps em comutação de pacotes.-----	F5
Tabela F.4	Balanços de potência para o serviço a 144 kbps em comutação de circuitos.-----	F7
Tabela F.5	Balanços de potência para o serviço a 144 kbps em comutação de pacotes.-----	F9
Tabela F.6	Balanços de potência para o serviço a 384 kbps em comutação de pacotes.-----	F11
Tabela G.1	Relações sinal-ruído desejadas para os vários serviços.-----	G1
Tabela G.2	Valores usados para obter a relação sinal-ruído via interpolação linear.-----	G1
Tabela G.3	Relações sinal-ruído para 144 kbps em PS e ambientes <i>indoor</i> e pedestre.-----	G2
Tabela I.1	Modelos de antenas.-----	I2
Tabela I.2	Modelos de agregados de antenas.-----	I2
Tabela I.3	Modelos de mobilidade.-----	I3
Tabela I.4	Serviços considerados nas simulações.-----	I4

Tabela J.1	Raios e factores de carga para os vários serviços de acordo com a perspectiva do UMTS Forum.-----	J23
Tabela K.1	Resultados para as previsões de 2005, para serviços até 2 048 kbps.----	K14
Tabela K.2	Resultados para as previsões de 2005, para serviços até 384 kbps.-----	K14
Tabela K.3	Resultados para as previsões de 2005, para serviços até 144 kbps.-----	K15
Tabela L.1	Raios e factores de carga para os vários serviços de acordo com a perspectiva da Telecel Vodafone.-----	L27
Tabela M.1	Resultados para os diferentes ambientes, não considerando cobertura de interiores, para serviços até 384 kbps.-----	M23
Tabela M.2	Resultados para os diferentes ambientes, considerando cobertura de interiores, para serviços até 384 kbps.-----	M23
Tabela M.3	Resultados para os diferentes ambientes, não considerando cobertura de interiores, para serviços até 144 kbps.-----	M23
Tabela M.4	Resultados para os diferentes ambientes, considerando cobertura de interiores, para serviços até 144 kbps.-----	M23
Tabela N.1	Tráfego em ambiente urbano denso, rede inicial.-----	N1
Tabela N.2	Tráfego em ambiente urbano, rede inicial.-----	N1
Tabela N.3	Tráfego em ambiente suburbano, rede inicial.-----	N2
Tabela N.4	Tráfego em ambiente rural, rede inicial.-----	N2
Tabela N.5	Tráfego em ambiente urbano denso, rede consolidada.-----	N2
Tabela N.6	Tráfego em ambiente urbano, rede consolidada.-----	N3
Tabela N.7	Tráfego em ambiente suburbano, rede consolidada.-----	N3
Tabela N.8	Tráfego em ambiente rural, rede consolidada.-----	N3
Tabela N.9	Tráfego em ambiente urbano denso, rede inicial.-----	N4
Tabela N.10	Tráfego em ambiente urbano, rede inicial.-----	N4
Tabela N.11	Tráfego em ambiente suburbano, rede inicial.-----	N4
Tabela N.12	Tráfego em ambiente rural, rede inicial.-----	N5
Tabela N.13	Tráfego em ambiente urbano denso, rede consolidada.-----	N5

Tabela N.14	Tráfego em ambiente urbano, rede consolidada.-----	N5
Tabela N.15	Tráfego em ambiente suburbano, rede consolidada.-----	N6
Tabela N.16	Tráfego em ambiente rural, rede consolidada.-----	N6
Tabela N.17	Tráfego em ambiente urbano denso, rede inicial.-----	N6
Tabela N.18	Tráfego em ambiente urbano, rede inicial.-----	N7
Tabela N.19	Tráfego em ambiente suburbano, rede inicial.-----	N7
Tabela N.20	Tráfego em ambiente rural, rede inicial.-----	N7
Tabela N.21	Tráfego em ambiente urbano denso, rede consolidada.-----	N8
Tabela N.22	Tráfego em ambiente urbano, rede consolidada.-----	N8
Tabela N.23	Tráfego em ambiente suburbano, rede consolidada.-----	N8
Tabela N.24	Tráfego em ambiente rural, rede consolidada.-----	N9
Tabela N.25	Tráfego em ambiente urbano denso, rede inicial.-----	N9
Tabela N.26	Tráfego em ambiente urbano, rede inicial.-----	N9
Tabela N.27	Tráfego em ambiente suburbano, rede inicial.-----	N10
Tabela N.28	Tráfego em ambiente rural, rede inicial.-----	N10
Tabela N.29	Tráfego em ambiente urbano denso, rede consolidada.-----	N10
Tabela N.30	Tráfego em ambiente urbano, rede consolidada.-----	N11
Tabela N.31	Tráfego em ambiente suburbano, rede consolidada.-----	N11
Tabela N.32	Tráfego em ambiente rural, rede consolidada.-----	N11
Tabela N.33	Tráfego em ambiente urbano denso, rede inicial.-----	N12
Tabela N.34	Tráfego em ambiente urbano, rede inicial.-----	N12
Tabela N.35	Tráfego em ambiente suburbano, rede inicial.-----	N12
Tabela N.36	Tráfego em ambiente rural, rede inicial.-----	N13
Tabela N.37	Tráfego em ambiente urbano denso, rede consolidada.-----	N13
Tabela N.38	Tráfego em ambiente urbano, rede consolidada.-----	N13

Tabela N.39	Tráfego em ambiente suburbano, rede consolidada.-----	N14
Tabela N.40	Tráfego em ambiente rural, rede consolidada.-----	N14
Tabela N.41	Tráfego por utilizador nos vários ambientes para a rede inicial e rede consolidada.-----	N16
Tabela O.1	Densidade de utilizadores e erro quadrático médio que originam <i>satisfaction rate</i> de 95%para os vários ambientes e cenários.-----	O10
Tabela P.1	Resultados para os diferentes ambientes.-----	P4

LISTA DE SIGLAS

3G	-3 rd Generation.
3GPP	-3 rd Generation Partnership Project.
AAA	-Adaptive Antenna Array.
ASILUM	-Advanced Signal processing schemes for Link capacity increase in UMTS.
BER	-Bit Error Rate.
BHCA	-Busy Hour Call Attempts.
BS	-Base Station.
CBD	-Central Business District.
CDMA	-Code Division Multiple Access.
CS	-Circuit Switching.
DL	-DownLink.
DPCCH	-Dedicated Physical Control CHannel.
DPCH	-Dedicated Physical CHannel.
DPDCH	-Dedicated Physical Data CHannel.
FDD	-Frequency Division Duplex.
FDMA	-Frequency Division Multiple Access.
FER	-Frame Error Rate.
FIFO	-First In First Out.
GPRS	-General Packet Radio System.
GSM	-Global System for Mobile communications.
HIMM	-High Interactive MultiMedia.
HMM	-High MultiMedia.
IP	-Internet Protocol.
LAN	-Local Area Network.
MMM	-Medium Multimedia.
MS	-Mobile Station.
MUD	-Multi User Detection.
NLS	-Nível de Lobos Secundários.
OBQ	-Offered Bit Quantity.
OVSF	-Orthogonal Variable Spreading Factor.
PS	-Packet Switching.
QoS	-Quality of Service.
QPSK	-Quadrature Phase Shift Keying.
RU	-RUral.
SD	-Switched Data.
SLEP	-System Level Evaluation Platform.
SMS	-Short Message Service.
TD-CDMA	-Time Division – Code Division Multiple Access.
TDD	-Time Division Duplex.
TDMA	-Time Division Multiple Access.
TMA	-Tower Mounted Amplifier.
UHF	-Ultra High Frequency.
UL	-UpLink.
UMTS	-Universal Mobile Telecommunications System.
UP	-Urban Pedestrian.
UTRA	-Universal Terrestrial Radio Access.
UV	-Urban Vehicular.
V	-Voz.

VHE	-Virtual Home Environment.
WAP	-Wireless Application Protocol.
WCDMA	-Wideband Code Division Multiple Access.

LISTA DE SÍMBOLOS

α	-Factor de ortogonalidade.
φ	-Ângulo entre a direcção de propagação e o eixo da rua.
η_{dl}	-Factor de carga na ligação descendente.
η_{ul}	-Factor de carga na ligação ascendente.
λ	-Número médio de chamadas por unidade de tempo.
σ	-Constante de desvanecimento lento.
$\bar{\tau}$	-Duração média de uma chamada.
ν	-Factor de actividade do canal.
ΔP	-Margem de desvanecimento lento.
A	-Intensidade de tráfego oferecido à rede.
A_v	-Volume de tráfego.
C	-Número médio de chamadas.
C_c	- <i>Channelization code</i> do canal de controlo da ligação ascendente.
C_{ch}	- <i>Channelization code</i> da ligação descendente.
C_d	- <i>Channelization code</i> do canal de dados da ligação ascendente.
C_m	-Correcção à atenuação em função do tipo de cidade.
C_{scramb}	- <i>Scrambling code</i> .
d	-Distância entre a base e o móvel.
E_b/N_o	-Relação sinal-ruído.
f	-Frequência.
$F_{\text{área}}$	-Percentagem da área coberta dentro de uma dada distância.
F_{circ}	-Percentagem de locais cobertos a uma dada distância.
G_p	-Ganho de processamento.
G_E	-Ganho da antena de emissão.
G_R	-Ganho da antena de recepção.
h_b	-Altura da estação base.
h_{be}	-Altura efectiva da estação de base.
h_m	-Altura da antena do móvel em relação ao solo.
$H_{(m,u)}$	-Factor de ganho da altura da antena do móvel relativo a $h_m = 3\text{m}$.
H_B	-Altura dos prédios.
i	-Razão entre a interferência provocada pelas outras células e a interferência provocada internamente.
I_{total}	-Potência de banda larga total recebida.
k_a	-Aumento das perdas devido à estação de base estar abaixo do telhado.
k_d	-Dependência com a distância das perdas de difracção multilâmina.
k_f	-Dependência com a frequência das perdas de difracção multilâmina.
$\bar{L}$	-Atenuação de propagação média.
L_0	-Atenuação em espaço livre.
L_j	-Factor de carga de uma ligação em ascendente.
L_p	-Atenuação de propagação.
L_{tm}	-Perdas por difracção entre o telhado e o móvel.
L_{tt}	-Perdas por difracção multilâmina entre telhados.
MI	-Margem de interferência.
n	-Expoente do modelo de propagação.
N	-Número de utilizadores.
N_c	-Número de canais.

N_{indisp}	-Número de códigos ocupados com factor de espalhamento SF_{indisp} .
N_{ocup}	-Número de códigos ocupados com factor de espalhamento SF_{ocup} .
N_{rf}	-Densidade espectral de ruído.
P_b	-Probabilidade de bloqueio de acordo com a fórmula de Erlang-B.
P_e	-Potência do emissor.
P_j	-Potência do sinal desejado.
P_{min}	-Sensibilidade
P_n	-Potência devida ao ruído térmico.
P_R	-Potência recebida.
R_b	-Débito binário originado por utilizador.
SF	-Factor de espalhamento.
SF_{indisp}	-Factor de espalhamento dos códigos indisponíveis, N_{indisp} .
SF_{ocup}	-Factor de espalhamento dos códigos ocupados, N_{ocup} .
T	-Intervalo de tempo de medida.
w_s	-Largura das ruas.
W	- <i>Chip-rate</i> .
W_B	-Distância entre eixos dos prédios.

1. INTRODUÇÃO

Muitos investigadores concluíram que todos os seres vivos desenvolveram sistemas de comunicação adequados às suas necessidades: as formigas comunicam através do contacto das suas antenas; as abelhas executam uma pequena dança quando encontram uma planta a florir, etc. Estes factos dão-nos uma indicação clara da necessidade que os seres vivos possuem de manter contacto uns com os outros. O ser humano não é diferente dos outros animais neste aspecto; desde a Idade da Pedra demonstrou a necessidade em comunicar à distância, atravessar o espaço e o tempo à procura de outras comunidades, outras culturas, outras gentes. O Homem, em permanente devir com o meio, age, ouve, vê, sente-se atraído pelo desconhecido, procura o conhecimento em direcção à perfeição utilizando a comunicação como meio privilegiado para evoluir e fazer evoluir. Em suma, Homem é Comunicação !

As telecomunicações estão numa época de grande evolução e desenvolvimento devido ao sucesso do GSM (*Global System for Mobile communications*) na Europa e ao fenómeno da *Internet* – que continua a crescer com grande celeridade e representa claramente o canal privilegiado de troca de informação a nível mundial. O quotidiano gerou nos utilizadores uma necessidade crescente de acesso a informação, e uma necessidade dela ser disponibilizada nos seus terminais móveis. Para fazer face a esta evolução, as comunicações móveis têm vindo a alterar os seus serviços - dominados pelo tráfego de voz - para serviços de *Internet* móvel e transmissão de dados por pacotes. Um primeiro passo para unir os dois mundos foi dado através do desenvolvimento de tecnologias como o WAP (*Wireless Application Protocol*) e mais recentemente o GPRS (*General Packet Radio Service*). Com a chegada do UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), os sistemas de comunicação pessoal vão dar um grande passo rumo à *Sociedade de Informação*. As novas tecnologias em jogo vão permitir a prestação de serviços aos clientes que vão desde a já vulgarizada comunicação de voz até serviços multimédia de alto débito, independentemente do utilizador, da sua localização geográfica, da rede ou do terminal a que acede a esses serviços. Para que se consiga aliar a mobilidade dos serviços celulares à informação multimédia proporcionada pela *Internet* é necessário, em primeira análise, um processo de normalização, a nível de equipamentos terminais, rede, protocolos de comunicação, interface rádio, etc., concertado entre todas as partes interessadas, bem como a atribuição de uma maior quantidade de espectro radioelétrico para serviços celulares e móveis.

Entre os serviços que poderão ser disponibilizados através do UMTS podemos encontrar a videoconferência, a videotelefonia, a troca de pequenas mensagens de texto, jogos interactivos, video e áudio a pedido do utilizador, o acesso a transacções bancárias e comerciais, etc. A conjugação deste tipo de serviços com a tão importante transparência das operações para o utilizador, proporcionando-lhe aceder aos seus serviços em qualquer rede e em qualquer terminal, e a adopção do VHE (*Virtual Home Environment*), permitindo ao utilizador personalizar a interface com o aparelho e o ambiente do serviço, independentemente do terminal e da localização geográfica, devem levar os serviços UMTS a atingir o mercado de massas [UMTS97a].

Por forma a ser possível disponibilizar tantos serviços, o UMTS vai permitir um acesso à rede a vários débitos binários, e vai haver, no início do funcionamento da mesma, coexistência de comutação de circuitos e de pacotes. Os métodos de acesso múltiplo seleccionados para a interface rádio do UMTS, o UTRA (*Universal Terrestrial Radio Access*), baseados em técnicas de espalhamento de espectro como o WCDMA (*Wideband Code Division Multiple*

Access) e TD-CDMA (*Time Division – Code Division Multiple Access*) vão tornar o sistema limitado pela interferência gerada. Desta forma a cobertura e a capacidade do sistema vão ser função dos vários perfis de utilização de serviços em diversos ambientes. Sendo o UMTS o futuro sistema de comunicações celulares, poderá vir a ser um dos canais privilegiados para a troca de informação, e dado que se encontra ainda numa fase de optimização e desenvolvimento, a motivação deste trabalho é dar a compreender qual a influência de vários tipos de perfis de utilização de serviços com diferentes características, em diversos ambientes, na dimensão e capacidade das células.

No capítulo 2. os aspectos teóricos considerados mais relevantes para a percepção do UMTS e para a própria execução do trabalho são introduzidos, com particular realce para o tipo de serviços, suas características e possíveis aplicações dos mesmos, oferecidos pela futura rede UMTS. Também as principais características técnicas do UMTS, bastante diferenciadas das que caracterizam o actual sistema celular GSM, destacando-se o espectro disponível para o efeito ou o uso do WCDMA como técnica de acesso múltiplo são abordadas. É ainda feita uma breve abordagem aos modelos de propagação considerados para efeitos de simulação, terminando o capítulo 2. com referências aos perfis de tráfego utilizados para efeitos de simulação, sendo feita uma breve descrição sobre a metodologia que permite obter tais perfis dada a coexistência de serviços baseados em comutação de pacotes e de circuitos.

No capítulo 3. abordam-se as questões levantadas pelo planeamento da interface rádio em si, com particular realce para o efeito da interferência e da sua dependência com o tráfego existente na rede, situação decorrente do uso do WCDMA. É também neste capítulo que se introduz a ferramenta desenvolvida em linguagem MATLAB que se pretende venha a ser um auxílio à função de efectuar planeamento em UMTS. Introduce-se ainda a ferramenta de planeamento em tempo real SLEP (*System Level Evaluation Platform*), utilizada no âmbito do projecto Europeu ASILUM (*Advanced Signal processing schemes for Link capacity increase in UMTS*) e que funciona fundamentalmente como sendo um método mais realista e de maior rigor quando se pretende efectuar planeamento em UMTS.

No capítulo 4. apresentam-se os resultados que são originados precisamente da aplicação dessa ferramenta juntamente com os pressupostos e dados introduzidos nos capítulos 2. e 3., para além das conclusões resultantes do uso do simulador SLEP, decorrente do projecto ASILUM.

O capítulo 5. apresenta as conclusões. Paralelamente ao desenvolvimento do corpo principal deste relatório, os anexos presentes no fim do mesmo são de consulta auxiliar para uma melhor estruturação e compreensão dos textos apresentados.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

Neste capítulo são introduzidos os principais aspectos teóricos que, directa ou indirectamente, estão relacionados com o UMTS. Desta forma, o capítulo inicia-se com uma descrição de alguns dos aspectos considerados mais gerais do UMTS, bem como aqueles que se assumem vir a ser os principais serviços oferecidos pelo sistema. Posteriormente é feita uma análise mais precisa dos aspectos técnicos que têm particular relevo no desenvolvimento do sistema, entre os quais estão a modulação ou acesso múltiplo, por exemplo. Após a abordagem destas características mais específicas do UMTS, introduzem-se os modelos de propagação que são vulgarmente utilizados em comunicações celulares. Por fim é feita uma análise das questões de tráfego, realçando aqui a coexistência de tráfego originado por serviços baseados em comutação de circuitos e de pacotes.

2.1 SERVIÇOS EM UMTS E SUAS CARACTERÍSTICAS

O UMTS será um sistema de comunicações móveis que poderá oferecer significativos benefícios ao consumidor, incluindo serviços multimédia de alta qualidade, prevendo-se a existência de uma rede que resultará da convergência dos sistemas fixo, celular e por satélite. A informação será entregue directamente aos utilizadores e permitirá o acesso a novos e inovadores serviços e aplicações, possibilitando a existência de comunicações personalizáveis, independentemente da localização, rede ou terminal utilizado, Figura 2.1.

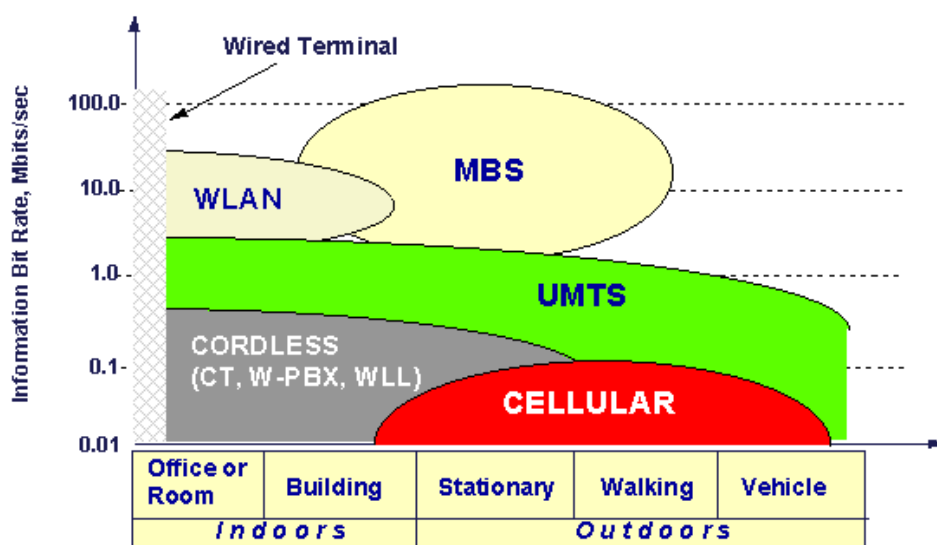


Figura 2.1 – Débito binário em função da mobilidade do utilizador para vários sistemas (extraído de [3GGe00]).

Através da introdução dos serviços celulares de terceira geração pretende-se aumentar a sinergia entre o utilizador e os conteúdos disponibilizados. Baseada na tecnologia IP (*Internet Protocol*), que será o núcleo dos futuros serviços, será por isso possível estar constantemente *on-line*. Daí ser possível o acesso instantâneo ao correio electrónico ou ao nosso lugar de trabalho, só se pagando os recursos efectivamente utilizados, por exemplo, o *Mbyte*.

O mercado para o UMTS cobre uma larga área de aplicações que podem ser agrupadas em 6 serviços principais: voz, mensagens simples, dados, multimédia de nível médio, multimédia de alto nível e multimédia interactivo [UMTS98b]. Os diferentes serviços, para um correcto

funcionamento, têm diferentes pré-requisitos em termos da assimetria entre canais ascendente (UL - *uplink*) e descendente (DL - *downlink*) e débito binário, bem como no modo de comutação [UMTS98b]. Se por um lado é de esperar que voz, mensagens, troca de dados e multimédia interactiva apresentem um factor de simetria de 1/1, já o multimédia em geral é um serviço assimétrico, pois é de esperar que num dos sentidos da ligação sejam transmitidos simples comandos (ligação ascendente) enquanto que no outro (ligação descendente) se espera, por exemplo, a transferência de um ficheiro de música. Além disso, as actuais capacidades do GSM permitem que a maioria dos serviços de voz, troca de dados e mensagens se faça sobre esse sistema, libertando o potencial da 3G (*3rd Generation*) para os serviços mais exigentes, caso do multimédia. Também o modo de comutação para cada serviço varia de acordo com as exigências de cada um destes. Se por um lado os serviços multimédia e mensagens simples se baseiam na comutação de pacotes (PS – *Packet Switching*), visto que os atrasos são toleráveis e não essenciais ao bom funcionamento do serviço, já a troca de dados e os serviços interactivos baseiam-se na comutação de circuitos (CS – *Circuit Switching*), pois neste caso não existem atrasos adicionais que, a existir, seriam intoleráveis. Há portanto a novidade do uso da tecnologia de comutação de pacotes, inexistente no actual sistema GSM o qual que se baseava exclusivamente na comutação de circuitos até há pouco tempo, antes da introdução do GPRS.

A CS, foi desenvolvida para lidar com o tráfego de voz, mas na actual rede fixa, por exemplo, também é usada para transmissão de dados. Um dos requisitos críticos para o tráfego de voz é que não deve existir qualquer atraso adicional de transmissão, como já foi referenciado, o que implica a manutenção de um sinal com débito constante, de modo a possibilitar um diálogo normal entre pessoas. No entanto, este modo de comutação pode ser bastante ineficiente, visto que durante uma ligação lhe é dedicada parte da capacidade do sistema, mesmo que não haja transferência de dados. Para serviços de voz, por exemplo, o canal não é 100% ocupado visto que há intervalos de silêncio entre ‘falas’ [Stal00].

A PS, é uma tecnologia que confere ao sistema maior flexibilidade, partilha de recursos e robustez, à custa da introdução de atrasos adicionais nas transmissões. Numa ligação típica de dados, a linha está na sua grande parte do tempo desocupada, pelo que o uso de comutação de circuitos nesta situação é altamente penalizador. Pelo contrário, com o uso de pacotes, os dados são transmitidos em blocos de informação que são encaminhados ao longo da rede, de acordo com a disponibilidade desta no tempo real, de nó para nó, até ao destino pretendido. Garante-se maior eficiência porque só há uma ocupação real da linha quando há uma transmissão efectiva de informação. Há também vantagem no sentido em que, numa situação de congestionamento da rede, a entrega dos dados está sempre assegurada, apesar do atraso poder ser considerável, ao contrário do que ocorre em comutação de circuitos onde o congestionamento pode originar bloqueio das chamadas [Stal00].

Segundo a classificação do UMTS Forum, poderão existir 6 classes de serviços, com diferentes características entre si e pelas quais se poderão distribuir variadas aplicações:

- Para o serviço SMS (*Short Message Service*),
 - Mensagens curtas e *paging*;
 - Correio electrónico;
 - Mensagens de interesse público;
 - Pagamentos / encomendas.
- Para o serviço SD (*Switched Data*), de dados,
 - Fax;
 - Acesso à *Internet* / *Intranet*.

- Para o MMM (*Medium MultiMedia*), serviço assimétrico que requer débitos binários moderados, caracterizado por uma dimensão de ficheiros típica de 0.5 *Mbyte* e com tolerância a atrasos, associado a tráfego irregular,
 - Acesso a LAN (*Local Area Network*), à *Internet / Intranet*;
 - Jogos interactivos;
 - Apostas;
 - Compras *on-line* e serviços bancários;
 - Partilha de aplicações profissionais.
- Para o HMM (*High MultiMedia*), serviço assimétrico que exige elevados débitos binários, também tolerante a atrasos e que trabalha com ficheiros com dimensão na ordem dos 10 *Mbyte*, também associado a tráfego irregular,
 - *Download* de ficheiros de video;
 - *Download* de ficheiros de áudio;
 - Comércio móvel;
 - Rápido acesso à *Internet / Intranet* e a LAN's.
- Para o HIMM (*High Interactive MultiMedia*), serviço simétrico que exige débitos moderados mas sem interrupções (atrasos mínimos), associado a tráfego regular,
 - Videofonia e videoconferência;
 - Telepresença, com aplicação, por exemplo, no domínio profissional.
- Serviço V (*Voice*), de voz.

As características gerais de cada serviço, segundo esta classificação do UMTS Forum, são especificadas na Tabela 2.1.

Serviços	Débito binário nominal [kbps]	Débito binário efectivo [kbps]	Factor de assimetria (UL/DL)	Modo de comutação
HIMM	128	128	1/1	CS
HMM	2 048	1 509	0,005/1	PS
MMM	384	286	0,026/1	PS
SD	14	14,4	1/1	CS
SMS	14	10,67	1/1	PS
V	16	16	1/1	CS

Tabela 2.1 – Características dos serviços segundo o UMTS Forum (extraído de [UMTS98c]).

A diferença entre o débito binário nominal e o débito binário efectivo, existente apenas nos serviços que funcionam sob comutação de pacotes, é devida à existência de atrasos e à retransmissão de pacotes com erros [UMTS98c]. A transferência de dados, quando é processada, decorre com uma taxa igual ao débito binário nominal. No entanto, a existência de retransmissões e de períodos em que, devido a congestionamentos, há atrasos, faz com que o tempo de transferência dos dados não seja simplesmente o quociente da dimensão dos ficheiros a transferir pelo débito binário nominal, havendo que contabilizar o tempo perdido devido aos factores já indicados. Daí que o débito binário efectivo, ‘visto’ pelo utilizador, seja inferior ao nominal. Pelo contrário, nos serviços baseados em comutação de circuitos, o débito nominal é igual ao débito efectivo precisamente porque não ocorrem atrasos. Particularmente para o serviço de voz considera-se que há uma ocupação das linhas de 0,5, traduzindo o desaproveitamento das mesmas decorrente da técnica de comutação de circuitos para este serviço.

Dadas estas diferenças existentes entre os dois modos de comutação utilizados, o 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) propõe uma classificação por classes de serviços baseada na sensibilidade de cada um a erros e atrasos, Tabela 2.2.

Classe de serviços	<i>Conversational</i>	<i>Interactive</i>	<i>Streaming</i>	<i>Background</i>
Tolerante a erros	voz, videofonia	mensagens de voz	áudio e vídeo em tempo real	fax
Intolerante a erros	<i>telnet</i> , jogos interactivos	comércio electrónico, consulta de páginas da <i>web</i>	<i>ftp</i> , <i>paging</i>	correio electrónico
Sensibilidade a atrasos	<<1s	~1s	<10s	>10s

Tabela 2.2 – Classes de serviços segundo a classificação do 3GPP (extraído de [3GPP00a]).

Com base nas características de cada serviço e atendendo às capacidades do sistema, indicam-se na Tabela 2.3 alguns parâmetros que caracterizam a qualidade de serviço para aplicações típicas [UMTS00d].

Tipo de aplicação	Aplicação	Débito binário	Atraso	Variação do Atraso	Fiabilidade
Tempo real	Voz	4 – 25 kbps	<150ms	<1 ms	<3 % FER
	Videofonia	32 - 384 kbps	<150ms		<1% FER
	Telemetria (controlo)	<28 kbps	<250ms		~0% FER
	Jogos	< 1kbps	<250 ms		<3% FER
Interactivo	<i>Voice-mail</i>	4 - 13 kbps	<1 s	< 1ms	<3% FER
	<i>Internet</i>		4 s/pág		
	Comércio electrónico		4 s		<0% FER
Download	Áudio	32 - 384 kbps	<10 s	< 1ms	<1% FER
	Vídeo	32 - 384 kbps	<10 s		<1% FER
	Telemetria (monitorização)	< 28,8 kbps	<10 s		~0% FER

Tabela 2.3 – Qualidade de Serviço para algumas aplicações (extraído de [UMTS00d]).

2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO UMTS

Nesta parte do relatório introduzem-se as características técnicas específicas do UMTS, fazendo-se uma referência aos vários tipos de ambientes e relacionando-os com os vários tipos de células. Posteriormente, há uma pequena abordagem ao espectro disponível para os sistemas de 3ª Geração, para, finalmente, se introduzir a técnica de acesso múltiplo utilizada em UMTS, o WCDMA.

2.2.1 ESTRUTURA CELULAR

É com base em diferentes aspectos como o débito binário, tipo de comutação ou assimetria dos serviços que a escolha espectral e as estruturas celulares são planeadas. Também as diferentes características urbanísticas e demográficas têm influência neste planeamento. Cada ambiente possui características específicas que são de extrema relevância no planeamento do sistema. As diferenças entre o número de utilizadores num centro urbano e numa zona rural têm que ser naturalmente consideradas, bem como a taxa de penetração de cada serviço por região. A Tabela 2.4 caracteriza diferentes ambientes com base nestes aspectos. Naturalmente que são os centros urbanos aqueles que necessitam de uma maior capacidade do sistema visto que, comparativamente com o meio rural ou suburbano, por exemplo, a diferença de potenciais utilizadores é acentuada. É também nas regiões urbanas que deverá existir uma maior taxa de penetração dos serviços multimédia.

Ambientes para operação	Densidade de potenciais utilizadores / km ²	Tipo de Célula
1) CBD/urbano denso(em edifícios)	180 000	micro / pico
2) Suburbano (em edifícios ou na rua)	7 200	macro
3) Interiores	380	pico
4) Urbano (pedestre)	108 000	macro / micro
5) Urbano (veicular)	2 780	macro / micro
6) Rural (interior/exterior)	36	macro

Tabela 2.4 – Potenciais utilizadores por ambiente (extraído de [UMTS98c]).

O desenvolvimento clássico das redes celulares é hierárquico, existindo uma estrutura celular com células de várias dimensões. A Tabela 2.5 dá conta das diferentes propriedades associadas a cada tipo de célula:

- As macro-células são as que permitem uma maior cobertura do terreno e têm raios que podem atingir alguns quilómetros. São também usadas para fornecer serviço a terminais não estáticos, isto é, a utilizadores que se deslocam com uma certa velocidade, por exemplo, em automóveis, para evitar taxas de *handover* excessivamente elevadas;
- As micro-células são utilizadas para fornecer uma cobertura exterior, ao nível da rua, providenciando uma capacidade extra que as macro células não conseguem disponibilizar.
- As pico-células são células de dimensão muito mais reduzida, com áreas de cobertura de algumas dezenas de m², áreas onde existirão maiores exigências de banda.

Com base nestes pressupostos, a Figura 2.2 exemplifica uma possível configuração celular hierárquica, com o respectivo modo de separação entre canais ascendente e descendente associado a cada célula.

Tipo de célula	Mobilidade	Ritmo binário nominal máximo [kbps]	Raio [m]	Área da célula [km ²]
macro-célula	Alta	384	1 000	0,288
micro-célula	Alta/baixa	384 / 2 000	400	0,138
mico-célula	Baixa	2 000	75	0,005

Tabela 2.5 – Propriedades associadas aos diferentes tipos de células (extraído de [UMTS98b]).

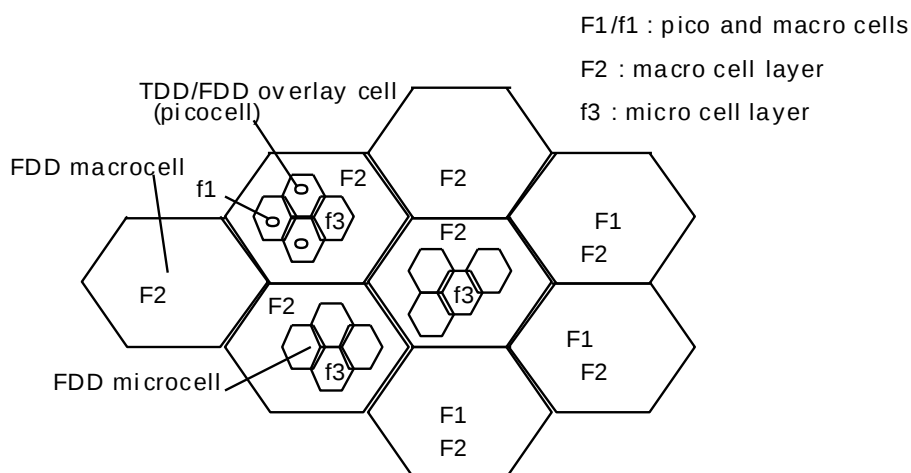


Figura 2.2 – Rede UMTS baseada em três camadas celulares (extraído de [UMTS98b]).

2.2.2 ESPECTRO E ACESSO MÚLTIPLO

O espectro atribuído ao UMTS na Europa comporta as bandas [1 900, 1 980], [2 010, 2 025] e [2 110, 2 170] MHz, perfazendo um total de 155 MHz, Figura 2.3.

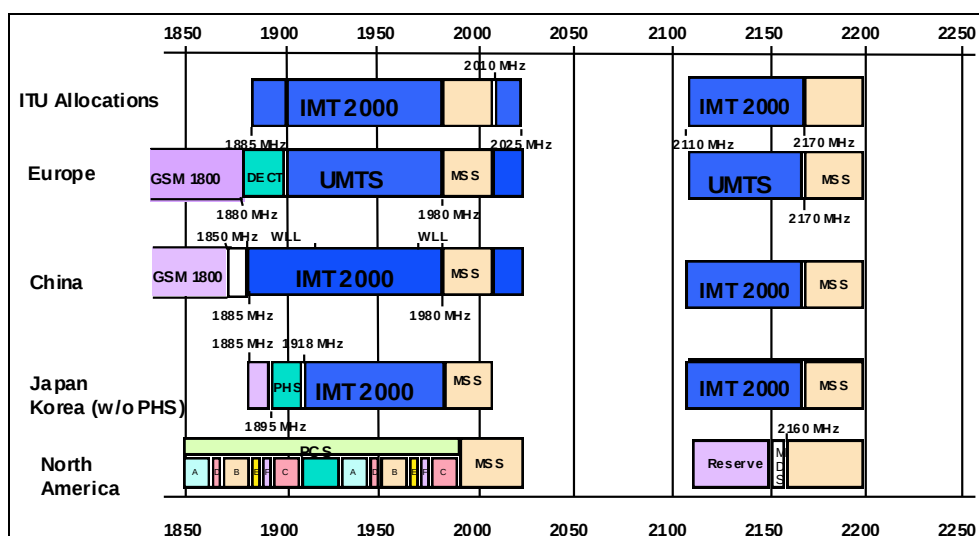


Figura 2.3 – Espectro disponível para UMTS por região (extraído de [UMTS98b]).

Esta banda poderá por sua vez ser dividida em quatro sub-bandas, em particular as sub-bandas de [1 900, 1 920] e [2 010, 2 025] MHz para o modo TDD (*Time Division Duplex*) e as sub-

bandas de [1 920, 1 980] e [2 110, 2 170] MHz, para UL e DL, respectivamente, no que respeita ao modo FDD (*Frequency Division Duplex*).

Em UMTS a separação dos canais ascendente e descendente é feita não apenas do uso técnica FDD, como acontece no sistema GSM, mas também da técnica TDD, usado por exemplo no sistema DECT (*Digital Enhanced Cordless Telephony*). A técnica FDD, baseada em WCDMA, é propícia para serviços simétricos já que a mesma consiste na atribuição de duas bandas emparelhadas de 5 MHz cada, o que face ao facto de se esperar um maior fluxo de tráfego na ligação descendente poderá resultar numa eficiência espectral inferior ao desejado, sobretudo na ligação ascendente. Ainda assim será esta a técnica privilegiada em UMTS, sendo típica de macro-células e de micro-células. A existência de divisão na frequência obriga ao uso de filtros com grande rejeição da banda adjacente de modo a reduzir a interferência e requer o uso de combinadores duplex. Dado o espaçamento entre canais rádio de 5 MHz e atendendo à banda disponível para o modo FDD, 60 MHz para cada sentido da ligação, poderão existir até 12 portadoras emparelhadas.

Relativamente ao modo TDD, trata-se efectivamente de uma novidade ao nível dos sistemas celulares, estando tipicamente associado a pico-células. O modo TDD está também associado a altos débitos, baseando-se no uso de uma única banda de 5 MHz, estando-lhe atribuído um total de 35 MHz, perfazendo um total de 7 portadoras. De referir que o propósito maior deste trabalho está relacionado com o uso do modo FDD na interface rádio, pelo que o modo TDD não foi usado no desenvolvimento do trabalho. No Anexo A descreve-se com maior detalhe as principais características deste modo de separação dos canais ascendente e descendente.

Enquanto que em sistemas FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) a frequência é o recurso dividido pelos utilizadores e em sistemas TDMA (*Time Division Multiple Access*) esse recurso é o tempo, em sistemas CDMA (*Code Division Multiple Access*) assim não acontece. O acesso múltiplo por divisão no código permite que todos os utilizadores operem à mesma frequência e usem a totalidade da largura de banda do sistema simultaneamente. Por forma a distinguir os diferentes utilizadores é necessário atribuir um código a cada um, que identifica a sua transmissão. Estes códigos são desenhados por forma a serem ortogonais entre si (terem uma correlação cruzada nula). Teoricamente, em sistemas CDMA, não existe limite de número de utilizadores. Sucede apenas que à medida que esse número aumenta há uma degradação do desempenho [Yaco93].

Os sistemas CDMA recorrem a técnicas de espalhamento de espectro em que o sinal passa a ocupar uma largura de banda superior à mínima que seria necessária para a transmissão. A razão entre a largura de banda transmitida (*Chip Rate*), W , e a largura de banda da informação, R_b , é chamada ganho de processamento, $G_p = W/R_b$ [PrOj98]. O espalhamento de espectro pode ser executado por sequência directa o que consiste em multiplicar directamente o sinal de informação modulado com um sinal de código que posteriormente modulará a portadora de banda larga. Na recepção o sinal recebido é multiplicado, *bit a bit*, pelo mesmo código que foi usado na emissão. A sequência original pode assim ser perfeitamente recuperada. Enquanto que o sinal correcto é recuperado, o sinal do outro utilizador mantém as características de um sinal espalhado no espectro, apresentando-se como ruído para o sinal correcto. Embora não sendo necessária para a transmissão do sinal este aumento da largura de banda permite a estes sinais possuírem algumas propriedades que os distinguem dos sinais de banda estreita:

- Capacidade de acesso múltiplo: se vários utilizadores transmitirem sinais espalhados no espectro simultaneamente, o receptor poderá recuperar o sinal que lhe é destinado se cada utilizador tiver um código diferente e todos os códigos tiverem baixa correlação cruzada entre si. Correlacionar o sinal recebido com o código de um determinado utilizador apenas descodifica o sinal desse utilizador.
- Protecção contra desvanecimento rápido: devido ao multipercurso serão recebidas várias cópias do mesmo sinal com amplitudes e fases diferentes. A soma destes sinais no receptor será construtiva nalgumas frequências e destrutiva noutras. As técnicas de espalhamento de espectro podem ajudar a combater este fenómeno conforme a técnica usada [PrOj98].
- Rejeição de interferência de banda estreita: correlacionando o código com um sinal de banda estreita vai dispersar a sua potência, reduzindo assim a interferência na banda da informação. Os sinais que não forem descodificados aparecerão como ruído ao receptor.
- Controlo de potência: o controlo de potência consiste em fazer com que as potências recebidas de cada utilizador na estação de base (BS - *Base Station*), também designada por Nó-B em UMTS, sejam iguais. Esta funcionalidade permite resolver o problema do efeito perto-longe ([3GPP00b] e [CDMA00]). Tome-se como exemplo a Figura 2.4: se dois terminais móveis (MS - *Mobile Station*), – TM1 e TM2 – operam à mesma frequência, distinguíveis apenas pelo seu código, os sinais de TM1, que está na borda da célula, sofrem uma maior atenuação de propagação que os sinais de TM2, que está mais perto da BS. Se não houvesse um mecanismo de controlo de potência, o sinal de TM2 iria gerar grande interferência no sinal de TM1, originando pior qualidade de serviço a TM1 que a TM2 ([HoTo00]).

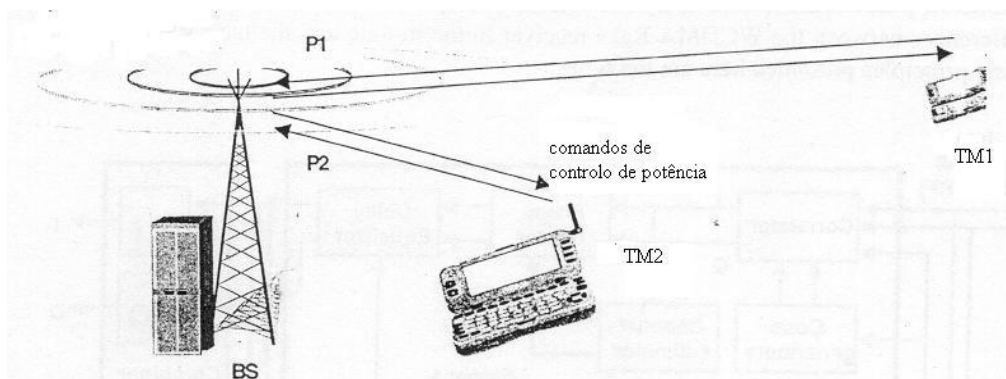


Figura 2.4 – Exemplo de controlo de potência em UL (extraído de [HoTo00]).

O WCDMA foi o método de acesso múltiplo escolhido para ser implementado no UTRA para comunicações em FDD. Utiliza técnicas de espalhamento de espectro por sequência directa e é usado um *Chip Rate* de 3.84 Mcps, permitindo assim aos utilizadores comunicarem a diferentes ritmos binários.

O WCDMA utiliza espaçamentos nominais entre portadoras de 5 MHz. Este valor foi escolhido por forma a satisfazer uma relação de compromisso entre capacidade e escassez de espectro. A utilização desta largura de banda em conjunto com o uso de receptores *RAKE* ajuda a combater os efeitos do desvanecimento rápido [HoTo00]. O controlo de potência em WCDMA apresenta várias variantes por forma a servir vários propósitos. O controlo de potência em malha fechada em UL permite resolver o já referido problema do efeito perto-longe. O controlo de potência em malha fechada em DL permite dar maior margem de potência aos terminais móveis que se encontram nas bordas da célula uma vez que estão mais

sujeitos a interferência das outras células. Também é utilizado o controlo de potência em malha aberta no início de uma ligação, de forma a que o MS estabeleça um nível de potência de transmissão inicial [HoTo00].

O WCDMA também se diferencia de outras técnicas de acesso múltiplo, por exemplo por suportar diversas formas de *handover* ou pelas diferenças existentes entre as tramas utilizadas em UL ou DL, as quais estão directamente relacionadas com a modulação utilizada em cada um dos dois sentidos de uma ligação, o que se reflecte também na forma como os códigos são administrados consoante o sentido da ligação. No Anexo A é feita uma breve abordagem aos tipos de *handover* suportados, à estrutura das tramas e à forma como é feita a modulação em cada um dos sentidos da ligação, o que é da maior importância para uma boa compreensão das diferenças existentes entre UL e DL.

2.2.3 CÓDIGOS E ESPALHAMENTO ESPECTRAL

A operação de espalhamento no espectro é dividida em duas fases, o que requer a multiplicação da informação por dois códigos. A primeira fase é a operação de espalhamento propriamente dita que consiste em multiplicar a informação por um código com determinado factor de espalhamento, SF , e com um *chip rate* de 3,84 Mcps. O factor de espalhamento é variável por forma a satisfazer o recurso a serviços com ritmos binários diferentes. Os códigos usados na operação de espalhamento são designados *channelization codes* e são baseados numa técnica denominada OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*), o que permite a utilização de códigos com diferentes factores de espalhamento enquanto que a ortogonalidade entre eles se mantém. Os *channelization codes* são escolhidos de acordo com a árvore de códigos, cujo início está representado na Figura 2.5.

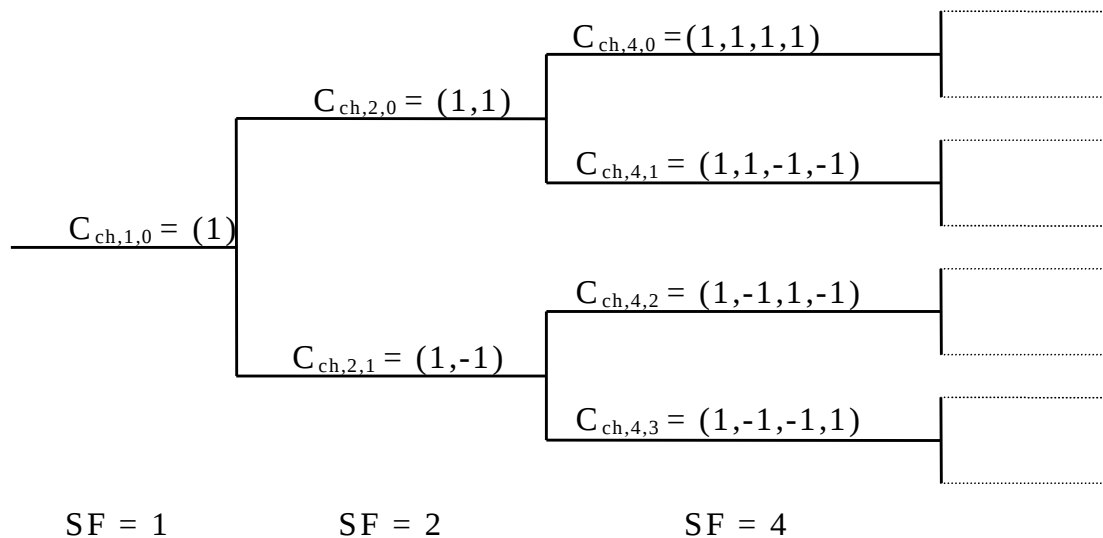


Figura 2.5 – Início da árvore de códigos OVSF (extraído de [Aghv00]).

Como a cada serviço está associado um dado ritmo binário, para se atingir o *chip-rate* desejado de 3,84 Mcps é necessário a multiplicação dos sinais binários por códigos com factores de espalhamento distintos. Conforme se constata da Figura 2.5, os factores de espalhamento dos códigos utilizados são em potências de base 2, pelo que a cada factor de espalhamento está associado um débito binário máximo, através de (2.1).

$$SF = \frac{W}{R_b} \quad (2.1)$$

Desta forma, por aplicação de (2.1), indicam-se na Tabela 2.6 os diferentes factores de espalhamento associadas a cada ritmo binário máximo possível para o DPDCH (*Dedicated Physical Data CHannel*). Para a ligação descendente, como a modulação utilizada é QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), há que distinguir débito de símbolo de débito binário, sendo este o dobro do primeiro, precisamente devido à modulação utilizada. Além disso, como o DPDCH está multiplexado no tempo com o DPCH (*Dedicated Physical Control CHannel*), o débito binário não é igual ao débito binário de dados.

SF	Ligação ascendente	Ligação descendente		
	Débito binário do DPDCH [kbps]	Débito de símbolo do canal [kbaud]	Débito binário do canal [kbps]	Débito binário possível no DPDCH [kbps]
512		7,5	15	3-6
256	15	15	30	12-24
128	30	30	60	42-51
64	60	60	120	90
32	120	120	240	210
16	240	240	480	432
8	480	480	960	912
4	960	960	1920	1872

Tabela 2.6 – Factores de espalhamento (extraído de [HoTo00]).

A operação de *Scrambling* visa identificar a BS ou o MS, e é feita depois do espalhamento não alterando a largura de banda da informação. A Tabela 2.7 exhibe as funcionalidades dos *channelization codes* e dos *scrambling codes* em UL e DL. EM UL cada canal de dados é multiplicado por um código de dados - C_D - e cada canal de controlo é multiplicado por um código de controlo - C_C - e posteriormente são multiplicados por um código específico do MS - C_{Scramb} ; segue-se a modulação QPSK. Em DL são transmitidos múltiplos códigos para diferentes DPCH (*Dedicated Physical CHannel*); o espalhamento é efectuado por um código de canal - C_{Ch} - para cada DPCH e um código específico da célula - C_{Scramb} - para distinguir diferentes células [Fern00]. No Anexo A ilustra-se a estrutura das tramas utilizadas e os diagramas de blocos simplificados dos processos de espalhamento e modulação do modo FDD nos canais ascendente e descendente.

Características		Channelization code	Scrambling code
Utilização	UL	Separação de canais físicos de controlo (DPCCH) e de dados (DPDCH) do mesmo terminal	Separação de terminais
	DL	Separação de ligações descendentes para diferentes utilizadores na mesma célula	Separação de células (ou sectores)
Espalhamento	UL/DL	Aumenta a largura de banda da informação	Não aumenta a largura de banda da informação

Tabela 2.7 – Diferentes tipos de códigos utilizados em WCDMA (extraído de [HoTo00]).

2.3 MODELOS DE PROPAGAÇÃO

É de vital importância a estimação da intensidade de um sinal electromagnético num dado ponto do espaço e do tempo de modo a providenciar um serviço de qualidade. Nesta secção abordam-se os modelos de propagação numa perspectiva da sua utilização em UMTS.

Dos vários fenómenos a que a propagação de sinais na atmosfera está sujeita, o desvanecimento é um dos mais importantes. O desvanecimento pode dividir-se em desvanecimento lento – com distribuição log-normal – e desvanecimento rápido – com distribuição de Rayleigh ou de Rice. O desvanecimento lento é função da distância e é causado como consequência da configuração do terreno. O desvanecimento rápido está associado ao movimento do terminal, e é causado por reflexões em edifícios ou outras estruturas, o que tem como consequência o facto de o sinal de origem percorrer vários percursos até chegar ao destino [Sale98].

Nos sistemas de comunicações celulares, devido ao uso de várias estações de base, cada uma cobrindo uma determinada área, é essencial prever as zonas onde o nível de sinal será mínimo (de modo a delimitar a célula) e as regiões onde poderá haver interferência (uma vez que pode existir reutilização de recursos – frequências ou códigos - em várias células).

A atenuação de propagação é definida como [Corr93]:

$$L_p [dB] = P_E [dBm] + G_E [dB] + G_R [dB] - P_R [dBm] \quad (2.2)$$

em que:

- P_E – potência de emissão;
- G_E – ganho da antena de emissão;
- G_R – ganho da antena de recepção;
- P_R – potência recebida.

Um dos modelos de propagação mais utilizados para a estimação do sinal é o modelo de Okumura-Hata [OOKF68], que é um modelo empírico em que o ambiente padrão é urbano,

quase plano mas pode também ser usado em ambientes rural e suburbano. A expressão do modelo de Okumura-Hata que permite obter a atenuação de propagação para a banda [1 500, 2 000] MHz é a seguinte [COST91]:

$$L_p \text{ [dB]} = 46,30 + 33,90 \log(f_{\text{[MHz]}}) - 13,82 \log(h_{be}) + [44,90 - 6,55 \log(h_{be})] \log(d_{\text{[km]}}) - H_{(m,u)}(h_m, f) + C_m - (\text{correção com o ambiente}) \quad (2.3)$$

em que:

- h_{be} – altura efectiva da estação de base;
- h_m – altura da antena do móvel em relação ao solo;
- $H_{(m,u)}$ – factor de ganho da altura da antena do móvel relativo a $h_m = 3\text{m}$;
- $C_m = \begin{cases} 0, & \text{cidades médias e centros urbanos} \\ 3, & \text{centros urbanos} \end{cases}$
- $f_{\text{[MHz]}}$ – frequência da portadora;
- $d_{\text{[km]}}$ – distância entre base e terminal móvel.

sendo válido para $f \in [150, 2\,000]$ MHz, $d \in [1, 20]$ km, $h_{be} \in [30, 200]$ m e $h_m \in [1, 10]$.

De acordo com [OOKF68], [Hata80] e [COST91] uma descrição mais pormenorizada deste modelo é apresentada no Anexo B. O desvio padrão da atenuação de propagação para este modelo para uma frequência de 2 GHz é de 10,5 dB em ambiente urbano e de 11,2 dB em ambiente suburbano [OOKF68], valor que também é considerado em ambiente rural.

Outro modelo muito utilizado é o COST 231 – Walfisch-Ikegami [COST91] que conjuga os modelos de Ikegami [Corr93] – usado para estimar o sinal em ruas - e de Walfisch-Bertoni [Corr93] – um modelo teórico para a propagação em zonas urbanas e que contabiliza a propagação sobre edifícios. Quando a propagação é feita na direcção de uma rua, em linha de vista, a atenuação de propagação é dada pela seguinte expressão [COST91]:

$$L_p \text{ [dB]} = 42,6 + 20 \log(f_{\text{[MHz]}}) + 26 \log(d_{\text{[km]}}), \quad d > 0,02 \text{ km} \quad (2.4)$$

Nos casos em que não existe linha de vista, que constituem a grande maioria tem-se:

$$L_p \text{ dB} = \begin{cases} L_0 \text{ dB} + L_{tt} \text{ dB} + L_{tm} \text{ dB}, & L_{tt} + L_{tm} > 0 \\ L_0 \text{ dB}, & L_{tt} + L_{tm} \leq 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

onde L_{tm} contabiliza as perdas de difracção entre o telhado e o terminal móvel, L_{tt} representa as perdas multilâmina (entre os telhados) e L_0 é a atenuação de propagação em espaço livre. Nas condições de (2.5) L_p é função de:

- w_s – largura das ruas;
- H_B – altura dos prédios;
- $\varphi_{[^\circ]}$ - ângulo entre o eixo da rua e a direcção de propagação;
- h_m – altura do móvel;
- W_B – distância entre os centros dos prédios;
- h_b - altura da estação base;
- $f_{\text{[MHz]}}$ – frequência da portadora;
- $d_{\text{[km]}}$ – distância entre base e terminal móvel;

- tipo de cidade (cidade média ou centro urbano).

As expressões (2.4) e (2.5) são válidas para $f \in [800, 2000]$ MHz, $d \in [0,02, 5]$ km, $h_{be} \in [30, 200]$ m, $h_b \in [4, 50]$ m e $h_m \in [1, 3]$ m. Novamente no Anexo B apresenta-se uma descrição mais detalhada deste modelo, de acordo com [COST91]. O valor do desvio-padrão para este modelo para uma frequência de 2 GHz é de 6 dB [Gonç98].

De notar que o espectro disponível para UMTS se estende para além de 2 GHz, limite superior de aplicação dos modelos apresentados, podendo por isso, os resultados obtidos afastarem-se dos valores reais.

Os modelos de propagação agora apresentados permitem obter o valor mediano da atenuação de propagação e, por consequência, o valor mediano da potência recebida. A existência de desvanecimento vai fazer com que o valor da potência recebida varie em torno do valor mediano. Será portanto necessário que a potência de emissão aumente de forma a compensar os efeitos provocados pelo desvanecimento. Dado que o desvanecimento lento possui uma distribuição log-normal, a variação da intensidade de um sinal pode ser estimada recorrendo a uma distribuição daquele tipo. A margem que se deve considerar para compensar os efeitos de desvanecimento deverá ser tanto maior quanto maior for a probabilidade de cobertura pretendida. No Anexo B são apresentadas algumas metodologias possíveis para o cálculo dessa margem, em função de variados parâmetros e resultando directamente da aplicação dos modelos enunciados.

2.4 TRÁFEGO

Nesta secção do relatório são abordadas as questões relacionadas com o tráfego em UMTS onde há uma co-existência de PS e CS e, por isso, há chamadas bloqueadas e chamadas atrasadas, consoante o serviço. Desta forma, começa-se por introduzir o tráfego originado em serviços baseados em CS, realçando a existência de códigos e a dependência da ocupação dos mesmos com os tipos de serviços utilizados, em particular com o seu débito. Posteriormente, e de forma muito abreviada, descreve-se a forma como o sistema se comporta perante o tráfego devido a PS, em particular a forma como a resposta a estes serviços depende da ocupação de códigos.

Sendo o objectivo de um sistema de telecomunicações tornar possível a troca de informação qualquer que seja a forma sob a qual esta se apresenta, então os vários recursos da rede devem ser distribuídos de uma forma apropriada. Dado que o número de chamadas telefónicas, sejam de voz ou de serviços multimédia, varia aleatoriamente, quer do ponto de vista da quantidade quer do ponto de vista da duração, entre outros aspectos, o dimensionamento de uma rede tendo em conta o tráfego deve ser feito através do recurso a modelos estatísticos apropriados. Por razões óbvias de origem económica, não é de forma alguma viável o desenvolvimento de uma rede de telecomunicações que consiga dar resposta instantânea a qualquer pedido de serviço, pois tal obrigaria ao uso de equipamento com uma capacidade acima do que se pode considerar razoável [Pire99]. É preferível estabelecer critérios que levem à existência de uma certa probabilidade de bloqueio para os pedidos de chamadas caso o sistema se baseie em CS. Neste caso, e de acordo com o Anexo C, o modelo de Erlang-B assume particular relevo já que a mesma permite estimar a probabilidade de bloqueio, P_b , em função do número de canais, N_c , e do tráfego oferecido à rede, A .

Em sistemas WCDMA, o número de canais disponíveis é quantificado pelo número de códigos disponíveis, o qual varia de serviço para serviço, consoante o factor de espalhamento associado a cada um desses serviços. De acordo com as Tabelas 2.6 e 2.7, atendendo a que a existir limitação do número de códigos tal ocorrerá em DL já que é nesta que os *channelization codes* separam as ligações de diferentes utilizadores numa mesma célula, o factor de espalhamento para o serviço de voz a 12,2 kbps será de 256. Desta forma, e à parte de códigos utilizados para sinalização e controlo, existem 256 canais disponíveis para voz, o que garante que *a priori* não deverão existir problemas de bloqueio na hipotética situação de só existirem utilizadores de voz. Por outro lado, o serviço HIMM de 144 kbps tem um factor de espalhamento de 32 em DL, o que evidencia a maior ocupação de códigos com o aumento do débito binário, existindo apenas 32 códigos para este serviço. Além disso, e partindo do pressuposto que a rede será concebida de forma a que o serviço de voz seja prioritário na atribuição de códigos, o número efectivo de códigos disponíveis para HIMM será inferior a 32 pois parte destes códigos não poderá ser utilizada porque os utilizadores de voz ao ocupar códigos com factores de espalhamento inferiores impedem o uso da totalidade dos códigos com maiores factores de espalhamento. Atendendo a estes factos, poder-se-á pensar numa possível existência de uma limitação ao número de utilizadores em simultâneo do serviço HIMM devido ao reduzido número de códigos disponíveis. No entanto, como se poderá constatar posteriormente o número de utilizadores em simultâneo e em exclusivo do serviço a 144 kbps será inferior a 32; isto indica que a haver problemas de bloqueio deste serviço provavelmente tal não se deverá à falta de códigos, mas sim às próprias limitações impostas pela interferência gerada pelo excessivo número de utilizadores.

No entanto, a situação mais natural é a existência mútua de utilizadores dos variados serviços que o UMTS oferece. Neste caso, a precaução no dimensionamento das redes leva a que se deva considerar a situação mais pessimista para efeitos de bloqueio, a qual corresponde a calcular separadamente, e de acordo com o tráfego associado a cada um dos diferentes serviços de CS, o número de canais necessário a cada um, de modo a assegurar a probabilidade de bloqueio desejada, tipicamente 2%. O que não se pode dissociar é a influência que o número de códigos ocupados pelo serviço de voz tem sobre o número de códigos disponíveis para o serviço HIMM e vice-versa. De acordo com a Figura 2.5, a ocupação de um código, por exemplo com um factor de espalhamento de 4, impossibilita imediatamente o uso de 1 código com factor de espalhamento de 2, o uso de 2 códigos com espalhamento de 8, 4 códigos com espalhamento de 16, 8 com espalhamento de 32, etc.. Do mesmo modo, a ocupação de códigos com factores de espalhamento maiores torna impossível o uso de códigos com factores de espalhamento inferiores. Por exemplo, a atribuição de 30 códigos de factor de espalhamento de 128 impossibilita o uso de 15 códigos com espalhamento de 64, 8 com espalhamento de 32, 4 com espalhamento de 16 ou 2 com espalhamento de 8. Para um dado número de códigos N_{ocup} com factor de espalhamento SF_{ocup} ocupados, o número de códigos indisponíveis N_{indisp} com factor de espalhamento SF_{indisp} é dado por

$$N_{indisp} = \left\lceil \frac{N_{ocup}}{\frac{SF_{ocup}}{SF_{indisp}}} \right\rceil \quad (2.6)$$

caso se tenha $SF_{ocup} > SF_{indisp}$, e por

$$N_{indisp} = N_{ocup} \times \frac{SF_{indisp}}{SF_{ocup}} \quad (2.7)$$

caso se verifique que $SF_{ocup} < SF_{indisp}$.

Quando a comutação é baseada em pacotes, todas as ‘mensagens’ que chegam durante um período de tempo de congestionamento a um *router* ou afim têm que esperar numa fila até que uma ligação de saída fique disponível. Desta forma, as chamadas não são perdidas, como ocorre numa situação de bloqueio em CS, mas sim retardadas durante o processo de transmissão, desde o emissor até ao receptor. O facto de, nas horas de maior tráfego, o sistema não conseguir responder instantaneamente a todos os pedidos de transmissão, cuja consequência imediata é o retardamento dos mesmos, obriga à existência de estruturas de armazenamento nos *routers* e noutras entidades que encaminham os pacotes ao longo da rede. Desta forma, os pacotes são temporariamente guardados em *buffers* até que a rede tenha recursos que permitam aos *routers* o reencaminhamento dos pacotes em direcção ao destino destes – mecanismo de FIFO (*First In First Out*) [Stal00]. Desta forma, é de todo o interesse dimensionar *buffers* e estimar os atrasos provocados pelo congestionamento com base nas expectativas de tráfego e outros parâmetros que caracterizam os serviços, como a ocupação das linhas ou o débito binário. Novamente, os *buffers* não devem ser sobredimensionados, de forma a reduzirem acentuadamente os atrasos, pois o aumento do custo do equipamento seria excessivo, até porque, como é citado na secção 2.1, há serviços que são toleráveis a atrasos.

Em UMTS, os serviços baseados em CS têm prioridade sobre os que se baseiam em PS na atribuição de códigos, precisamente porque os últimos são menos sensíveis a atrasos. Desta forma, podem ocorrer situações em que o número de utilizadores de voz e de HMM seja tal que, por exemplo, apenas existam 2 códigos disponíveis para o serviço de 384 kbps, que requer um factor de espalhamento em DL de 16. Nesta situação, se existirem mais de 2 utilizadores deste serviço a pretenderem aceder ao mesmo, parte deles tem de aguardar que os restantes acabem de efectuar os seus pedidos. Este problema não se põe em UL devido às funções dos 2 tipos de códigos associadas a este sentido da ligação, de acordo com a Tabela 2.7.

Hoje em dia ainda não há uma grande divulgação de modelos de tráfego que contabilizem a existência mútua de diferentes serviços baseados em CSe em PS. Um dos parâmetros a considerar na classificação da qualidade de serviço das aplicações baseadas em comutação de pacotes é precisamente o atraso médio inerente às ligações, por exemplo devido à existência de tempos de espera na infraestrutura fixa ou nos terminais da ligação rádio. Dado que o requisito para estes serviços é do tipo *best effort*, e face à ausência dos necessários modelos à estimação destes atrasos, não se calculam estimativas dos atrasos existentes nos serviços de comutação de pacotes relativos à interface rádio no desenvolvimento deste trabalho.

2.5 CENÁRIOS DE UTILIZAÇÃO

Visto que o UMTS é caracterizado pela existência simultânea de serviços de voz e de dados, há que considerar as diferentes características do tráfego originado. Desta forma, o dimensionamento de toda a rede tem de considerar as previsões apresentadas para o efeito.

De acordo com o Anexo D os diferentes tráfegos por serviço e por ambiente, sob a perspectiva do UMTS Fórum [UMTS98c], são indicados na Tabela 2.8, reprodução da Tabela D.6.

Serviço		Voz	64		144		384	2 048
		[mErl]	[kb/h]					
Modo de comutação		CS	CS	PS	CS	PS	PS	PS
Urbano	Interior	20,0	13,8	13,1	31,1	51,1	51,6	655,0
	Pedestre	12,0	3,5	6,5	7,8	24,6	24,8	307,8
	Veicular		0,2	0,4	0,5	1,6	1,7	20,5
Suburbano	Interior	2,6	3,5	6,5	7,8	15,0	15,2	307,8
	Pedestre							
	Veicular							
Rural	Interior	10,0	0,2	0,4	0,5	1,0	1,0	20,5
	Pedestre							
	Veicular							

Tabela 2.8 – Previsões de tráfego do UMTS Forum, por utilizador, para 2005.

Os serviços apresentados na Tabela 2.8 não correspondem exactamente à classificação indicada na Tabela 2.1, resultando os mesmos de uma classificação baseada na consideração simultânea dos pontos de vista do UMTS Forum e do 3GPP, de acordo com o Anexo D.

Uma perspectiva mais realista e adequada à realidade Portuguesa, em particular da cidade de Lisboa, é apresentada na Tabela 2.9, conforme os dados ilustrados no Anexo E, de acordo com informação fornecida pelo operador Telecel Vodafone.

Por observação desta última tabela sobressai claramente a escassa utilização do serviço de 384 kbps em PS, o que se poderá dever às próprias limitações de capacidade da interface rádio mas também a um possível custo elevado da utilização deste serviço. Também se verifica que a Telecel Vodafone não prevê oferecer o serviço de 2 Mbps, pelo menos em modo FDD, o que seguramente se deve à limitação do sistema em oferecer um débito tão elevado. Há também uma clara evolução no sentido crescente do tráfego, não só em termos de penetração mas também em termos de utilização média por utilizador, em qualquer um dos serviços indicados, de resto como seria de esperar. Confirma-se ainda, também de acordo com as expectativas, a maior quantidade de tráfego existente em DL no que concerne aos serviços baseados em PS. De referir ainda que a Telecel Vodafone não disponibilizou dados para o serviço de 144 kbps em CS, mas para uma posterior comparação com as previsões do UMTS Forum foi feita uma generalização dos dados do serviço de 64 kbps em CS para esse serviço, pois prevê-se que o tipo de aplicações existente nestes dois serviços seja semelhante, podendo haver uma utilização dos mesmos também equitável.

Nos próximos capítulos onde as questões de planeamento são tratadas, os dados apresentados nas Tabelas 2.8 e 2.9 assumem particular relevo. É com base neles que se efectua os cálculos da carga existente nas células, o que é altamente condicionante para as dimensões das mesmas e, como se depreende das referidas tabelas, provoca grandes diferenças entre o planeamento realizado nos diferentes ambientes e cenários.

			Rede inicial	Rede consolidada
Penetração			4%	27%
Serviço	Ambiente	Ligação	Tráfego por utilizador	
Voz a 12,2 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	29	30
	Urbano		22	23
	Suburbano		22	23
	Rural		20	21
CS 64 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	0,58	2,0
	Urbano		0,40	1,2
	Suburbano		0,43	1,3
	Rural		0,40	1,12
PS 64 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	160	536
		Descendente	504	1 952
	Urbano	Ascendente	144	496
		Descendente	464	1 792
	Suburbano	Ascendente	144	488
		Descendente	456	1 768
	Rural	Ascendente	128	432
		Descendente	400	1 584
CS 144 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	0,58	2,0
	Urbano		0,40	1,2
	Suburbano		0,43	1,3
	Rural		0,40	1,12
PS 144 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	104	272
		Descendente	320	1 008
	Urbano	Ascendente	48	120
		Descendente	144	456
	Suburbano	Ascendente	56	152
		Descendente	184	576
	Rural	Ascendente	56	136
		Descendente	176	504
PS 384 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	0,0960	0,360
		Descendente	0,1440	0,536
	Urbano	Ascendente	0,0448	0,160
		Descendente	0,0672	0,240
	Suburbano	Ascendente	0,0512	0,184
		Descendente	0,0760	0,280
	Rural	Ascendente	0,0456	0,152
		Descendente	0,0688	0,232

Tabela 2.9 – Dados de tráfego fornecidos pela Telecel Vodafone.

3. PLANEAMENTO CELULAR EM UMTS

Neste capítulo, abordam-se as questões relacionadas com o planeamento celular em UMTS. Desta forma, começa-se por descrever o processo utilizado no dimensionamento da interface rádio, para posteriormente se introduzir o método analítico desenvolvido para esse fim. Por fim é feita uma breve introdução do simulador de UMTS denominado SLEP utilizado no âmbito do projecto ASILUM.

3.1 DIMENSIONAMENTO

Através do dimensionamento pretende-se, tendo em conta os requisitos de cobertura, capacidade e qualidade de serviço, obter a melhor distribuição das estações de base e suas características, compatível com as características de tráfego e geográficas dos locais a cobrir. Esta secção começa por apresentar os parâmetros mais relevantes para esse dimensionamento; posteriormente descreve a importância da avaliação do factor de carga de uma célula, a dependência deste com os diferentes perfis de utilização e a sua influência no planeamento celular.

3.1.1 CONFIGURAÇÃO DAS LIGAÇÕES – BALANÇOS DE POTÊNCIA

No dimensionamento de uma célula, assumem particular relevo os seguintes factores [HoTo00]:

- COBERTURA:
 - Regiões a cobrir;
 - Informação sobre o tipo de zona a cobrir;
 - Condições de propagação.
- CAPACIDADE:
 - Espectro disponível;
 - Informação sobre a densidade de tráfego;
 - Previsão do aumento do número de assinantes.
- QUALIDADE DE SERVIÇO:
 - Probabilidade de bloqueio;
 - Probabilidade de cobertura;
 - Débito binário visto pelo utilizador.

Destes aspectos, aqueles a que é dada uma maior importância no desenvolvimento do trabalho são os dois primeiros. Para o dimensionamento, considerando os requisitos de cobertura, as características do equipamento terminal utilizado e um conjunto de parâmetros específicos do sistema, é possível estimar a atenuação máxima que é permitida dentro de uma célula. Para tal recorre-se aos balanços de potência (*link budgets*), os quais se encontram no Anexo F, cujos parâmetros mais significativos são os que se descrevem de seguida.

- Cobertura e margens de desvanecimento:
De acordo com a Secção 2.3, usam-se os modelos de Okumura-Hata e de Walfisch-Ikegami para estimação do sinal e das margens de desvanecimento lento, sendo o primeiro adequado aos ambientes rural e suburbano enquanto que o segundo é usado em ambientes urbanos.

No uso do modelo de Okumura-Hata consideram-se os seguintes parâmetros: $h_{be} = 30$ m e

$h_m = 1,7$ m. Ao usar-se o modelo de Walfisch-Ikegami os parâmetros utilizados são os seguintes: $h_b = 22$ m, $H_B = 21$ m (prédios de 6 andares mais telhado inclinado com 3 m), $h_m = 1,7$ m, $w_s = 21$ m (largura das ruas) e $w_B = 42$ m (distância entre o centro dos prédios). Desta forma, as expressões (B.17) e (B.21) permitem estimar a margem de desvanecimento lento necessária que permite assegurar uma cobertura de 95% em todos os cenários. Para o desvanecimento rápido não se consideram quaisquer margens para o mesmo, pois este tipo de desvanecimento é eliminado pelo processo de média temporal, conforme informações disponibilizadas pelo operador Telecel Vodafone.

- Perdas adicionais de penetração em edifícios e veículos:
De acordo com [CPGF98] considera-se as seguintes perdas de penetração: perdas por penetração em edifícios na banda dos 2 GHz = 20 dB para ambiente urbano, 12 dB para ambiente suburbano e 6 dB para ambiente rural, para 90% de cobertura em ambientes interiores; perdas por penetração em veículos na banda dos 2 GHz = 8 dB para 90%.
- Factores de ruído das bases e dos móveis:
Conforme indicações da Telecel Vodafone, tem-se para os factores de ruído das estações de base com TMA (*Tower Mounted Amplifier*) valores típicos de 3 dB considerando-se que neste caso o uso deste equipamento anula as perdas nos cabos da ligação ascendente na estação base. Para os móveis os factores de ruído variam entre 5 e 7 dB, considerando-se este último valor por ser o caso mais desfavorável.
- EIRP de emissão das bases e dos móveis:
Para as potências das estações de base considera-se uma potência máxima de 1 W por canal de tráfego, tendo-se para os móveis 0,125 W para todos os serviços. Consideram-se perdas de corpo no serviço de voz iguais a 3 dB devido à proximidade entre o terminal e o corpo humano. Para as antenas têm-se ganhos de 18 dBi para as bases e de 0 dBi para os móveis.
- Margem de interferência:
Todos os balanços de potência apresentados apresentam a uma margem de interferência de 3 dB (50% de factor de carga), pois considera-se este o valor indicado para o dimensionamento das células ([Hoto00]), já que tal permite ao sistema possuir uma margem suficiente para assegurar qualidade de serviço em períodos de maior congestionamento. Este é no entanto um valor de referência para o qual o sistema deve ser dimensionado já que, na prática, este valor sofre grandes variações consoante o fluxo de tráfego oferecido à rede e as próprias condições de propagação.
- Relações sinal-ruído:
Como foi referido anteriormente, o UMTS será um sistema multi-serviço. Dado que cada serviço possui diferentes requisitos de qualidade conforme as suas características, a relação sinal-ruído mínima também se altera. Os valores desejados para a relação sinal-ruído mínima, E_b/N_0 , exibem-se na Tabela 3.1. Enquanto que os valores que se apresentam a preto foram extraídos de [ARIB98], [ETSI98] e [MFCV01], os valores a azul foram obtidos com base numa extrapolação de resultados que se encontra no Anexo G. O ritmo de 64 kbps é aqui considerado uma vez que pode ser um possível ritmo de transmissão para a classe de serviço de dados comutados. De acordo com [HoTo00] o ritmo binário para o serviço de HIMM será de 144 kbps e não de 128 kbps, razão pela qual este ritmo é apresentado na Tabela 3.1.

Serviço	Tipo de utilizador	<i>E_b/N₀</i> [dB]			
		Ligação			
		Ascendente		Descendente	
		PS	CS	PS	CS
Voz 12,2 kbps	Interiores	-	4,8	-	6,7
	Pedestre	-	4,8	-	6,7
	Veicular	-	6,4	-	8,8
64 kbps	Interiores	1,4	2,3	1,1	1,9
	Pedestre	1,4	2,4	1,1	1,9
	Veicular	3,6	3,8	3,0	3,7
144 kbps	Interiores	1,5	3,2	0,9	3,5
	Pedestre	1,9	2,5	0,9	2,1
	Veicular	2,9	3,3	2,8	3,0
384 kbps	Interiores	1,8	-	0,4	-
	Pedestre	3,2	-	0,1	-
	Veicular	4,5	-	2,7	-
2 048 kbps	Interiores	1,8	-	0,1	-
	Pedestre	3,2	-	0,2	-
	Veicular	4,5	-	2,7	-

Tabela 3.1 – Relações sinal-ruído desejadas para os vários serviços.

3.1.2 INFLUÊNCIA DA INTERFERÊNCIA NA DIMENSÃO DAS CÉLULAS

A relação sinal-ruído em sistemas WCDMA não contempla somente o ruído térmico mas inclui também a interferência provocada pelos outros utilizadores, isto é, o ruído engloba toda a potência recebida pelo terminal exceptuando a potência devida ao próprio sinal desejado. De acordo com o Anexo H, tem-se para o factor de carga em UL, η_{ul} [HoTo00]:

$$\eta_{ul} = \sum_{j=1}^N \frac{E_b/N_0 \cdot R_{b_j} \cdot \nu_j \cdot 1 + i}{W} \quad (3.1)$$

e para o factor de carga em DL, η_{dl} [HoTo00]:

$$\eta_{dl} = \sum_{j=1}^N \nu_j \cdot \frac{\left(E_b/N_0\right)_j}{W/R_{b_j}} \cdot [1 - \alpha_j + i_j] \quad (3.2)$$

onde

- N – número de utilizadores;

- R_{bj} – débito binário do utilizador j ;
- α_j – factor de ortogonalidade associado ao utilizador j ;
- i_j – razão entre a interferência devida a células vizinhas e a interferência causada na própria célula, sofrida pelo utilizador j ;
- $(E_b/N_o)_j$ – relação sinal-ruído necessária ao utilizador j ;
- ν_j – utilização do canal feita pelo utilizador j (tipicamente 50% para voz e 100% para os restantes serviços).

O parâmetro i dá conta da interferência causada numa célula pelas células vizinhas, uma vez que as BS operam na mesma frequência e a ortogonalidade entre os códigos não é perfeita. De acordo com [HoTo00] um valor indicado para este parâmetro é 0,55. A diferença entre (3.1) e (3.2) reside essencialmente no aparecimento de α_j . A consideração deste parâmetro em DL e o seu desprezo em UL deve-se ao facto de na última cada terminal ser identificado por um determinado *scrambling code*, para além dos *channelization codes* ortogonais entre si para diferenciar diferentes canais físicos, ao passo que em DL é utilizado um mesmo *scrambling code* para todos os utilizadores dentro de um mesmo sector. Desta forma, há uma melhor diferenciação entre canais em UL do que em DL. O que se verifica numa situação em que $\alpha=1$ (ortogonalidade perfeita na ligação descendente), e considerando apenas serviços simétricos é que a carga em UL é superior à obtida em DL, o que se justifica pelo facto de em DL a BS enviar sinais para vários destinos, os móveis, ao passo que no outro sentido da ligação a BS recebe simultaneamente sinais de várias origens o que leva a um aumento da interferência. A Figura 3.1 exhibe a variação do factor de carga para vários factores de ortogonalidade.

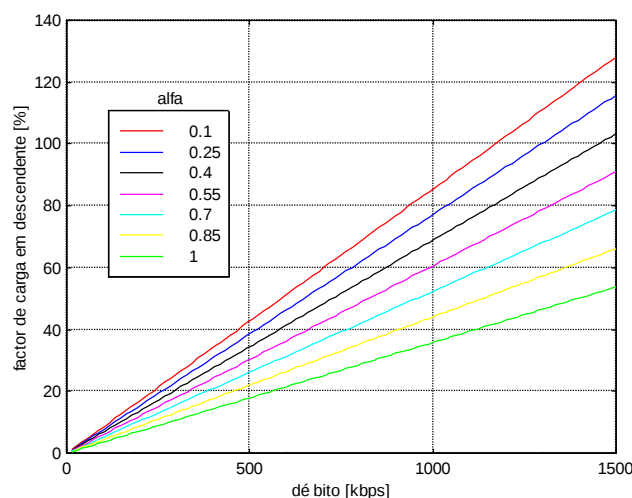


Figura 3.1 – Factor de carga em DL em função do débito binário oferecido para diferentes factores de ortogonalidade.

É notória a degradação do desempenho do sistema com factores de ortogonalidade decrescentes, degradação que se materializa no aumento do factor de carga para um mesmo ritmo binário com factores de ortogonalidade menores. O factor de ortogonalidade é tanto menor quanto maior for a diversidade de percurso existente na comunicação entre móvel e base, o que depende de factores como a mobilidade ou o ambiente em que os utilizadores estão inseridos. Tipicamente, a um utilizador veicular corresponde um factor de ortogonalidade de 0,6, ao passo que a um utilizador em ambiente interior corresponde um factor de ortogonalidade de 0,9, o que se traduz numa maior sobrecarga da rede por parte dos utilizadores veiculares. Na Tabela 3.2 indicam-se quais os factores de ortogonalidade

assumidos para cada ambiente e cenário, sendo que os valores para ambiente suburbano veicular e em interiores foram extraídos de [HoTo00] e os restantes foram assumidos.

Cenário	Ambiente		
	Urbano	Suburbano	Rural
Interior	0,9	0,9	0,9
Pedestre	0,7	0,8	0,95
Veicular	0,5	0,6	0,7

Tabela 3.2 – Factores de ortogonalidade para os diferentes ambientes e cenários.

Em qualquer um dos 3 ambientes assume-se que o factor de ortogonalidade em ambientes interiores é constante e relativamente elevado, pois dentro de edifícios haverá menos multipercurso (no caso considerado da estação de base ser exterior ao edifício) do que no exterior, excepto em ambiente rural onde, devido à ausência de obstáculos, se considera que o multipercurso para utilizadores pedestres é pouco significativo, levando a uma melhor ortogonalidade dos códigos. O cenário veicular é o mais pessimista pois nele se conjugam a penetração dentro de uma estrutura e a velocidade do utilizador, o que origina desvio de *Doppler* na frequência, o que é prejudicial em termos de interferência por quebra de ortogonalidade [Corr93].

A margem de interferência é um dos parâmetros de maior importância do balanço de potência visto que é através dele que se processa a ligação entre cobertura e capacidade em sistemas WCDMA e pode ser obtido através do factor de carga fazendo uso de (3.3), onde *MI* é a margem de interferência.

$$MI_{UL,DL[dB]} = -10\log(1 - \eta_{UL,DL}) \quad (3.3)$$

Por aplicação de (3.3), ilustra-se na Figura 3.2 a dependência da margem de interferência com o factor de carga.

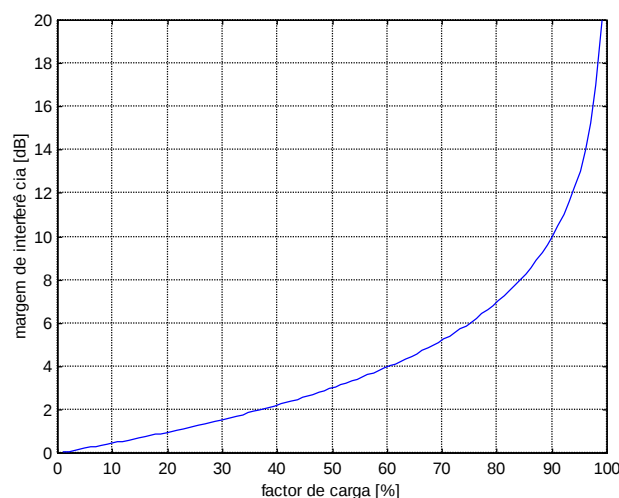
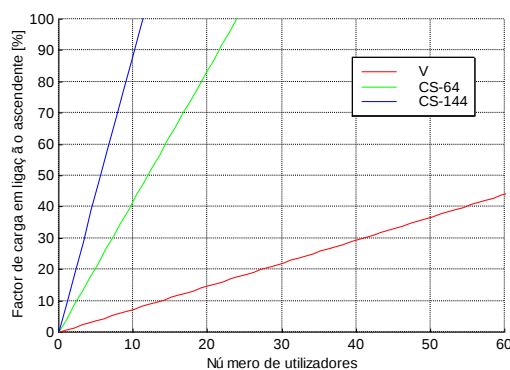


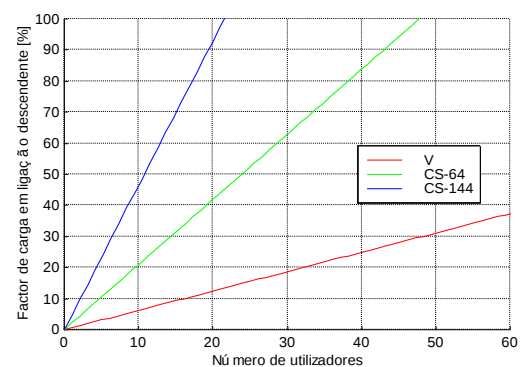
Figura 3.2 – Variação da margem de interferência com o factor de carga.

Quanto maior é a carga existente numa célula, maior é o ruído de banda larga daí resultante o que se reflecte numa maior interferência na célula e numa menor área de cobertura. Este

parâmetro depende essencialmente do número de utilizadores existente além de ser distinto em UL e DL, sendo obtido a partir do factor de carga da célula. Consoante o número de utilizadores, uma célula está mais ou menos carregada. Dado que os sistemas WCDMA são limitados pela interferência, o aumento gradual do débito oferecido à interface rádio provoca uma diminuição da atenuação de propagação máxima e, conseqüentemente, da cobertura. De facto, a Figura 3.3 realça a importância de um bom dimensionamento da interface rádio no que toca à carga permitida nas células devido ao crescimento acentuado da interferência para valores de factor de carga superiores a 75%. Há pois necessidade de estabelecer uma relação de compromisso entre a carga permitida e a dimensão das células. Na Figura 3.3 apresenta-se a evolução do factor de carga para UL e DL em função do número de utilizadores considerando ligações mono-serviço e utilizadores de classe pedestre. Os dados utilizados em (3.1) e (3.2) são os indicados nos balanços de potência respectivos, em particular no Anexo F.



a) – UL.



b) – DL.

Figura 3.3 – Variação do factor de carga com o número de utilizadores considerando apenas ligações mono-serviço e utilizadores de classe pedestre.

Facilmente se constata que há uma forte limitação ao uso dos serviços mais restritivos em termos de débito binário já que, por exemplo, em DL e para o factor de carga de referência de 50% apenas cerca de 10 utilizadores poderão utilizar simultaneamente o serviço de 144 kbps, e em uso exclusivo. Já o serviço de voz permite o uso simultâneo de um número abismal de utilizadores, o que decorre do baixo ritmo de transmissão associado aquele serviço. Por comparação directa das duas figuras também se pode concluir que um mesmo número de utilizadores impõe maiores restrições de interferência em UL, já que neste sentido da ligação o factor de carga se apresenta com um valor mais elevado, como de resto seria de esperar tendo em conta (3.1) e (3.2) e a questão do factor de ortogonalidade α .

No entanto a limitação imposta à dimensão das células poderá ser originada não pela interferência mas sim pela disponibilidade de códigos para os diferentes serviços. Na Subsecção 2.4.1 é descrita a relação de dependência entre a capacidade e o número de códigos disponíveis. Com base nessa informação apresenta-se na Figura 3.4 a variação da ocupação de códigos com a variação do factor de carga para UL e DL, considerando utilizadores pedestres mono-serviço em ambiente urbano.

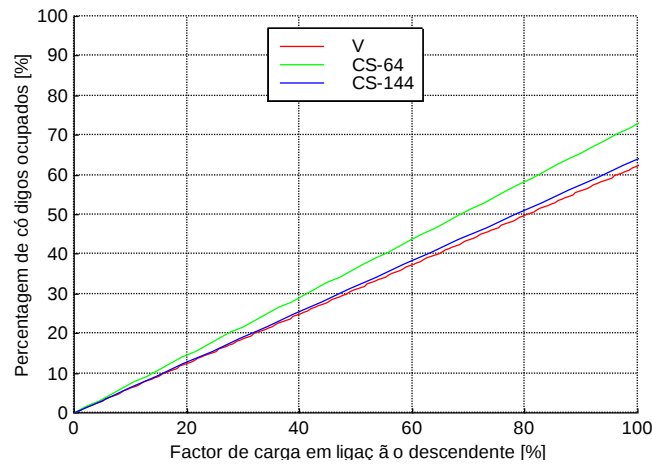


Figura 3.4 – Percentagem de códigos ocupados em função do factor de carga, na ligação descendente.

Por observação das Figuras 3.3 e 3.4 poder-se-á concluir que, nas condições enunciadas, não deverão surgir problemas relacionadas com a escassez de códigos para servir os utilizadores, já que para qualquer um dos 3 serviços de CS assumidos a limitação por excesso de carga ocorre para um número de utilizadores que fica bastante aquém do número de códigos disponível para os servir. Não é muito relevante o porquê de o serviço de 64 kbps apresentar maior ocupação de códigos do que, por exemplo, o de 144 kbps para um mesmo factor de carga, já que tal depende não só da quantidade de códigos existente mas também da dependência do factor de carga com o número de utilizadores, relação que não depende linearmente do ritmo de transmissão. Naturalmente que cada situação apresenta características muito específicas e que devem ser analisadas individualmente, mas de qualquer forma já é um resultado indiciador de que as dimensões das células deverão ser sobretudo limitadas pela interferência.

3.1.3 ATENUAÇÃO DE PROPAGAÇÃO

Na Figura 3.5 exhibe-se a variação da atenuação de propagação em função do número de utilizadores, considerando ligações mono-serviço. As curvas deixam de ser representadas quando o factor de carga atinge os 100% uma vez que nesse caso haveria uma impossibilidade física de estabelecimento de comunicação pois o raio da célula seria nulo, como se pode perceber pelo Anexo F e de acordo com o exposto na Subsecção 3.1.2.

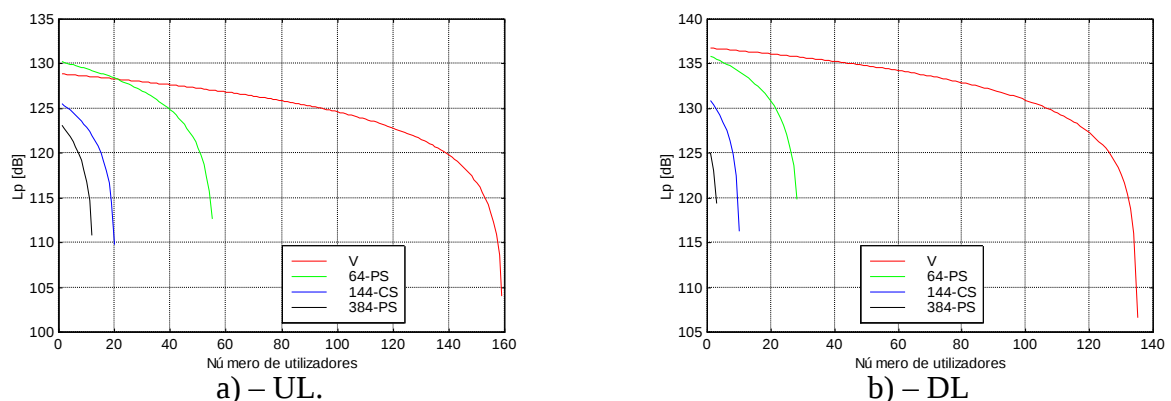


Figura 3.5 – Atenuação de propagação máxima em função do número de utilizadores considerando ligações mono-serviço, para cenário pedestre em ambiente urbano.

Apesar da assimetria existente entre UL e DL, é sempre o serviço de maior débito o responsável pelas maiores restrições ao dimensionamento das células. Tal explica-se simplesmente pela gradual redução do ganho de processamento à medida que o débito binário aumenta. O que poderá ocorrer com elevada probabilidade é, precisamente devido à assimetria e nomeadamente ao facto de a transferência de dados se efectuar, nos serviços de comutação de pacotes, sobretudo no sentido base-móvel, uma maior quantidade de utilizadores dos serviços assimétricos neste sentido da ligação, o que se traduz numa maior carga relativa das células nesse sentido. De qualquer forma, a situação em que há fluxo de tráfego a 384 kbps na ligação ascendente tem de ser considerada no dimensionamento do sistema e, como tal, é esse o serviço que deverá determinar quais as dimensões máximas da célula. De referir ainda que, por simples observação da Figura 3.1 não se pode concluir, para o mesmo débito binário, sobre quais os serviços mais restritivos: por um lado, se são os baseados em CS ou PS os que impõem mais restrições; por outro lado, para um mesmo tipo de comutação, qual o cenário mais limitativo. Por análise da Tabela 3.1, dado que os serviços que usam CS requerem uma maior relação sinal-ruído, será de esperar que estes sejam mais limitativos que os baseados em PS. Da mesma forma, os cenários mais limitativos, e de acordo com os balanços de potência apresentados no Anexo F, são os referentes a ambientes interiores devido à existência de perdas de penetração. Resta referir que, como seria de esperar, o aumento do número de utilizadores obriga ao uso de células de menor dimensão de forma a compensar o aumento da interferência, o qual leva a uma diminuição da atenuação de propagação permitida dentro das células.

A potência da estação base pode ser estimada a partir de [HoTo00]:

$$P_e = \frac{N_{rf} \times W \times \bar{L}_p \times \sum_{j=1}^k \frac{E_b / N_o_j}{W / R_{bj}}}{1 - \eta_{dl}} \quad (3.4)$$

onde:

- N_{rf} - Densidade espectral de ruído na entrada do móvel;
- $\bar{L}_p$ - Atenuação de propagação média entre a base e o móvel.

Uma simples abordagem à expressão 3.4 permite imediatamente concluir que, como é natural, a potência total de transmissão de uma estação base é tanto maior quanto mais utilizadores estiverem a ser servidos, quanto maior for a atenuação de propagação média, quanto maior for o débito binário disponibilizado para os utilizadores e quanto maior for a carga existente em DL. Em termos práticos, segundo informações disponibilizadas pela Telecel Vodafone, o valor máximo para P_e é de 20 W (43 dBm). Haverá portanto que ter em conta quer limitações de carga quer limitações de potência no processo de planeamento da rede.

3.2 DESCRIÇÃO DA APROXIMAÇÃO ANALÍTICA UTILIZADA PARA O DIMENSIONAMENTO DAS CÉLULAS

A localização para além das características técnicas como a potência, altura ou tipo de antena utilizado, das BS depende de inúmeros factores, que contabilizam, entre outros, a geografia do terreno, a demografia e os próprios aspectos da interface rádio. Estes parâmetros vão influenciar directamente ou indirectamente a dimensão da área servida por uma estação base.

Como forma de aferir a influência de vários parâmetros, como o factor de carga, os perfis de utilização dos vários serviços, a mobilidade, entre outros, foi desenvolvido um programa em MATLAB. Este programa é utilizado de forma a ser obtido um raio de célula e uma potência de transmissão da estação de base. A obtenção do raio da célula tem que considerar a influência do mesmo sobre o factor de carga através dos perfis de tráfego, de acordo com (3.1) e (3.2), tendo em conta que quanto maior for a dimensão da célula maior será o número de utilizadores servido pela mesma. Por outro lado a aplicação do balanço de potência, tendo em conta a variação do raio, conduz a diferentes margens de interferência admissíveis devido à variação da atenuação de propagação. Um aumento do raio leva a um aumento da atenuação de propagação e, para compensar esse acréscimo, a margem de interferência deve ser menor para que se garanta o nível de sinal mínimo, tudo isto condicionado pelos tipos de serviços utilizados. O procedimento utilizado é descrito de seguida.

Inicialmente, e de acordo com os balanços de potência associados a cada um dos 3 cenários possíveis para cada um dos 6 serviços considerados, num total de 18 balanços de potência, Anexo F, averigua-se qual é o raio máximo das células para o qual o maior dos factores de carga (UL ou DL) é menor ou igual ao factor de carga máximo estabelecido para o balanço de potência correspondente ao cenário/serviço mais restritivo. Desta forma assegura-se a cobertura para todos os serviços em qualquer um dos cenários possíveis. A Figura 3.6 ilustra esta primeira fase do procedimento.

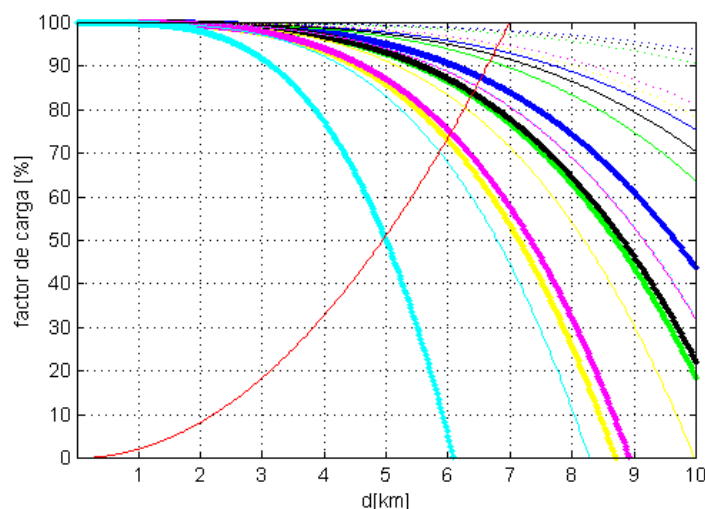
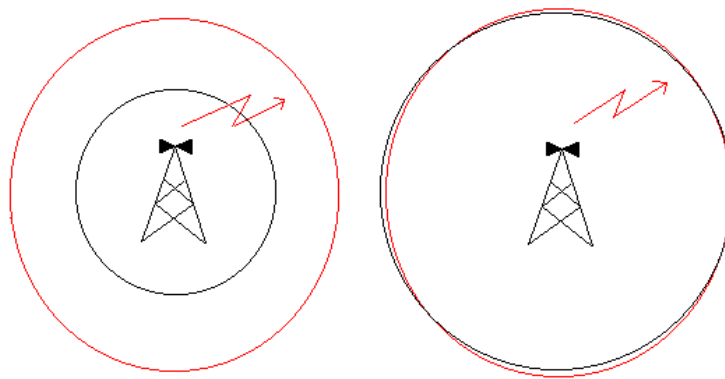


Figura 3.6 – Determinação do raio máximo das células que permite oferecer cobertura a todos os serviços em qualquer ambiente e em qualquer cenário.

A curva a vermelho é a que resulta da aplicação directa de (3.1) onde N depende de d , constatando-se o aumento acentuado do factor de carga com o aumento do raio. As curvas decrescentes são resultado da aplicação dos balanços de potência e demonstram que, para manter a E_b/N_0 necessária, mantendo todos os outros parâmetros também fixos, é necessário baixar os factores de carga como forma de compensar o aumento da atenuação de propagação inerente ao maior raio da célula (cada cor diz respeito a um serviço, existindo 3 curvas por serviço relativas aos 3 cenários considerados). Por forma a garantir o valor máximo da margem de interferência desejado (por volta de 50%), ou que o mesmo não seja demasiado exíguo, torna-se necessário ajustar as curvas correspondentes a cada serviço fazendo-as subir (introduzindo ganhos) ou descer (diminuindo ganhos). Pode por exemplo alterar-se a cobertura de determinado serviço, usando antenas a maior ou menor altitude ou ainda antenas mais ou menos directivas.

Visto que a ligação ascendente determina a cobertura [HoTo00], o raio máximo possível para a célula é aquele em que a curva a vermelho intersecta a curva correspondente ao serviço mais restritivo, ou seja, conduz ao raio mais baixo. Na ligação descendente calcula-se a potência máxima da estação de base por forma a que haja equilíbrio nas ligações ascendente e descendente. Esta situação é ilustrada na Figura 3.7. De nada serve ter uma estação de base a radiar uma potência muito elevada se o móvel não corresponder, uma vez que se requer bidireccionalidade no sistema. Na Figura 3.7 a) a BS tem uma área de cobertura bastante mais elevada que a do MS o que faz com que MS esteja impossibilitado de comunicar com a BS embora esta possa comunicar com o móvel.



a) situação indesejada b) situação desejada

Figura 3.7 – Exemplo de equilíbrios de ligação

Após esta primeira abordagem, há que averiguar se para o raio máximo determinado os factores de carga estão abaixo do limiar imposto de 50%, e se a potência necessária à BS é inferior ao limite de 43 dBm. Podem suceder 3 situações distintas: as cargas são superiores ao desejado e deve-se diminuir o raio das células por forma a que as mesmas atinjam um valor inferior de 50%; as cargas podem ser iguais ou inferiores a 50% mas a potência da BS ser superior a 43 dBm; e, por fim, quer as cargas quer a potência já estão abaixo dos seus valores limite. Na primeira situação, inicia-se então um processo iterativo baseado no método da bissecção o qual procura calcular qual o raio que leva a que o maior dos factores de carga seja igual a 50%, situação ilustrada na Figura 3.8.

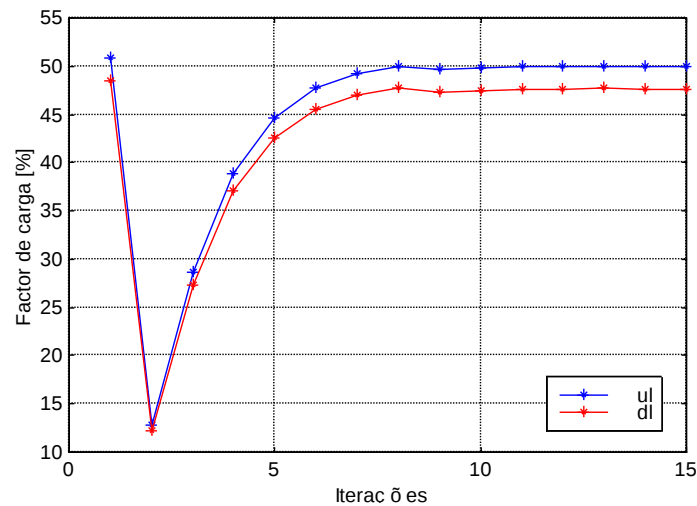


Figura 3.8 – Processo iterativo para cálculo do raio para o qual se têm factores de carga iguais ou menores que 50%.

Como é natural, o raio calculado é inferior à situação inicial e é obtido ao fim de algumas iterações. Feita esta primeira aproximação, há que verificar se a potência total necessária à BS não é superior ao limite de 43 dBm e se a potência por canal de tráfego em DL não excede 30 dBm (1 W). Caso tal aconteça, o procedimento a seguir é o mesmo que se deve realizar no caso da segunda das três situações previamente descritas.

Na segunda situação, usa-se um processo semelhante ao usado anteriormente, mas cujo propósito é calcular o raio para o qual a potência da BS atinge o valor máximo de 43 dBm, Figura 3.9. Neste caso, não há preocupações com os factores de carga pois se os mesmos já são inferiores a 50%, a diminuição do raio como forma de fazer baixar a potência da estação base só provoca uma redução ainda maior desses factores de carga.

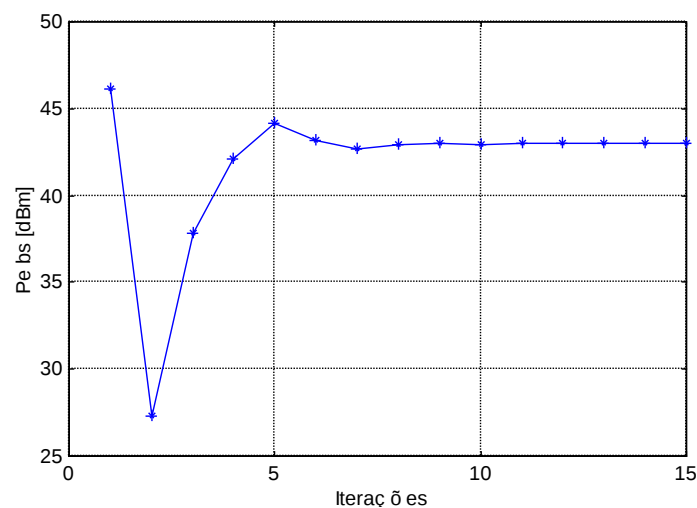


Figura 3.9 – Processo iterativo para cálculo do raio para o qual se tem uma potência da estação base de 43 dBm.

Estes dois processos iterativos são naturalmente acompanhados de um ajuste do raio das células à medida que os factores de carga e potência da estação base oscilam em torno dos seus valores desejados, tal como ilustra a Figura 3.10.

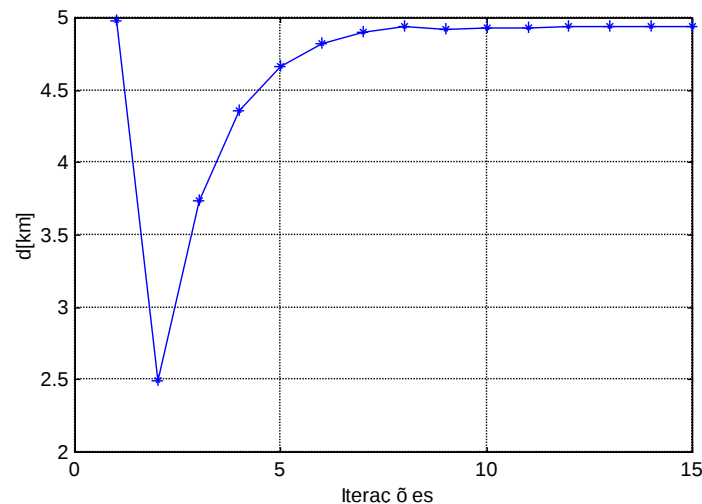


Figura 3.10 – Processo iterativo para cálculo do raio, paralelo aos processos ilustrados nas Figuras 3.8 e 3.9.

O cálculo do raio das células segue naturalmente uma evolução no sentido da diminuição do mesmo, já que se começa por uma situação de excesso face aos limites permitidos para os diferentes parâmetros, sendo por isso necessário ocorrer uma diminuição do raio para que esses parâmetros atinjam valores aceitáveis.

Na terceira situação não deve ser feito qualquer ajuste ao raio das células, já que os factores de carga e a potência da estação base já estão dimensionados para os valores máximos para os quais é assegurada cobertura a todos os serviços em todos os cenários, estando abaixo dos seus limites: um aumento desses raios como forma de aproximar as cargas de 50% levaria à falta de cobertura de alguns serviços; uma diminuição dos mesmos não faria sentido pois as células seriam menores sem qualquer contrapartida daí resultante, excepto se for pretendida uma maior margem de segurança no que concerne à interferência.

3.3 DESCRIÇÃO DO SIMULADOR SLEP

Dada a impossibilidade de aferir a validade dos resultados obtidos através da aproximação analítica e de recorrer a medidas, uma vez que o UMTS ainda não está implementado, teve-se acesso à ferramenta de planeamento SLEP, um simulador de UMTS em tempo real. Este programa permite, mediante a introdução de parâmetros de entrada como o tipo de antenas a usar, os perfis de tráfego ou o ambiente de propagação, entre outros bem mais específicos do UMTS, obter valores para a carga, a potência de emissão das BS ou a qualidade de serviço contabilizada num parâmetro geral denominado *Satisfaction Rate* – Taxa de Satisfação.

Uma vez que o SLEP deve suportar várias condições de simulação, pode ser configurado com qualquer combinação de parâmetros típicos utilizados normalmente em redes móveis. A informação relativa às condições de simulação está definida em vários ficheiros e bibliotecas. Essas bibliotecas e ficheiros são descritos com maior pormenor no Anexo I. Durante a simulação pode-se visualizar em várias janelas a evolução do sistema. Assim, existe informação relativa ao tráfego instantâneo, em Erlang ou kb/h, tanto para a ligação ascendente como para a ligação descendente, ou valores referentes à Taxa de Satisfação, a percentagem de chamadas bloqueadas ou a percentagem de chamadas efectuadas com qualidade deficiente. É possível ainda activar janelas de visualização de parâmetros relativos às estações base, sectores ou terminais móveis, onde se pode encontrar informação relativa às

relações sinal-ruído atingidas ou às potências instantâneas radiadas.

No âmbito do projecto ASILUM, simularam-se no programa SLEP diferentes situações relativas a 4 ambientes distintos, diferenciando-se ainda 12 cenários por cada ambiente. Os 4 ambientes usados – CBD, UP (*Urban Pedestrian*), UV (*Urban Vehicular*) e RU (*Rural*) - apresentam diferentes parâmetros em termos da interface rádio, perfil de tráfego e perfil de mobilidade, Tabela 3.3.

		Ambientes			
	Parâmetros	CBD	UP	UV	RU
Interface rádio	Atenuação em interiores [dB]	10	10	5	5
	Altura da estação base [m]	10	10	25	25
	Raio das células [m]	300	600	1 000	2 000
Perfil de tráfego	V [mErl/utilizador]	20,0	12,0	12,0	10,0
	SMS [kb/h/utilizador]	648,0	324,0	21,6	21,6
	SD [kb/h/utilizador]	1 347,8	673,9	44,9	44,9
	HIMM [kb/h/tilizador]	2 488,3	622,1	41,5	41,5
	MMM [kb/h/utilizador]	5 161,0	2 483,7	165,6	101,1
	HMM [kb/h/utilizador]	0	0	0	0
Perfil de mobilidade [%]	FastDriv	0,0	0,0	10,0	30,0
	MdFstDrv	0,0	5,0	30,0	30,0
	MdSlwDrv	10,0	35,0	30,0	20,0
	SlowDriv	30,0	30,0	10,0	10,0
	Walk	30,0	20,0	10,0	5,0
	Stand	30,0	10,0	10,0	5,0

Tabela 3.3 – Características dos ambientes simulados no SLEP (extraído de [MFCV01]).

Para a interface rádio, além dos valores apresentados existem outras grandezas cujos valores diferem dos utilizados no método analítico desenvolvido, destacando-se o factor de ruído de apenas 5 dB para os móveis, a ausência de perdas de corpo em todas as situações, e a referência de 2 m para a altura médias dos móveis. Além disso, também existem diferenças ao nível das relações sinal-ruído e da aplicação dos modelos de propagação. A informação completa sobre estas grandezas bem como a descrição mais pormenorizada dos modelos de serviço e de mobilidade é exibida no Anexo I.

Para cada um destes 4 ambientes os diferentes cenários simulados diferem entre si apenas no tipo de antena utilizado, no uso ou não de técnicas MUD (*Multi User Detection*) e também de tecnologia AAA (*Adaptive Antenna Array*), Tabela 3.4.

Embora todas as situações apresentadas sejam analisadas no âmbito do projecto ASILUM, apenas se apresentam os resultados referentes aos cenários 1 a 6, dado que a análise de técnicas AAA está fora do âmbito do trabalho desenvolvido. Novamente no Anexo I exhibe-se informação mais detalhada sobre os tipos de antenas utilizadas nestas simulações.

Cenário	Tipo de antena	Número de sectores	Tipo de AAA	Número de elementos do AAA	BS MUD	MS MUD	Tipo de BS
1	Omni	1	-	-	0	1	normal
2	65°	3	-	-	0	1	
3	90°	3	-	-	0	1	
4	120°	3	-	-	0	1	
5	Omni	1	-	-	0,5	1	MUD
6	Omni	1	-	-	0,5	0,5	
7	Omni	1	Circular	4	0	1	AAA
8	Omni	1	Circular	8	0	1	
9	Omni	1	Circular	12	0	1	
10	Omni	3	Linear	4	0	1	
11	Omni	3	Linear	8	0	1	
12	Omni	3	Linear	12	0	1	

Tabela 3.4 – Características dos cenários simulados no programa SLEP (extraído de [MFCV01]).

Para o procedimento utilizado no SLEP, numa primeira fase procurou-se um intervalo para a densidade de utilizadores que proporcionasse valores próximos de uma Taxa de Satisfação de 95 %, tendo esse intervalo uma amplitude de 200 utilizadores/km². Na segunda fase fez-se uso de um programa por nós desenvolvido em linguagem C por forma a gerar automaticamente simulações começando pelo limite inferior da janela e com incrementos de 10 utilizadores/km² até se atingir o limite superior da janela. Para cada valor de densidade de utilizadores foram executadas 10 simulações para as quais se obtiveram uma média e um desvio padrão em termos de Taxa de Satisfação. O uso deste simulador apresenta-se como sendo uma possibilidade altamente apelativa e interessante, já que permite a quem o utiliza adquirir um contacto directo com um programa que pode perfeitamente ser utilizado comercialmente, sendo aliás esse o propósito da sua criação. Além disso permite a aquisição de uma sensibilidade para situações que poderão não ser consideradas *a priori* e que podem perfeitamente surgir durante o manuseamento do programa. Tudo isto aliado ao facto de se tratar de um simulador em tempo real, um paralelo do que acontece num sistema real.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo procura averiguar-se em que medida é que a dimensão das células e a carga a que estas estão sujeitas é influenciada pelo volume de tráfego que é gerado nas mesmas, e pelas condições de propagação associadas a cada ambiente e cenário. Para tal são analisadas duas situações distintas: na primeira faz-se uso da perspectiva do UMTS Forum, cujas previsões de tráfego são calculadas no Anexo D e cujos resultados das mesmas se apresentam na Tabela 2.8; numa segunda perspectiva, usam-se dados gentilmente cedidos pela Telecel Vodafone, indicados no Anexo E. De entre estas duas perspectivas, espera-se que a segunda seja mais realista, não só por ser uma previsão mais recente mas também porque é fornecida directamente por um operador. Além disso, conforme as indicações do Anexo D, as previsões do UMTS Forum para 2005 sobreavaliam a penetração do serviço de voz face aos propósitos do UMTS, que são precisamente o uso generalizado de dados e de multimédia. No fim da secção apresentam-se também os resultados originados pelo uso do simulador SLEP com base nos dados apresentados no capítulo anterior.

4.1 PERSPECTIVA DO UMTS FORUM

De acordo com as previsões de tráfego do UMTS Forum para 2005 apresentam-se os valores obtidos para os raios e cargas das células para diferentes serviços, ambientes e cenários. Para a obtenção destes, consideram-se duas situações distintas: numa primeira abordagem, assume-se que o tráfego oferecido à rede se deve exclusivamente a um só serviço; numa segunda análise, considera-se que o tráfego oferecido à rede é originado por uma utilização generalizada dos serviços disponíveis, o que de resto está bem mais consentâneo com a realidade.

4.1.1 UTILIZAÇÃO EM MONO SERVIÇO

Considerando então apenas células cujo tráfego se deve a um só serviço, mas com as penetrações anteriormente definidas, tal significa que cada raio e carga associado a determinado serviço, ambiente e cenário corresponde ao raio obtido quando os utilizadores existentes apenas utilizam esse serviço nas condições de propagação dos respectivos ambiente e cenário. Nesta primeira análise não existem preocupações com limitações de potência da estação base (na prática limitada a 43 dBm) e com os factores de carga resultantes do tráfego oferecido (limitados a 50%, por exemplo, numa situação real). Desta forma os raios apresentados estarão em alguns casos claramente sobredimensionados já que as potências das estações base e factores de carga ultrapassam os limites estabelecidos. Apesar de esta ser uma situação pouco ou nada realista, a mesma tem interesse na medida em que se pode, por observação dos resultados, tentar aferir em que medida é que um determinado serviço é mais ou menos exigente para o dimensionamento da rede. No Anexo J apresentam-se os resultados, intermédios e finais, obtidos, reproduzidos na Tabela 4.1.

Através de uma análise à Tabela 4.1, observa-se que o tráfego previsto pelo UMTS Forum para o serviço de voz é bastante elevado já que, para um serviço com um ritmo binário baixo, os factores de carga resultantes apresentam-se muito altos, chegando mesmo a ultrapassar os 50% de factor de carga em alguns cenários. Em termos dos raios das células pode verificar-se que existem cenários em que estes são bastante reduzidos. O serviço de 64 kbps apresenta factores de carga muito baixos, quer em CS, quer em PS. Em ambiente rural tal será normal, mas nunca ao ponto do factor de carga ser praticamente nulo. Nos ambientes urbano e

suburbano os valores dos factores de carga são baixíssimos atendendo a que este deverá ser um ritmo de transmissão privilegiado quer para dados quer para, por exemplo, um serviço de videofonia. Para o serviço de 144 kbps, a situação é bastante semelhante à apresentada para o serviço de 64 kbps, mas com factores de carga ligeiramente superiores nos ambientes urbano e suburbano. Ainda assim, seria de esperar que ocorresse o contrário, isto é, que fosse o serviço de 64 kbps o mais preponderante em termos de utilização uma vez que é um serviço

Cenário		Voz		
		Comutação de circuitos		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL
urbano denso	interior	0,36	19,7	12,8
	pedestre	0,83	82,1	69,7
	veicular	0,68	20,2	23,7
suburbano	interior	0,38	3,0	1,9
	pedestre	1,18	23,3	24,0
	veicular	0,70	7,3	8,6
rural	Interior	11,84	8,2	5,3
	pedestre	19,67	21,4	12,8
	veicular	8,80	52,8	50,3

a) – Serviço de voz.

Cenário		64 kbps					
		CS			PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL		UL	DL
urbano denso	interior	0,34	4,8	1,9	0,37	1,0	1,7
	pedestre	1,14	8,2	4,0	1,20	3,3	7,2
	veicular	0,65	0,0	0,0	0,66	0,0	0,0
suburbano	interior	2,21	2,1	0,8	2,35	0,8	1,4
	pedestre	4,71	9,4	4,1	5,12	3,9	7,4
	veicular	2,59	3,9	2,4	2,64	1,7	3,9
rural	Interior	12,35	0,0	0,0	13,11	0,0	0,0
	pedestre	18,39	0,0	0,0	19,64	0,0	0,0
	veicular	9,96	0,0	0,0	10,09	0,0	0,0

b) – Serviço de 64 kbps.

Cenário		144 kbps					
		CS			PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL		UL	DL
urbano denso	interior	0,26	7,8	3,5	0,29	1,1	4,0
	pedestre	0,90	11,8	5,9	0,96	3,8	16,0
	veicular	0,55	0,0	0,0	0,56	0,0	0,0
suburbano	interior	1,66	3,1	1,4	1,86	0,5	1,9
	pedestre	3,68	13,1	5,8	3,95	2,6	9,8
	veicular	2,12	5,2	3,0	2,20	1,0	6,0
rural	Interior	9,25	0,0	0,0	10,35	0,0	0,0
	pedestre	14,53	0,1	0,0	15,10	0,0	0,0
	veicular	8,20	0,0	0,0	8,39	0,0	0,0

c) – Serviço de 144 kbps.

Cenário		384 kbps			2 048 kbps		
		PS			PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL		UL	DL
urbano denso	interior	0,22	0,2	2,1	0,14	0,2	10,2
	pedestre	0,69	0,7	6,9	0,45	0,7	32,2
	veicular	0,39	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0
suburbano	interior	1,38	0,1	0,9	0,86	0,1	6,8
	pedestre	2,77	0,4	4,0	1,71	0,7	32,1
	veicular	1,50	0,2	2,7	0,94	0,3	21,6
rural	Interior	7,68	0,0	0,0	4,77	0,0	9,1
	pedestre	10,50	0,0	0,0	6,45	0,0	9,2
	veicular	5,72	0,0	0,0	3,51	0,0	0,1

d) – Serviços de 384 kbps e de 2 048 kbps.

Tabela 4.1 – Resultados para ligações mono serviço segundo a perspectiva do UMTS Forum.

que exige menos da rede. Relativamente aos serviços de 384 kbps e 2 048 kbps, apesar de estes oferecerem um débito binário bastante elevado, e como tal, possuírem grande potencial para transmissão de dados, limitam bastante o tamanho das células, apesar de serem muito baixos os resultados obtidos quanto aos factores de carga para 384 kbps em particular. Todavia estes resultados não deverão estar longe da realidade, já que estes são serviços talvez demasiado exigentes para que a rede os possa disponibilizar para a generalidade das aplicações de dados. Ainda assim, e sobretudo para 2 Mbps, é visível o peso que este serviço tem sobre a carga em DL enquanto que, devido à sua forte assimetria, pouco ou nada influencia a carga em UL. Poderá assim haver alguma incerteza relativamente à validade das previsões de tráfego do UMTS Forum, já que sendo o propósito do UMTS possibilitar o uso de aplicações multimédia através de terminais móveis, não faz muito sentido que o serviço de

voz seja tão limitativo em termos de dimensionamento da rede face a serviços mais exigentes, como o de 144 kbps e até o de 64 kbps.

Convém mais uma vez realçar que as situações apresentadas (mono-serviço) não terão paralelo com a realidade, já que o UMTS é precisamente caracterizado pela diversidade de serviços, daí ser extremamente improvável que todos os utilizadores servidos por uma estação base acedam sem excepção a um mesmo serviço. O principal propósito desta análise é demonstrar a dependência da dimensão das células e das cargas suportadas com o ritmo binário e com o tráfego associado a cada serviço.

4.1.2 UTILIZAÇÃO EM MULTISERVIÇO

Considerando a existência simultânea de utilizadores de vários serviços, o que de resto é uma situação bem mais consentânea com a realidade, e limitando a potência da estação base a 20 W (43 dBm), a potência por canal de tráfego na ligação descendente a 1 W (30 dBm) e os factores de carga a 50%, os resultados obtidos são forçosamente diferentes e também mais realistas do que na aproximação realizada anteriormente. É também feita uma comparação entre duas situações distintas, em termos da consideração ou não de perdas adicionais de propagação em interiores: na primeira consideram-se perdas de penetração adicionais em edifícios e em veículos; na segunda essas perdas não são consideradas. Esta situação tem interesse na medida em que é importante aferir até que ponto é que a cobertura de ambientes interiores vai limitar a dimensão das células e a potência das estações base. A divisão da utilização dos serviços pelos vários cenários baseia-se nos próprios dados do UMTS Forum, no que concerne ao ambiente urbano denso, e na distribuição dos utilizadores pelos diferentes cenários indicada no Anexo E, Tabelas E.4 e E.5, para os ambientes suburbano e rural.

A Figura 4.1 ilustra a forma como foram obtidos os resultados apresentados nas tabelas que as procedem. A totalidade das figuras e resultados encontra-se no Anexo K.

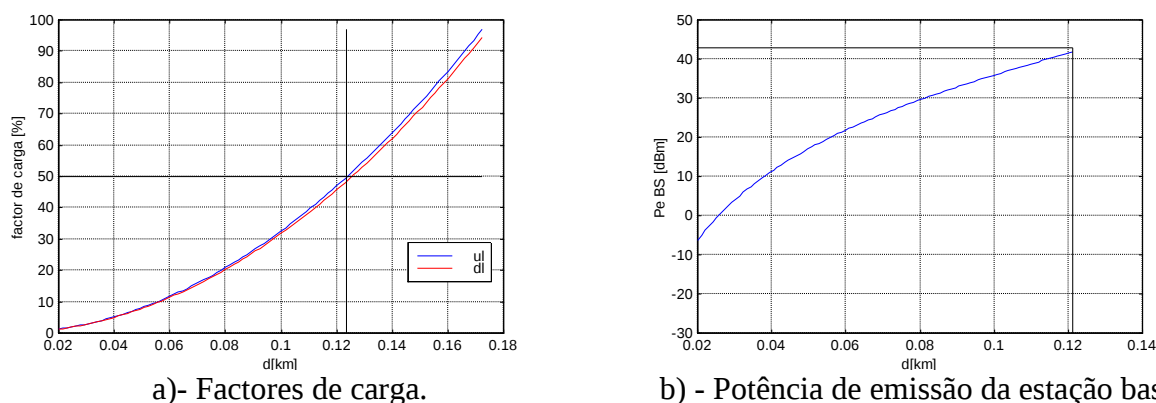


Figura 4.1 – Resultados para ambiente urbano denso considerando cobertura de interiores.

Estas curvas mostram a evolução dos parâmetros considerados mais relevantes para o dimensionamento, permitindo visualizar a dependência dos mesmos com o raio das células. As linhas preenchidas horizontais e verticais (a preto) indicam o limite teórico para as duas grandezas e o valor das mesmas para o raio escolhido para as células, através da intersecção destas com as linhas curvas, respectivamente.

De acordo com o Anexo K, os resultados obtidos estão indicados na Tabela 4.2.

Ambiente	Com perdas de penetração				Sem perdas de penetração			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	P_e [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	P_e [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano denso	46,7	50	41,8	0,12	48,4	50	24,5	0,12
Suburbano	22,7	12,6	37,1	0,9	50	27,7	39,4	1,33
Rural	4,7	5,1	30,5	4,03	12,8	13,9	35,1	6,63

Tabela 4.2 – Resultados para os diferentes ambientes, com serviços até 2 048 kbps.

No que diz respeito ao ambiente urbano denso, verifica-se que os valores dos raios são idênticos quer considerando perdas de penetração quer não as considerando, uma vez que, dado que o factor carga atinge em ambos os casos o limite máximo de 50%, o raio não pode exceder o valor para o qual tal acontece. A única alteração de relevo é o aumento da potência de emissão da BS quando se consideram as perdas adicionais, por forma a compensar essas mesmas perdas, sendo de realçar que nesta situação todos os parâmetros apresentados se encontram já perto dos limites estabelecidos; isto não garante ao sistema uma boa capacidade de resposta a possíveis picos extraordinários de tráfego, podendo faltar cobertura nos limites da célula aos serviços mais exigentes, numa situação destas. Desta forma observa-se já as muitas reservas que o facto de se pretender atribuir cobertura em modo FDD a um serviço de 2 048 kbps coloca ao sistema. Há portanto uma clara limitação pela carga neste ambiente, como de resto não é de estranhar, uma vez que já hoje em dia, no sistema GSM, as limitações em ambientes urbanos devem-se maioritariamente à capacidade do sistema. Atente-se também ao facto de, considerando perdas de penetração, a potência necessária à BS é superior a 40 dBm (10 W) para células de apenas 120 m, o que se deve à elevada interferência existente na célula, situação típica de sistemas CDMA, bem como às elevadas perdas de penetração consideradas. Em ambiente suburbano, se não forem consideradas perdas de penetração existe também uma limitação pela carga, só que desta vez, a limitação é ao nível do factor de carga em DL, devido ao elevado ritmo binário do serviço de 2 048 kbps nesse sentido da ligação e à forte assimetria do serviço. Quando se consideram perdas adicionais de penetração, o raio da célula diminui e o factor limitativo passa a ser as condições de propagação, diminuindo também a potência de emissão da BS, dado que a célula se torna mais reduzida e a carga diminui também. No que concerne ao ambiente rural, sobressai imediatamente a maior dimensão das células em qualquer um dos casos, o que decorre não só das menores atenuações de propagação, mas também do baixo volume de tráfego a que a rede está sujeita, com a consequente diminuição da interferência. Verifica-se também que a limitação à dimensão da célula decorre do próprio balanço, de potência já que nem os factores de carga nem a potência da estação base atingem o limite máximo.

Na análise anterior foi considerada a cobertura do serviço de 2 048 kbps em modo FDD. Segue-se uma análise em que o serviço de 2 048 kbps não é considerado, para que se possa averiguar até que ponto a existência deste serviço, em modo FDD, influencia o dimensionamento da rede rádio, já que *a priori* o mesmo só será oferecido em modo TDD. Considerando então cobertura apenas para os serviços com débitos até 384 kbps, os resultados obtidos são os indicados na Tabela 4.3.

Comparando estes resultados com os da Tabela 4.2, nos casos em que não se atribuem perdas adicionais por penetração em interiores, constata-se que no ambiente urbano denso há uma diminuição da potência da estação base e também da carga em DL, o que decorre da forte

Ambiente	Com perdas de penetração				Sem perdas de penetração			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	P_e [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	P_e [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano denso	37,6	50	40,6	0,12	37,5	50	22,6	0,12
Suburbano	23,4	25,9	43	1,29	43	50	42,9	1,8
rural	9,9	10,9	39,7	5,89	23,3	25,7	43	9,03

Tabela 4.3 – Resultados para os diferentes ambientes, considerando serviços até 384 kbps.

assimetria do serviço de 2 048 kbps, onde o fluxo de tráfego se faz maioritariamente no sentido BS-MS, o que se traduz num aumento da interferência nesse sentido da ligação. No entanto, o raio permanece praticamente o mesmo, já que a limitação ao mesmo é imposta pelo factor de carga em UL e este é pouco alterado pela ausência do serviço de 2 048 kbps devido à sua assimetria. Para o ambiente suburbano, quando não se consideram perdas adicionais por penetração em interiores, ocorre também uma limitação pela carga embora a potência de emissão (42,9 dBm) esteja também ela muito próxima do limite máximo de 43 dBm. Também esta situação parece decorrer logicamente da situação analisada, já que, apesar de a densidade de tráfego em ambiente suburbano ser inferior à existente num ambiente urbano, a atenuação neste tipo de ambiente é inferior, o que aliado à ausência de perdas de penetração permite obter alcances maiores às BS e como tal também o tráfego total aumenta. Comparando com os resultados da Tabela 4.2, a limitação, embora continue a ser pela carga, passa a ser feita pelo factor de carga em UL, pois deixa de ser considerado um serviço fortemente assimétrico como é o de 2 048 kbps. Também como consequência da não consideração do serviço de 2 048 kbps o raio da célula aumenta, pois os balanços de potência deixam de ser tão restritivos. Em ambiente rural, onde a limitação com o serviço de 2 048 kbps se devia às condições de propagação, passa a existir uma limitação pela potência de emissão da estação de base, verificando-se um aumento quer do raio da célula, quer dos factores de carga. Como tal, decorre do próprio balanço de potência do serviço de 2 048 kbps a limitação do sistema, o que indica que o tráfego nesta situação é tão reduzido que pode apresentar vantagens de ordem financeira não oferecer cobertura a este serviço em zonas rurais.

Analisando o caso em que se consideram perdas por penetração em interiores, verifica-se que no ambiente urbano denso ocorre uma situação semelhante à anterior, constatando-se que as células têm apenas cerca de 120 m, mas quer a potência da BS quer o factor de carga em DL diminuem devido à menor interferência que se gera no sistema, por não haver transmissões a um ritmo de 2 048 kbps. No caso do ambiente suburbano, deixa de ser a aplicação do balanço de potência do serviço de 2 048 kbps em ambientes interiores o factor limitativo da dimensão das células, passando o raio destas a resultar da limitação de potência da BS. Assim, novamente poder-se-á questionar a necessidade de oferecer cobertura ao serviço de 2 048 kbps num ambiente deste tipo, já que para o assegurar é necessário diminuir o raio das células e como tal obrigar ao uso de mais estações base, podendo não resultar daí um aumento substancial de tráfego que o justifique. No ambiente rural, esta conclusão é ainda mais evidente porque as cargas continuam a ser baixas sem o serviço de 2 048 kbps, tal como a potência é inferior ao seu limite máximo, e daí existir uma limitação decorrente do balanço de potência do serviço mais limitativo (o de 384 kbps, em interiores, neste caso e não o de 2 048 kbps, em interiores). Não parece portanto existir motivo para oferecer cobertura a este serviço, pois além de tal obrigar ao uso de mais BS (células menores), o tráfego oferecido a cada uma dessas células é ainda mais reduzido.

Uma vez que a procura de serviços de alto débito assimétricos pode ser escassa em determinados ambientes, nomeadamente em rural (como já foi visto na situação considerada anteriormente) e possivelmente suburbano, poderá ser uma solução interessante não oferecer cobertura a estes serviços por forma a diminuir o número de células necessárias para a cobertura de determinadas zonas. Na análise que se segue não se considera a existência do serviço a 384 kbps, e de acordo com o Anexo K os resultados obtidos são os indicados nas Tabelas 4.4.

Ambiente	Com perdas de penetração				Sem perdas de penetração			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
urbano denso	36,8	50	40,4	0,12	36,5	50	22,4	0,12
suburbano	22,7	26,4	43	1,3	43	50	42,9	1,8
rural	12,9	14,2	43	6,72	23,3	25,7	43	9,03

Tabela 4.4 - Resultados para os diferentes ambientes, com serviços até 144 kbps.

Por comparação com os resultados da Tabela 4.3, em particular para o caso em que se consideram perdas adicionais de penetração em interiores, verifica-se que no caso do ambiente urbano denso não existem praticamente quaisquer alterações nos resultados obtidos. De facto, observa-se uma muito ligeira diminuição quer da carga em DL quer na potência de emissão da BS, o que se deve ao facto do fluxo de tráfego do serviço de 384 kbps se fazer naquele sentido da ligação. De resto, a carga em UL continua a ser o factor limitativo da dimensão das células, a qual não se altera, sendo portanto pouco influenciada pela existência ou não de garantia de cobertura do serviço de 384 kbps. Da mesma forma, atendendo à muito pequena variação da carga em DL, para um mesmo raio de célula, poder-se-á concluir que o serviço de 384 kbps pouca influência tem também neste sentido da ligação, o que se fica a dever ao pouco tráfego previsto com origem neste serviço. No ambiente suburbano novamente se constata que as alterações são muito ligeiras mas surgem algumas diferenças face à situação anterior. No caso em que se garante cobertura até 384 kbps, de acordo com a Tabela 4.3, a limitação à dimensão das células devia-se ao limite de potência de emissão da BS e não à carga em UL. Oferecendo cobertura apenas até 144 kbps, a ausência do fortemente assimétrico serviço de 384 kbps permite ao sistema disponibilizar mais potência para os outros serviços e, como tal, permite um maior raio de cobertura das estações base. Ainda assim, o já referido facto de o tráfego devido a este serviço ser de tal ordem escasso leva a que não haja uma grande influência nos parâmetros principais da rede oriunda da cobertura ou ausência de cobertura do serviço de 384 kbps, constatando-se apenas um ligeiro aumento do raio das células, praticamente negligenciável. Já no ambiente rural, aqui sim não fará muito sentido estar a garantir cobertura ao serviço de 384 kbps, visto que caso essa cobertura exista, a limitação deve-se ao muito restritivo balanço de potência do serviço a 384 kbps, em interiores, estando neste caso as células pouco carregadas e as BS a radiar pouca potência; por outro lado, o facto de não se garantir cobertura ao serviço de 384 kbps já permite que as células sofram um aumento razoável no seu raio, passando estas a serem limitadas pela potência das BS e passando as células a estar mais carregadas. Assim, é perfeitamente aceitável que em ambientes rurais não haja garantia, por parte dos operadores, de cobertura ao serviço de 384 kbps.

Nas situações em que não são atribuídas perdas adicionais por penetração, o impacto sobre a interface rádio da garantia ou não de cobertura do serviço de 384 kbps é basicamente o

mesmo da situação anterior, com os respectivos ajustes numéricos devido às perdas adicionais. Nos ambientes suburbano e rural chega-se inclusive à conclusão que a garantia de cobertura apenas até 144 kbps é praticamente indiferente, visto que em nenhum dos dois ambientes a limitação se deve às maiores restrições dos balanços de potência do serviço de 384 kbps e também porque, como já foi afirmado, o tráfego devido a este serviço é tão escasso que praticamente não influencia a carga e a potência de emissão da BS.

4.2 PERSPECTIVA DA TELECEL VODAFONE

Com base nos dados de tráfego fornecidos pela Telecel Vodafone, indicados na Tabela 2.9, segue-se então o mesmo procedimento usado na secção anterior, com as seguintes alterações: primeiro, obter-se resultados para duas situações distintas em termos de tráfego, uma respeitante a uma fase inicial do sistema onde o tráfego gerado e a penetração dos serviços é menor, e outra onde este tráfego já é maior, a par da taxa de penetração, correspondente a uma fase mais consolidada da rede; segundo, não se aferir a influência do serviço de 2 048 kbps sobre a rede, já que a Telecel Vodafone não prevê oferecer cobertura a este serviço, pelo menos em modo FDD e, como tal, não avançou com previsões de tráfego para o mesmo.

4.2.1 UTILIZAÇÃO EM MONO-SERVIÇO

A abordagem seguida nesta subsecção é análoga à seguida na subsecção 4.1.1. No anexo L apresentam-se os resultados intermédios e finais obtidos, reproduzidos na Tabela 4.5, considerando-se aqui apenas as previsões para rede consolidada.

Cenário		Voz		
		CS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL
urbano denso	interior	0,26	75,4	49,1
	pedestre	0,30	99,7	74,7
	veicular	0,25	97,7	96,8
urbano	interior	0,36	22,9	14,9
	pedestre	0,71	90,1	67,5
	veicular	0,52	75,2	70,6
suburbano	interior	0,98	96,4	62,6
	pedestre	0,99	99,2	74,3
	veicular	0,83	98,6	97,8
rural	interior	6,67	92,3	59,9
	pedestre	6,87	97,8	73,4
	veicular	5,50	91,1	96,9

a) – Serviço de voz.

Cenário		64 kbps					
		CS			PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL		UL	DL
urbano denso	interior	0,34	6,8	2,6	0,36	8,4	10,3
	pedestre	0,98	46,9	22,9	1,01	52,6	84,9
	veícular	0,64	6,9	4,6	0,65	6,0	16,7
urbano	interior	0,36	0,7	0,3	0,37	1,4	1,7
	pedestre	1,13	8,2	4,0	1,18	14,2	23,4
	veícular	0,65	1,8	1,2	0,66	3,6	6,9
suburbano	interior	2,11	16,7	6,4	2,16	26,4	32,8
	pedestre	4,04	46,9	20,3	3,87	63,6	91,0
	veícular	2,44	23,5	14,1	2,32	38,1	64,3
rural	interior	10,78	2,2	0,8	11,38	3,8	4,7
	pedestre	17,87	6,1	2,1	18,80	10,5	11,8
	veícular	9,30	18,1	9,7	8,96	31,5	47,0

b) – Serviço de 64 kbps.

Cenário		144 kbps					
		CS			PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL		UL	DL
urbano denso	interior	0,26	10,8	4,8	0,29	3,0	3,3
	pedestre	0,73	59,8	29,9	0,90	24,7	33,1
	veícular	0,53	9,5	5,6	0,56	3,0	6,1
urbano	interior	0,26	1,2	0,5	0,29	0,2	0,3
	pedestre	0,90	11,9	6,0	0,96	2,9	3,7
	veícular	0,54	2,6	1,6	0,56	0,6	1,2
suburbano	interior	1,54	24,5	11,0	1,83	6,1	7,3
	pedestre	2,98	58,7	25,9	3,73	20,8	26,2
	veícular	1,94	30,0	17,2	2,15	8,7	17,2
rural	interior	8,06	3,3	1,5	9,04	0,8	0,9
	pedestre	14,97	8,5	3,0	14,83	2,3	2,2
	veícular	7,47	23,4	12,0	6,95	8,1	11,7

c) – Serviço de 144 kbps.

Cenário		384 kbps		
		PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL
urbano denso	interior	0,22	0,00	0,00
	pedestre	0,69	0,00	0,00
	veicular	0,39	0,00	0,00
urbano	interior	0,22	0,00	0,00
	pedestre	0,69	0,00	0,00
	veicular	0,39	0,00	0,00
suburbano	interior	1,38	0,00	0,00
	pedestre	2,76	0,00	0,00
	veicular	1,50	0,00	0,00
Rural	interior	6,72	0,00	0,00
	pedestre	10,37	0,00	0,00
	veicular	5,63	0,00	0,00

d) – Serviço de 384 kbps.

Tabela 4.5 – Resultados para ligações mono-serviço de acordo com a perspectiva da Telecel Vodafone para rede consolidada.

Analisando em pormenor estes resultados, uma vez mais e à semelhança do que acontece com as previsões do UMTS Forum, o serviço de voz é claramente aquele que prevalece em termos de utilização, o que se traduz claramente nos elevados factores de carga relativamente aos outros serviços. Observa-se também, como seria de esperar, que há uma diminuição dos raios das células à medida que o débito binário aumenta, independentemente da carga existente, o que se deve sobretudo à progressiva diminuição do ganho de processamento com o aumento do débito binário. Também se observa, no caso dos serviços a 64 e 144 kbps, que para o mesmo débito binário são os serviços que usam CS aqueles que obrigam ao uso de células de menor dimensão, independentemente da carga existente, o que se deve ao facto de as relações sinal-ruído pretendidas serem maiores nestes casos. Entre os serviços baseados em PS verifica-se também que o ritmo privilegiado é o de 64 kbps, sendo também interessante realçar que, apesar da assimetria, no serviço de 144 kbps em ambiente rural e cenário pedestre, o factor de carga em UL é superior ao factor de carga em DL; este facto pode ser explicado pelo elevado factor de ortogonalidade que caracteriza o respectivo canal, e que permite baixar a carga em DL relativamente a outras situações. Ainda para os serviços de PS é visível que o serviço de 384 kbps terá uma utilização extremamente escassa, o que poderá numa fase de planeamento levar a questionar a necessidade de oferecer cobertura a este serviço dada a pouca quantidade de tráfego que o uso do mesmo originará. É também interessante realçar que, como é natural, são os cenários interior e veicular aqueles que impõem maiores restrições às dimensões das células devido às perdas adicionais que lhes são inerentes.

Mais uma vez se refere que esta análise está longe de ter paralelo com a realidade e que o seu intuito é apenas demonstrar a dependência entre cobertura e capacidade em UMTS devido à utilização de WCDMA.

4.2.2 UTILIZAÇÃO EM MULTISERVIÇO

Repetindo o procedimento já utilizado na subsecção 4.1.2 e considerando a possibilidade de oferecer serviços até 384 kbps, os resultados obtidos estão indicados na Tabela 4.6, estando os mesmos ilustrados no Anexo M.

Ambiente	Rede inicial				Rede consolidada			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
urbano denso	2,9	3,6	36,0	0,22	24,6	30,0	43,0	0,18
urbano	0,5	0,6	27,1	0,22	6,5	7,0	38,2	0,22
suburbano	11,9	14,4	41,0	1,42	44,1	50,0	39,1	0,76
rural	5,6	6,3	37,2	5,98	38,8	40,7	43,0	4,45

a) - Com perdas adicionais de penetração.

Ambiente	Rede inicial				Rede consolidada			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
urbano denso	18,1	22,9	43,0	0,56	41,0	50,0	33,4	0,22
urbano	4,2	4,9	37,6	0,63	30,4	33,0	43,0	0,48
suburbano	28,2	34,0	43,0	2,18	44,1	50,0	30,0	0,76
rural	14,8	16,7	41,8	9,75	47,7	50,0	38,6	4,90

b) - Sem perdas adicionais de penetração.

Tabela 4.6 – Resultados para existência de serviços até 384 kbps.

Analisando primeiro a situação em que as perdas de penetração em interiores são consideradas no dimensionamento da rede, o que corresponde ao caso mais comum nas decisões dos operadores, é notório que numa fase inicial de desenvolvimento da rede a limitação da dimensão das células deve-se claramente às restritivas atenuações permitidas pelos balanços de potência. De facto, verifica-se que em nenhum dos 4 ambientes considerados nem as cargas nem as potências das BS atingem os limites permitidos. Estes resultados compreendem-se de certa forma, pois nesta fase inicial, e de acordo com a Tabela 2.9, a taxa de penetração é de apenas 4% e também o tráfego médio por utilizador é relativamente baixo, o que se traduz em baixos factores de carga e, consequentemente, a baixos valores de interferência o que também leva a que as potências das BS sejam relativamente reduzidas. No entanto, com o evoluir gradual da rede e com o natural aumento quer da penetração dos serviços quer da própria utilização destes, as limitações nos alcances das BS passam a ter origens diferentes, dependendo do ambiente. Assim, verifica-se que, por exemplo, nos ambientes urbano denso e rural há uma limitação devida ao facto de a BS necessitar de radiar a potência máxima que lhe é permitida, enquanto que no ambiente

suburbano essa limitação é imposta pela carga em UL e, apesar do crescimento da utilização da rede, continua a haver uma limitação pelas condições de propagação em ambiente urbano. Face a estes resultados, poder-se-ia questionar o porquê de em ambiente suburbano haver limitação pela carga e em ambiente urbano denso não, já que neste último caso o tráfego deverá ser naturalmente superior. O problema é que em ambiente urbano denso a atenuação de propagação é de tal forma elevada, e juntamente com as elevadas perdas de penetração em interiores, basta um valor de interferência relativamente baixo para que se atinja o limite de potência da base, não chegando a carga a atingir o seu limite máximo. Em ambiente rural, também existe limitação pela potência da BS, mas o facto de as perdas serem inferiores permite obter distâncias entre bases muito superiores, acima dos 4 km face aos cerca de 180 m do ambiente urbano denso. No ambiente suburbano, a limitação é devida à carga na ligação ascendente, o que não significa que o tráfego seja superior ao existente no ambiente urbano denso, o que logicamente não acontece, mas que o facto de as atenuações de propagação e penetração serem inferiores em ambiente suburbano permite um maior raio às células e que o tráfego existente é suficiente para atingir o máximo de carga das mesmas. Em ambiente urbano os resultados obtidos são um pouco estranhos no sentido em que se deveria esperar uma situação intermédia entre os ambientes urbano denso e suburbano, podendo ser explicados pela divisão geográfica adoptada para a cidade de Lisboa, a qual poderá ter sobreavaliado os dois referidos ambientes, em prejuízo do ambiente urbano.

Observando a influência do aumento da penetração dos serviços sobre as distância entre células, também há conclusões interessantes. Assim, observa-se que nos ambientes urbano denso e urbano o aumento do tráfego pouca influência tem sobre a dimensão das células, permanecendo mesmo esta inalterada no segundo caso. Este resultado poderá parecer estranho mas atendendo à Figura 4.2 a sua validade decorre com naturalidade. De facto, em ambiente urbano (geral), as elevadas atenuações existentes aliadas às fortes perdas de penetração não permitem grande variação ao raio das células, já que as curvas que ilustram o factor de carga máximo admissível em UL apresentam um decaimento muito abrupto com o aumento do raio. Assim, se a curva a vermelho, que traduz o factor de carga efectivo em função do raio, sofrer variações acentuadas para os mesmos raios, tal não se traduz numa forte variação do raio final da célula, precisamente devido ao decaimento abrupto dos máximos permitidos para o factor de carga.

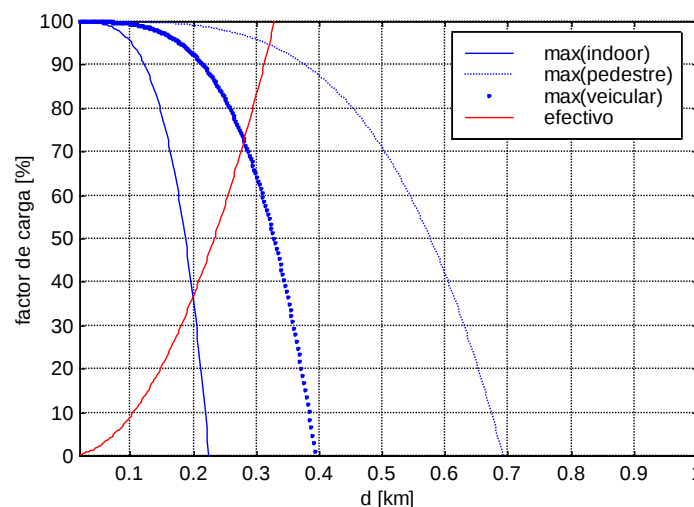


Figura 4.2 – Aproximação analítica (UL) usada para obter o raio máximo das células, ambiente urbano denso, com perdas de penetração em interiores, para rede consolidada, serviço de 384 kbps.

Desta forma, se um operador pretender, face à escassez de utilização dos serviços que caracteriza a fase inicial da rede, implementar células com dimensões superiores às indicadas, terá que optar, por exemplo, por não garantir cobertura ao serviço de 384 kbps em interiores, já que são precisamente os balanços de potência deste serviço nestes cenários que impõem a reduzida dimensão das células. Repare-se que, para o balanço de potência mais restritivo (384 kbps em interiores), nas condições da Figura 4.2, o raio máximo da célula que garante cobertura de todos os serviços em qualquer cenário é de aproximadamente 200 m, para um factor de carga inferior a 40%, enquanto que se não se garantir cobertura em toda a célula para 384 kbps em interiores o raio da célula aproxima-se de 300 m para uma carga de 70%.

Para avaliar o impacto das perdas de penetração sobre o dimensionamento da interface rádio em UMTS, a primeira observação a fazer é, de um modo geral, o natural aumento da dimensão das células. De facto, e atendendo primeiro à fase de rede inicial, em todos os ambientes, sem excepção, há um maior raio de cobertura das BS; isto é lógico, atendendo a que a limitação era imposta pelos muitos restritivos balanços de potência para cenários interiores, passando a haver limitação pela potência em ambientes urbano denso e suburbano, devido à relativa grande dimensão das células, e ainda assim pelos referidos balanços de potência, em ambientes urbano e rural. Com o desenvolvimento da rede, na fase de rede consolidada já há claramente uma predominância de limitação pelo excesso de interferência, exceptuando o caso do ambiente urbano. Quer isto dizer que o facto de não se atribuírem perdas adicionais por penetração em ambientes interiores permite um aumento da interferência nas células, compensado a menor atenuação de propagação, daí o aumento verificado da carga nas células, exceptuando o ambiente suburbano, onde a limitação já era imposta por essa carga. Atendendo a estas conclusões, poder-se-á novamente questionar, sobretudo na fase inicial da rede, a necessidade de oferecer cobertura em interiores, sobretudo a serviços exigentes como o de 384 kbps ou mesmo 144 kbps, por exemplo no ambiente rural onde a utilização destes serviços é escassa pois tal permite passar de células com raios de cerca de 6 km para células com quase 10 km, o que é mais económico do ponto de vista de investimento na rede. De qualquer forma, qualquer solução passará sempre por um compromisso entre necessidades de cobertura e investimento na rede, já que de uma forma geral estes resultados já permitem constatar que em UMTS as células terão dimensões muito inferiores às células do actual sistema GSM.

Para aferir da influência da disponibilização por parte da rede de aplicações a um ritmo de 384 kbps, este débito binário não foi considerado na análise seguinte. Se for considerada a possibilidade de oferecer cobertura a serviços apenas até 144 kbps, os resultados obtidos são indicados na Tabela 4.7, ilustrados também no Anexo M.

Ambiente	Rede inicial				Rede consolidada			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	P_e [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	P_e [dBm]	d_{ef} [km]
urbano denso	3,9	5,0	40,0	0,26	24,6	30,0	43,0	0,18
urbano	0,7	0,9	31,7	0,27	9,0	9,8	42,5	0,26
suburbano	14,0	16,9	43,0	1,54	44,1	50,0	39,1	0,76
rural	8,9	10,0	43,0	7,6	38,8	40,7	43,0	4,45

a) - Com perdas de penetração adicionais.

Ambiente	Rede inicial				Rede consolidada			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
urbano denso	18,1	22,8	43,0	0,56	40,8	50,0	33,3	0,23
urbano	6,3	7,4	43,0	0,78	30,4	33,0	43,0	0,48
suburbano	28,2	34,0	43,0	2,18	44,1	50,0	29,9	0,76
rural	16,4	18,4	43,0	10,22	47,7	50,0	38,6	4,94

b) - Sem perdas de penetração adicionais.

Tabela 4.7 – Resultados para existência de serviços até 144 kbps.

Começando novamente por atestar a situação mais típica de cobertura de ambientes interiores, e analisando primeiro as diferenças existentes ao nível de um desenvolvimento inicial da rede, a primeira conclusão, de resto esperada, é o aumento da dimensão das células, ainda que esse aumento só seja significativo no ambiente rural. De facto, atendendo a que as limitações se deviam às restrições do balanço de potência do serviço mais restritivo de 384 kbps, agora que este serviço não foi considerado passa a existir limitação pela potência das BS em ambientes suburbano e rural; continua a haver limitação pelos balanços de potência, agora do serviço de 144 kbps em CS, nos restantes ambientes, ainda assim o suficiente para permitir um ligeiro aumento da dimensão das células. Tentando então avaliar as diferenças com o gradual aumento de tráfego oferecido à rede, a escassez de utilização do serviço de 384 kbps leva a que as diferenças existentes nos diferentes ambientes seja praticamente inexistente, exceptuando o caso do ambiente urbano, onde o facto de as limitações serem devidas ao balanço de potência do serviço de 384 kbps permite que, não considerando este serviço, as células aumentem as suas dimensões, ainda que de forma muito ligeira.

Novamente se não se considerarem perdas de penetração adicionais em ambientes interiores, e para a fase de rede inicial, novamente se notam poucas ou nenhuma diferenças, agora nos ambientes urbano denso e suburbano devido ao facto de nestes ambientes, com a existência do serviço de 384 kbps, haver uma limitação pela potência, pouco dependente do pouco tráfego originado naquele serviço. Só no ambiente urbano e rural é que a não consideração daquele serviço permite um aumento das células e da carga das mesmas, já que também não interessa ter células muito pouco carregadas. Na fase de rede consolidada, o que se verifica é que, como em todos os ambientes já havia limitação ou pela carga ou pela potência das BS, as diferenças existentes são praticamente nulas novamente devido ao escasso uso do serviço de 384 kbps. As diferenças existentes observam-se apenas e de forma muito ligeira numa diminuição quer da carga na ligação descendente quer nas potências das BS, já que o serviço de 384 kbps é fortemente assimétrico, havendo sobretudo troca de informação precisamente no sentido da BS para a MS.

Atendendo a estes resultados, e à parte das questões relacionadas com a cobertura só ser garantida em exteriores ou não, o que poderá novamente ser questionável é, tendo em conta que previsionalmente haverá uma escassa utilização do serviço de 384 kbps, até que ponto valerá a pena recorrer ao uso de maior número de BS (com o natural aumento do investimento em infra-estruturas) para garantir cobertura deste serviço, sobretudo numa fase de rede inicial, onde praticamente as limitações decorrem precisamente do exigente balanço de potência daquele serviço.

4.2.3 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DO SISTEMA A VARIAÇÕES DO TRÁFEGO

Com vista à execução de uma análise de sensibilidade dos factores de carga, dimensão das células e potência de emissão das BS face à variação dos valores de tráfego, procurando avaliar se o dimensionamento considerando para a interface rádio confere capacidade de resposta do sistema face a essas variações, analisam-se diferentes situações de acordo com o seguinte procedimento: primeiro, partindo dos perfis de tráfego da Tabela 2.9 e, para cada ambiente, obtém-se o tráfego total previsto calculando-se a percentagem desse tráfego que é relativa a PS e CS, após o que se analisam 4 casos distintos nos quais essas percentagens são aumentadas/diminuídas em 5 e em 10%, possibilitando averiguar qual a influência e o impacto que o maior uso de um determinado modo de comutação tem sobre o sistema; seguidamente, os dados de tráfego por utilizador não são alterados fazendo-se variar apenas a taxa de penetração, a qual é aumentada para 6 e 8% no caso da rede inicial e para 32 e 37% no caso da rede consolidada. No Anexo N descreve-se com maior pormenor o processo usado e indica-se a totalidade dos resultados obtidos, intermédios e finais, para os novos perfis de tráfego relativos à primeira situação.

Tendo em conta os raios dimensionados anteriormente quando se considera o serviço de 384 kbps - d_{ef} -, que se encontram na Tabela 4.6 e impondo esse raio de célula para os respectivos ambientes são obtidos os novos valores dos factores de carga e da potência de emissão da BS. O valor de d_{sup} indica o raio obtido quando se considera os novos perfis de tráfego, para o qual todos os serviços funcionam, não se considerando qualquer limitação quer de potência, quer de carga. Desta forma poder-se-á comentar a robustez do dimensionamento a alterações do perfil de tráfego. Os resultados obtidos apresentam-se nas Tabelas 4.8 a 4.11.

Ambiente	Rede Inicial					Rede consolidada				
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]
urbano denso	3,1	4,0	36,8	0,22	0,22	25,1	31,8	43,0	0,20	0,18
urbano	0,5	0,6	26,8	0,22	0,22	6,6	7,4	38,2	0,22	0,22
suburbano	12,2	15,0	41,1	1,43	1,42	45,6	54,1	39,4	0,93	0,76
rural	5,7	6,6	37,3	5,96	5,98	39,3	43,2	43,1	4,92	4,45

a) – Com perdas adicionais de penetração.

Ambiente	Rede Inicial					Rede consolidada				
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]
urbano denso	18,4	23,7	43,0	0,59	0,56	41,0	52,0	33,2	0,31	0,23
urbano	4,2	5,0	37,6	0,63	0,63	31,2	35,1	43,2	0,55	0,48
suburbano	28,8	35,4	43,1	2,35	2,18	45,6	54,1	30,2	1,03	0,76
rural	15,3	17,5	41,9	9,70	9,75	47,6	52,4	38,4	6,17	4,90

b) – Sem perdas adicionais de penetração.

Tabela 4.8 – Resultados para um aumento do tráfego de CS de 5%.

Ambiente	Rede inicial					Rede consolidada				
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]
urbano denso	3,2	4,2	36,9	0,22	0,22	24,6	33,1	43,0	0,20	0,18
urbano	0,5	0,6	27,0	0,22	0,22	6,8	8,0	38,4	0,22	0,22
suburbano	12,5	15,7	41,2	1,42	1,42	46,3	56,7	39,5	0,93	0,76
rural	5,9	6,9	37,5	5,87	5,98	40,6	46,0	43,3	4,45	4,45

a) – Com perdas adicionais de penetração.

Ambiente	Rede inicial					Rede consolidada				
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]
urbano denso	18,8	24,7	43,1	0,59	0,56	40,2	54,0	33,1	0,30	0,23
urbano	4,3	5,3	37,7	0,63	0,63	32,3	38,0	43,5	0,54	0,48
suburbano	29,5	37,0	43,2	2,35	2,18	46,3	56,7	30,3	1,03	0,76
rural	15,6	18,3	42,0	9,70	9,75	49,2	55,8	38,7	6,03	4,90

b) – Sem perdas adicionais de penetração.

Tabela 4.9 - Resultados para um aumento do tráfego de CS de 10%.

Analisando então os resultados que se obtêm quando se faz aumentar o tráfego devido a CS em 5%, e atendendo primeiro à fase de rede inicial, o que se verifica é que, para a situação em que se consideram as perdas de penetração em ambientes interiores, em qualquer um dos 4 ambientes o dimensionamento adoptado suporta o funcionamento de todos os serviços. Apesar de haver uma tendência de aumento da potência da BS, o facto de, neste caso, as células estarem limitadas pelo balanço de potência concede ao sistema uma margem relativamente a essa potência que permite aguentar esses ligeiros aumentos. A única situação em que poderão existir problemas é em ambiente rural e para o serviço de 384 kbps em cenário veicular, já que as células têm um raio de 5,98 km mas este serviço só está coberto até 5,96 km, de qualquer forma uma diferença pouco significativa. Na situação em que não se consideram perdas de penetração em interiores, a situação é praticamente idêntica, dentro do contexto deste novo caso, notando-se novamente a tendência de aumento da potência da BS que é insuficiente para que esta atinja o seu valor máximo, e os problemas no serviço de 384 kbps em cenário veicular. Para ambos os casos é também visível o aumento dos factores de carga o que se ficará a dever ao facto de as relações sinal-ruído serem mais exigentes para os serviços baseados em CS. O aumento da potência das BS deve-se por isso quer à maior proporção de tráfego com relações sinal-ruído maiores quer ao maior factor de carga em DL. Para o caso de rede consolidada, novamente na situação em que se conferem margens para cobertura de interiores, o sistema continua a apresentar uma boa capacidade de resposta ao aumento do tráfego de comutação de circuitos em 5%, exceptuando uma vez mais o ambiente rural onde, ao contrário do que acontece na fase de rede inicial, a potência da BS excede o limite de 43 dBm passando a ser de 43,1 dBm. Desta forma e apesar de a diferença ser extremamente pequena, poderão já surgir problemas de falta de potência da BS para servir alguns utilizadores, podendo acontecer que um utilizador que queira utilizar um serviço a 384 kbps só possa ser servido a 144 kbps, se tal já permitir que a potência da base não excede

43 dBm. De resto, para todos os serviços em qualquer ambiente e cenário há a garantia de que a potência dos terminais permite-lhes serem servidos dentro dos raios das células dimensionados, e novamente verifica-se um aumento, agora mais significativo, dos factores de carga, os quais chegam a ultrapassar os 50% nos ambientes que foram dimensionados com base neste limite para as cargas, em particular o ambiente suburbano.

Sem perdas de penetração, há alguma irregularidade no comportamento das principais grandezas, verificando-se o aumento da carga em UL em todos os ambientes, mas registando-se algumas oscilações no que concerne a DL, o que se vai traduzir igualmente numa oscilação em torno dos valores dimensionados para a potência da BS. Tal dever-se-á, provavelmente, à distribuição de tráfego específica da fase de rede consolidada, onde há um crescimento bem vincado do tráfego de PS relativamente à fase de rede inicial e que, como tal, o facto de se acentuar o tráfego de CS face ao de PS já não será tão significativo em termos da influência das relações sinal-ruído, que estão mais repartidas pelos dois tipos de comutação. Em UL, como referido, tal não se verificará porque os serviços de pacotes sendo assimétricos não farão notar tanto o seu crescimento em termos de utilização neste sentido da ligação no que concerne ao factor de carga. De resto, realça-se que é o ambiente suburbano que poderá apresentar problemas ao nível da potência da BS, a qual é excedida em 0,2 dB.

Se o tráfego de CS for aumentado em 10%, baixando-se o de PS na mesma percentagem, e repetindo a análise começando uma vez mais pela fase de rede inicial com perdas de penetração em interiores, relativamente à situação anterior há um claro paralelismo entre ambas, verificando-se o aumento das cargas e das potências da BS, os quais são agora mais acentuados, novamente devido à maior proporção de relações sinal-ruído maiores relativas ao maior uso de CS. Ainda assim, e uma vez mais, em nenhum ambiente há um ultrapassar do limite das potências da BS. Novamente é o ambiente rural que poderá oferecer problemas ao nível da cobertura do serviço de 384 kbps em cenário veicular, o qual só tem cobertura em UL num raio de 5,87 km face ao raio de 5,98 km das células, uma diferença de cerca de 100 m. Não considerando as perdas de penetração em interiores, já há um excesso de potência necessária para as BS, não só no ambiente suburbano como anteriormente, mas agora também em ambiente urbano, com valores de 43,1 e 43,2 dBm respectivamente. Tal acontece porque são estes os ambientes que são dimensionados tendo em conta a limitação de potência das bases, sendo as células dimensionadas tendo em conta o limite de 43 dBm. Ainda assim, são valores muito próximos do limite para os mesmos. No entanto, à semelhança do procedimento adoptado para o limite de 50% para os factores de carga, talvez se deva optar por, quando a célula é limitada pela potência da base, dimensioná-la para um valor inferior a 43 dBm para a base, por exemplo 40 dBm, conferindo uma margem de 3 dB ao sistema e o que obrigará ao uso de células com raios inferiores aos dimensionados. Em termos de cobertura em UL, é novamente em ambiente rural que não se assegura cobertura em cenário veicular para 384 kbps. Para a fase de rede consolidada, e voltando à consideração de perdas de penetração, observa-se novamente uma boa capacidade de resposta do sistema, o qual é uma vez mais só apresenta problemas de potência em ambiente rural, onde as bases precisariam de 43,3 dBm para o pleno funcionamento nas novas condições de tráfego.

Se não se considerarem perdas de penetração, o problema de potência para o ambiente urbano mas agora com um valor de potência para as bases de 43,5 dBm, o que já é indesejável na medida em que se trata de um ambiente onde deverá existir uma boa cobertura dada a forte utilização dos serviços no mesmo, e o que leva novamente a questionar a opção de dimensionar células para o limite da potência da BS. Nos restantes ambientes a carga em UL excede claramente os 50% já que nestes casos a limitação era imposta precisamente por essa

carga, mas o facto de as potências respectivas estarem bem abaixo de 43 dBm garante que um aumento das cargas, em particular da carga em DL, não leva a que as potências das bases atinjam o seu valor limite.

Se em vez de, mantendo o tráfego total constante, se aumentar o tráfego devido a CS se proceder ao aumento do tráfego devido a PS usando um procedimento semelhante ao anterior, os resultados que se obtêm são os que se indicam nas Tabelas 4.10 e 4.11.

Ambiente	Rede inicial					Rede consolidada				
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]
urbano denso	2,9	3,6	35,5	0,22	0,22	24,0	28,1	42,8	0,20	0,18
urbano	0,5	0,6	26,6	0,22	0,22	6,3	6,6	38,1	0,22	0,22
suburbano	11,7	13,7	40,8	1,43	1,42	43,5	47,5	39,1	0,81	0,76
rural	5,6	6,0	37,1	5,98	5,98	37,2	36,8	42,7	4,89	4,45

a) - Com perdas adicionais de penetração.

Ambiente	Rede inicial					Rede consolidada				
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]
urbano denso	17,5	21,6	42,7	0,56	0,56	39,2	45,9	32,9	0,33	0,23
urbano	4,1	4,6	37,4	0,63	0,63	30,1	31,5	43,0	0,56	0,48
suburbano	27,4	32,3	42,8	2,20	2,18	43,5	47,5	29,8	0,86	0,76
rural	14,5	16,0	41,7	9,77	9,75	45,1	44,6	37,9	6,12	4,90

b) - Sem perdas adicionais de penetração.

Tabela 4.10 - Resultados para um aumento do tráfego de PS de 5%.

Relativamente à rede inicial é notório que, quer considerando perdas adicionais de penetração, quer não considerando estas mesmas perdas, nem os factores de carga nem a potência de emissão das BS excedem os limites estabelecidos. Em alguns ambientes o raio máximo suportado é superior ao raio dimensionado, como no caso do ambiente suburbano e no ambiente rural, se não forem consideradas perdas de penetração. Isto significa que se o perfil de tráfego por utilizador for alterado desta forma – aumento de 5% no tráfego de PS e diminuição de 5% no tráfego de CS – não haverá problemas de cobertura e todos os serviços funcionarão dentro da célula de raio d_{ef} . Na rede consolidada o raio suportado máximo é sempre superior ao raio efectivo da célula, o que mais uma vez é sintomático de que não deverão existir problemas de cobertura nesta nova situação. Poderão no entanto surgir problemas de interferência devido a uma zona de sobreposição entre células, caso o controlo de potência não actue adequadamente. Se não houvesse a restrição dos balanços de potência, poderiam existir casos, como o ambiente urbano sem perdas de penetração, em que há margem de potência suficiente para que se possa aumentar a potência de emissão da BS, e aumentar a dimensão da célula para que o seu raio se aproxime de d_{sup} à custa de um aumento da carga, necessariamente.

Ambiente	Rede inicial					Rede consolidada				
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]
urbano denso	2,8	3,5	35,3	0,23	0,22	23,5	26,2	42,6	0,20	0,18
urbano	0,4	0,5	26,5	0,22	0,22	6,1	6,0	37,8	0,22	0,22
suburbano	11,4	13,0	40,7	1,43	1,42	42,1	43,3	38,7	1,00	0,76
rural	5,3	5,7	37	5,98	5,98	36,6	34,6	42,5	4,77	4,45

a) - Com perdas adicionais de penetração.

Ambiente	Rede inicial					Rede consolidada				
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	d_{ef} [km]
urbano denso	17,0	20,5	42,6	0,59	0,56	38,3	42,8	32,7	0,35	0,23
urbano	3,9	4,3	37,3	0,63	0,63	29,0	28,6	42,7	0,56	0,48
suburbano	26,7	30,6	42,6	2,40	2,18	42,1	43,3	29,5	1,10	0,76
rural	14,2	15,2	41,5	9,80	9,75	44,3	42,2	37,8	5,81	4,90

b) - Sem perdas adicionais de penetração.

Tabela 4.11 - Resultados para um aumento do tráfego de PS de 10%.

Considerando uma variação do perfil de tráfego em que há um aumento do tráfego em PS em 10%, e a consequente diminuição do tráfego de CS em 10%, a tendência da diminuição dos factores de carga e das potências de emissão da BS mantém-se. Os valores de d_{sup} continuam a ser iguais ou superiores a d_{ef} , o que indica que o tráfego de PS na rede é menos penalizador em termos de carga porque embora um dos ritmos de transmissão de informação em PS seja 384 kbps, as relações sinal-ruído para um mesmo ritmo binário, são inferiores em PS.

De um modo geral pode afirmar-se que para os casos em que havia originalmente limitação pelas condições de propagação, existe margem de potência e de interferência suficiente para fazer face a estas ligeiras alterações nas características de tráfego. Quanto aos casos em que já existia limitação, quer pela carga quer pela potência, essas limitações deixam de existir. Estes factos mais uma vez corroboram a menor exigência que o tráfego de PS faz à rede em comparação com o tráfego de CS.

Com base na segunda abordagem introduzida anteriormente, e na qual se mantêm os perfis de tráfego fornecidos pela Telecel Vodafone (Tabela 2.9) e mantendo as dimensões celulares obtidas quando se considera o funcionamento do serviço a 384 kbps (Tabela 4.6), fazendo apenas variar a taxa de penetração, quer na rede inicial, quer na rede consolidada, por forma a executar uma análise de sensibilidade do sistema à variação da população, os resultados obtidos exibem-se nas Tabelas 4.12 e 4.13.

		Rede Inicial							
Penetração		6%				8%			
Ambiente	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]
urbano denso	0,22	4,5	5,7	38,5	0,22	6,1	7,6	39,8	0,22
urbano	0,22	0,8	0,9	28,5	0,22	1,1	1,2	29,8	0,22
suburbano	1,42	17,9	21,6	43,1	1,39	23,9	28,8	44,6	1,36
rural	5,98	8,4	9,5	39,1	5,90	11,2	12,6	40,5	5,86

a) -Incrementos da taxa de penetração para a rede inicial.

		Rede Consolidada							
Penetração		32%				37%			
Ambiente	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]
urbano denso	0,18	29,1	35,6	43,9	0,19	53,1	55,6	45,5	0,19
urbano	0,22	7,6	8,2	38,9	0,22	8,8	9,6	39,6	0,22
suburbano	0,76	52,4	59,3	40,6	0,89	60,6	68,6	42,1	0,85
rural	4,45	45,9	48,1	44,3	4,81	53,1	55,6	45,5	4,66

b) -Incrementos da taxa de penetração para a rede consolidada.

Tabela 4.12 – Resultados considerando perdas adicionais de penetração.

Um aumento da taxa de penetração do UMTS na rede inicial faz com que quer a carga quer a potência de emissão da BS aumentem. Quando não se consideram perdas de penetração adicionais o aumento destes parâmetros é maior: dado que as células são maiores, o número de utilizadores também o é, e portanto um incremento com o mesmo valor percentual, considerando perdas ou não as considerando, faz com que o número de utilizadores aumente mais nesta situação. Considerando perdas adicionais de penetração, para ambiente urbano denso e urbano, a variação de d_{sup} não é tão acentuada como a variação do mesmo parâmetro em ambiente suburbano ou rural, devido ao andamento das curvas que descrevem o balanço de potência na aproximação analítica terem uma queda mais abrupta em ambiente urbanos. Dado que d_{sup} é inferior a d_{ef} há serviços que não vão funcionar na totalidade da célula sendo apenas disponibilizados até d_{sup} . Esses serviços são 384 kbps em ambientes interiores urbano denso e suburbano, e 384 kbps veicular em ambiente rural visto estes serem os serviços mais restritivos nos respectivos ambientes.

Não considerando perdas adicionais de penetração, a potência de emissão da BS só não excede 43 dBm em ambiente urbano (independentemente da taxa de penetração ser 6% ou 8%), não havendo portanto margem de potência para fazer face a estas alterações. Uma vez mais se verifica maior sensibilidade de d_{sup} em ambientes rural e suburbano à taxa de penetração do que em ambientes urbano denso ou urbano.

		Rede Inicial							
Penetração		6%				8%			
Ambiente	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]
urbano denso	0,56	30,0	34,0	45,8	0,57	40,0	45,4	47,7	0,55
Urbano	0,63	6,2	7,2	39,3	0,63	8,3	9,6	40,7	0,62
Suburbano	2,18	46,2	50,9	46,4	2,22	61,6	67,9	49,1	2,08
Rural	9,75	22,5	25,1	44,0	9,50	30,0	33,5	45,7	9,27

a) -Incrementos da taxa de penetração para a rede inicial.

		Rede Consolidada							
Penetração		32%				37%			
Ambiente	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{sup} [km]
urbano denso	0,22	50,5	58,1	34,9	0,29	58,3	67,2	36,3	0,27
urbano	0,48	36,4	39,5	44,2	0,54	42,0	45,6	45,3	0,52
suburbano	0,76	55,0	59,3	31,8	0,97	63,5	68,6	33,3	0,91
rural	4,90	55,9	58,4	39,9	5,90	64,6	67,5	41,5	5,60

b) -Incrementos da taxa de penetração para a rede consolidada.

Tabela 4.13 – Resultados não considerando perdas adicionais de penetração

Na fase de rede consolidada, atendendo primeiro à consideração de perdas de penetração em interiores, e para uma taxa de penetração de 32% já há claramente um ultrapassar da potência nos ambientes cujo dimensionamento previa uma potência da BS de 43 dBm. De facto, para o ambiente urbano denso seria necessária uma potência das bases de 43,9 dBm e para o ambiente rural de 44,3 dBm, valores bem acima do limite permitido e que decorrem do natural e significativo aumento do factor de carga em DL. Pelo contrário, na ligação ascendente não parecem existir problemas de cobertura já que todos os serviços são assegurados dentro de um raio superior ao raio das células, apesar novamente do significativo aumento do factor de carga, agora em UL. Se a taxa de penetração subir até aos 37%, a situação é idêntica só que, naturalmente, o aumento das cargas é ainda mais acentuado, o que se traduz numa diminuição dos raios de cobertura da totalidade dos serviços e num aumento da potência da BS. Ainda assim, mesmo o mais exigente dos serviços tem cobertura assegurada em UL. Já para a potência das BS, estes chegam agora a atingir 45,5 dBm para os ambientes urbano denso e rural, o que é uma situação altamente indesejável, já que ou alguns utilizadores dos serviços de pacotes de maior ritmo de transmissão apenas será servidos a ritmos mais baixos ou, numa situação extrema, simplesmente não serão servidos nem mesmo ao débito mais baixo de 64 kbps. Face a esta situação, e novamente alertando para o erro de dimensionar o sistema para o limite da potência da BS, é interessante realçar que para o ambiente suburbano, onde é o factor de carga em UL que limita a dimensão das células e onde a potência para a BS é de 39,1 dBm de acordo com o dimensionamento, o factor de carga em DL chega a 60,6% mas as bases apenas necessitam de 42,1 dBm graças à margem que esta grandeza possui em termos de dimensionamento. Se não forem consideradas perdas de penetração em interiores as situações, devidamente contextualizadas, são semelhantes,

verificando-se um aumento das cargas e das potências da BS, as quais novamente ultrapassam o limite nos casos em que o dimensionamento já atribui o valor limite às mesmas, não se vislumbrando quaisquer problemas de cobertura em UL.

4.3 PERSPECTIVA DO ASILUM

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos quando se usam os dados utilizados no desenvolvimento do projecto ASILUM sob duas abordagens distintas: começa-se por apresentar os resultados obtidos usando o SLEP no âmbito do projecto ASILUM; posteriormente, indicam-se os resultados do uso da aproximação analítica desenvolvida.

4.3.1 APLICAÇÃO DO SIMULADOR SLEP

De acordo com a metodologia introduzida na secção 3.3, os resultados obtidos são ilustrados no Anexo O, destacando-se o seguinte:

- As médias são obtidas em 10 simulações para cada valor de densidade de utilizadores, azul escuro;
- Os valores de média+desvio padrão, média-desvio padrão também a azul escuro;
- É feita uma regressão linear e uma regressão polinomial de 2ª ordem às médias. Essas curvas estão representadas a vermelho e a azul celeste respectivamente;
- São também representadas duas curvas a vermelho e a azul celeste que representam os valores regressão+desvio padrão e regressão-desvio padrão, sendo que este desvio padrão - σ_{av} - é o resultado da aplicação de (4.1) a todos os desvios padrão obtidos das simulações referidas acima.

$$\sigma_{av} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sigma_n^2} \quad (4.1)$$

O valor de densidade de utilizadores que origina uma Taxa de Satisfação de 95 % é aquele para o qual os polinómios de 1ª ou 2ª ordem intersectam a ordenada a 95 %. A título de exemplo, a Figura 4.14, ilustra os resultados obtidos e respectivo tratamento estatístico para o ambiente CBD, cenário 1.

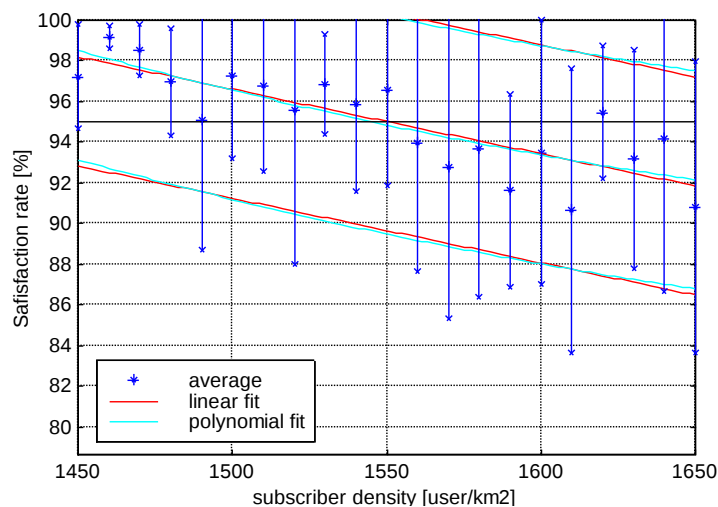


Figura 4.14 – Resultados para ambiente CBD, cenário 1.

Para a totalidade dos casos considerados os resultados obtidos são exibidos na Tabela 4.14, em que os valores apresentados para o erro quadrático médio são obtidos através de (4.2).

$$\overline{\varepsilon^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\tilde{f} - f \right)^2 \quad (4.2)$$

onde $\tilde{f}$ representa o valor estimado através da aproximação utilizada e f representa o valor resultante da simulação. Visto que os valores estimados resultam do tratamento estatístico aplicado às 10 simulações por ponto, a sua validade tem de ser considerada com algumas reservas dada a escassez do número de simulações para que se possa obter um valor estatisticamente mais credível.

Em cada um dos 4 ambientes o cenário 1 é o cenário de referência no qual é usada uma antena omnidireccional para a estação base, pelo que os resultados para os restantes cenários devem ser comparados com os relativos aquele cenário. Em termos de análise, na generalidade dos casos constata-se que o uso de antenas sectoriais promove claramente um aumento de capacidade não havendo grande diferença entre o uso de sectores com 65, 90 ou 120°. Esta melhoria de desempenho do sistema poder-se-á justificar pela menor interferência que deverá existir em cada sector face à que existiria se se usasse uma única antena de cobertura global, e também pelo maior ganho das antenas sectoriais, aumentando também o ganho de *soft handover* / *softer handover*. No que diz respeito ao aumento da capacidade resultante da utilização de técnicas MUD, verifica-se que só quando estas são utilizadas simultaneamente nos terminais móveis e nas estações base é que decorre um aumento significativo da capacidade. O uso de técnicas MUD apenas ao nível das estações de base não introduz alterações de maior ao sistema.

No que se refere às vantagens decorrentes do uso da tecnologia AAA, o aumento da capacidade é notório. De facto, para o cenário D7 em ambiente CBD (o único simulado com tecnologia AAA, dados os requisitos do projecto ASILUM) verifica-se que relativamente ao cenário D1 a capacidade praticamente quadruplica, o que é demonstrativo do potencial que advém do uso deste tipo de solução para as estações base. De futuro, portanto, com a massificação do uso dos serviços de alto débito providenciados pelo UMTS, o uso de AAA poderá ser essencial na implementação das interfaces rádios. Relativamente à dependência da Taxa de Satisfação com a densidade de utilizadores observa-se que o uso de uma aproximação de 2º grau é mais indicada para exprimir esta relação face a uma aproximação linear, conforme comprova o menor erro quadrático médio resultante das simulações para a aproximação de 2º grau existente na grande maioria dos casos. Este comportamento não linear traduz com clareza o decréscimo acentuado da Taxa de Satisfação quando a densidade de utilizadores aumenta para além de um certo valor, o que é suportado pela informação gráfica do Anexo O e também é corroborado pela Figura 3.3, na qual se observa um claro aumento da interferência com o aumento do factor de carga.

De referir que o tempo de processamento das simulações são bastante elevados (da ordem dos dias) se tivermos em conta que se executam 210 simulações para cada cenário e mesmo assim, os valores finais para terem maior credibilidade necessitariam de muito mais simulações.

Cenário	CBD				urbano pedestre				urbano veicular				rural			
	Aproximação linear		Aproximação polinomial		Aproximação linear		Aproximação polinomial		Aproximação linear		Aproximação polinomial		Aproximação linear		Aproximação polinomial	
	Densidade de utiliz. [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utiliz. [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utiliz. [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utiliz. [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utiliz. [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utiliz. [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utiliz. [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utiliz. [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$
1	1 551	1,84	1 545	1,81	628	2,29	629	0,99	1 004	7,22	1 030	3,15	212	126,3	247	13,8
2	2 866	0,65	2 865	0,65	1 326	0,55	1 324	0,49	2 218	0,64	2 215	0,57	552	37,1	566	6,81
3	2 843	1,95	2 837	1,84	1 309	2,46	1 320	1,87	2 172	1,08	2 166	0,95	535	48,69	574	13,02
4	2 850	1,91	2 853	1,91	1 325	1,99	1 314	1,49	2 186	1,01	2 188	1	538	29,7	575	5,55
5	1 569	2,47	1 555	2,34	615	3,13	631	1,99	1 016	3,25	1 032	2,14	230	10,82	244	29,7
6	2 050	3,57	2 053	3,56	953	3,46	926	1,95	1 467	5,93	1 481	3,99				
7	6 429	0,83	6 428	0,83												

Tabela 4.14 – Resultados para todos os ambientes e cenários

4.3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO ANALÍTICO DESENVOLVIDO

A aplicação do método analítico desenvolvido, como suporte ao uso do SLEP, deve ser realizada através de duas metodologias diferentes: numa primeira abordagem e com base nos dados usados no SLEP, é interessante procurar averiguar qual seria a dimensão ideal para as células e comparar com as dimensões utilizadas no simulador; numa segunda abordagem, partindo das dimensões escolhidas *a priori* para as simulações realizadas no SLEP, verificar quais os factores de carga, potências das bases e se há ou não garantia de cobertura para todos os serviços em qualquer cenário. Esta segunda abordagem assume mesmo maior importância face ao procedimento utilizado em que se pré-definiu uma dimensão para as células, procurando-se a densidade de utilizadores máxima que permite assegurar um serviço de qualidade. No entanto, é mais interessante fazer uso do método analítico desenvolvido numa fase preliminar, procurando a dimensão das células ideal que posteriormente será utilizada no simulador em tempo real e verificar então se a mesma é ou não satisfatória.

O uso do método analítico como suporte ao uso do simulador SLEP apresenta alguns problemas decorrentes do uso de diferentes metodologias e do natural maior pormenor deste último. Por exemplo, o programa de simulação faz os cálculos de cobertura com base no modelo de Okumura-Hata, em qualquer situação; além disso, tratando-se de um simulador em tempo real, os utilizadores são diferenciados entre si no que respeita à distância às bases, os factores de ortogonalidade correspondentes variam continuamente dependendo da velocidade e localização dos utilizadores e o próprio controlo de potência também é realizado em tempo real. Há portanto diferenças importantes entre os dois métodos, realçando ainda mais os diferentes interesses no seu uso. Por forma a harmonizar a informação requerida pelo simulador SLEP com os dados necessários à aplicação do método analítico, foram estabelecidos os seguintes pressupostos:

- MOBILIDADE

Na aproximação analítica a mobilidade dos diferentes utilizadores é diferenciada pelo factor de ortogonalidade, pelas diferentes relações sinal-ruído e pelas diferentes perdas de penetração interiores/veículos. No SLEP é ainda necessário especificar a velocidade bem como a probabilidade de mudança de direcção, informação esta constante do Anexo I. Desta forma, foi estabelecida uma relação entre a informação disponibilizada e a informação requerida, relação esta que se exhibe na Tabela 4.15.

SLEP	Aproximação analítica
FastDriv	veicular
MdFstDrv	
MdSlwDrv	
SlowDrv	
Walk	pedestre
Stand	interiores

Tabela 4.15 – Relação de mobilidade entre os perfis do ASILUM e os dados requeridos pela aproximação analítica.

- ANTENA UTILIZADA

Como foi referido na Subsecção 4.3.1, o cenário de referência usa antenas omnidireccionais, pelo que se optou por usar uma antena omnidireccional com algumas das características indicadas no Anexo I, as quais se reproduzem na Tabela 4.16

Antena	Abertura Horizontal [°]	Abertura Vertical [°]	Ganho [dBi]
Umts360	360	8	16

Tabela 4.16 – Características da antena utilizada na aproximação analítica.

Para o cálculo do ganho da antena, necessário na aproximação analítica, fez-se uso de (4.3) [Corr93]:

$$Dr_{[\text{dBi}]} = 10 \log_{10} \left(\frac{1,77}{\alpha_{3\text{dB}_{\text{[°]}}}} \right) + 2,15 \quad (4.3)$$

- DENSIDADE DE UTILIZADORES

As densidades de utilizadores escolhidas para as simulações através da aproximação analítica foram as resultantes das simulações executadas usando o SLEP para o cenário D1 segundo a aproximação polinomial de 2ª ordem para todos os ambientes uma vez que o erro quadrático médio resultante desta aproximação é sempre menor ou igual que o mesmo parâmetro resultante da aproximação linear. Esses valores reproduzem-se na Tabela 4.17.

Ambiente	Densidade de utilizadores [km^2]
CBD	1545
Urbano pedestre	629
Urbano veicular	1030
Rural	247

Tabela 4.17 – Densidades populacionais utilizadas na aproximação analítica.

- PROPAGAÇÃO

Dado que o simulador SLEP faz uso exclusivo do modelo de Okumura-Hata e a aplicação analítica usa os modelos de Okumura-Hata e de Walfisch-Ikegami, estabeleceu-se a seguinte correspondência, Tabela 4.18.

Ambiente	Modelo de propagação utilizado na aproximação analítica
CBD	Walfisch-Ikegami
Urbano pedestre	
Urbano veicular	Okumura-Hata (correção Suburbano)
Rural	Okumura-Hata (correção Rural)

Tabela 4.18 – Modelos de propagação utilizados na aproximação analítica.

A utilização do modelo de Okumura-Hata para o ambiente urbano veicular deve-se à utilização de um canal macrocelular aquando da sua simulação no SLEP, e ao menor valor da penetração em interiores/veículos face aos ambientes CBD e Urbano pedestre.

Desta forma, e com base nos dados resultantes do uso prévio do simulador, a Tabela 4.19 apresenta os resultados da aplicação do método analítico, indicando qual seria o raio ideal para as células para os dados do ASILUM; a Tabela 4.20 indica ainda, para os raios escolhidos *a priori* para uso do simulador, quais as cargas e potências resultantes. No Anexo P ilustram-se os resultados obtidos.

Ambiente	Planeamento base				Carga e potência obtidas			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	P_e [dBm]	d [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	P_e [dBm]	d [km]
CBD	25,5	50	33,1	0,22	48,7	95,5	42,9	0,3
urbano Pedestre	8,7	15,6	31,1	0,27	43,5	77,8	53,4	0,6
urbano Veicular	39,5	50	36	0,96	43,2	54,6	37,3	1
rural	37,2	50	27,1	2,14	32,5	43,7	26,2	2

Tabela 4.19 – Dados para os perfis do ASILUM.

Por observação da Tabela 4.19, constata-se que os raios obtidos através da aproximação analítica de um modo geral são próximos dos valores de referência escolhidos para o ASILUM exceptuando o ambiente urbano pedestre, no qual o valor obtido é de 270 m, algo distante do valor de referência de 600 m. Dado que a limitação neste ambiente é imposta pelas condições de propagação, já que nem a carga nem a potência da BS se aproximam sequer dos seus valores limite, poder-se-á pensar num excessivo pessimismo no emprego do balanço de potência. Este pessimismo pode ser uma consequência da utilização do modelo de Walfisch-Ikegami para ambientes urbanos, já que este é mais pessimista que o modelo de Okumura-Hata utilizado pelo SLEP, de acordo com o Anexo B, Figura B.6. Nos ambientes CBD, UV e RU a limitação é imposta pelo factor de carga em UL, havendo uma margem de potência significativa para fazer face a possíveis variações de tráfego.

Analisando a carga e potência obtidas nota-se que o método analítico novamente peca por pessimismo, não só em ambiente UP mas também em ambiente CBD. De facto, em ambiente CBD e para um raio de 300 m, a carga atinge cerca de 95% em UL o que é claramente excessivo. Ainda assim a potência de emissão da BS é inferior a 43 dBm, daí que se para a obtenção dos resultados da Tabela 4.19 não se limitasse a carga a 50% o raio da célula

poderia aproximar-se mais ainda de 300 m. Em ambiente UP, a potência da BS ultrapassa claramente o seu valor limite, reflectindo o que já se afirmou anteriormente acerca da adequação do modelo em ambiente em estudo, já que as cargas são inferiores, por exemplo, às cargas existentes em ambiente CBD, o qual é também um ambiente considerado urbano para efeito do uso do modelo de propagação.

Desta forma sobressai a importância da escolha do modelo de propagação adequado às características do ambiente, já que o uso de diferentes modelos, quando não há limitações pela potência nem pela carga, pode conduzir a resultados díspares, o que é de todo indesejável. Além disso, há diferenças difíceis de ultrapassar entre o método analítico desenvolvido, o qual é uma perspectiva simplista do UMTS, e o simulador em tempo real SLEP, bastante mais detalhado e com uma abordagem claramente diferente e mais adequada para efectuar planeamento. De qualquer forma, o método analítico desenvolvido pode funcionar como uma boa primeira aproximação antes de se passar à fase de emprego de um simulador em tempo real, já que permite concluir, de forma aproximada, sobre dimensões de células a utilizar no simulador, permitindo poupar tempo e trabalho no uso do simulador, já que uma simulação que dure, por exemplo, 2 h no SLEP pode ser executada em 3 ou 4 min na aproximação analítica. A julgar pela experiência do uso do SLEP no âmbito do projecto ASILUM, se o trabalho inicial de procura dum raio para as células ou, impondo o raio, para as densidades populacionais fosse realizado através da aproximação analítica desenvolvida, seguramente que o tempo gasto com simulações preliminares teria sido bem mais reduzido.

5. CONCLUSÕES

O UMTS será o futuro sistema de comunicações celulares, o qual irá operar na banda dos 2 GHz. Este sistema possibilitará o uso massificado de aplicações multimédia, sendo este o seu grande propósito inicial. O UMTS apresentará grandes diferenças face ao actual sistema GSM, sendo de destacar o uso do WCDMA como forma de acesso múltiplo, o que implicará alterações significativas na forma de efectuar planeamento celular face ao GSM, que se baseia em TDMA. A título de exemplo, pode-se referir o compromisso interferência - capacidade, enquanto que no sistema GSM as questões de interferência podem ser separadas das questões de capacidade. Em WCDMA, as questões de interferência são extremamente importantes em todas as fases de dimensionamento, assumindo particular relevo a noção de factor de carga como ponte entre capacidade e interferência. Outra particularidade do UMTS é a dualidade de modos de duplexagem, podendo existir o modo FDD e também o modo TDD, este para ambientes pico-celulares. No entanto, apenas o modo FDD foi considerado para a realização deste trabalho.

Os grandes problemas que ocorreram ao longo do desenvolvimento deste trabalho prendem-se com vários aspectos, a saber: a falta de modelos de tráfego apropriados que contemplem uma perspectiva mista pacotes – circuitos; a existência de diversas fontes de informação muitas vezes contraditórias entre si, mesmo que provenientes de entidades como o 3GPP, o UMTS Forum ou o ETSI, por exemplo; ou a própria inexistência do UMTS comercialmente, o que impossibilita a confirmação da fiabilidade de algumas das opções tomadas e conclusões obtidas.

O WCDMA caracteriza-se também pelo uso de códigos ortogonais entre si como forma de diferenciação dos vários utilizadores, recorrendo a técnicas de espalhamento de espectro baseadas em sequência directa para atingir esse fim. O que se pode concluir do trabalho acerca deste aspecto é que, provavelmente, a limitação ao número de utilizadores simultâneos imposta pela interferência sobrepõe-se claramente à hipotética limitação proveniente da quantidade de códigos disponíveis.

Para efeitos de planeamento, utilizaram-se 3 perspectivas distintas: a primeira com base nos dados do UMTS Forum, a segunda baseada em dados de tráfego e de balanços de potência avançados pelo operador Telecel Vodafone, e uma terceira abordagem, um pouco diferente, com base no projecto ASILUM no qual o IST participa.

Das duas primeiras perspectivas, uma conclusão que não deixa de ser interessante e paradoxalmente surpreendente é que os 2 Mbps, inicialmente muito badalados pelos *media* e por alguns órgãos competentes como o próprio UMTS Forum, não deverão ser mais do que uma miragem, pelo menos em modo FDD, não só pelas previsões de tráfego da Telecel Vodafone, que não apresenta quaisquer valores para este ritmo binário, mas também pela grande limitação que a disponibilização deste ritmo iria impor ao nível da limitação das dimensões das células. Se considerarmos perdas de penetração em ambientes interiores os raios típicos das células serão de 0,12 km em ambiente urbano denso, 0,90 km em ambiente suburbano e 4,03 km em ambiente rural.

Mais ainda, o próprio ritmo binário de 384 kbps é extremamente limitativo para a dimensão das células, sobretudo em ambientes suburbano e rural, pelo que dificilmente o mesmo será oferecido nestes ambientes, salvo se houver um escasso uso dos restantes serviços nessas condições. Na perspectiva do UMTS Forum, se se considerar perdas adicionais de penetração

em ambientes interiores, os raios das células apresentam os seguintes valores: 0,12 km para ambiente urbano denso, 1,29 km para ambiente suburbano e 5,89 km para ambiente rural. Em ambiente urbano, como as limitações deverão ser impostas pela excessiva utilização desses restantes serviços, a disponibilização do serviço de 384 kbps não terá grande impacto nas dimensões celulares, pois o raio das células mantêm-se constantes - 0,12 km - quer se considere o ritmo binário máximo de 2 Mbps quer se considere o ritmo binário máximo de 384 kbps. Na perspectiva da Telecel Vodafone, se forem consideradas perdas de penetração adicionais em ambientes interiores, para a rede inicial os valores dos raios das células passam de 0,22 km para 0,26 km em ambiente urbano denso, de 0,22 km para 0,27 km em ambiente urbano, de 1,42 km para 1,54 km em ambiente suburbano e de 5,98 km para 7,6 km em ambiente rural, se os ritmos binários máximos forem 384 kbps ou 144 kbps respectivamente. Ainda assim, um utilizador que procure aceder a serviços com um débito de 384 kbps provavelmente só conseguirá fazê-lo em condições muito especiais.

É também claro que a necessidade de oferecer cobertura em ambientes interiores poder-se-á questionar sobretudo em regiões onde o tráfego é escasso, já que tal resultaria no uso de células com dimensões reduzidas e que ficariam pouco carregadas, não justificando o investimento necessário em infra-estruturas. Na perspectiva do UMTS Forum em ambiente urbano denso os raios das células mantêm-se constantes independentemente do ritmo binário máximo considerado e da consideração ou não de perdas adicionais para cobertura em ambientes interiores; no entanto nos restantes ambientes, sobretudo no ambiente rural, nota-se que se não se considerarem essas perdas adicionais, as dimensões das células aumentam: se considerarmos 2 048 kbps os raios das células aumentam de 0,9 km para 1,33 km em ambiente suburbano e de 4,03 km para 6,63 km em ambiente rural; se o ritmo binário máximo considerado for 384 kbps os raios das células aumentam de 1,29 km para 1,80 km e de 5,89 km para 9,03 km em ambiente suburbano e rural respectivamente; se o ritmo binário máximo considerado for 144 kbps os raios das células passam de 1,30 km para 1,8 km em ambiente suburbano e de 6,72 km para 9,03 km em ambiente rural. Na perspectiva da Telecel Vodafone considerando a rede inicial os raios das células passam de 0,22 km para 0,56 km em ambiente urbano denso, de 0,22 km para 0,63 km em ambiente urbano, de 1,42 km para 2,18 km em ambiente suburbano e de 5,98 km para 9,75 km em ambiente rural, se o ritmo binário máximo for de 384 kbps; se o ritmo binário máximo considerado for de 144 kbps os raios das células passa de 0,26 km para 0,56 km em ambiente urbano denso, de 0,27 km para 0,78 km em ambiente urbano, de 1,54 km para 2,18 km em ambiente suburbano e de 7,6 km para 10,22 km em ambiente rural, para rede inicial.

Tendo em conta as duas fases de desenvolvimento da rede UMTS em termos de tráfego apresentadas pelas Telecel Vodafone se o ritmo binário máximo considerado for 384 kbps, pode dizer-se que a limitação na dimensão das células tem origens diferentes se se considerar a rede inicial ou a rede consolidada. Numa fase inicial de desenvolvimento da rede, se forem consideradas perdas adicionais de penetração em ambientes interiores a limitação das dimensões das células deve-se claramente às restritivas atenuações permitidas pelos balanços de potência. De facto verifica-se que em nenhum dos ambientes considerados as cargas e as potências de emissão das BS atingem os limites estabelecidos: as potências de emissão das BS são de 36,0 dBm em ambiente urbano denso, 27,1 dBm em ambiente urbano, 41,0 dBm em ambiente suburbano e 37,2 dBm em ambiente rural e os factores de carga em DL e UL são respectivamente 2,9% e 3,6% em ambiente urbano denso, 0,5% e 0,6% em ambiente urbano, 11,9 e 144 em ambiente suburbano e 5,6 e 6,3 em ambiente rural. Estes resultados compreendem-se de certa forma À luz da exígua taxa de penetração - 4% - e do relativamente baixo tráfego médio por utilizador. Com a evolução gradual da rede as limitações das

dimensões das células passam a ter origens diferentes, dependendo do ambiente. Verifica-se que nos ambientes urbano denso e rural há uma limitação pela potência de emissão da BS que atinge os 43 dBm, enquanto que no ambiente suburbano essa limitação é imposta pela carga em UL. Em ambiente urbano continua a verificar-se uma limitação pelas condições de propagação. Se o ritmo binário máximo considerado for o de 144 kbps, em rede inicial nota-se que a limitação das dimensões das células passam a ser ditadas pela potência de emissão da BS em ambientes suburbano e rural. Na rede consolidada os ambiente urbano denso e rural são limitados pela potência de emissão da BS ao passo que em ambiente suburbano a dimensão das células passa a ser limitada pela carga em UL.

Para as opções de planeamento, a limitação da carga a 50% aparenta ser correcta, já que tal garante ao sistema uma boa margem de resposta a possíveis variações de tráfego. Paralelamente à carga, também se deve limitar a potência das bases a 40 dBm para efeitos de planeamento, de forma a que novamente haja uma boa resposta do sistema a aumentos do fluxo de tráfego no sentido BS-MS.

De entre a diversidade de serviços existente para o UMTS, conclui-se também que, para o mesmo débito binário, os serviços baseados em comutação de circuitos exigem maiores recursos da rede rádio, o que se deve principalmente às maiores relações sinal-ruído que os mesmos requerem. Aumentando o tráfego devido a CS em 5%, em rede inicial, em qualquer um dos ambientes considerados o dimensionamento adoptado suporta o funcionamento de todos os serviços, apesar de haver uma tendência para de aumento da potência de emissão das BS. A única situação em que poderão existir problemas é em ambiente rural se forem consideradas perdas adicionais de penetração em ambientes interiores, já que as células têm um raio de 5,98 km mas este serviço só está coberto até 5,96 km, de qualquer forma uma diferença pouco significativa. Em rede consolidada a situação é similar mas o ambiente rural continua a apresentar-se mais problemático pois a potência de emissão das BS excede os 43 dBm em 0,1 dB. Se o tráfego devido a CS for aumentado em 10% há novamente um aumento das cargas e das potências de emissão das BS que é agora mais acentuado. Novamente é o ambiente rural que poderá oferecer problemas ao nível da cobertura do serviço de 384 kbps em cenário veicular, o qual só tem cobertura num raio de 5,87 km face ao raio de 5,98 km das células. Não considerando as perdas de penetração em interiores, já há um excesso de potência de emissão das BS não só nos ambientes suburbano mas também em ambiente urbano com valores de 43,1 dBm e 43,2 dBm respectivamente. Relativamente à variação das taxas de penetração, um aumento destes valores na rede inicial faz com que, quer a carga quer a potência de emissão das BS aumentem.

Tendo em conta a perspectiva do ASILUM constata-se que o uso de antenas sectoriais promove claramente um aumento de capacidade face ao uso de antes omnidireccionais, não havendo grande diferença entre o uso de sectores com 65°, 90°, ou 120°. No que diz respeito ao aumento de capacidade resultante da utilização de técnicas MUD, verifica-se que só quando estas são utilizadas simultaneamente nas BS e nas MS é que decorre um aumento significativo da capacidade. No que se refere às vantagens decorrentes do uso de tecnologia AAA, o aumento de capacidade é notório. De futuro com a massificação do uso de serviços de alto débito providenciados pelo UMTS, o uso de AAA poderá ser essencial nas interfaces rádio.

No que respeita à utilidade do método analítico desenvolvido, o uso deste poderá ser interessante como primeira abordagem, particularmente para a escolha da dimensão das células, permitindo poupar tempo e trabalho no uso de um simulador em tempo real,

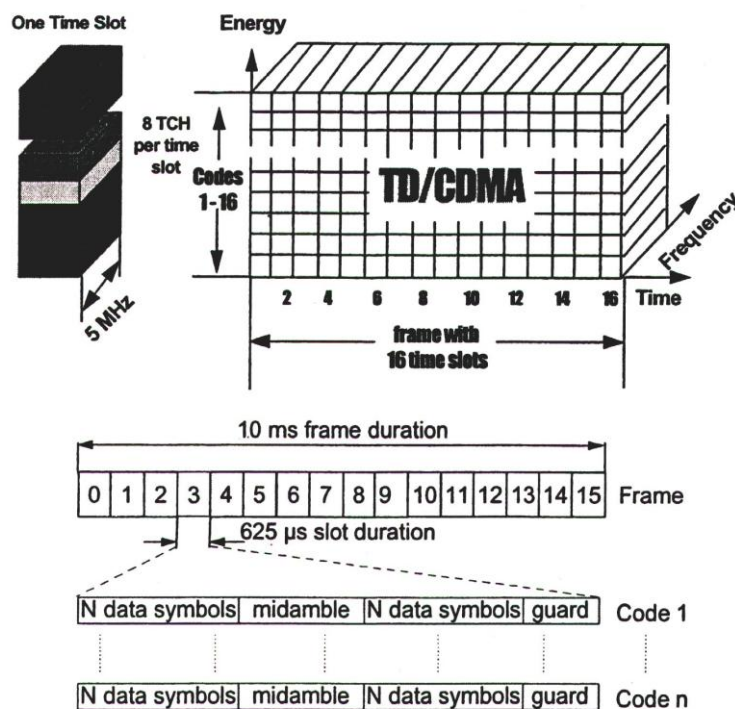
dispensando esse trabalho preliminar, já que uma simulação que dure, por exemplo, 2 h no SLEP pode ser executada em 3 ou 4 minutos na aproximação analítica. A julgar pela experiência do uso do SLEP no âmbito do projecto ASILUM, se o trabalho inicial de procura dum raio para as células ou, impondo o raio, para as densidades populacionais fosse realizado através da aproximação analítica desenvolvida, seguramente que o tempo gasto com simulações preliminares teria sido bem mais reduzido.

ANEXO A - ASPECTOS TÉCNICOS EM UMTS

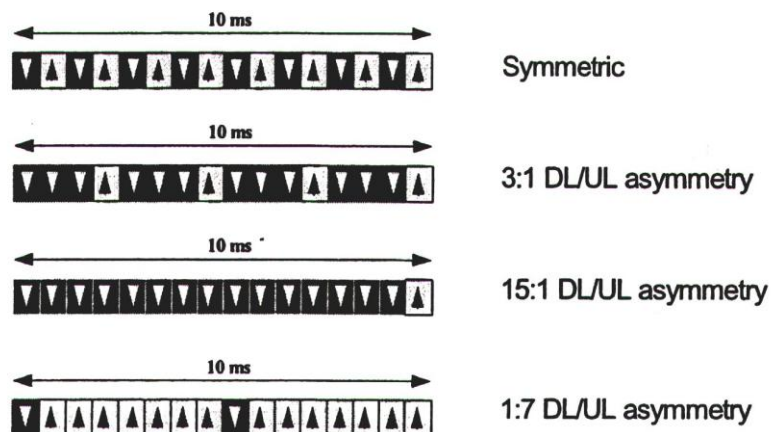
Neste Anexo é feita uma descrição mais pormenorizada de alguns aspectos técnicos específicos do UMTS. Assim, começa-se por introduzir a separação de canais sob o modo TDD; posteriormente aborda-se questões com os tipos de *handover* suportados em UMTS; por fim introduz-se as diferenças existentes ao nível do formato das tramas entre os canais ascendente e descendente, relacionando-o com a forma como é feita a modulação nos dois sentidos da ligação.

A.1 MODO TDD

A ideia base deste modo de duplexagem, baseado em TD-CDMA, é permitir a existência de *time-slots* para a ligação ascendente em número não necessariamente igual ao número de *time-slots* atribuídos à ligação descendente; além disso, cada janela temporal pode ser utilizada simultaneamente por vários utilizadores graças à atribuição de diferentes códigos aos diferentes utilizadores, num total de 16 códigos para um máximo de 8 utilizadores por *time-slot*, podendo inclusive um só utilizador utilizar simultaneamente vários *time-slots* de acordo com as suas necessidades, Figura A.1 a). Desta forma existe transmissão sequencial nos dois sentidos sendo necessária sincronização, deixando se ser necessário o uso de filtros e combinadores duplex. O número de *time-slots* para a ligação ascendente / descendente pode também variar dinamicamente, de acordo com as características de tráfego em tempo real. Assim o modo TDD garante uma boa eficiência espectral e também apresenta uma forte aptidão para transportar tráfego fortemente assimétrico, por exemplo o serviço de 2 Mbps, Figura A.1 b). Outra vantagem associada ao modo TDD é o facto de cada canal rádio apenas ocupar 5 MHz, desemparelhados, o que, no futuro, quando as necessidades espectrais forem superiores, representará uma maior facilidade em atribuir mais espectro ao modo TDD face ao modo FDD, que necessita para cada portadora de duas bandas de 5 MHz cada, num total de 10 MHz.



a) – Acesso múltiplo baseado em TD-CDMA (extraído de [Fern00]).



b) – Atribuição dinâmica de *time-slots* para as ligações ascendente e descendente (extraído de [Fern00]).

Figura A.1 – Características do modo TDD.

A.2 HANDOVER

O WCDMA suporta *soft handover*, *softer handover* e *hard handover*. Durante o *soft handover* uma MS está na área coberta por dois sectores ou mais de células diferentes. Ou seja, o terminal móvel recebe sinal dessas BS, sinais que são combinados através do mecanismo RAKE [HoTo00]. Durante o *softer handover* o MS está na área de cobertura de dois sectores da mesma célula. Há portanto duas ligações para o mesmo terminal móvel. A utilização deste tipo de *handover* é necessária por forma a combater o efeito perto-longe uma vez que, desta forma, a potência do MS é controlada quer pela estação de base a que lhe pertence, quer por aquela a que irá pertencer. Em *hard handover* os MS apenas estão ligados a uma BS de cada vez. É utilizado quando há transições entre frequências devido à estrutura hierárquica de células ou quando há transições entre UMTS e outro sistema como por exemplo o GSM. O princípio do *soft handover* e do *hard handover* está ilustrado na Figura A.2.

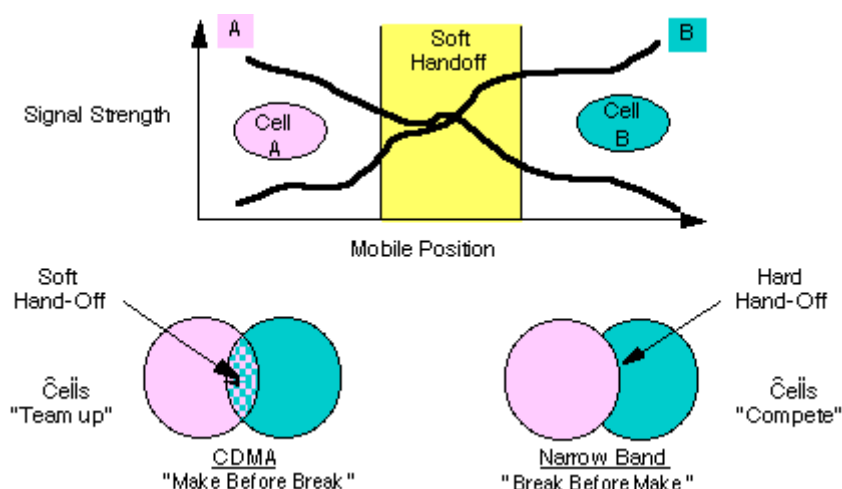
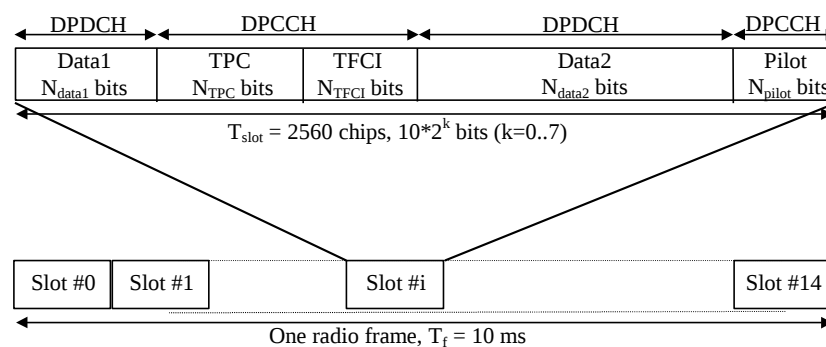


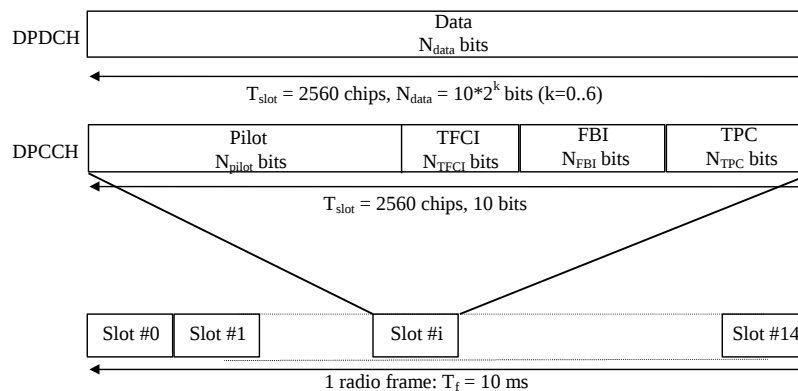
Figura A.2 – Princípio do *soft handover* e do *hard handover* (extraído de [CDMA96]).

A.3 ESTRUTURA DAS TRAMAS E MODULAÇÃO NOS CANAIS ASCENDENTE E DESCENDENTE

A estrutura da trama é diferente nas ligações ascendente e descendente, Figura A.3. O DPDCH transporta dados e o DPCCH transporta informação de controlo; são canais dedicados a um utilizador, existindo ainda canais comuns partilhados pelos vários utilizadores de uma célula. Na ligação ascendente o DPDCH e o DPCCH são multiplexados em fase e em quadratura enquanto que na ligação descendente os canais de dados e de controlo são multiplexados no tempo formando o DPCH [Fern00]. Esta diferença é justificada pela interferência que poderia ser causada ao ouvido humano pelas transmissões descontínuas que poderiam ocorrer na ligação ascendente. Já na ligação descendente este problema não se coloca pois existe sempre transmissão de outros canais não dedicados [HoTo00].



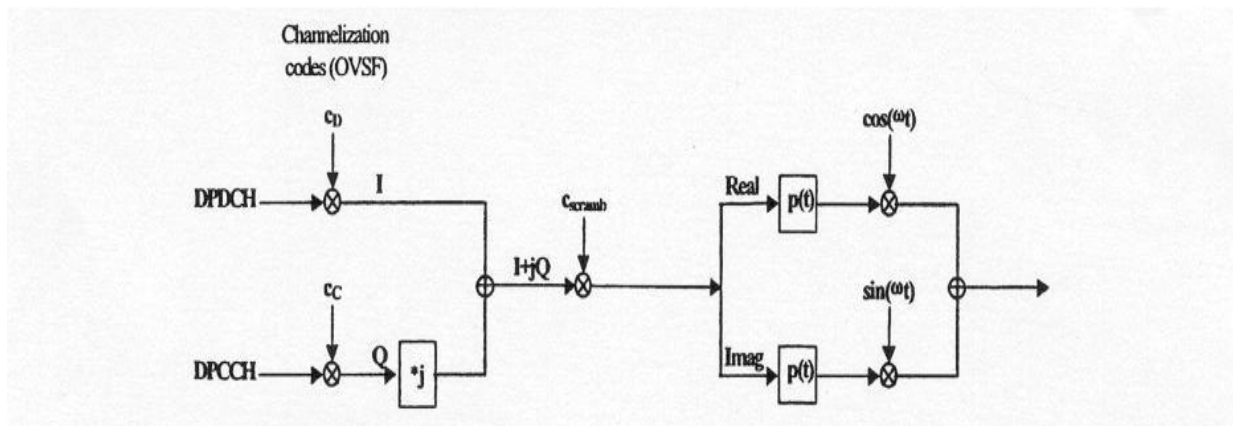
a) Ligação descendente.



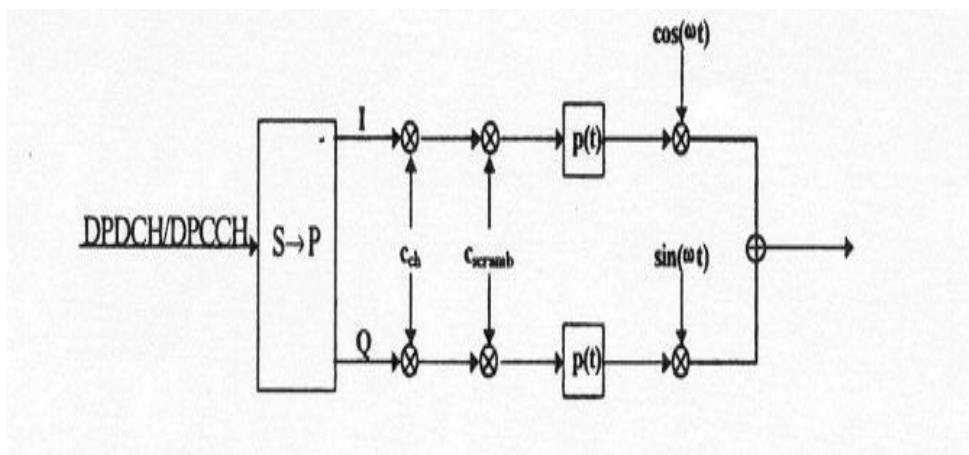
b) Ligação ascendente.

Figura A.3 – Estrutura das tramas nas ligações descendente e ascendente (extraído de [3GPP00c]).

Desta forma, atendendo às modulações utilizadas nas ligações ascendente e descendente e ao uso dos diferentes códigos, de acordo com a subsecção 2.2.3, um esquema simplificado das operações de espalhamento e modulação utilizadas em UMTS no modo FDD pode ser o que se ilustra na Figura A.4.



a) Ligação ascendente.



b) Ligação descendente.

Figura A.4 – Operações de espalhamento e modulação no modo FDD (extraído de [Fern00]).

ANEXO B - MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Neste Anexo apresentam-se com maior detalhe os modelos de propagação utilizados para estimar o nível de sinal, procurando-se também ilustrar o resultado da aplicação dos mesmos com algumas figuras. Assim, começa-se por introduzir o modelo de Okumura-Hata, passando-se posteriormente ao modelo do COST231 – Walfisch-Ikegami. No final do anexo, apresentam-se alguns aspectos de cobertura ilustrando-se também alguns resultados.

B.1 MODELO DE OKUMURA-HATA

O modelo de Okumura-Hata é um modelo empírico para ser usado em ambientes rural, suburbano e urbano. A expressão do modelo de Okumura-Hata que permite estimar a atenuação de propagação na banda [1 500, 2 000] MHz foi desenvolvida pelo COST 231 [COST91] e possui a seguinte forma:

$$L_p \text{ [dB]} = 46,30 + 33,90 \log(f_{\text{[MHz]}}) - 13,82 \log(h_{be}) \\ + [44,90 - 6,55 \log(h_{be})] \log(d_{\text{[km]}}) \\ - H_{(m,u)}(h_m, f) + C_m - (\text{correccção com o ambiente}) \quad (\text{B.1})$$

onde

- h_{be} – altura efectiva da BS;
- h_m – altura da antena da MS em relação ao solo;
- $H_{(m,u)}$ – factor de ganho da altura da antena da MS relativo a $h_m = 3$ m;
- $C_m = \begin{cases} 0, & \text{cidades médias e centros urbanos} \\ 3, & \text{centros urbanos} \end{cases} \quad (\text{B.2})$

e onde

$$H_{mu} \text{ [dB]} = \begin{cases} \left[1,10 \log(f_{\text{MHz}}) - 0,70 \right] h_m - \left[1,56 \log f_{\text{MHz}} - 0,80 \right] & , \text{cidade pequena} \\ 8,29 \log^2 1,54 h_m - 1,10 & , f \leq 200 \text{ MHz, cidade grande} \\ 3,20 \log^2 11,75 h_m - 4,97 & , f \geq 400 \text{ MHz, cidade grande} \end{cases} \quad (\text{B.3})$$

e onde a correccção com o ambiente é dada por

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_o = 4,78 \log^2(f_{\text{[MHz]}}) - 18,33 \log(f_{\text{[MHz]}}) + 40,94, \text{ ambiente rural} \\ K_{mr} = 2 \log^2(f_{\text{[MHz]}} / 28) + 5,40, \text{ ambiente suburbano} \end{array} \right\} \quad (\text{B.4})$$

As expressões (B.1) e (B.4) são válidas $d \in [1, 20]$ km, $h_{be} \in [30, 200]$ m e $h_m \in [1, 10]$ m

Este modelo, no entanto, pode ser adaptado a cenários mais específicos através da aplicação de factores correctivos por exemplo para efectuar correccções consoante as ruas sejam radiais ou circunferenciais, a inclinação média do terreno, a ondulação do terreno ou a existência de

trajectos mistos terra-água [OOKF68]. É, ainda assim, um modelo cuja utilização em ambiente urbano deve ser encarada com algumas reservas, mesmo considerando os referidos factores de correcção, quando as distâncias forem curtas. Por outro lado é preciso notar que o ambiente padrão em que o modelo foi desenvolvido é urbano daí que os erros, já de si inerentes à aplicação de um modelo que tenta adaptar-se à realidade, são susceptíveis de aumentar quando este modelo for utilizado em ambiente suburbano ou rural. Além disso, dado que em UMTS, nomeadamente para o modo FDD, a banda associada aos canais descendentes está acima dos 2 GHz, e portanto acima da banda de validade do modelo, deve-se atender ao facto de os resultados obtidos para essa banda poderem afastar-se dos valores reais. No entanto, o afastamento face aos 2 GHz não é significativo e provavelmente o erro cometido não deverá ser significativo, ficando no entanto essa precaução no emprego deste modelo. Na Figura B.1 ilustra-se um cenário de propagação do modelo de Okumura-Hata.

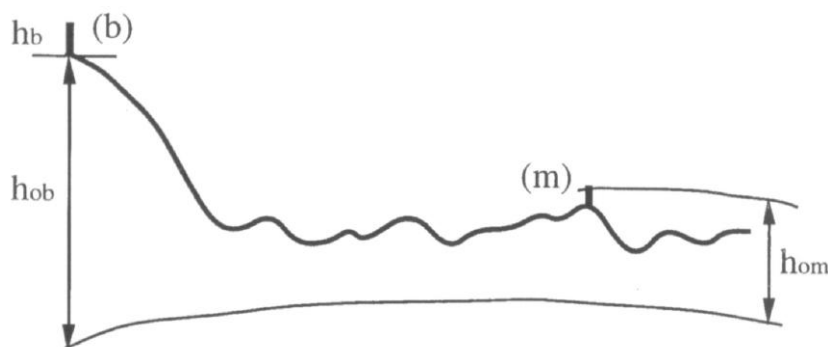


Figura B.1 – Cenário de propagação do modelo de Okumura-Hata (extraído de [OOKF68]).

Na Figura B.2 encontra-se uma representação da atenuação de propagação para os ambientes urbano, suburbano e rural, dadas pelo modelo de Okumura-Hata para uma frequência de 2 GHz, uma altura efectiva da BS de 30 m e uma altura da antena da MS em relação ao solo de 1,8 m.

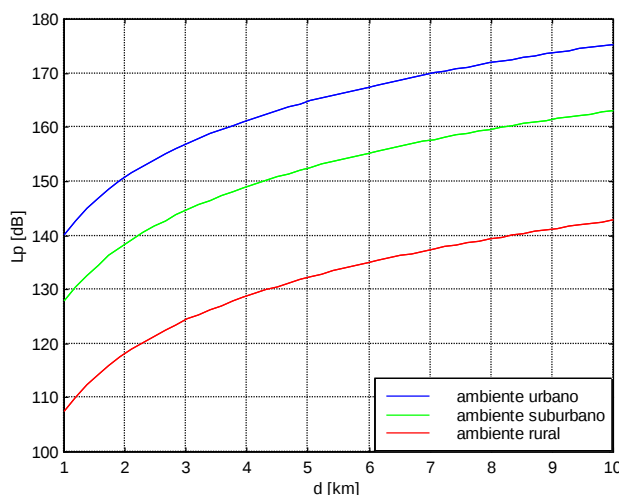


Figura B.2 – Atenuação de propagação dada pelo modelo de Okumura-Hata numa cidade grande.

Como seria de esperar, uma maior densidade de urbanização traduz-se num aumento das perdas de propagação. Desta forma em ambiente urbano as perdas são superiores às que se verificam em ambiente suburbano ou rural.

Em [OOKF68], [Hata80] e [COST91] encontra-se uma descrição bastante pormenorizada deste modelo de propagação. De acordo com [OOKF68] o desvio padrão da atenuação de propagação para este modelo para uma frequência de 2 GHz é 10,5 dB para ambiente urbano e de 11,2 dB para ambiente suburbano, considerando-se também este valor para ambiente rural.

B.2 MODELO DO COST 231 - WALFISCH-IKEGAMI

Outro modelo muito utilizado é o COST 231 – Walfisch-Ikegami [COST91] que conjuga os modelos de Ikegami – usado para estimar o sinal em ruas - e de Walfisch-Bertoni – um modelo teórico para a propagação em zonas urbanas e que contabiliza a propagação sobre edifícios.

Quando a propagação é feita na direcção de uma rua, em linha de vista, a atenuação de propagação é dada pela seguinte expressão [COST91]:

$$L_p \text{ [dB]} = 42,6 + 20\log(f_{\text{[MHz]}}) + 26\log(d_{\text{[km]}}) \quad , d > 0,02 \text{ km} \quad (\text{B.5})$$

Quando as condições descritas no parágrafo anterior não se verificarem tem-se:

$$L_p \text{ [dB]} = \begin{cases} L_0 \text{ [dB]} + L_{tt} \text{ [dB]} + L_{tm} \text{ [dB]} & , L_{tt} + L_{tm} > 0 \\ L_0 \text{ [dB]} & , L_{tt} + L_{tm} \leq 0 \end{cases} \quad (\text{B.6})$$

onde

$$L_0 \text{ [dB]} = 32,44 + 20\log(d_{\text{[km]}}) + 20\log(f_{\text{[MHz]}}) \quad (\text{B.7})$$

é a atenuação em espaço livre e

$$L_{tm} \text{ [dB]} = -16,9 - 10 \log(w_s) + 10\log(f_{\text{[MHz]}}) + 20\log(H_B - h_m) + L_{ori} \text{ [dB]} \quad (\text{B.8})$$

contabiliza as perdas de difracção entre o telhado e a rua com

$$L_{ori} \text{ dB} = \begin{cases} -10,0 + 0,354 \phi_o & , 0^\circ \leq \phi < 35^\circ \\ 2,5 + 0,075 \phi_o - 35 & , 35^\circ \leq \phi < 55^\circ \\ 4,0 - 0,114 \phi_o - 55 & , 55^\circ \leq \phi < 90^\circ \end{cases} \quad (\text{B.9})$$

onde

- w_s – largura das ruas;
- H_B – altura dos prédios;
- ϕ - ângulo entre o eixo da rua e a direcção de propagação;
- h_m – altura da MS;

e onde

$$L_{tt[dB]} = L_{bsh[dB]} + k_a + k_d \log(d_{[km]}) + k_f \log(f_{[MHz]}) - 9 \log(w_B) \quad (B.10)$$

representa as perdas multilâmina, com:

- k_a – aumento das perdas devido à BS estar abaixo do telhado;
- k_d – dependência com a distância das perdas de difracção multilâmina;
- k_f – dependência com a frequência das perdas de difracção multilâmina;
- w_B – distância entre os centros dos prédios;

e

$$L_{bsh[dB]} = \begin{cases} -18 \log(h_b - H_B + 1), & h_b > H_B \\ 0, & h_b \leq H_B \end{cases} \quad (B.11)$$

onde h_b é a altura da BS e

$$k_a = \begin{cases} 54, & h_b > H_B \\ 54 - 0,8 \left(\frac{h_b - H_B}{d_{[km]}} \right), & d \geq 0,5 \text{ km} \\ 54 - 1,6 \left(\frac{h_b - H_B}{d_{[km]}} \right), & d < 0,5 \text{ km} \end{cases} \quad h_b \leq H_B \quad (B.12)$$

$$k_d = \begin{cases} 18, & h_b > H_B \\ 18 - 15 \frac{h_b - H_B}{H_B}, & h_b \leq H_B \end{cases} \quad (B.13)$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0,7 \left(\frac{f_{MHz}}{925} - 1 \right), & \text{cidades médias e centros urbanos} \\ -4 + 1,5 \left(\frac{f_{MHz}}{925} - 1 \right), & \text{centros urbanos} \end{cases} \quad (B.14)$$

As expressões (B.5 a B.14) são válidas para $f \in [800, 2\,000]$ MHz, $d \in [0,02, 5]$ km, $h_{be} \in [30, 200]$ m, $h_b \in [4, 50]$ m e $h_m \in [1, 3]$ m. A Figura B.3 ilustra um cenário de propagação do modelo do COST-231.

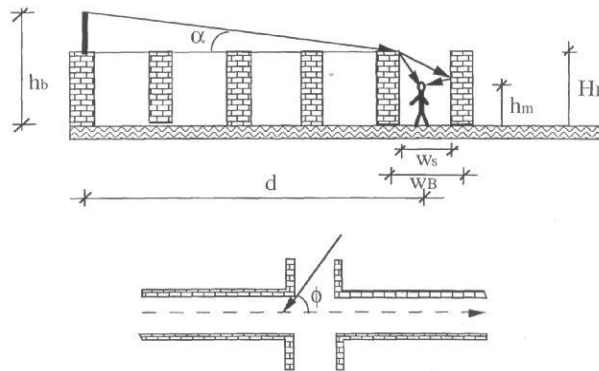


Figura B.3 – Cenário de propagação do modelo do COST-231 (Extraído de [Corr93]).

Em [COST91] existe uma descrição do modelo cuja consulta se recomenda vivamente. O valor do desvio-padrão para este modelo para uma frequência de 2 GHz é de 6 dB de acordo com [Gonç98].

Como este modelo se adequa a ambientes urbanos em micro-células, de dimensões reduzidas, enquanto que o modelo de Okumura-Hata é mais recomendado para distâncias superiores a 5 km, considera-se para distâncias entre 4 e 5 km uma transição ponderada entre os dois modelos, de acordo com a expressão (B.15), excepto no caso em que o ambiente é suburbano ou rural, situação na qual se utilizava exclusivamente o modelo de Okumura-Hata:

$$L_{p\|dB\|} = L_{p_{Okumura-Hata}} \left[\frac{d_m - 4}{1} \right] + L_{p_{Walfisch-Ikegami}} \left[\frac{5 - d_m}{1} \right], d \in]4, 5[\text{ km} \quad (\text{B.15})$$

De acordo com (B.2), (B.5) e (B.15), obtém-se para a atenuação de propagação a curva ilustrada na Figura B.4, com base nos seguintes pressupostos: $h_{be}=30$ m, $h_m=1,7$ m, altura dos prédios de 21 m, largura das ruas de 30 m, distância entre centro dos prédios de 60 m e ângulo entre o eixo da rua e a direcção de propagação de 90°.

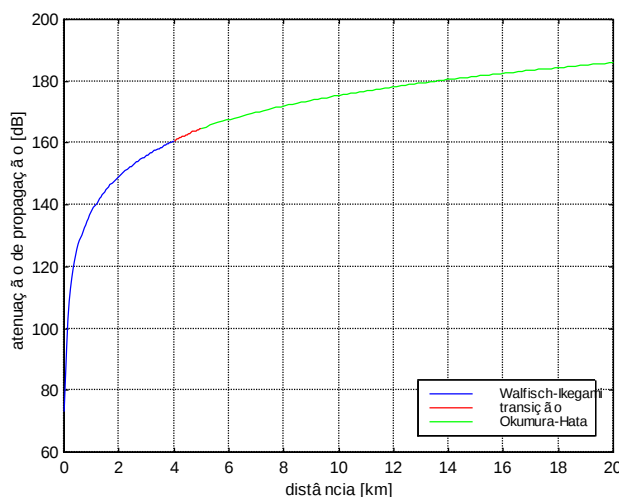


Figura B.4 – Atenuação de propagação considerando a transição entre os dois modelos utilizados para $f=1980$ MHz, cidade grande em ambiente urbano.

B.3 COBERTURA

Os modelos de propagação apresentados permitem obter uma estimativa do valor mediano da atenuação de propagação e, por consequência, de acordo com (B.1), o valor mediano da potência recebida. A existência de desvanecimento vai fazer com que o valor da potência recebida varie em torno do valor mediano, sendo portanto necessário que a potência de emissão aumente de forma a compensar os efeitos provocados pelo desvanecimento. Dado que o desvanecimento lento possui uma distribuição log-normal, a variação da intensidade de um sinal pode ser estimada recorrendo a uma distribuição daquele tipo. Dependendo da percentagem de locais que se pretende cobrir, a atenuação de propagação a uma dada distância da BS será dada por (B.16):

$$L_{p/p\%} = L_{p/50\%} + \mu \left(\frac{\sigma}{\sqrt{2}} \right) \quad (\text{B.16})$$

em que:

- $L_{p/50\%}$ - atenuação de propagação dada pelo modelo de estimação do sinal;
- $p\%$ - percentagem de locais a cobrir;
- $\mu(p\%) \times \sigma$ - margem de desvanecimento.

O valor de σ é dado pelo modelo de propagação e o valor de $\mu(p\%)$ é dado pela função distribuição de probabilidade da distribuição normal, uma vez que as grandezas estão em dB.

Uma outra maneira de definir a margem de desvanecimento através da percentagem de locais cobertos com uma potência superior a P_{min} , a uma distância R é através de F_{circ} . [Corr93]:

$$F_{circ}(P_{min}, R) = \text{Prob}(P > P_{min}) = \frac{1 + \text{erf}\left(\frac{\Delta P_{[dB]}}{\sigma_{[dB]} \sqrt{2}}\right)}{2} \quad (\text{B.17})$$

em que ΔP representa a margem de desvanecimento lento e é dado por

$$\Delta P_{[dB]} = \bar{P}_{[dBm]} - P_{min [dBm]} \quad (\text{B.18})$$

onde

- $\bar{P}$ - potência média dada pelo modelo de propagação;
- P_{min} - sensibilidade.

No entanto, dado que os utilizadores estão normalmente distribuídos pelo interior das células, é de maior interesse estimar a percentagem de área coberta dentro de uma circunferência de raio R , a qual pode ser obtida através de $F_{circ}(P_{min}, R)$ da seguinte forma:

$$F_{area} = \frac{1}{\pi R^2} \int_S F_{circ} dS \quad (\text{B.19})$$

Se $\bar{P}_{[dBm]}$ tiver a forma:

$$\bar{P}_{[dBm]} = \bar{P}_{R [dBm]} - 10n \log\left(\frac{r}{R}\right) \quad (\text{B.20})$$

a expressão de F_{area} virá:

$$F_{area} = \frac{1 + \text{erfc}\left(\frac{a}{\sqrt{2}}\right) + e^{a^2+1/b^2} \times \left[1 - \text{erf}\left(\frac{ab+1}{b}\right)\right]}{2} \quad (\text{B.21})$$

onde

$$a = \frac{\bar{P}_{R [dBm]} - P_{min [dBm]}}{\sqrt{2} \sigma_{[dB]}} \quad (\text{B.22})$$

$$b = \frac{10 n \log \left(\frac{P_{R[dBm]}}{\sqrt{2\sigma_{[dB]}}} \right)}{\sqrt{2\sigma_{[dB]}}} \quad (B.23)$$

Na expressão (B.20) $P_{R[dBm]}$ representa a potência sob a circunferência à distância R e n depende do modelo de propagação:

Para o modelo de Okumura-Hata n é dado por:

$$n = \frac{44,90 - 6,55 \log h_{be}}{10} \quad (B.24)$$

Para o modelo de Walfisch-Ikegami e para $\varphi \neq 0$, $L_{tt} + L_{tm} > 0$ e $h_b > H_B$, tem-se $n=3,8$ e nas mesmas condições excepto para $h_b < H_B$, n vem dado por

$$n = \frac{20 + 18 - 15 \frac{h_b - H_B}{H_B}}{10} \quad (B.25)$$

Na Figura B.5 apresenta-se a variação de $F_{area}(P_{min}, R)$ em função da margem de desvanecimento para os modelos de Okumura-Hata e de Walfisch-Ikegami. Para os valores de σ considera-se 6 dB [Gonç98] para o modelo de Walfisch-Ikegami e 10,5 (ambiente urbano) para o modelo de Okumura-Hata para uma frequência de 2 GHz [Corr93].

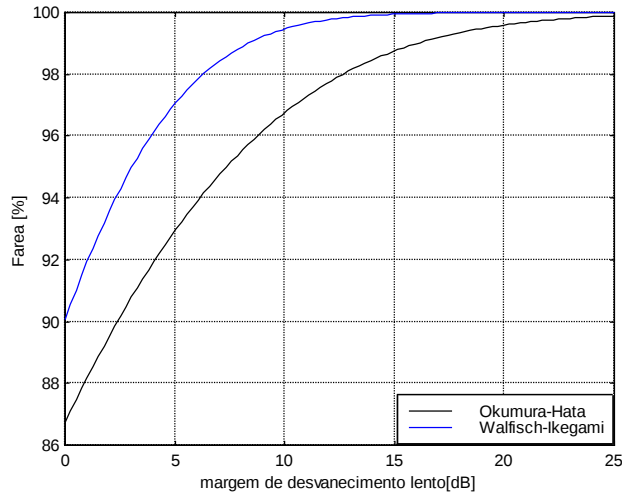


Figura B.5 – Percentagem de zonas cobertas em função da margem de desvanecimento para os modelos de Okumura-Hata ($\sigma=10,5$ dB) e de Walfisch-Ikegami ($\sigma=6$ dB).

Desta figura sobressai o facto de ser necessário deixar uma maior margem de segurança no uso do modelo de Okumura-Hata em ambiente urbano face ao modelo de Walfisch-Ikegami.

ANEXO C – BLOQUEIO EM COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS

Quando se estuda o tráfego de redes de comunicação, existem certas grandezas que são a base de toda a teoria do tráfego. Desta forma, define-se o volume de tráfego, A_v , como sendo o produto entre o número médio de chamadas, C , medido durante um intervalo de tempo e a duração média dessas chamadas ($\bar{\tau}$),

$$A_v = C \cdot \bar{\tau} \quad (C.1)$$

A partir desta grandeza, define-se a intensidade ou fluxo de tráfego, A , como sendo o quociente entre o volume de tráfego e o intervalo de tempo de medida, T ,

$$A = \frac{A_v}{T} = \frac{C \cdot \bar{\tau}}{T} = \lambda \cdot \bar{\tau} \quad (C.2)$$

onde λ é o quociente C/T e representa o número médio de chamadas por unidade de tempo.

O congestionamento de uma rede ocorre quando esta rede está ocupada com outros pedidos e não pode aceitar mais chamadas. Nesta situação, a rede poderá dar diferentes respostas conforme a tecnologia utilizada. Nos sistemas com perdas, todas as tentativas de estabelecer ligações não têm sucesso pelo que as chamadas respectivas são bloqueadas. Por outro lado, nos sistemas com fila de espera as chamadas que chegam à rede durante um período de congestionamento têm que esperar numa fila de espera até que uma ligação de saída fique disponível, dentro de um determinado intervalo de tempo, nesta situação, as chamadas não são necessariamente perdidas, podendo apenas ser retardadas. No entanto, nas redes celulares, utiliza-se apenas os sistemas com perdas pelo que apenas estes são aprofundados nesta secção.

A taxa de chegada de chamadas pode ser estimada recorrendo a um processo de Poisson de parâmetro λ ([Pire99], [Yaco93]), de acordo com

$$p_k(k) = \frac{(\lambda \times t)^k}{k!} \exp(-\lambda \times t) \quad (C.3)$$

cujas média e variância são igualmente dadas por

$$E[k] = \sigma_k^2 = \lambda \times t \quad (C.4)$$

e onde k é o número de chamadas por intervalo de tempo.

Por outro lado, o tempo médio entre chegadas de chamadas é vulgarmente admitido como sendo descrito por uma variável aleatória de distribuição exponencial negativa ([Pire99], [Yaco93]). Desta forma, a probabilidade de o intervalo de tempo médio entre chamadas ser inferior a um dado valor de t é dada por

$$p_\lambda(t) = 1 - \exp(-\lambda \times t) \quad (C.5)$$

cujas média e variância são dadas por

$$E[t] = 1 / \lambda \quad (C.6)$$

$$\sigma_k^2 = 1 / \lambda^2 \quad (C.7)$$

A outra distribuição de particular interesse para o estudo do tráfego é a duração das chamadas, processo que também pode ser descrito por um processo com distribuição exponencial negativa ([Pire99], [Yaco93]). Desta forma, as suas função distribuição de probabilidade, média e variância são dadas por (C.5), (C.6) e (C.7), mas referentes a um parâmetro μ em vez de λ , já que a duração das chamadas é independente do tempo médio entre chegadas de chamadas logo os parâmetros que caracterizam os dois processos são diferentes. Desta forma, a intensidade de tráfego A , além de (C.2), pode ser dada por

$$A = \frac{\lambda}{\mu} \quad (C.8)$$

sendo a duração média das chamadas $\bar{\tau}$ dada por

$$\bar{\tau} = 1 / \mu \quad (C.9)$$

Com a descrição destes processos, é possível obter uma expressão para a probabilidade de bloqueio ([Pire99], [Yaco93]), conhecida por fórmula de Erlang-B. Na obtenção desta fórmula, considera-se a existência de uma população infinita. Segundo esta expressão, a probabilidade de ocorrer bloqueio é dada por:

$$P_b = E(A, N_c) = \frac{A^{N_c} / N_c!}{\sum_{i=0}^{N_c} A^i / i!} \quad (C.10)$$

onde A é a intensidade de tráfego, definida em (C.2) e N_c o número de canais existente.

Na Figura C.1 representa-se a variação da probabilidade de bloqueio em função do tráfego para vários números de canais disponíveis.

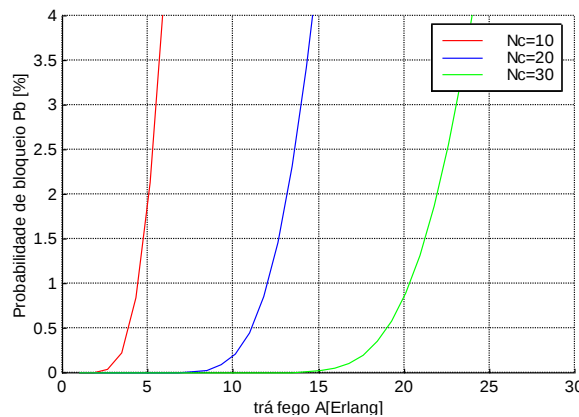


Figura C.1 – Variação do bloqueio em função do tráfego para vários números de canais.

Naturalmente que a probabilidade de bloqueio das chamadas é crescente com o tráfego. Além disso, é também evidente que quanto menor é o número de canais maior é a probabilidade de ocorrerem bloqueios, para um mesmo tráfego oferecido. Desta forma sobressai a necessidade da existência de um compromisso entre o número de canais disponível e a probabilidade de bloqueio pretendida. Aumentando muito o número de canais, consegue-se baixar significativamente a probabilidade de existência de bloqueios, mas à custa de um aumento também significativo do custo do equipamento. Pelo contrário, poucos canais proporcionam baixos custos de equipamento mas o número de bloqueios cresce para além do razoável. Além disso, em comunicações móveis, o número de canais é muito limitado!

Para além da fórmula de Erlang-B, existem outras expressões específicas para obter a probabilidade de uma chamada ser bloqueada, devido ao congestionamento. São particularmente vulgares as fórmulas de Engset-B, que tem em consideração uma população fixa finita, e a de Erlang-C, adequada para sistemas com filas de espera. No entanto, dado que a dimensão da população é desconhecida *a priori* e que os sistemas celulares são sistemas com perdas, a expressão mais adequada para o planeamento dos mesmos é a fórmula de Erlang-B (C.10). Habitualmente considera-se razoável uma probabilidade de bloqueio de 2% para as comunicações celulares.

ANEXO D - PREVISÕES DE TRÁFEGO EM UMTS

Em UMTS, devido à diversidade de serviços existente e às características que os diferem, há que diferenciar o tráfego devido a cada um deles, conforme as necessidades dos utilizadores. Na Tabela D.1 apresentam-se os serviços considerados mais relevantes para o interesse do trabalho, indicando-se as principais características de cada um deles.

Serviço	Voz	64		144		384	2 000
Modo de comutação	CS	CS	PS	CS	PS	PS	PS
Ritmo [kbps]	12,2	64		144		384	2 048
Factor de assimetria ascendente/descendente	1/1	1/1	0,156/1	1/1	0,069/1	0,026/1	0,005/1
Factor de actividade [%]	50	100					
Duração média das chamadas [s]	120	180	34	180	37	14	53,3

Tabela D.1 – Principais características dos serviços considerados.

Parte dos dados contidos na Tabela D.1 são extraídos de [UMTS98c]. No entanto, alguns dos valores apresentados foram actualizados devido à existência de dados mais recentes, por um lado, e, por outro lado, devido à falta de informação precisa para outros destes valores, situação em que se tomam os pressupostos que se enunciam de seguida. Pressupõe-se que existe um paralelismo entre os serviços de 384 kbps em PS e 144 kbps em PS, o qual é uma actualização do serviço inicialmente previsto pelo UMTS Forum como apresentando um débito de 128 kbps, considerando-se que ambos têm as mesmas características excepto na duração das chamadas e na assimetria, onde é considerada a diferença entre os ritmos dos dois serviços. Mantendo a mesma linha de raciocínio, considera-se que o serviço de 64 kbps em CS mantém as mesmas características do serviço de 144 kbps em CS em termos de duração das chamadas, por se considerar que os serviços são semelhantes em termos de conteúdo. Também se considera que estes 2 serviços têm uma ocupação do canal de 100%, apesar de funcionarem em comutação de circuitos, devido à transmissão contínua de imagem. O serviço de 64 kbps em PS é obtido fazendo uma translação do serviço SD [UMTS98c] de 14 kbps para 64 kbps, com as implicações que esta alteração tem a nível da duração de chamadas. O serviço SD, apesar de funcionar em comutação de circuitos, é um serviço de transmissão de dados daí tornar-se mais conveniente a sua transmissão através de um serviço em comutação de pacotes e daí a decisão de efectuar este ajuste entre serviços. Para os serviços baseados em PS e, portanto, assimétricos, considera-se que a ligação ascendente pode ser estabelecida a um ritmo de 10 kbps para efeitos de cálculo do tráfego oferecido. As expressões (D.1) e (D.2) retratam estes ajustes entre serviços.

$$\tau_{144kbps\ PS} = \tau_{384kbps\ PS} \times \frac{384}{144} \quad (D.1)$$

$$\tau_{64kbps\ PS} = \tau_{SD\ CS} \times \frac{64}{14} \quad (D.2)$$

Dado que não há uma utilização permanente dos serviços disponíveis pelos utilizadores, há que considerar as tentativas de ligação na hora de ponta, *BHCA*. Esta opção garante que a

estimativa do número médio de células, canais, etc, necessários ao desenvolvimento da rede é realizada na hora de maior tráfego, o que, fora situações extraordinárias (engarrafamentos de trânsito ocasionais, por exemplo), garantirá que nos restantes períodos de tempo o sistema é capaz de dar uma resposta dentro dos critérios de qualidade impostos precisamente para a hora de ponta. O número de tentativas de ligação depende fortemente do ambiente e cenário considerados, sendo de esperar maior número de ligações, por exemplo, em ambiente urbanos face aos rurais, conforme a Tabela D.2.

Serviço		Voz	64		144		384	2 000
Modo de comutação		CS	CS	PS	CS	PS	PS	PS
Urbano Denso	Interiores	1	0,12	0,06	0,12			
	Pedestre	0,6	0,06	0,03	0,06			
	Veicular	0,6	0,004	0,002	0,004			
Suburbano	Interiores	0,13	0,06	0,03	0,06			
	Pedestre							
	Veicular							
Rural	Interiores	0,5	0,004	0,002	0,004			
	Pedestre							
	Veicular							

Tabela D.2 – Tentativas de ligação na hora de ponta para os diferentes ambientes e cenários (extraído de [UMTS98c]).

Novamente refere-se que parte dos dados da Tabela D.2 são obtidos com base nos pressupostos supracitados.

O número de potenciais utilizadores por km^2 varia necessariamente com o ambiente em que estão inseridos e uma estimativa [UMTS98b] para estes está indicada na Tabela D.3.

Ambiente	Cenário	Número de potenciais utilizadores por km^2
Urbano Denso	Interiores	180 000
	Pedestre	108 000
	Veicular	2 780
Suburbano	Interiores	7 200
	Pedestre	
	Veicular	
Rural	Interiores	36
	Pedestre	
	Veicular	

Tabela D.3 – Densidades de potenciais utilizadores para os diferentes ambientes e cenários.

Por observação da Tabela D.3 constata-se que as células em ambiente urbanos estão fortemente limitadas na sua dimensão por problemas de capacidade devido ao excessivo número de potenciais utilizadores existente nesse ambiente, o que não acontece, por exemplo, nos ambiente rurais. O número real de utilizadores por km^2 é obtido através da multiplicação

do número de potenciais utilizadores pela taxa de penetração de cada serviço, para cada ambiente. Desta forma, é normal a existência de diferenças significativas entre o número de utilizadores activos para os diferentes serviços e até para um mesmo serviço, para os diferentes ambientes, Tabela D.4.

Serviço		Voz	64		144		384	2 000
Modo de comutação		CS	CS	PS	CS	PS	PS	PS
Urbano Denso	Interiores	60,0%	1,0 %	10,0%	1,0%	8,0%		5,0%
	Pedestre		0,5%		0,5%	7,7%		4,7%
	Veicular					4,7%		
Suburbano	Interiores							
	Pedestre							
	Veicular							
Rural	Interiores							
	Pedestre							
	Veicular							

Tabela D.4 – Previsões do UMTS Forum para as taxas de penetração dos serviços, para os diferentes ambientes no ano 2005 (extraído de [UMTS98c]).

Estas previsões do UMTS Forum, apesar de serem de 1998, são referentes ao ano de 2005. Daí ser algo surpreendente a elevada taxa de penetração do serviço de voz devido ao cariz multimédia do UMTS. Olhando para os dados da Tabela D.4 poder-se-á esperar um maior tráfego devido ao serviço de voz face, por exemplo, ao serviço de 384 kbps, o que se poderá traduzir numa limitação das células pelo serviço de voz pois este poderá consumir a maior quota-parte dos recursos do sistema.

Desta forma, conjugando os dados das Tabelas D.3 e D.4 obtêm-se os valores das densidades de utilizadores efectivos para cada serviço, por ambiente e cenário, indicados na Tabela D.5.

		Número de utilizadores efectivos por km ²						
Serviço		Voz	64 kbps		144 kbps		384 kbps	2 000 kbps
Modo de Comutação		CS	CS	PS	CS	PS	PS	PS
Urbano denso	Interiores	108 000,0	1 800,0	18 000,0	1 800,0	14 400,0	14 400,0	9 000,0
	Pedestre	64 800,0	540,0	10 800,0	540,0	8 316,0	8 316,0	5 076,0
	Veicular	1 668,0	13,9	278,0	13,9	214,1	214,1	130,7
Suburbano	Interiores	4 320,0	36,0	720,0	36,0	338,4	338,4	338,4
	Pedestre							
	Veicular							
Rural	Interiores	21,6	0,2	3,6	0,2	1,7	1,7	1,7
	Pedestre							
	Veicular							

Tabela D.5 – Densidades efectivas de utilizadores.

Através da definição de Erlang é possível transformar a *OBQ* (*Offered Bit Quantity*) numa grandeza com unidades Erlang/célula e vice-versa. Sendo a *OBQ* a quantidade de bits

oferecida durante uma hora numa área de 1 km², então a sua divisão por 3600 segundos resulta na obtenção de uma *OBQ* durante 1 segundo para a mesma área. Dada a área das células, a qual depende do planeamento da rede e que varia de região para região e do tipo de célula (Tabelas 2.4 e 2.5), o produto desta nova grandeza pela área da célula resulta numa *OBQ* por 1 segundo e por célula. Finalmente, o quociente desta grandeza pela largura de banda do serviço resulta na pretendida forma Erlang/célula, simplesmente, o tráfego por célula,

$$\text{tráfego p/ célula} = \frac{\frac{OBQ}{3600} \times \text{área célula}}{\text{largura banda serviço}} \quad (D.1)$$

A grandeza *OBQ* em [kbit / h / utilizador] ou em [mErl/utilizador] é dada por, de acordo com [MFCV01],

$$OBQ_{\text{kbit/h/utilizador}} = R_b \times \bar{\tau} \times \nu \times BHCA \quad (D.2)$$

$$OBQ_{\text{mErl/utilizador}} = \bar{\tau} \times BHCA \times \frac{1000}{3600} \quad (D.3)$$

podendo o seu cálculo ser efectuado também com base na Figura D.1:

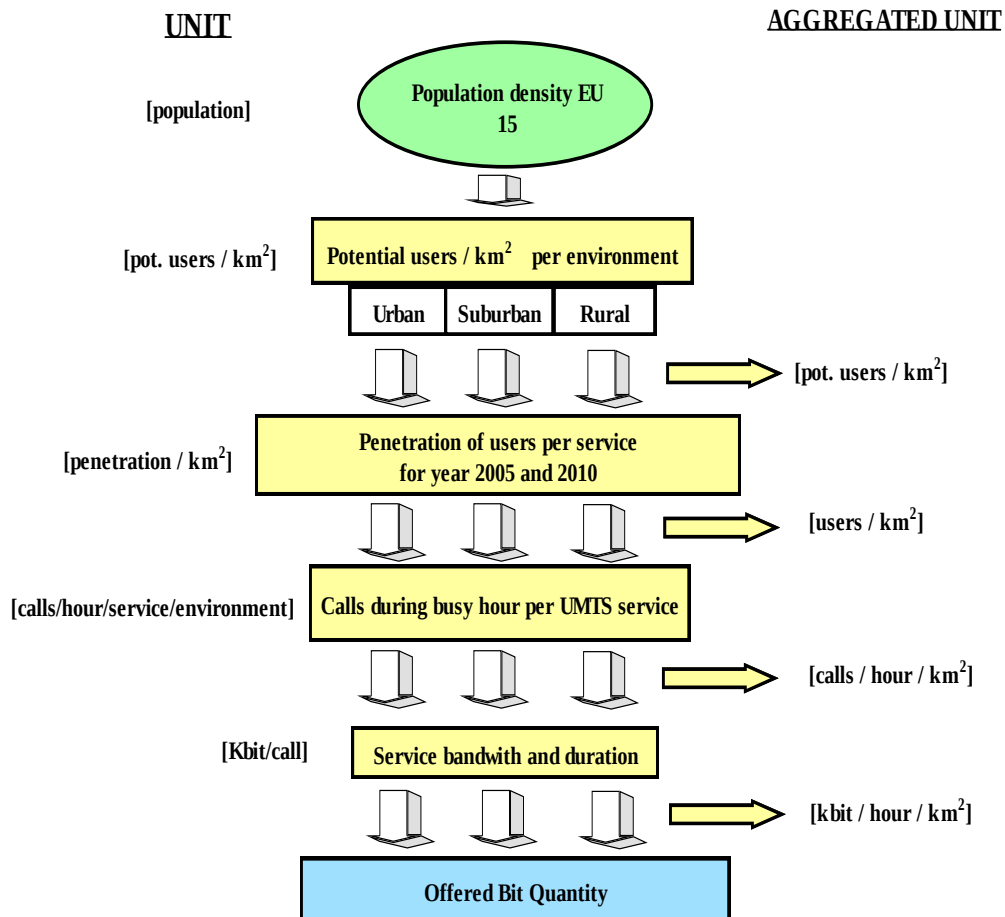


Figura D.1 – Procedimento de cálculo de OBQ (extraído de [UMTS98c]).

Através da aplicação das expressões (D.2) e (D.3) e tendo em conta os dados fornecidos nas Tabelas (D.1), (D.2) e (D.5) obtêm-se os valores previstos para o tráfego para os diferentes serviços considerados, os quais se indicam na Tabela D.6.

Serviço		Voz	64		144		384	2 000
		[mErl/ utilizador]	[kbit/h/utilizador]					
Modo de comutação		CS	CS	PS	CS	PS	PS	PS
Urbano Denso	Interiores	33,3	1 380,0	131,0	3 110,0	638,8	645,0	1 310,0
	Pedestre	20,0	700,0	65,0	1 560,0	319,5	322,1	6 548,9
	Veícular	10,0	40,0	4,0	100,0	20,8	22,1	436,2
Suburbano	Interiores	4,3	700,0	65,0	1 560,0	319,1	323,4	6 548,9
	Pedestre							
	Veícular							
Rural	Interiores	16,7	40,0	4,0	100,0	21,3	21,3	436,2
	Pedestre							
	Veícular							

Tabela D.6 – Previsões de tráfego para os diferentes serviços, ambientes e cenários.

Considerando o número de utilizadores efectivo por unidade de área, obtem-se então o tráfego oferecido ao sistema por unidade de área, de acordo com (D.4).

$$OBQ_{\text{kbit/h/km}^2} = OBQ_{\text{kbit/h/utilizador}} \times \text{densidade de utilizadores efectivos} \quad (\text{D.4})$$

A aplicação da expressão (D.4) resulta nos dados indicados na Tabela D.7.

Serviço		Voz	64		144		384	2 000
		[Erl / km ²]	[kbit/h/km ²]					
Modo de comutação		CS	CS	PS	CS	PS	PS	PS
Urbano Denso	Interiores	3,60E3	2,49E6	2,35E6	5,60E6	9,21E6	9,29E6	1,18E8
	Pedestre	1,30E3	3,73E5	7,05E5	8,40E5	2,66E6	2,68E6	3,32E7
	Veícular	3,34E1	6,41E2	1,21E3	1,44E3	4,56E3	4,60E3	5,71E4
Suburbano	Interiores	1,87E1	2,49E4	4,70E4	5,60E4	1,08E5	1,09E5	2,22E6
	Pedestre							
	Veícular							
Rural	Interiores	3,60E-1	8,29	1,57E1	1,87E1	3,61E1	3,64E1	7,39E2
	Pedestre							
	Veícular							

Tabela D.7 – Previsões de tráfego.

ANEXO E -PREVISÕES DE TRÁFEGO PARA A CIDADE DE LISBOA

Com o objectivo de obter previsões de tráfego mais realistas e adaptados à situação de Portugal, em particular da cidade de Lisboa, procurou-se a obtenção de dados relativos a Lisboa em termos de distribuição da população por freguesia e classificação do tipo de ambiente característico de cada freguesia [QuAl98]. Ao contrário do UMTS Forum, para a cidade de Lisboa considera-se apenas a existência de ambientes urbano denso, urbano e suburbano, em que a classificação de ambiente urbano denso é atribuída às zonas de maior actividade empresarial e maior densidade populacional. Tendo em conta que existem diferenças entre a população que habita realmente numa dada freguesia e a população que existe numa mesma freguesia durante o horário laboral, considera-se para efeitos de planeamento o pior caso, o que corresponde a dizer que para cada freguesia considera-se uma população efectiva que corresponderá ao maior número de entre as duas grandezas mencionadas. As densidades populacionais efectivas por ambiente e freguesia indicam-se nas Tabelas E.1, E.2 e E.3.

Urbano denso		
Freguesia	Área [km ²]	População efectiva
C. Jesus	0,542	48 787
Encarnação	0,148	10 055
Madalena	0,111	10 614
Mártires	0,096	8 938
N. Sra. Fátima	1,866	78 022
Pena	0,494	22 531
Sacramento	0,081	5 400
Santa. Justa	0,238	18 621
S.Cristovão e S.Lourenço	0,077	2 442
São João Deus	0,902	35 752
Arroios	1,134	75 043
São José	0,340	13 966
São Mamede	0,596	29 607
São Nicolau	0,247	42 270
São Paulo	0,406	22 345
São Sebastião	1,054	56 980
Sé	0,121	4 469
Totais	8,453	485 842
Densidade populacional [/km²]	57 476	

Tabela E.1 – Dados relativos à população para ambiente urbano denso na cidade de Lisboa.

Urbano		
Freguesia	Área [km²]	População efectiva
Alcântara	4,386	27 373
Alvalade	0,578	12 476
Anjos	0,478	12 490
C. Grande	2,438	25 325
Campolide	2,790	20 972
Castelo	0,054	0 773
Graça	0,341	8 604
Lapa	0,721	14 142
Mercês	0,303	6 039
Prazeres	1,482	20 856
Santa Catarina	0,209	7 076
Santa Engrácia	0,567	7 626
Santa Isabel	0,619	28 676
Santa Maria Belém	3,388	15 828
Santiago	0,062	1 226
Santo Estevão	0,183	3 538
Santos-o-Velho	0,508	13 035
São João Brito	2,275	37 242
São Miguel	0,058	2 613
São Vicente Fora	0,308	5 453
Socorro	0,108	4 309
Totais	21,856	275 672
Densidade populacional [/km²]	12 614	

Tabela E.2 – Dados relativos à população para ambiente urbano na cidade de Lisboa.

Esta distribuição de freguesias pelos vários ambientes, embora seguindo os critérios supracitados não é de todo uma classificação estática e pode ser alterada consoante os critérios seleccionados.

Uma vez que, segundo a Telecel Vodafone, a cidade de Lisboa não possui qualquer zona rural mas sendo importante a informação relativa à estimação da cobertura e capacidade nesse ambiente para um bom planeamento, recorre-se aos dados cedidos pela Telecel Vodafone para o concelho de Braga, no que concerne ao ambiente rural. Na Tabela E.4 apresentam-se os dados relativos ao ambiente rural para o concelho de Braga.

Suburbano		
Freguesia	Área [km²]	População efectiva
Ajuda	3,147	22 404
Alto do Pina	0,824	12 654
Ameixoeira	1,622	10 605
Beato	1,407	17 494
Benfica	7,937	47 099
Carnide	4,017	14 768
Charneca	1,704	9 572
Lumiar	6,282	35 390
Marvila	6,294	47 828
Penha	0,664	17 885
Olivais	10,662	51 367
Santo Contestável	1,011	22 186
S. Domingos Benfica	4,296	35 125
S. F. Xavier	2,102	8 665
São João	1,564	21 960
Totais	53,533	375 002
Densidade populacional [/km²]	7 006	

Tabela E.3 – Dados relativos à população para ambiente suburbano na cidade de Lisboa.

Ambiente	Cenário	Distribuição dos utilizadores	Área [km²]	População Total	Densidade populacional [/km²]
Rural	Interiores	10%	33,7	5 439	161
	Pedestre	10%			
	Veícular	80%			

Tabela E.4 – Dados demográficos relativos ao ambiente rural para o concelho de Braga.

Partindo dos dados das Tabelas E.1, E.2 e E.3 é possível obter uma tabela semelhante à Tabela E.4 mas referente aos ambientes urbano denso, urbano e suburbano, Tabela E.5.

Ambiente	Cenário	Distribuição dos utilizadores	Área [km²]	População total	Densidade populacional [/km²]
Urbano denso	Interiores	50%	8,453	485 842	57 476
	Pedestre	40%			
	Veicular	10%			
Urbano	Interiores	40%	21,856	275 672	12 613
	Pedestre	40%			
	Veicular	20%			
Suburbano	Interiores	40%	53,533	375 002	7 005
	Pedestre	30%			
	Veicular	30%			

Tabela E.5 – Dados gerais relativos à população efectiva de Lisboa.

Para completar a informação necessária a um bom planeamento são necessárias estimativas de tráfego. Para tal recorre-se a informação sobre perfis de tráfego gentilmente cedida pelo operador Telecel Vodafone, uma vez que estes dados estão seguramente mais adaptados à realidade da cidade de Lisboa relativamente, por exemplo, às previsões avançadas pelo UMTS Forum. Na Tabela E.6 visualiza-se os dados fornecidos. Esta Tabela avança previsões para uma fase de rede inicial e também para uma fase de rede consolidada, na qual a taxa de penetração deverá ser claramente superior

Por observação da Tabela E.6 é notório que a evolução natural do sistema passa pelo aumento significativo do tráfego relativo a serviços de dados enquanto que o serviço de voz tenderá a estabilizar. Ainda assim, numa fase inicial do sistema será o serviço de voz o mais dominante. Em termos de serviços de dados a aplicação com maior impacto na rede será o serviço a 64 kbps em comutação de pacotes. É também visível que o serviço em comutação de pacotes a 384 kbps terá um impacto mínimo no desenvolvimento da rede podendo ser pela própria limitação do sistema, por exemplo imposta pelo operador, ou até por opção dos utilizadores. De referir também que originalmente os dados fornecidos pela Telecel Vodafone não informavam sobre as previsões de tráfego para o serviço a 144 kbps em comutação de circuitos. No entanto como o serviço de 64 kbps em comutação de circuitos apresenta aplicações que são bastante semelhantes com as possíveis aplicações para 144 kbps pelo que foi feita uma translação dos dados de 64 kbps para 144 kbps, à semelhança da metodologia já usada para estimar tráfego de acordo com o UMTS Forum.

			Rede inicial	Rede consolidada
Penetração			4%	27%
Serviço	Ambiente	Ligação	Tráfego por utilizador	
Voz a 12,2 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	29	30
	Urbano		22	23
	Suburbano		22	23
	Rural		20	21
CS 64 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	0,58	2,0
	Urbano		0,40	1,2
	Suburbano		0,43	1,3
	Rural		0,40	1,12
PS 64 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	160	536
		Descendente	504	1 952
	Urbano	Ascendente	144	496
		Descendente	464	1 792
	Suburbano	Ascendente	144	488
		Descendente	456	1 768
	Rural	Ascendente	128	432
		Descendente	400	1 584
CS 144 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	0,58	2,0
	Urbano		0,40	1,2
	Suburbano		0,43	1,3
	Rural		0,40	1,12
PS 144 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	104	272
		Descendente	320	1 008
	Urbano	Ascendente	48	120
		Descendente	144	456
	Suburbano	Ascendente	56	152
		Descendente	184	576
	Rural	Ascendente	56	136
		Descendente	176	504
PS 384 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	0,0960	0,360
		Descendente	0,1440	0,536
	Urbano	Ascendente	0,0448	0,160
		Descendente	0,0672	0,240
	Suburbano	Ascendente	0,0512	0,184
		Descendente	0,0760	0,280
	Rural	Ascendente	0,0456	0,152
		Descendente	0,0688	0,232

Tabela E.6 – Dados de tráfego fornecidos pela Telecel Vodafone.

ANEXO F - BALANÇOS DE POTÊNCIA

Apresenta-se neste Anexo alguns balanços de potência de referência que foram utilizados na aproximação analítica.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Ascendente	Interiores	Pedestre	Veicular
Comutação	Circuitos			
Ritmo binário [kbps]	12,2			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	21,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	0,0		
Perdas de corpo [dB]	C	3,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	18,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	3,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-171,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-105,2		
Margem de interferência [dB]	I	3,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10^(H+I)/10-10^(H/10))	-105,2		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10^(H/10)+10^(J/10))	-102,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _b [kbps])	25,0		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	4,8	4,8	6,4
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-122,3	-122,3	-120,7
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	158,3	158,3	156,7
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	136,1	156,1	146,5

a) Ligação ascendente.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Descendente	Interiores	Pedestre	Veicular
Comutação	Circuitos			
Ritmo binário [kbps]	12,2			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	30,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	C	2,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	46,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	7,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-167,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-101,2		
Margem de interferência [dB]	I	3,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10^(H+I)/10-10^(H/10))	-101,2		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10^(H/10)+10^(J/10))	-98,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	25,0		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	6,7	6,7	8,8
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-116,4	-116,4	-114,3
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	0,0		
Perdas de corpo [dB]	P	3,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	159,4	159,4	157,3
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	137,2	157,2	147,1

b) Ligação descendente

Tabela F.1 – Balanços de potência para o serviço de voz.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Ascendente	Interiores	Pedestre	Veícular
Comutação	Circuitos			
Ritmo binário [kbps]	64,0			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	21,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	0,0		
Perdas de corpo [dB]	C	0,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	21,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	3,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-171,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-105,2		
Margem de interferência [dB]	I	3,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10^(H+I)/10-10^(H/10))	-105,2		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10^(H/10)+10^(J/10))	-102,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	17,8		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	2,3	2,4	3,8
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-117,6	-117,5	-116,1
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	156,6	156,5	155,1
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	134,4	154,3	144,9

a) Ligação ascendente.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Descendente	Interiores	Pedestre	Veícular
Comutação	Circuitos			
Ritmo binário [kbps]	64,0			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	30,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	C	2,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	46,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	7,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-167,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-101,2		
Margem de interferência [dB]	I	7,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10 ^{^(H+I)} /10 ^{^(H/10)})	-95,1		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10 ^{^(H/10)} +10 ^{^(J/10)})	-94,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	17,8		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	1,9	1,9	3,7
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-110,0	-110,0	-108,2
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	0,0		
Perdas de corpo [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	156,0	156,0	154,2
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	133,8	153,8	144,0

b) Ligação descendente.

Tabela F.2 – Balanços de potência para o serviço a 64 kbps em comutação de circuitos.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Ascendente	Interiores	Pedestre	Veícular
Comutação	Pacotes			
Ritmo binário [kbps]	64,0			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	21,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	0,0		
Perdas de corpo [dB]	C	0,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	21,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	3,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-171,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-105,2		
Margem de interferência [dB]	I	3,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10^(H+I)/10-10^(H/10))	-105,2		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10^(H/10)+10^(J/10))	-102,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	17,8		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	1,4	1,4	3,6
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-118,5	-118,5	-116,3
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	157,5	157,5	155,3
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	135,3	155,3	145,1

a) Ligação ascendente.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Descendente	Interiores	Pedestre	Veícular
Comutação	Pacotes			
Ritmo binário [kbps]	64,0			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	30,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	C	2,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	46,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	7,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-167,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-101,2		
Margem de interferência [dB]	I	7,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10 ^{-(H+I)/10} -10 ^{-(H/10)})	-95,1		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10 ^{-(H/10)} +10 ^{-(J/10)})	-94,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	17,8		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	1,1	1,1	3,0
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-110,8	-110,8	-108,9
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	0,0		
Perdas de corpo [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	156,8	156,8	154,9
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	134,6	154,6	144,7

b) Ligação descendente.

Tabela F.3 – Balanços de potência para o serviço a 64 kbps em comutação de pacotes.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Ascendente	Interiores	Pedestre	Veícular
Comutação	Circuitos			
Ritmo binário [kbps]	144,0			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	21,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	0,0		
Perdas de corpo [dB]	C	0,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	21,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	3,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-171,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-105,2		
Margem de interferência [dB]	I	3,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10^(H+I)/10-10^(H/10))	-105,2		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10^(H/10)+10^(J/10))	-102,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	14,3		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	3,2	2,5	3,3
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-113,2	-113,9	-113,1
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	152,2	152,9	152,1
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	130,0	150,7	141,9

a) Ligação ascendente.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Descendente	Interiores	Pedestre	Veícular
Comutação	Circuitos			
Ritmo binário [kbps]	144,0			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	30,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	C	2,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	46,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	7,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-167,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-101,2		
Margem de interferência [dB]	I	3,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10 ^{-(H+I)/10} -10 ^{-(H/10)})	-101,2		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10 ^{-(H/10)} +10 ^{-(J/10)})	-98,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	14,3		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	3,5	2,1	3,0
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-108,9	-110,3	-109,4
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	0,0		
Perdas de corpo [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	154,9	156,3	155,4
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	134,7	156,1	147,2

b) Ligação descendente.

Tabela F.4 – Balanços de potência para o serviço a 144 kbps em comutação de circuitos.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Ascendente	Interiores	Pedestre	Veicular
Comutação	Pacotes			
Ritmo binário [kbps]	144,0			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	21,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	0,0		
Perdas de corpo [dB]	C	0,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	21,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	3,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-171,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-105,2		
Margem de interferência [dB]	I	3,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10^(H+I)/10-10^(H/10))	-105,2		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10^(H/10)+10^(J/10))	-102,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	14,3		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	1,5	1,9	2,9
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-114,9	-114,5	-113,5
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	153,9	153,5	152,5
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	129,7	149,3	140,3

a) Ligação ascendente.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Descendente	Interiores	Pedestre	Veícular
Comutação	Pacotes			
Ritmo binário [kbps]	144,0			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	30,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	C	2,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	46,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	7,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-167,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-101,2		
Margem de interferência [dB]	I	3,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10 ^{-(H+I)/10} -10 ^{-(H/10)})	-101,2		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10 ^{-(H/10)} +10 ^{-(J/10)})	-98,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	14,3		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	0,9	0,9	2,8
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-111,5	-111,5	-109,6
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	0,0		
Perdas de corpo [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	157,5	157,5	155,6
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	135,3	155,3	145,4

b) Ligação descendente.

Tabela F.5 – Balanços de potência para o serviço a 144 kbps em comutação de pacotes.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Ascendente	Interiores	Pedestre	Veícular
Comutação	Pacotes			
Ritmo binário [kbps]	384,0			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	21,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	0,0		
Perdas de corpo [dB]	C	0,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	21,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	3,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-171,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-105,2		
Margem de interferência [dB]	I	3,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10^(H+I)/10-10^(H/10))	-105,2		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10^(H/10)+10^(J/10))	-102,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	10,0		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	1,8	3,2	4,5
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-110,4	-109,0	-107,7
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	149,4	148,0	146,7
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	127,2	145,8	136,5

a) Ligação ascendente.

Serviço		Mobilidade		
Ligação	Descendente	Interiores	Pedestre	Veícular
Comutação	Pacotes			
Ritmo binário [kbps]	384,0			
Emissor				
Potência máxima de emissão [dBm]	A	30,0		
Ganho da antena do emissor [dBi]	B	18,0		
Atenuação devida aos cabos [dB]	C	2,0		
EIRP de emissão [dBm]	D=A+B-C	46,0		
Receptor				
Densidade de ruído térmico [dBm/Hz]	E	-174,0		
Factor de ruído do receptor [dB]	F	7,0		
Densidade de ruído térmico na recepção [dBm/Hz]	G=E+F	-167,0		
Potência de ruído na recepção [dBm]	H= G+LOG10(3840000)	-101,2		
Margem de interferência [dB]	I	3,0		
Potência de ruído devida à interferência [dBm]	J=10LOG10(10^(H+I)/10-10^(H/10))	-101,2		
Potência devida à interferência e ruído [dBm]	K=10LOG10(10^(H/10)+10^(J/10))	-98,2		
Ganho de processamento [dB]	L=10LOG10(3840/R _{b[kbps]})	10,0		
Relação Sinal-Ruído [dB]	M	0,4	0,1	2,7
Sensibilidade do receptor [dB]	N=M+K-L	-107,8	-108,1	-105,5
Ganho da antena de recepção [dBi]	O	0,0		
Perdas de corpo [dB]	P	0,0		
Margem de desvanecimento rápido [dB]	Q	0,0		
Atenuação máxima de percurso [dB]	R=D-N+O-P-Q	153,8	154,1	151,5
Probabilidade de cobertura [%]		95,0		
Constante de desvanecimento lento [dB]		6,0		
Expoente do modelo de propagação		3,8		
Margem de desvanecimento lento [dB]	S	4,2		
Ganho de <i>Soft Handover</i> [dB]	T	2,0		
Perdas adicionais [dB]	U	20,0	0,0	8,0
Atenuação máxima permitida numa célula [dB]	V=R-S+T-U	131,6	151,9	141,3

b) Ligação descendente.

Tabela F.6 – Balanços de potência para o serviço a 384 kbps em comutação de pacotes.

Estes balanços de potência são característicos de ambientes urbanos. Para ambientes suburbano e rural, considera-se que as únicas diferenças são ao nível das condições de propagação, razão pela qual é desnecessária a apresentação dos mesmos para estes dois ambientes. Concretamente, outras diferenças existentes serão relativas à margem de

desvanecimento lento precisamente porque o expoente do modelo de propagação se altera consoante o mesmo. Tendo em conta que em ambiente urbano o modelo de referência é o modelo de Walfisch-Ikegami, enquanto que em ambiente suburbano e rural utiliza-se o modelo de Okumura-Hata, os referidos expoentes do modelo de propagação são necessariamente diferentes, tal como as constantes de desvanecimento lento, as quais também são características do modelo de propagação utilizado. Desta forma, também as margens de desvanecimento lento consideradas para os diferentes ambientes apresentarão diferenças. Além disto, as distâncias relativas às atenuações obtidas dos balanços de potência serão também elas próprias características dos ambientes a que dizem respeito, por via das diferenças entre os modelos utilizados.

ANEXO G - APROXIMAÇÕES LINEARES COMO FORMA DE CÁLCULO DE RELAÇÕES SINAL-RUÍDO

As relações sinal-ruído mínimas para cada serviço foram extraídas de diversas fontes ([ARIB98], [ETSIsd] e [MFCV01]). Contudo, não foi encontrada informação relativa ao parâmetro supracitado no que concerne aos serviços que funcionam a um ritmo binário de 144 kbps em comutação de pacotes. Por esse motivo assume-se que existe uma relação de linearidade entre as relações sinal-ruído em função do ritmo binário, para o mesmo ambiente e cenário e desta forma estimar por interpolação as relações sinal-ruído necessárias. Na Tabela G.1 apresenta-se as relações sinal-ruído extraídas das várias fontes de informação.

Serviço	Tipo de utilizador	Eb/No [dB]			
		Ligação			
		Ascendente		Descendente	
		Comutação de pacotes	Comutação de circuitos	Comutação de pacotes	Comutação de circuitos
Voz 12,2 kbps	Interiores		4,8		6,7
	Pedestre		4,8		6,7
	Veicular		6,4		8,8
64 kbps	Interiores	1,4	2,3	1,1	1,9
	Pedestre	1,4	2,4	1,1	1,9
	Veicular	3,6	3,8	3,0	3,7
144 kbps	Interiores		3,2		3,5
	Pedestre		2,5		2,1
	Veicular	2,9	3,3	2,8	3,0
384 kbps	Interiores	1,8		0,4	
	Pedestre	3,2		0,1	
	Veicular	4,5		2,7	
2 048 kbps	Interiores	1,8		0,1	
	Pedestre	3,2		0,2	
	Veicular	4,5		2,7	

Tabela G.1 – Relações sinal-ruído desejadas para os vários serviços.

Assim, por forma a estimar as relações sinal-ruído em falta na Tabela G.1 estimam-se rectas que interpolam coordenadas através das coordenadas indicadas na Tabela G.2.

Serviço	Ambiente	Coordenadas iniciais	
		Ligação ascendente	Ligação descendente
144 kbps	Interiores	(64 ; 1,4) e (384 ; 1,8)	(64 ; 1,1) e (384 ; 0,4)
	Pedestre	(64 ; 1,4) e (384 ; 3,2)	(64 ; 1,1) e (384 ; 0,1)

Tabela G.2 – Valores usados para obter a relação sinal-ruído via interpolação linear.

As coordenadas representadas na Tabela G.2 bem como as interpolações lineares resultantes do uso das mesmas estão ilustradas na Figura G.1.

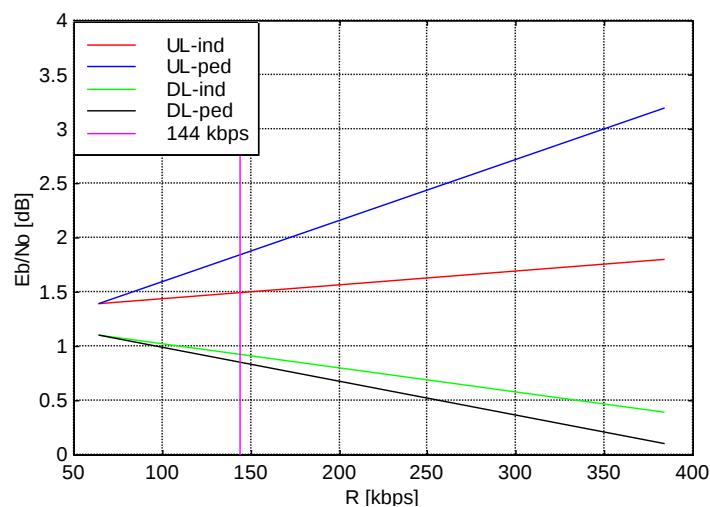


Figura G.1 – Interpolações lineares como forma de obtenção de relações sinal-ruído.

Através de uma análise mais minuciosa feita à Figura G.1 conclui-se que os valores da relação sinal-ruído desejados para o serviço de 144 kbps em PS são os que se apresentam na Tabela G.3 e resultam da intersecção da recta a rosa com as restantes rectas.

Serviço	Ambiente	Eb/No [dB]	
		Ligação ascendente	Ligação descendente
144 kbps	Interiores	1,5	0,9
	Pedestre	1,9	0,9

Tabela G.3 – Relações sinal-ruído para 144 kbps em PS e ambientes *indoor* e pedestre.

Com os dados da Tabela G.3 as Tabelas G.1 e 3.1 ficam então completas. Esta aproximação linear, não sendo seguramente a mais rigorosa, pode no entanto constituir uma aproximação razoável tendo em conta os objectivos do trabalho.

ANEXO H - OBTENÇÃO DA EXPRESSÃO DO FACTOR DE CARGA EM LIGAÇÃO ASCENDENTE

Em sistemas WCDMA, na ligação ascendente, tem-se para a relação sinal-ruído a seguinte expressão:

$$\left(\frac{Eb}{N_o} \right)_j = \frac{W}{\nu_j \cdot R_{bj}} \cdot \frac{P_j}{I_{total} - P_j} \quad (H.1)$$

onde ν_j é o factor de actividade do canal, tipicamente 0,5 para voz e 1 para dados, I_{total} representa a potência de banda larga total recebida, P_j é a potência do sinal desejado e R_{bj} o débito binário entregue ao utilizador j .

Manipulando algebricamente a expressão (H.1), consegue-se chegar a (H.2) onde P_j é vista como uma fracção de I_{total} ,

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{\left(\frac{Eb}{N_o} \right)_j \cdot R_{bj} \cdot \nu_j}{W}} I_{total} \quad (H.2).$$

Através de (H.2) define-se o factor de carga de uma ligação ascendente, L_j , como sendo

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{\left(\frac{Eb}{N_o} \right)_j \cdot R_{bj} \cdot \nu_j}{W}} \quad (H.3).$$

Assim sendo, pode-se exprimir a interferência total recebida, excluindo o ruído térmico, como sendo a soma das potências recebidas devidas a todos os utilizadores na célula, equação (H.4):

$$I_{total} - P_n = \sum_{j=1}^N P_j = \sum_{j=1}^N L_j \cdot I_{total} \quad (H.4)$$

onde P_n é a potência devida ao ruído térmico.

O aumento de ruído é a razão entre I_{total} e P_n . Desta forma, tendo em conta (H.4) pode-se escrever o aumento de ruído como se segue:

$$\text{aumento de ruído} = \frac{I_{total}}{P_n} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^N L_j} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (H.5)$$

onde η_{ul} é o factor de carga na ligação ascendente, definido como sendo o somatório dos factores de carga de cada ligação, num total de N utilizadores.

Dado que em UMTS a reutilização de frequências é universal, a carga das células vizinhas também provoca interferência na própria célula, interferência que é expressa por introdução do parâmetro i , o qual traduz a razão entre a interferência provocada pelas outras células e a interferência provocada interinamente à célula considerada.

Pode-se então reescrever o factor de carga em ascendente como sendo (H.6)

$$\eta_{UL} = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N L_j = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(E_b/N_o\right)_j \cdot R_{bj} \cdot \nu_j}} \quad (\text{H.6}).$$

A margem de interferência em unidades lineares corresponde precisamente ao aumento de ruído. Desta forma, e atendendo à expressão (H.5), fica claro que quanto maior for o factor de carga permitido, maior será a margem de interferência a considerar no planeamento. Por observação de (H.6), verifica-se naturalmente que o aumento do número de utilizadores N traduz-se num aumento do factor de carga. De igual modo, constata-se também que os serviços de maior exigência em termos de ritmo binário são os que provocam uma maior sobrecarga do sistema. Fica portanto à vista a interdependência entre a cobertura e a capacidade de uma célula.

Tipicamente, pode afirmar-se que a expressão

$$\frac{W}{\left(E_b/N_o\right)_j \cdot R_{bj} \cdot \nu_j} \quad (\text{H.7})$$

apresenta um valor muito superior à unidade pelo que será razoável desprezar o valor unitário face a (H.7). Portanto a expressão (H.6) pode ser aproximada por

$$\eta_{ul} = \sum_{j=1}^N \frac{\left(E_b/N_o\right)_j \cdot R_{bj} \cdot \nu_j \cdot (1+i)}{W} \quad (\text{H.8})$$

ANEXO I - CARACTERÍSTICAS DAS BIBLIOTECAS UTILIZADAS PELO SIMULADOR SLEP

Neste Anexo é feita uma breve descrição das bibliotecas utilizadas no simulador SLEP, as quais são necessárias para que se possa testar um sistema mediante diferentes condições de simulação. Descrevem-se ainda os vários ficheiros relativos a outros parâmetros a utilizar nas simulações não incluídos nas bibliotecas.

I.1 BIBLIOTECA DE ANTENAS

Todas as antenas a utilizar pelo programa devem estar caracterizadas nesta biblioteca. Cada antena é definida pelo ganho, elevação horizontal e pela sua eficiência. Além das antenas já definidas há ainda a possibilidade de o utilizador criar as suas próprias antenas através da especificação numérica das suas características ou através do desenho do diagrama de radiação pretendido, conforme o demonstra a Figura I.1.

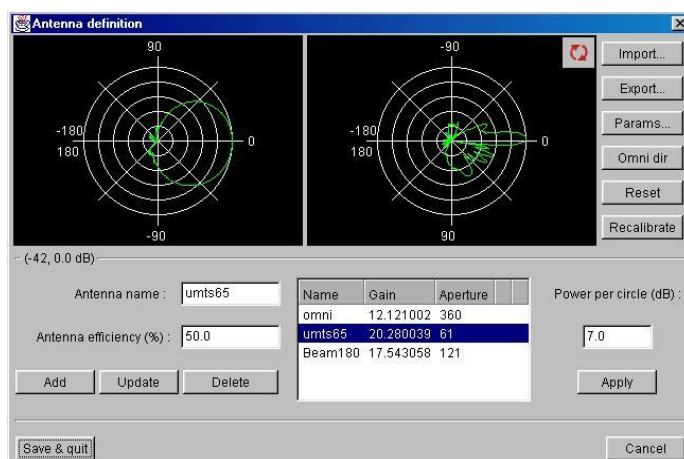


Figura I.1 – Exemplo de escolha de uma antena com base no diagrama de radiação pretendido.

Da mesma forma é possível criar soluções para agregados, conforme o demonstra a Figura I.2.

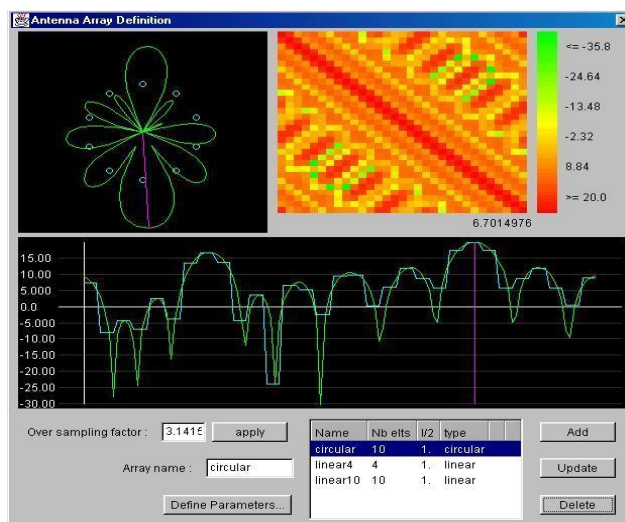


Figura I.2 – Escolha de um agregado.

As Tabelas I.1 e I.2 exibem os diferentes tipos de antenas e agregados considerados nas simulações.

Designação da antena	Eficiência da antena [%]	Abertura horizontal [°]	Abertura vertical [°]	NLS – nível de lobos secundários [dB]
Umts65	50	65	8	10
Umts90	50	90	8	10
Umts120	50	120	8	10
Umts180	50	180	8	10
Umts360	50	360	8	10

Tabela I.1 – Modelos de antenas.

Designação do agregado	Geometria	Número de elementos	Espaçamento entre elementos
Linear2	Linear	2	$0,45 \lambda$
Linear4	Linear	4	$0,45 \lambda$
Linear8	Linear	8	$0,45 \lambda$
Linear12	Linear	12	$0,45 \lambda$
Circul4	Circular	4	$0,45 \lambda$
Circul8	Circular	8	$0,45 \lambda$
Circu12	Circular	12	$0,45 \lambda$
Circu16	Circular	16	$0,45 \lambda$

Tabela I.2 – Modelos de agregados de antenas.

I.2 BIBLIOTECA DE MODELOS DE MOBILIDADE

Existem modelos de mobilidade interior, veicular e pedestre, mas aquando da realização deste trabalho apenas o modelo veicular era suportado pelo SLEP. As simulações dinâmicas do SLEP devem ser capazes de integrar vários utilizadores cada um com o seu perfil de mobilidade. Os parâmetros que se definem são a velocidade do utilizador, a probabilidade deste em mudar de direcção e a janela angular da mudança de direcção em relação à direcção do seu movimento, de acordo com a Figura I.3.

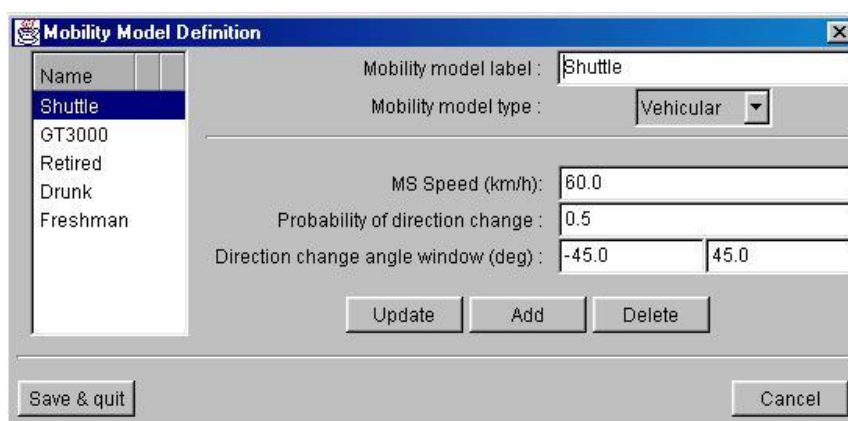


Figura I.3 – Exemplo de perfil de mobilidade.

A Tabela I.3 exibe os diferentes tipos de modelos de mobilidade disponíveis no programa.

Designação do modelo	Velocidade [km/h]	Probabilidade de mudança de direcção	Intervalo angular para mudança de direcção [°]
FastDriv	120	0,2	±10
MdFstDrv	90	0,2	±90
MdSlwDrv	50	0,2	±90
SlowDriv	30	0,3	±90
Walk	5	0,1	±45
Stand	0,2	0,4	±180

Tabela I.3 – Modelos de mobilidade.

I.3 BIBLIOTECA DE SERVIÇOS

O SLEP é capaz de ter em conta a integração de vários serviços durante a simulação. O tráfego gerado na simulação vai alterar-se conforme os serviços que estiverem a ser utilizados em determinada altura. Pode definir-se através do SLEP vários modelos de serviço com características distintas, conforme esses serviços funcionem em comutação de circuitos ou de pacotes. Associados a cada serviços, podem-se atribuir valores a parâmetros tão distintos como o ritmo binário, quer na ligação ascendente quer na descendente, a duração dos pacotes e das chamadas propriamente ditas ou a utilização efectiva da linha, procedimento que é conseguido através da janela ilustrada na Figura I.4.

Figura I.4 – Definição das características dos serviços.

A Tabela I.4 exibe os dados que caracterizam os serviços disponíveis para o simulador.

Serviços de pacotes	Unidade	HighMM	MedMM	Messagin
Factor de actividade	%	100	100	100
Duração media das chamadas	Min	0,883	0,233	0,5
Débito em UL	Kbps	10	10	14,4
Débito em DL	Kbps	2 000	384	14,4
Relação DTX em UL	DB	4	4	5,5
Relação DTX em DL	DB	23	20	5,5
Critério para QoS		10^{-1} FER	10^{-1} FER	10^{-1} FER
Eb/Io (UL – interiores)	DB	1,8	1,8	1,7
Eb/Io (DL – interiores)	DB	0,1	0,4	2,1
Eb/Io (UL – pedestre)	DB	3,2	3,2	3,0
Eb/Io (DL – pedestre)	DB	0,2	0,1	2,6
Eb/Io (UL – veicular)	DB	4,5	4,5	4,3
Eb/Io (DL – veicular)	DB	2,7	2,7	4,1

a) Serviços de pacotes.

Serviços de circuitos	Unidade	HiIntMM	SwthData
Duração média das chamadas	min	2,4	2,6
Débito binário	kbps	144	14,4
Critério QoS		10^{-6} BER	10^{-6} BER
Eb/Io (UL – interiores)	dB	3,2	4,2
Eb/Io (DL – interiores)	dB	3,5	5,9
Eb/Io (UL – pedestre)	dB	2,5	4,1
Eb/Io (DL – pedestre)	dB	2,1	5,1
Eb/Io (UL – veicular)	dB	3,3	5,9
Eb/Io (DL – veicular)	dB	3,0	6,0

b) Serviços de circuitos.

Serviço de voz	Unidade	Voz
Factor de actividade	%	50
Duração media duma chamada	Min	2
Duração média das ‘falas’	S	3
Débito binário	Kbps	12,2
Relação DTX em DL	DB	4,6
Relação DTX em UL	DB	6
Critério QoS		10^{-3} BER
Eb/Io (UL – interiores)	DB	4,8
Eb/Io (DL – interiores)	DB	6,7
Eb/Io (UL – pedestre)	DB	4,8
Eb/Io (DL – pedestre)	DB	6,7
Eb/Io (UL – veicular)	DB	6,4
Eb/Io (DL – veicular)	DB	8,8

c) Serviço de voz.

Tabela I.4 – Serviços considerados nas simulações.

I.4 BIBLIOTECA DE MODELOS DE CANAL

O SLEP tem também em conta nas suas simulações o efeito de propagação em diferentes canais normalizados. Cada modelo de canal é representado por uma lista de vários raios incidentes no móvel, cada um tendo uma amplitude normalizada e um ângulo de incidência relativamente ao primeiro raio a chegar. Uma vez estabelecido o perfil de cada canal, o SLEP automaticamente calcula o factor de ortogonalidade α associado à propagação no canal. A Figura I.5 permite visualizar a forma como é caracterizado o canal rádio.

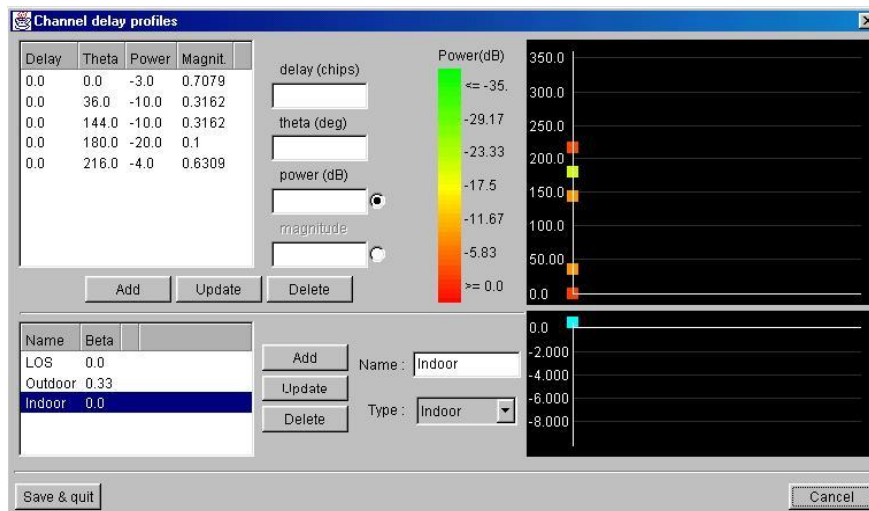
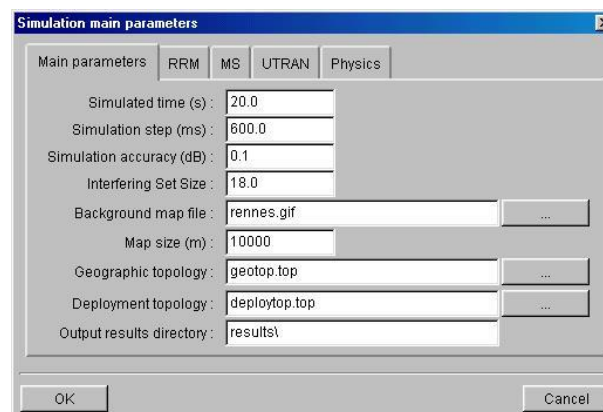


Figura I.5– Caracterização do canal rádio.

I.5 FICHEIRO DE SIMULAÇÃO

Neste ficheiro pode definir-se parâmetros como o tempo de duração da simulação desejado, valor que deve ter em conta o tempo a partir do qual se considera que não vai haver alterações de maior ao nível da rede, o passo de simulação que define o número de simulações, uma entrada que indica o nome do ficheiro que tem informação sobre a topologia geográfica e o tamanho da área a considerar para as simulações. Existem também neste ficheiro dados relativos aos parâmetros RRM como o ganho de *soft handover* e também dados relativos às MS, como por exemplo a potência máxima destes, o seu factor de ruído ou o ganho e a altura em relação ao solo das antenas. A Figura I.6 ilustra as janelas que permitem configurar o ficheiro de simulação.



a) Parâmetros principais.

Simulation main parameters

Main parameters RRM MS UTRAN Physics

Soft handover window (dB) : 3.0

Hysteresis window (dB) : 3.0

Active Set Max Size : 4

IFHO rate (s) : 10.0

Fast DCA rate (s) : 10.0

Dropping timer (s) : 4.0

Blocking threshold : blocking.blo ...

Default DL service max pwr (dBm) : -99.0

OK Cancel

b) Parâmetros para RRM (*Radio Resource Management*).

Simulation main parameters

Main parameters RRM MS UTRAN Physics

MS Max Power (dBm) : 21.0

MS Power Dynamic Range (dB) : 80.0

MS noise figure (dB) : 5.0

Body Loss (dB) : 0.0

MS Antenna Gain (dBi) : 0.0

MS antenna height (m) : 2.0

ACP1 MS (dB) : 35.0

ACP2 MS (dB) : 35.0

Alpha Joint Detection : 1.0 (FDD) 0.4 (TDD)

OK Cancel

c) Parâmetros dos terminais móveis.

Simulation main parameters

Main parameters RRM MS UTRAN Physics

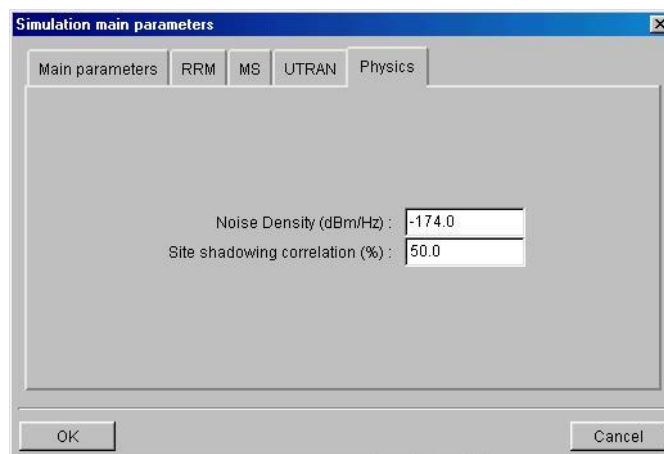
ACP1 BTS (dB) : 30.0

ACP2 BTS (dB) : 30.0

Good QOS Factor : 0.95

OK Cancel

d) Parâmetros do UTRA.

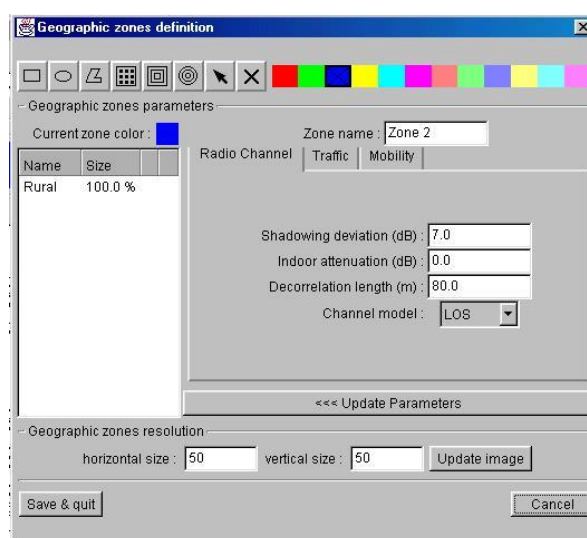


e) Parâmetros físicos.

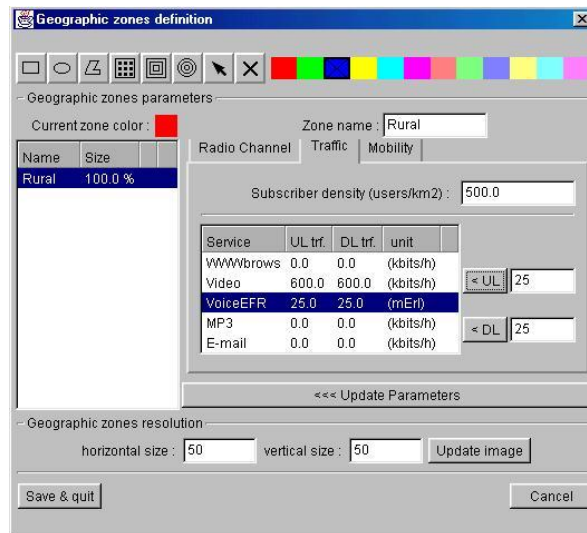
Figura I.6 – Configuração do ficheiro de simulação.

I.6 FICHEIRO REFERENTE À TOPOLOGIA GEOGRÁFICA

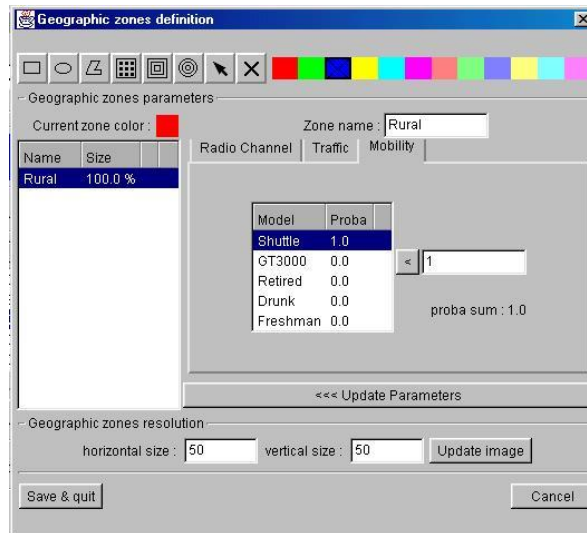
Outro ficheiro que é necessário configurar concerne à área geográfica da simulação. Este ficheiro permite definir parâmetros de tráfego, rádio e mobilidade, de acordo com os modelos definidos nas bibliotecas. Nos parâmetros rádio encontra-se a atenuação devida a perdas em interiores ou em veículos e também o modelo de canal a utilizar, consoante a área considerada. Quanto ao tráfego, existe informação sobre a densidade de subscritores por km² ou o tráfego médio por serviço e por utilizador, expresso em mErl/utiliz para o serviço de voz e em kb/h/utiliz para os restantes serviços. Para os parâmetros de mobilidade, de acordo com as bibliotecas, atribui-se a cada área específica a distribuição de modelos de mobilidade da biblioteca, por exemplo, num centro urbano há maior probabilidade de haver tráfego pedestre e veicular de baixa velocidade ao passo que numa auto-estrada é expectável que o tráfego seja oriundo de utilizadores veiculares de alta velocidade. A Figura I.7 ilustra a janela que permite ao utilizador configurar a topologia geográfica desejada.



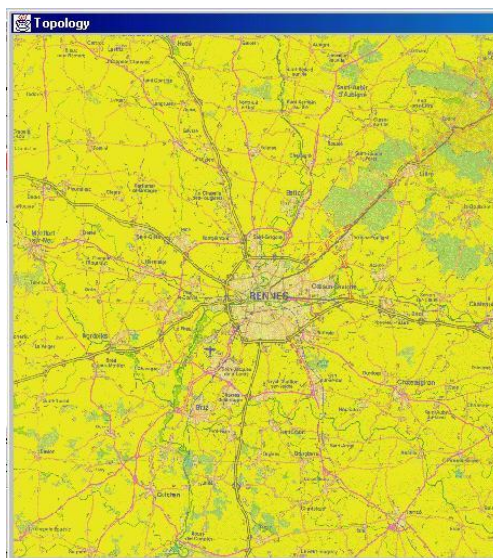
a) Caracterização do canal.



b) Perfil de tráfego desejado.



c) Perfil de mobilidade desejado.



d) Imagem digital da região a cobrir.

Figura I.7– Configuração de uma tipologia geográfica.

Através da digitalização da região a cobrir é possível ao utilizador dividir essa área de acordo com as características de tráfego, mobilidade ou propagação, possibilitando efectuar um planeamento que se adapte às variações das características do terreno.

I.7 FICHEIRO REFERENTE À CONFIGURAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES BASE.

Para configuração e localização das BS pode escolher-se o modo duplex da operação (TDD ou FDD), a frequência das portadoras a utilizar, tanto para a ligação ascendente como para a descendente ou o número de *slots* por trama. Relativamente aos parâmetros das BS pode definir-se diversas características como a altura e o tipo de antena bem como a sua inclinação, a potência máxima de transmissão, o factor de ruído, perdas devidas aos cabos e a se se pretende utilizar agregados, Figura I.8. A distribuição das antenas é feita consoante a geografia do terreno e a densidade de subscritores de cada região da área considerada. A Figura I.9 ilustra a implementação das estações base por uma região a cobrir.

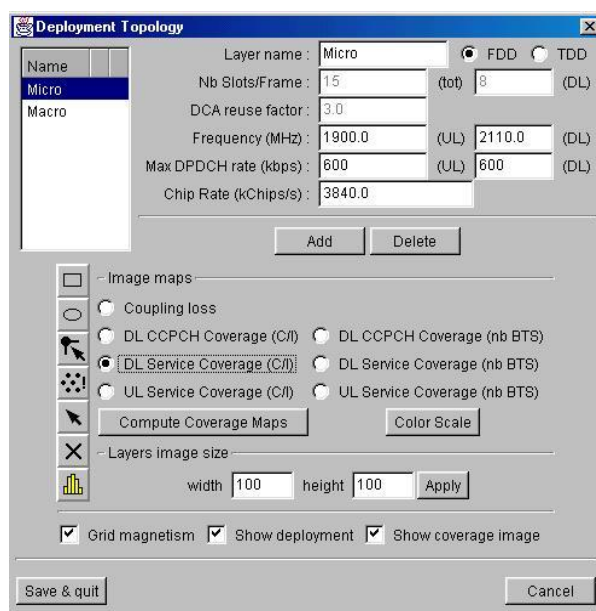


Figura I.8 – Parâmetros das estações base.

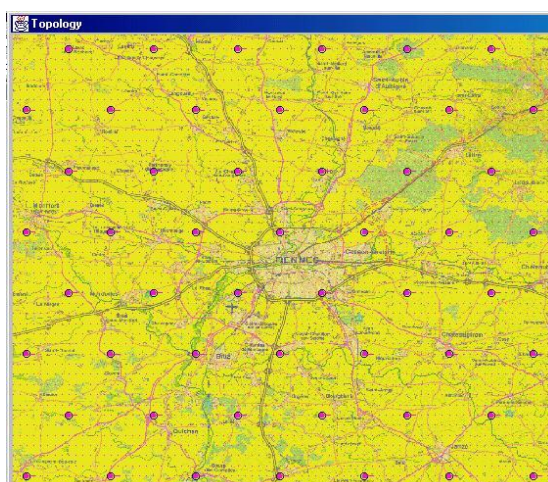


Figura I.9 – Implementação das estações base.

Antes de se efectuar uma simulação, é necessário aferir a cobertura providenciada pelas estações base. Se esta for satisfatória e os níveis de interferência não forem demasiado elevados, pode avançar-se para a simulação propriamente dita; caso contrário há que escolher uma nova configuração para as BS alterando parâmetros como por exemplo a potência de emissão máxima ou o raio das células. Idealmente, qualquer utilizador deverá estar coberto, no mínimo, por uma BS mas por forma a permitir o *soft-handover*, uma boa parte destes deverá estar coberta por duas ou mais BS. A Figura I.10 permite visualizar o resultado em termos de cobertura de um planeamento escolhido.

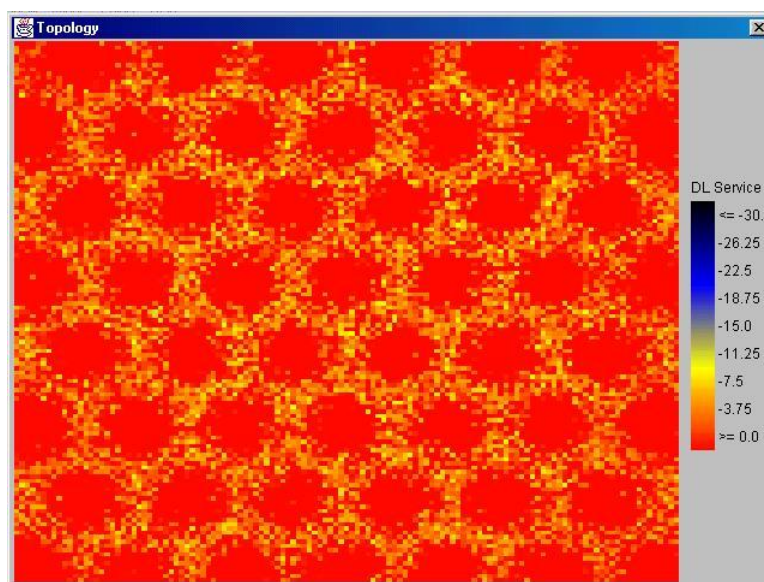


Figura I.10 – Mapas de cobertura.

I.8 SIMULAÇÃO

Durante a simulação pode visualizar em várias janelas a evolução do sistema. Assim existe informação relativa ao tráfego instantâneo, em Erlang ou kb/h, para ambas as ligações ou valores referentes ao *Satisfaction Rate*. É também possível activar janelas de visualização de parâmetros relativos às BS e MS, onde se pode encontrar informação relativa às relações sinal-ruído ou às potências instantâneas radiadas, de acordo com a Figura I.11.

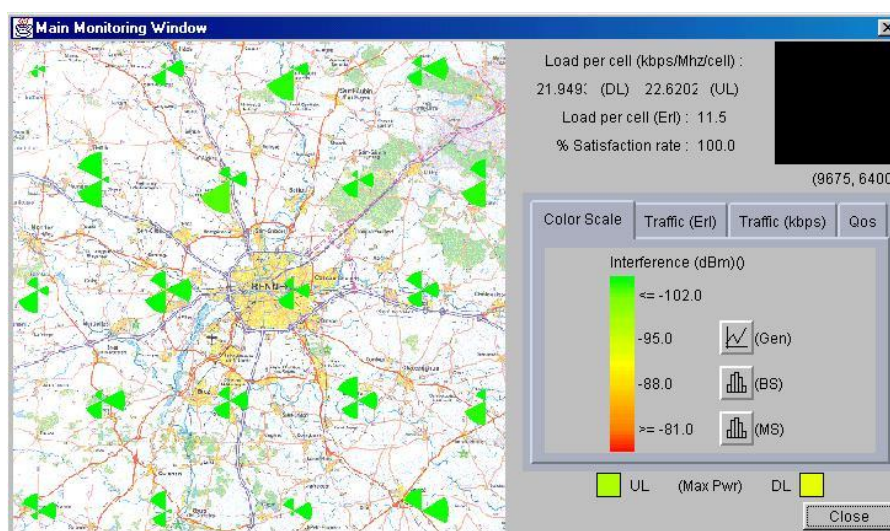


Figura I.11– Exemplo de uma simulação em progresso.

ANEXO J - DIMENSÕES E CARGAS DAS CÉLULAS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DAS PREVISÕES DE TRÁFEGO DO UMTS FORUM CONSIDERANDO LIGAÇÕES MONO-SERVIÇO

Neste Anexo apresenta-se as figuras obtidas através do método analítico descrito na Secção 3.2 que permitem concluir sobre quais as dimensões das células que garantem um equilíbrio entre as ligações ascendente e descendente e qual a carga sobre a célula em cada um destes dois sentidos da ligação bidireccional. Nesta primeira abordagem não existem preocupações com a potência necessária às estações de base pois o objectivo é aferir a influência do cenário de propagação, densidade populacional e volume de tráfego característico de cada serviço sobre as dimensões e cargas das células. As densidades de potenciais utilizadores e dados de tráfego utilizados estão indicados nas Tabelas D.5 e D.6 e os balanços de potência de referência aos ambientes e cenários considerados estão contidos no Anexo F.

Para utilizadores exclusivamente do serviço de voz obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras J.1 a J.3.

Para utilizadores exclusivamente do serviço de 64 kbps em CS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras J.4 a J.6.

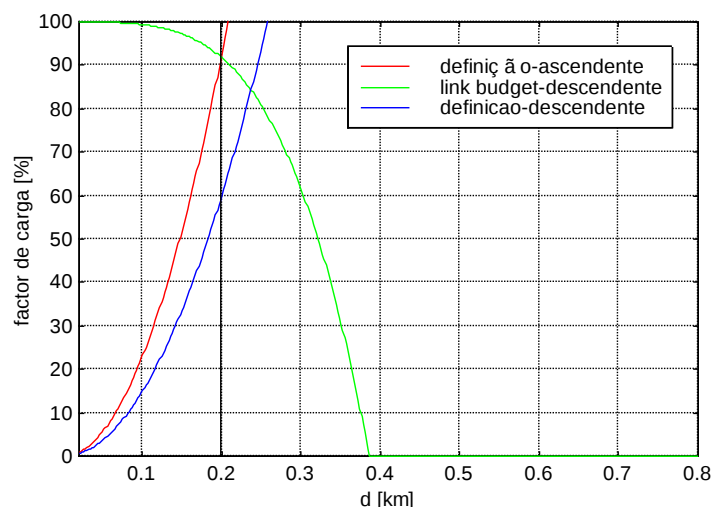
Para utilizadores exclusivamente do serviço de 64 kbps em PS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras J.7 a J.9.

Para utilizadores exclusivamente do serviço de 144 kbps em CS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras J.10 a J.12.

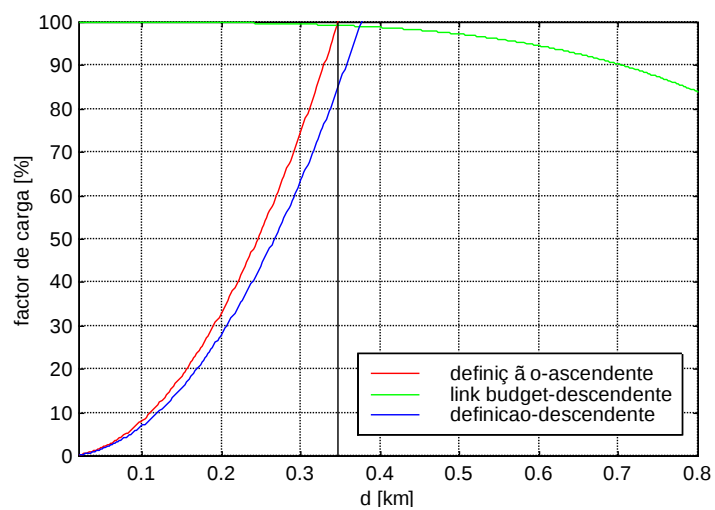
Para utilizadores exclusivamente do serviço de 144 kbps em PS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras J.13 a J.15.

Para utilizadores exclusivamente do serviço de 384 kbps em PS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras J.16 a J.18.

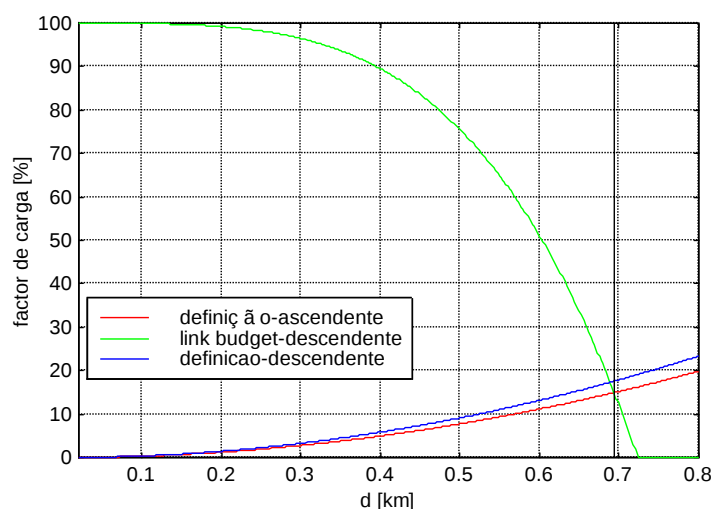
Para utilizadores exclusivamente do serviço de 2 Mbps em PS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras J.19 a J.21.



a) – Cenário interior.

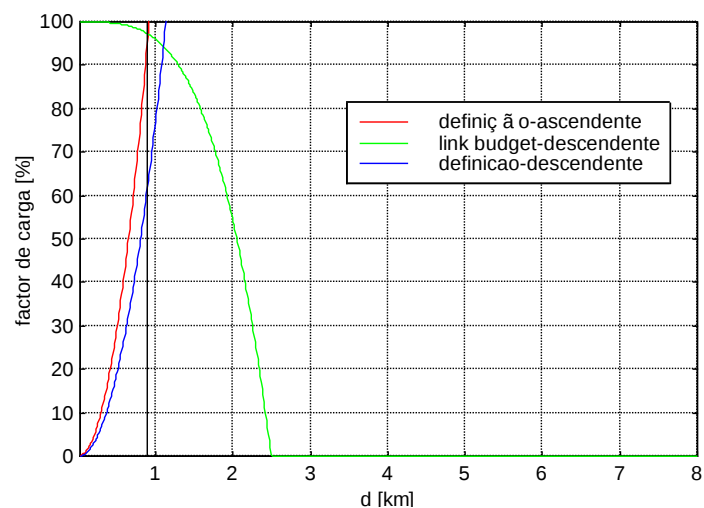


b) – Cenário pedestre.

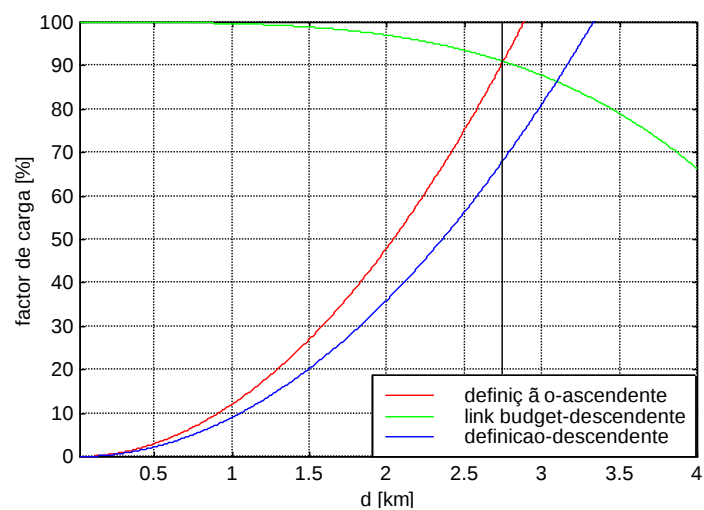


c) – Cenário veicular.

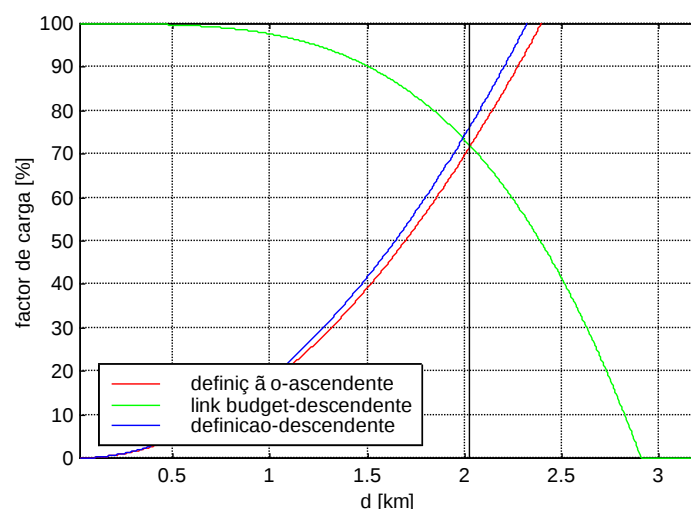
Figura J.1 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (voz).



a) – Cenário interior.

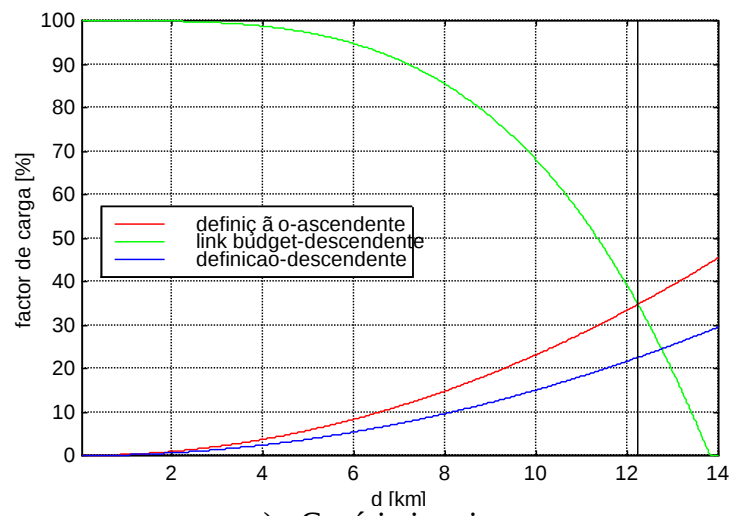


b) – Cenário pedestre.

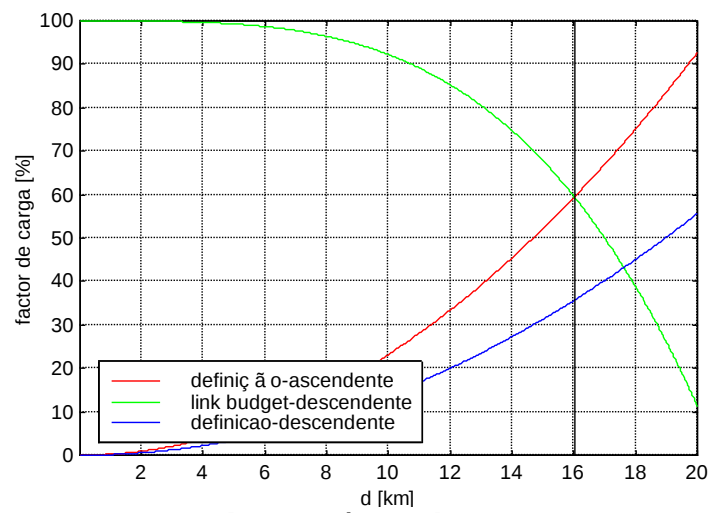


c) – Cenário veicular.

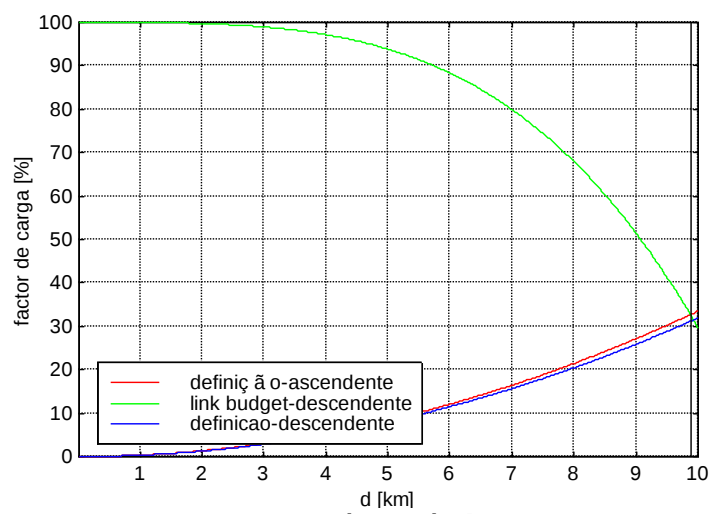
Figura J.2 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (Voz).



a) - Cenário interior.

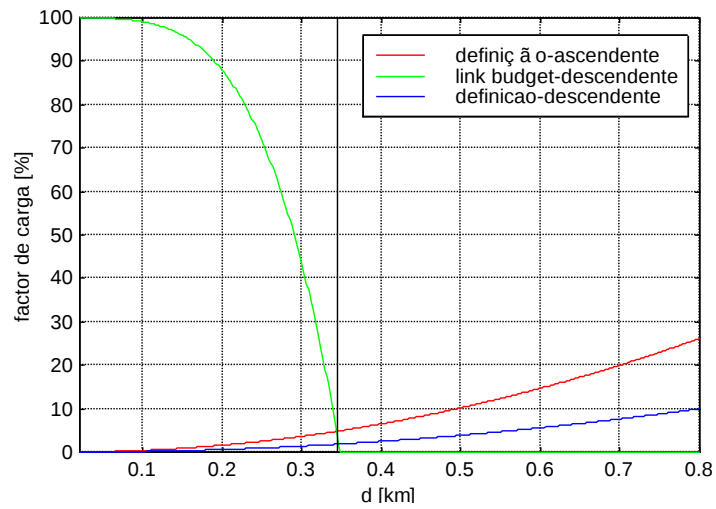


b) – Cenário pedestre.

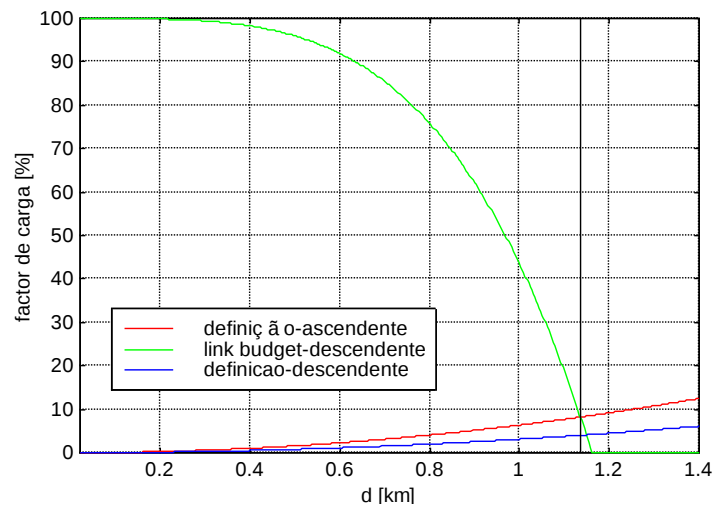


c) – Cenário veicular.

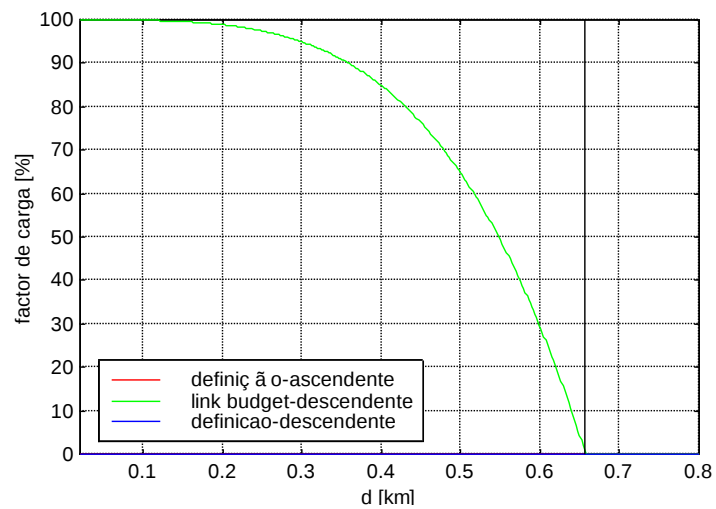
Figura J.3 – Raio e factores de carga em ambiente rural (Voz).



a) – Cenário interior.

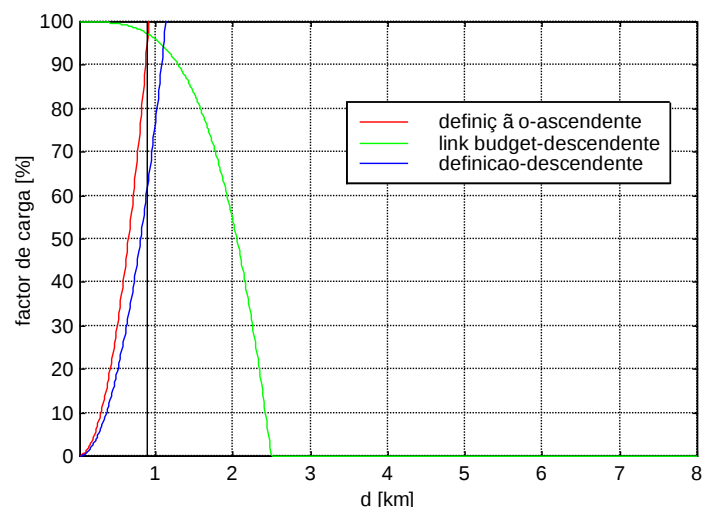


b) – Cenário pedestre.

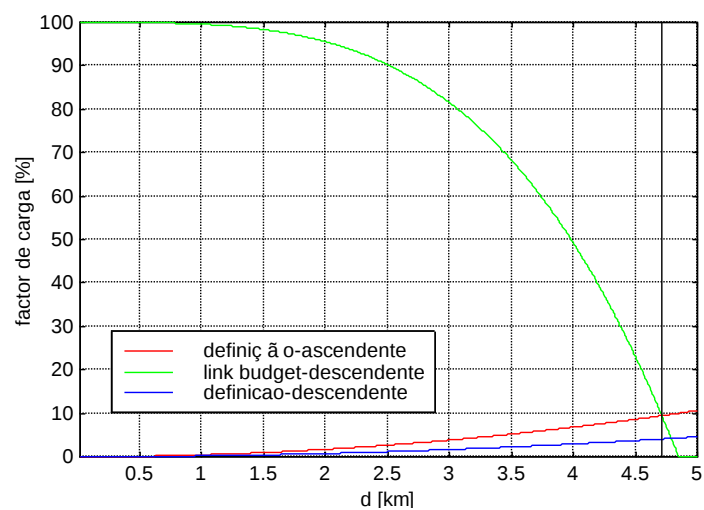


c) – Cenário veicular.

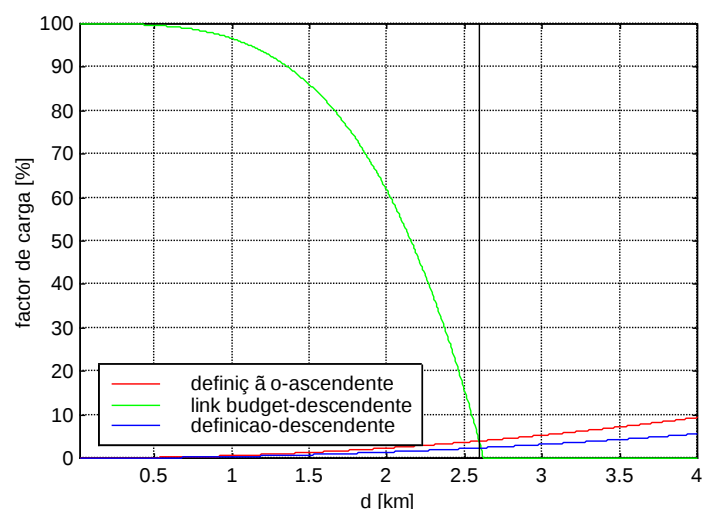
Figura J.4 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (64 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

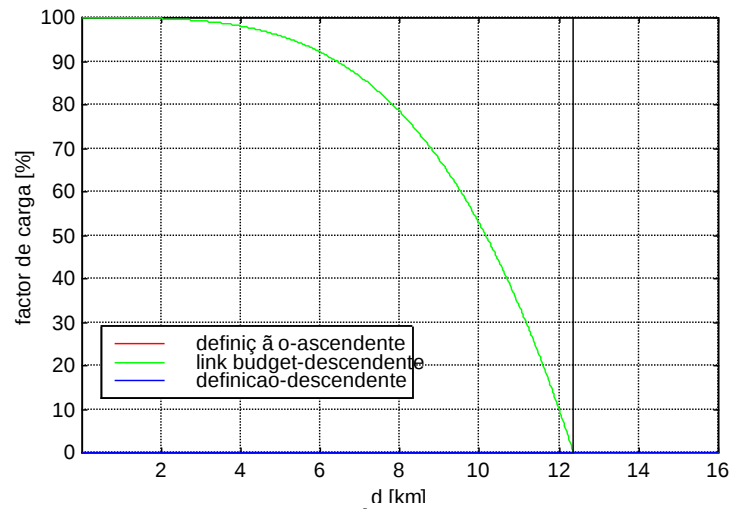


b) – Cenário pedestre.

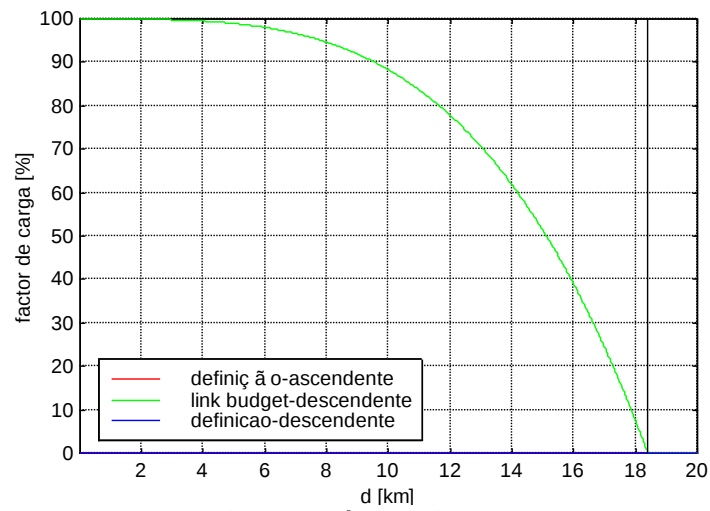


c) – Cenário veicular.

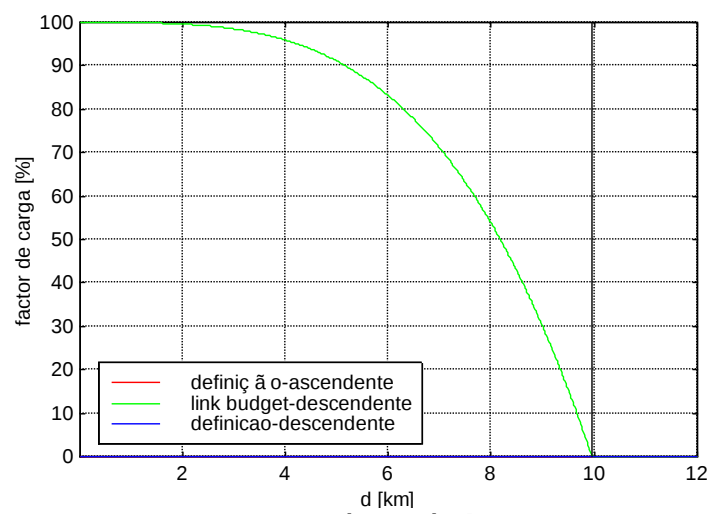
Figura J.5 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (64 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

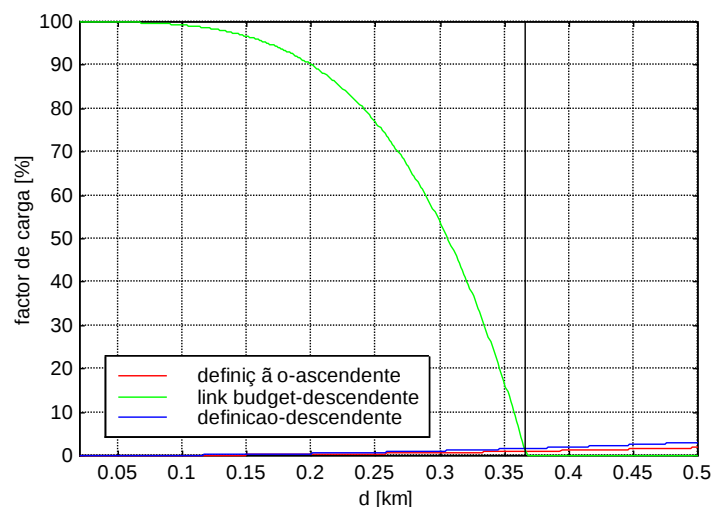


b) – Cenário pedestre.

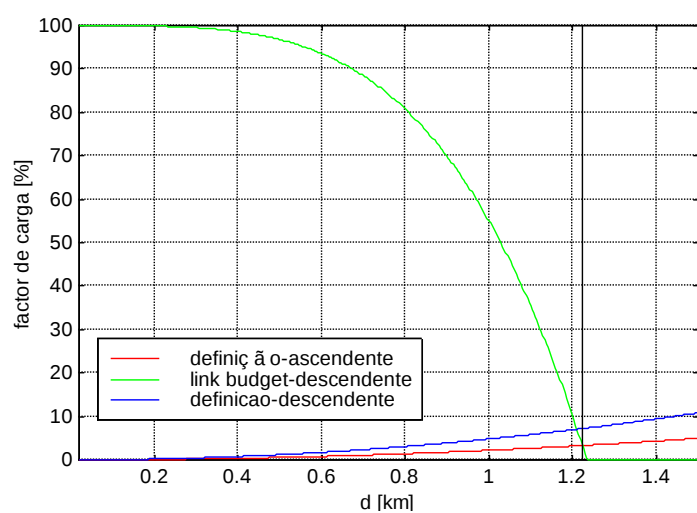


c) – Cenário veicular.

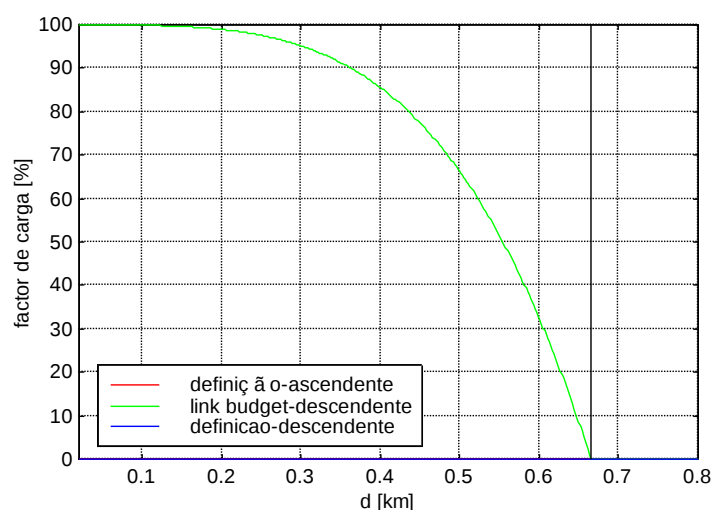
Figura J.6 – Raio e factores de carga em ambiente rural (64 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

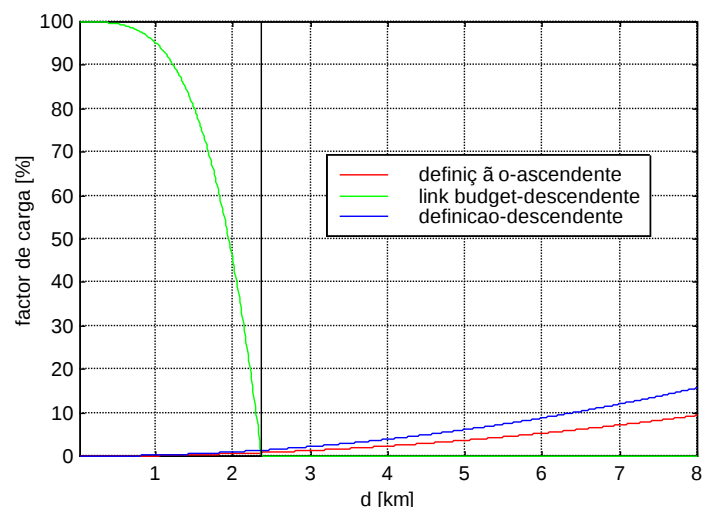


b) – Cenário pedestre.

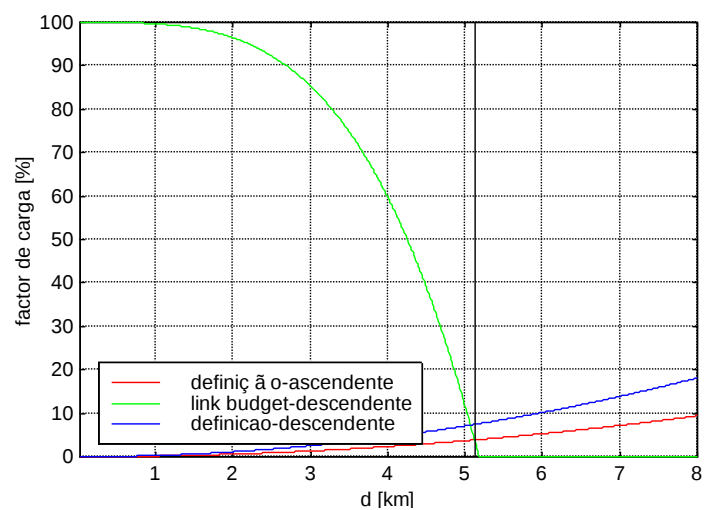


c) – Cenário veicular.

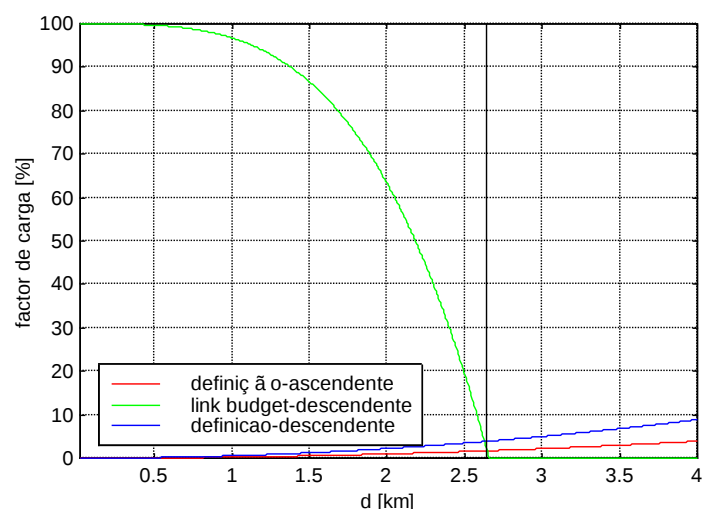
Figura J.7 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (64 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

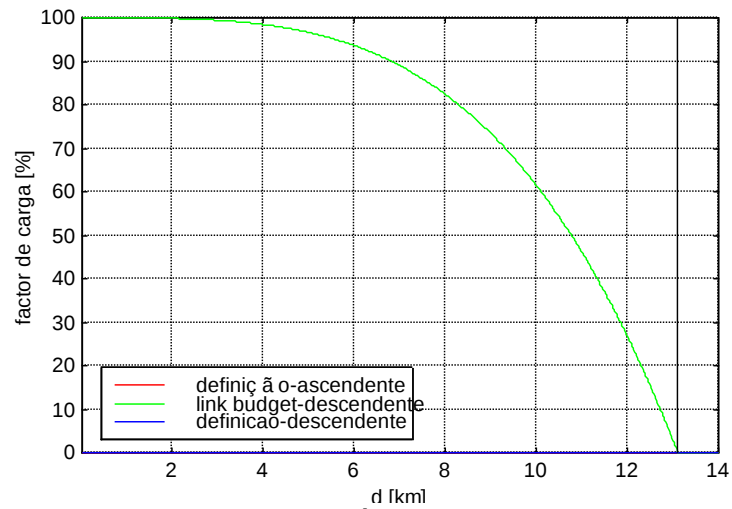


b) – Cenário pedestre.

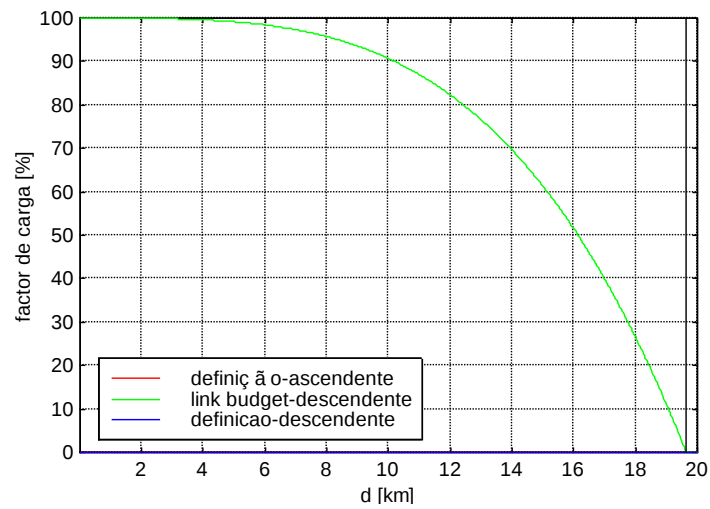


c) – Cenário veicular.

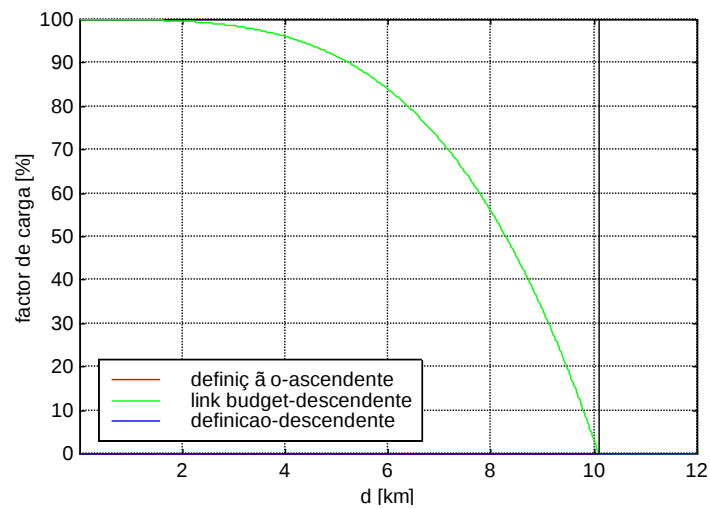
Figura J.8 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (64 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

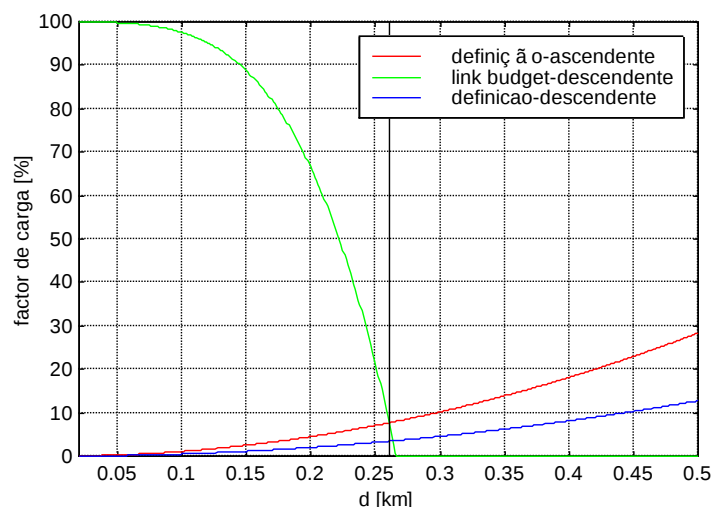


b) – Cenário pedestre.

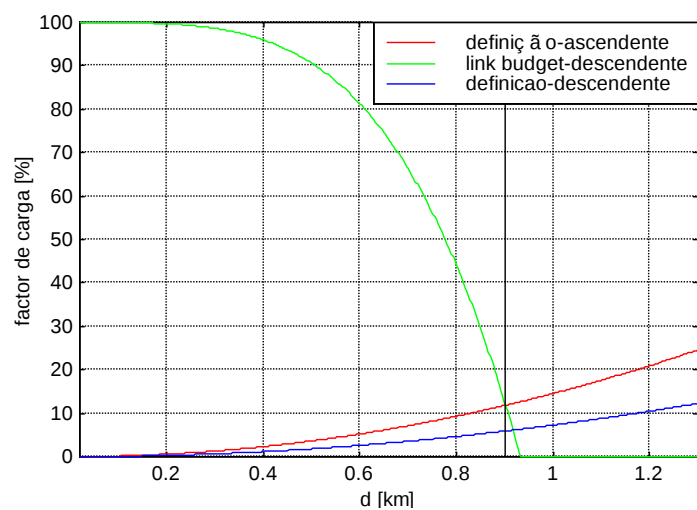


c) – Cenário veicular.

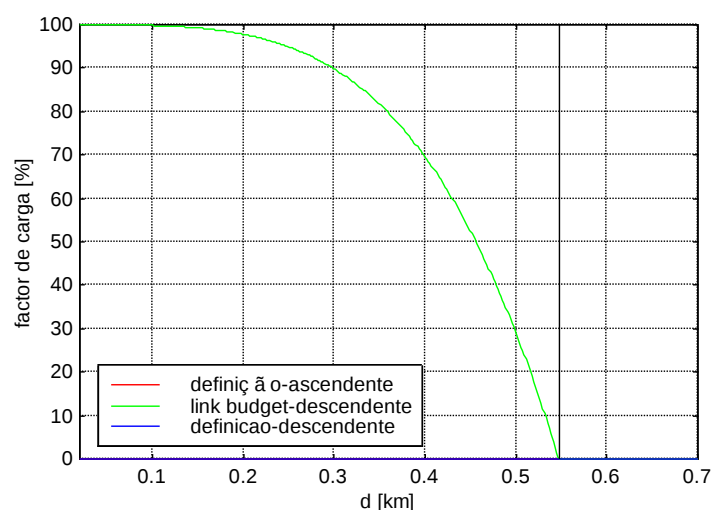
Figura J.9 – Raio e factores de carga em ambiente rural (64 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

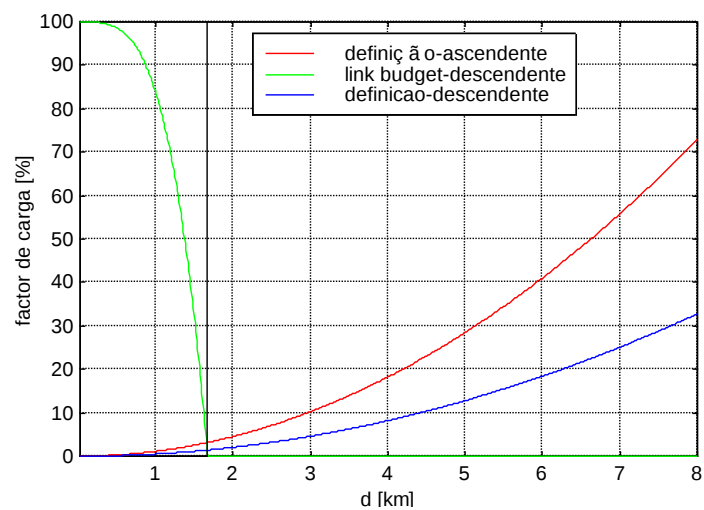


b) – Cenário pedestre.

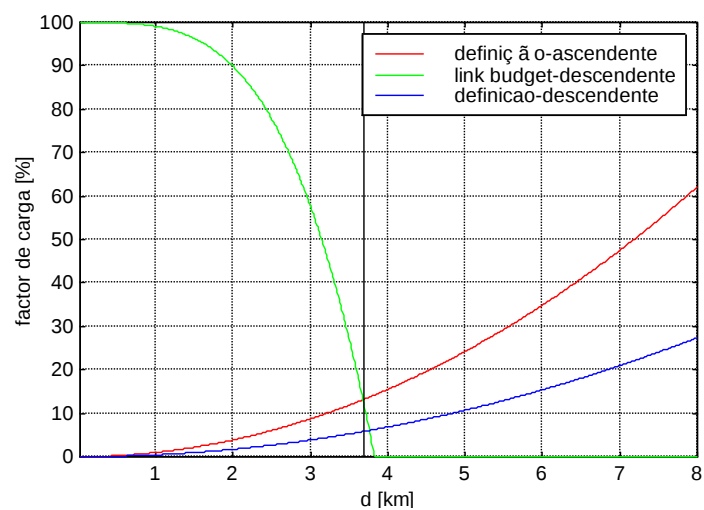


c) – Cenário veicular.

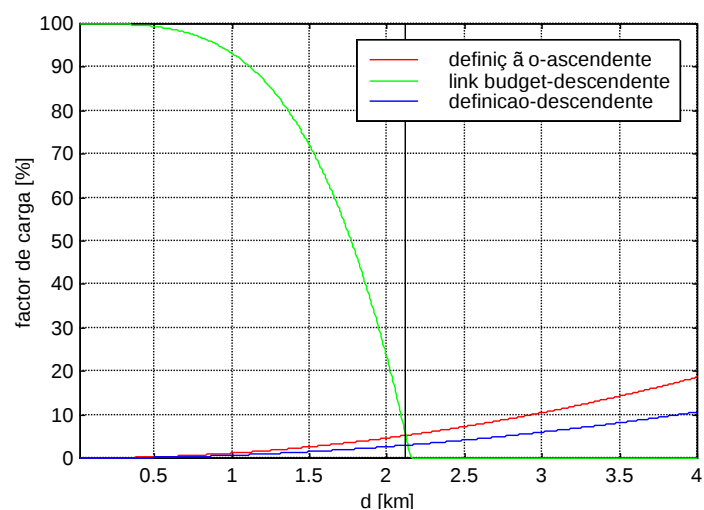
Figura J.10 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (144 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

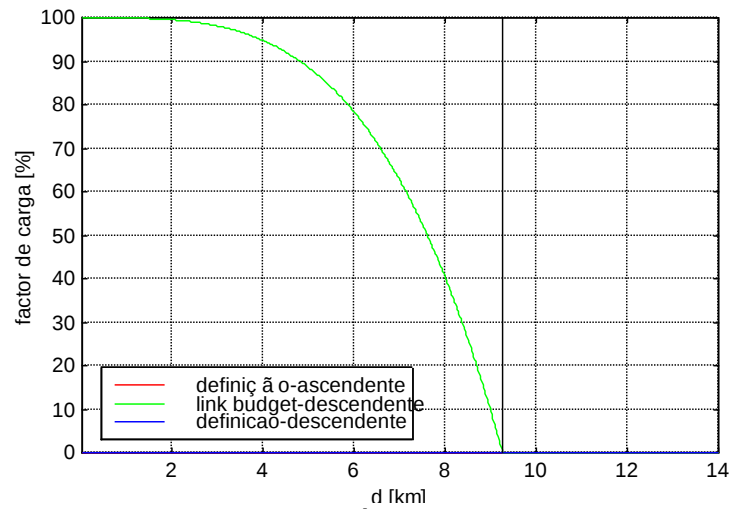


b) – Cenário pedestre.

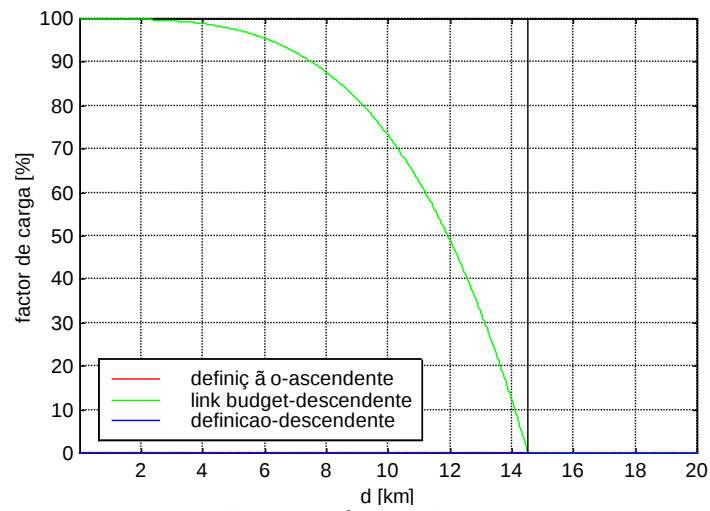


c) – Cenário veicular.

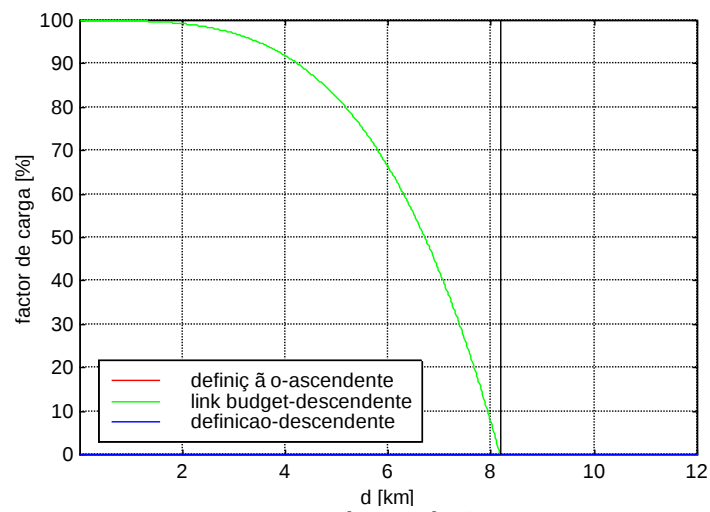
Figura J.11 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (144 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

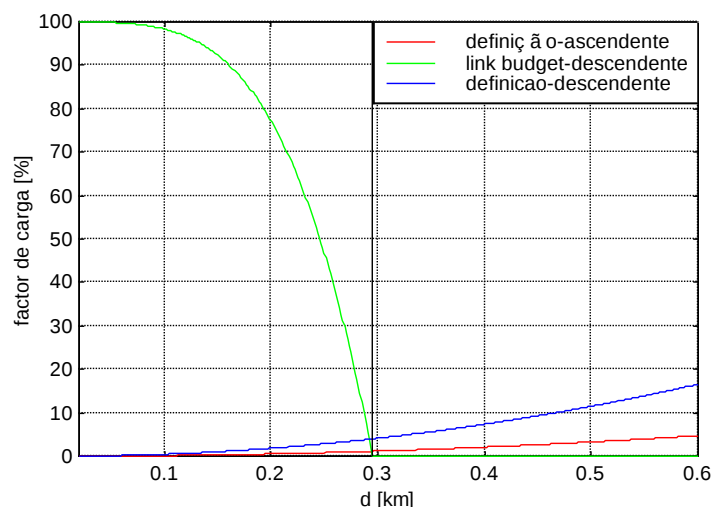


b) – Cenário pedestre.

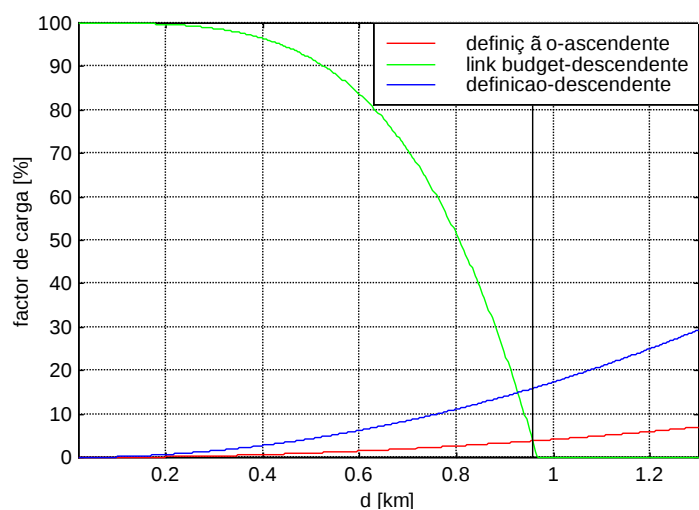


c) – Cenário veicular.

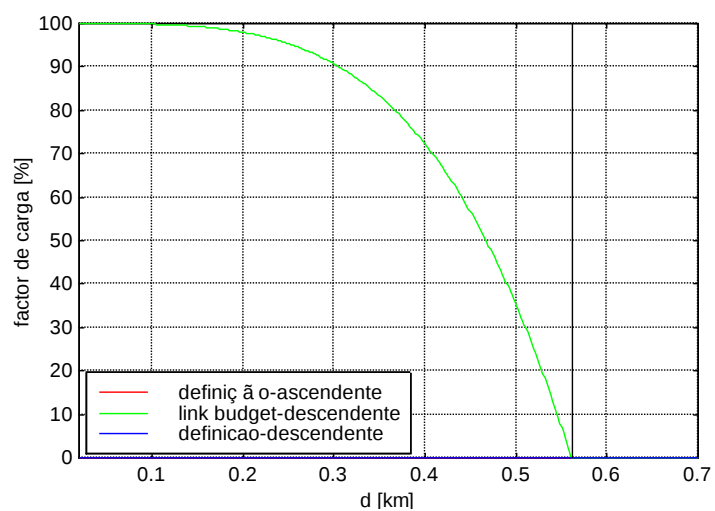
Figura J.12 – Raio e factores de carga em ambiente rural (144 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

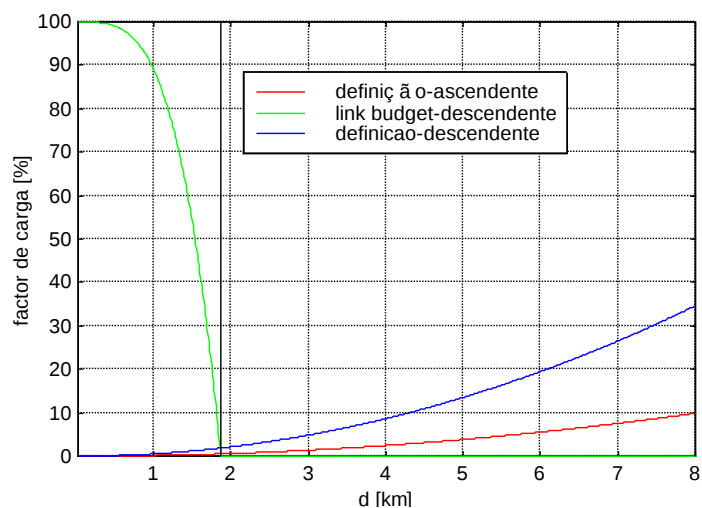


b) – Cenário pedestre.

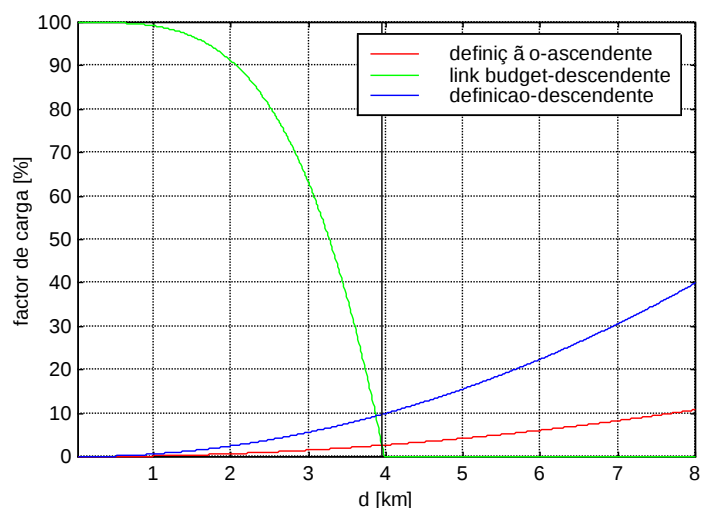


c) – Cenário veicular.

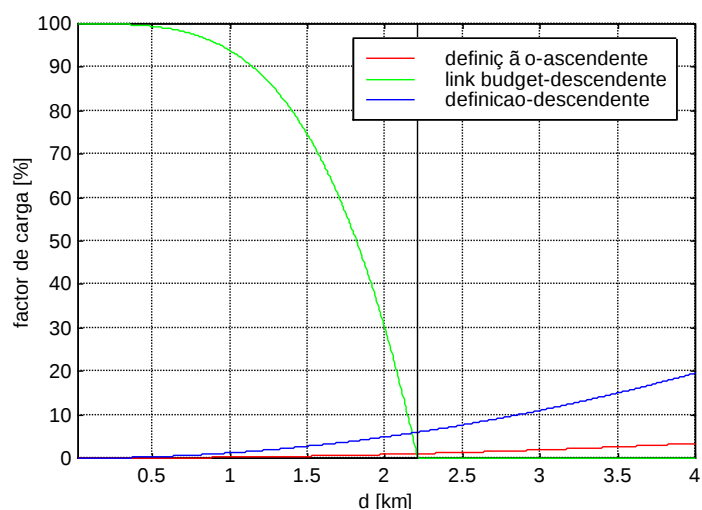
Figura J.13 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (144 kbps, PS).



a) – Cenário interior.



b) – Cenário pedestre.



c) – Cenário veicular.

Figura J.14 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (144 kbps, PS).

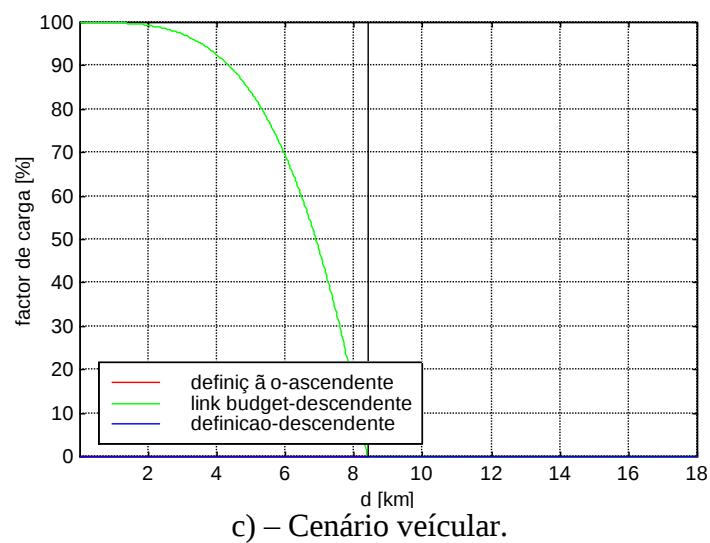
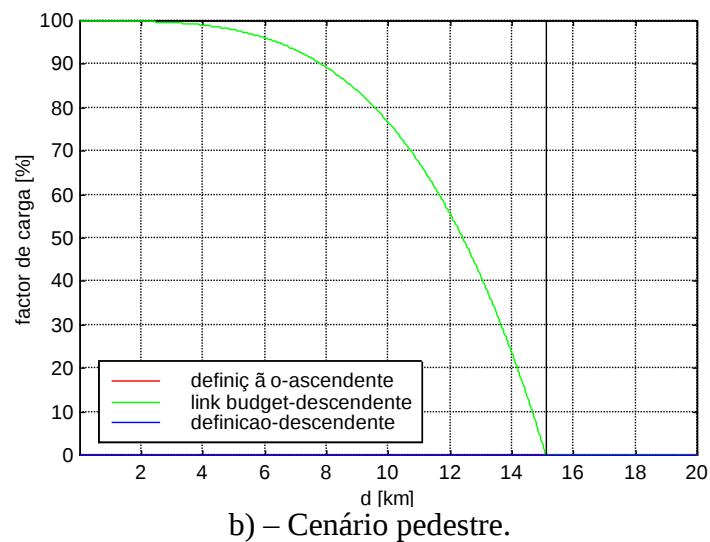
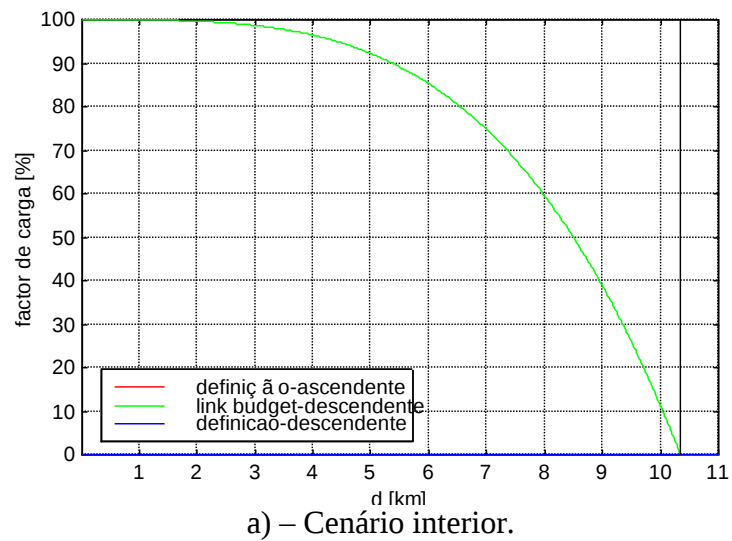
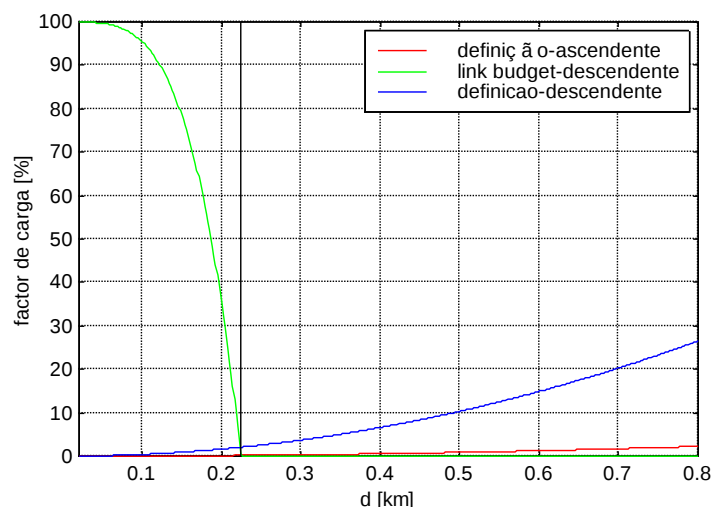
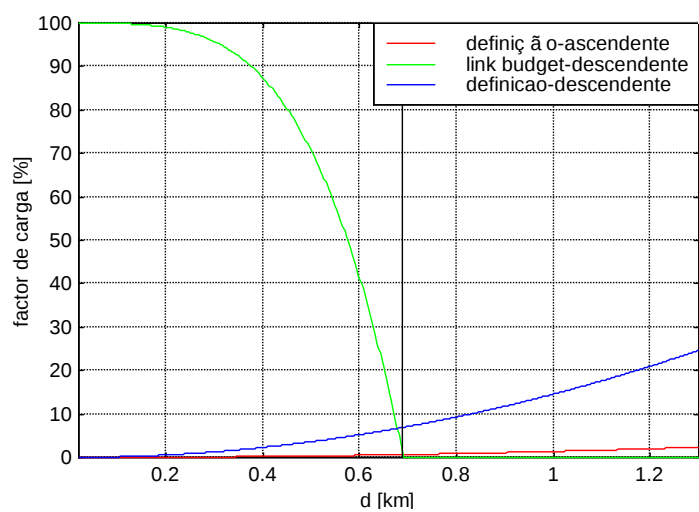


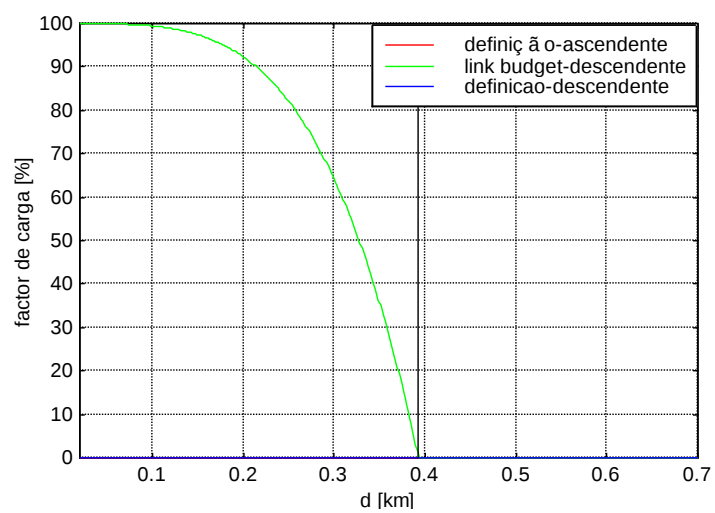
Figura J.15 – Raio e factores de carga em ambiente rural (144 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

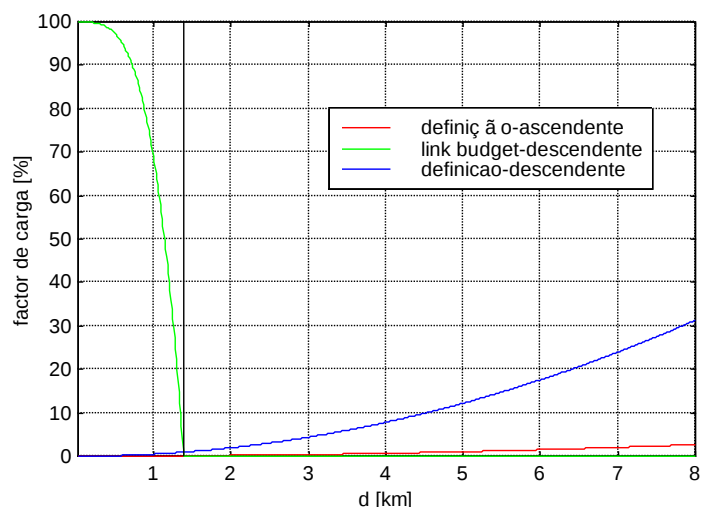


b) – Cenário pedestre.

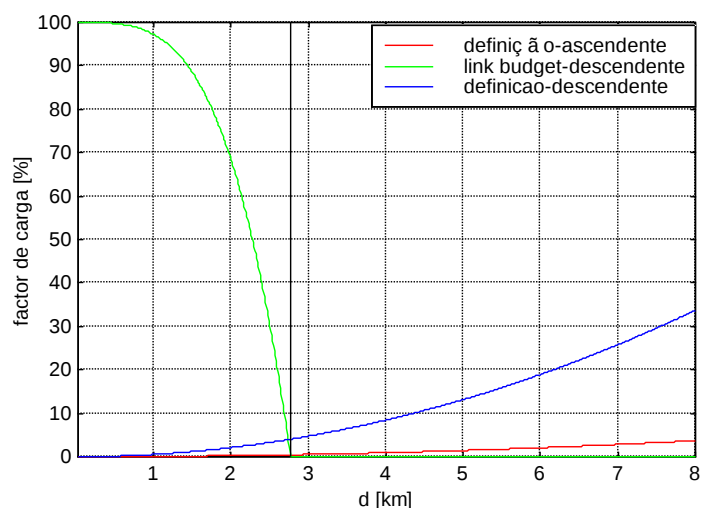


c) – Cenário veicular.

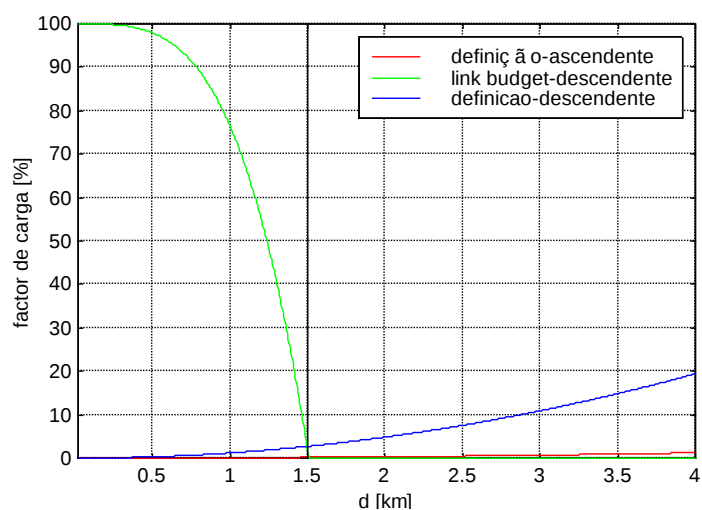
Figura J.16 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (384 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

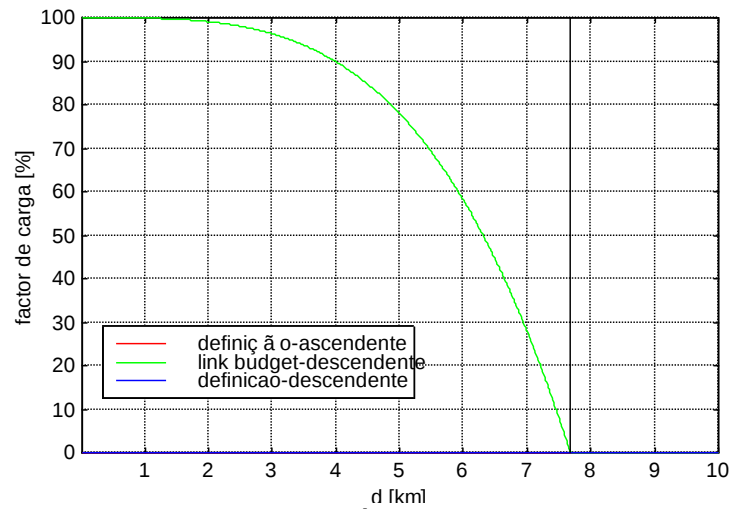


b) – Cenário pedestre.

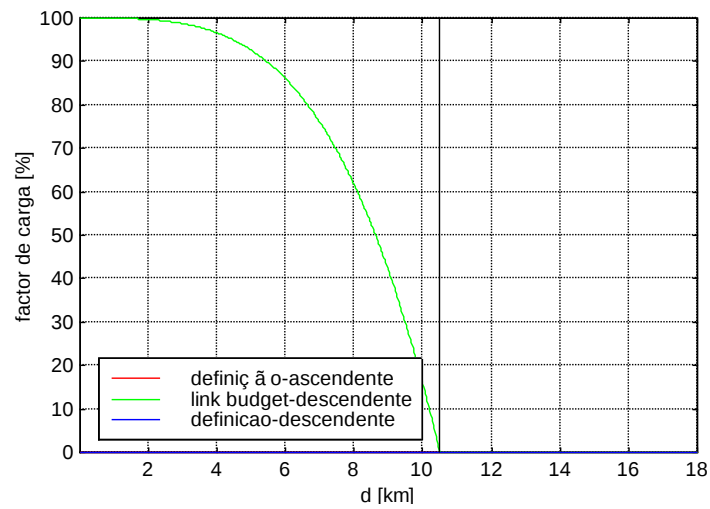


c) – Cenário veicular.

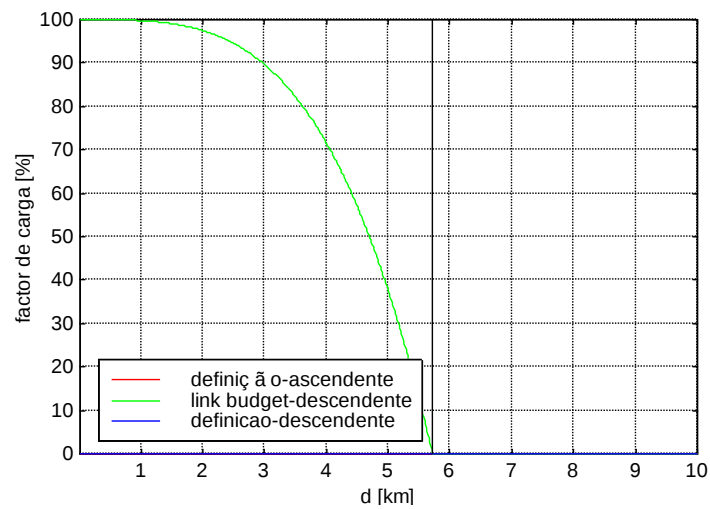
Figura J.17 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano(384 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

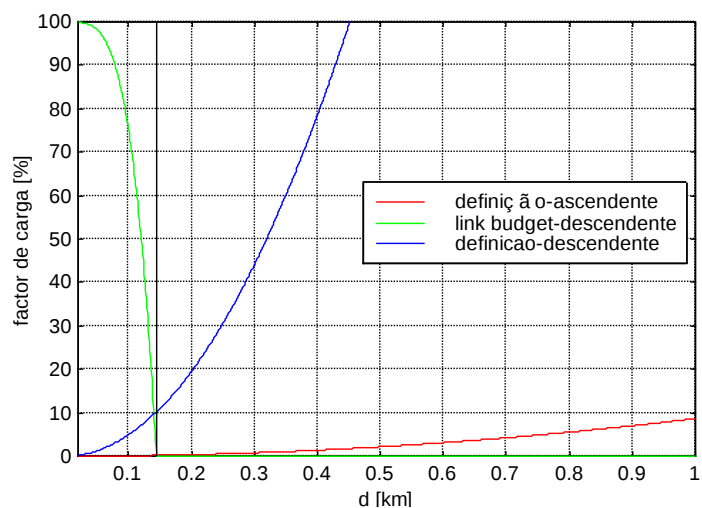


b) – Cenário pedestre.

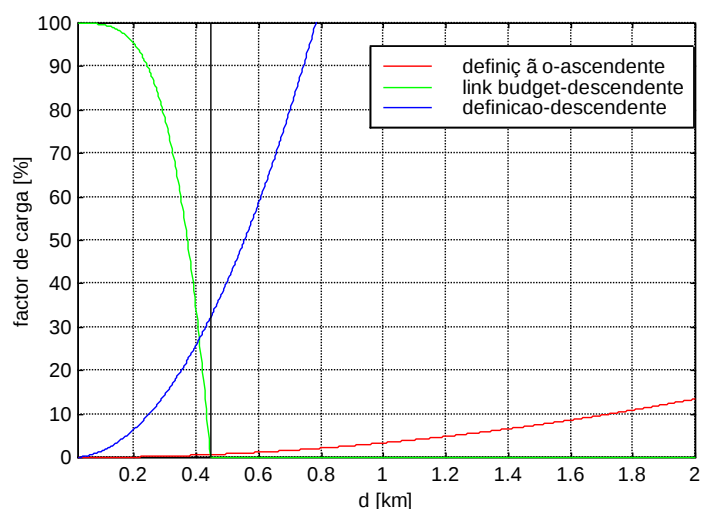


c) – Cenário veicular.

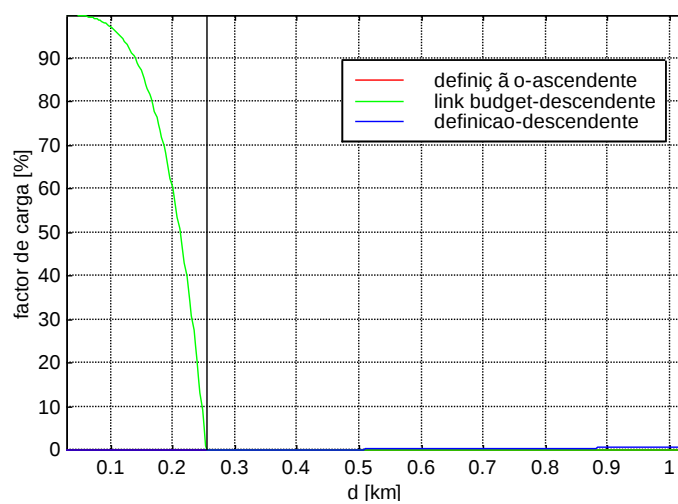
Figura J.18 – Raio e factores de carga em ambiente rural (384 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

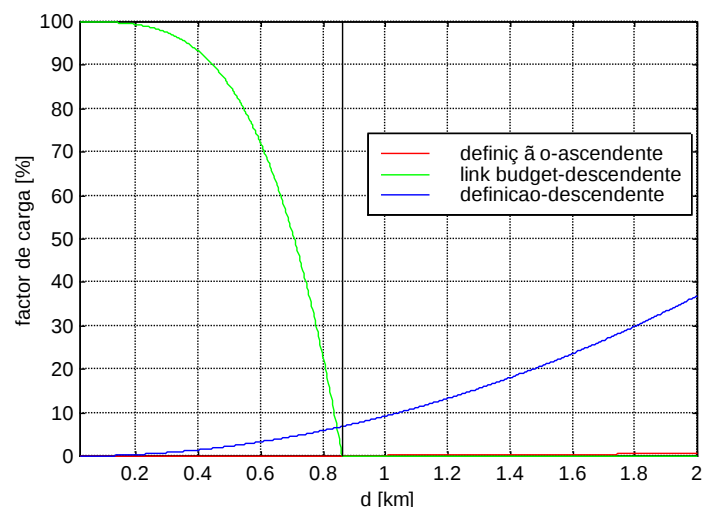


b) – Cenário pedestre.

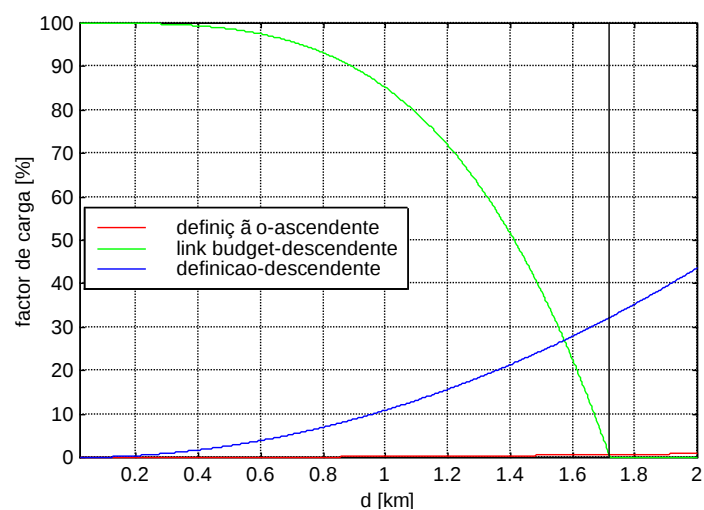


c) – Cenário veicular.

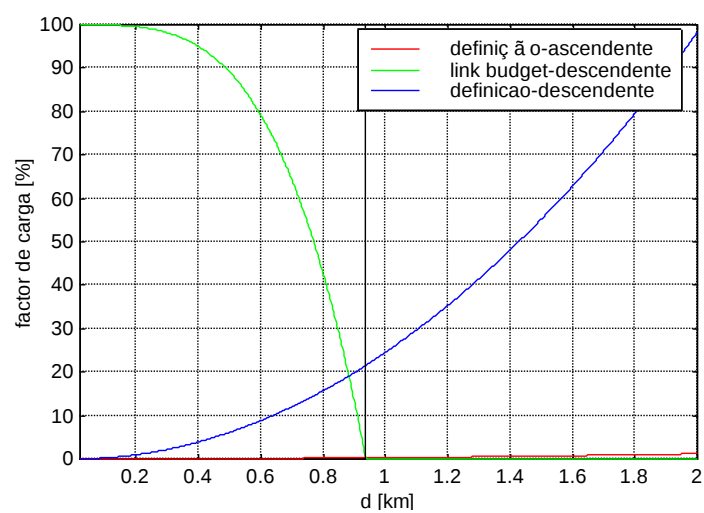
Figura J.19 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (2 Mbps, PS).



a) – Cenário interior.

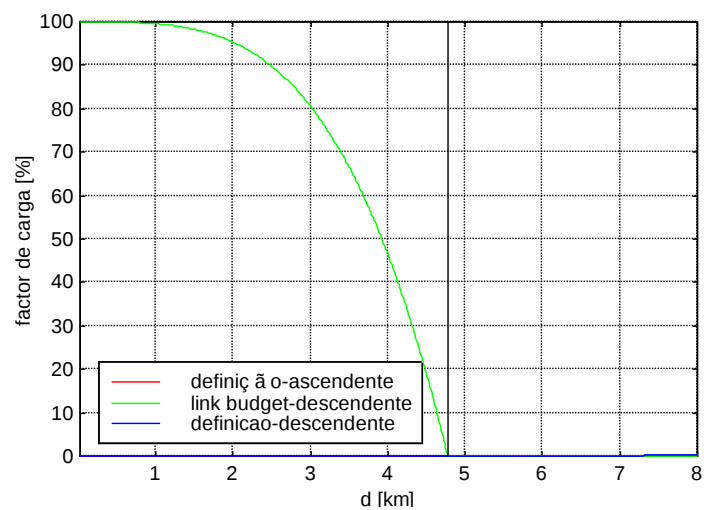


b) – Cenário pedestre.

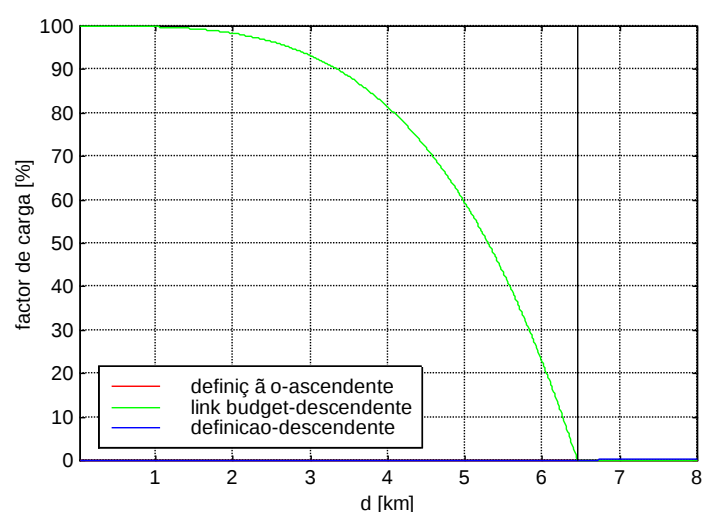


c) – Cenário veicular.

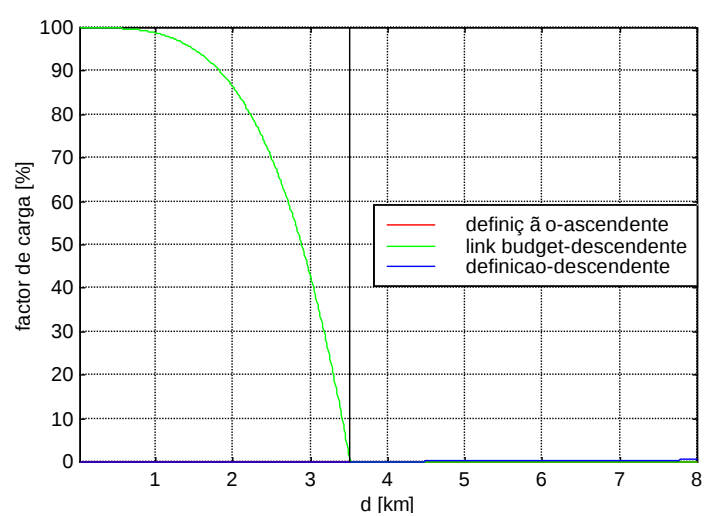
Figura J.20 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (2 Mbps, PS).



a) – Cenário interior.



b) – Cenário pedestre.



c) – Cenário veicular.

Figura J.21 – Raio e factores de carga em ambiente rural (2 Mbps, PS).

Os resultados que sintetizam a informação contida nas Figuras J.1 a J.21 são exibidos na Tabela J.1.

Cenário		Voz		
		Comutação de circuitos		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL
Urbano denso	Interiores	0,20	91,8	59,6
	Pedestre	0,35	99,7	84,7
	Veícular	0,69	14,9	17,6
Suburbano	Interiores	0,89	96,3	62,5
	Pedestre	2,74	90,9	68,1
	Veícular	2,03	71,8	76,4
Rural	Interiores	12,23	34,7	22,5
	Pedestre	16,00	59,5	35,7
	Veícular	9,88	32,7	31,2

a) – Serviço de voz.

Cenário		64 kbps					
		CS			PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL		UL	DL
Urbano denso	Interiores	0,34	4,8	1,9	0,37	1,0	1,7
	Pedestre	1,14	8,2	4,0	1,20	3,3	7,2
	Veícular	0,65	0,0	0,0	0,66	0,0	0,0
Suburbano	Interiores	2,21	2,1	0,8	2,35	0,8	1,4
	Pedestre	4,71	9,4	4,1	5,12	3,9	7,4
	Veícular	2,59	3,9	2,4	2,64	1,7	3,9
Rural	Interiores	12,35	0,0	0,0	13,11	0,0	0,0
	Pedestre	18,39	0,0	0,0	19,64	0,0	0,0
	Veícular	9,96	0,0	0,0	10,09	0,0	0,0

b) – Serviços de 64 kbps.

Cenário		144 kbps					
		CS			PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL		UL	DL
Urbano denso	Interiores	0,26	7,8	3,5	0,29	1,1	4,0
	Pedestre	0,90	11,8	5,9	0,96	3,8	16,0
	Veícular	0,55	0,0	0,0	0,56	0,0	0,0
Suburbano	Interiores	1,66	3,1	1,4	1,86	0,5	1,9
	Pedestre	3,68	13,1	5,8	3,95	2,6	9,8
	Veícular	2,12	5,2	3,0	2,20	1,0	6,0
Rural	Interiores	9,25	0,0	0,0	10,35	0,0	0,0
	Pedestre	14,53	0,1	0,0	15,10	0,0	0,0
	Veícular	8,20	0,0	0,0	8,39	0,0	0,0

c) – Serviços de 144 kbps.

Cenário		384 kbps			2 048 kbps		
		PS			PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL		UL	DL
Urbano denso	Interiores	0,22	0,2	2,1	0,14	0,2	10,2
	Pedestre	0,69	0,7	6,9	0,45	0,7	32,2
	Veícular	0,39	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0
Suburbano	Interiores	1,38	0,1	0,9	0,86	0,1	6,8
	Pedestre	2,77	0,4	4,0	1,71	0,7	32,1
	Veícular	1,50	0,2	2,7	0,94	0,3	21,6
Rural	Interiores	7,68	0,0	0,0	4,77	0,0	9,1
	Pedestre	10,50	0,0	0,0	6,45	0,0	9,2
	Veícular	5,72	0,0	0,0	3,51	0,0	0,1

d) – Serviços de 384 kbps e de 2 048 kbps.

Tabela J.1 – Raios e factores de carga para os vários serviços de acordo com a perspectiva do UMTS Forum.

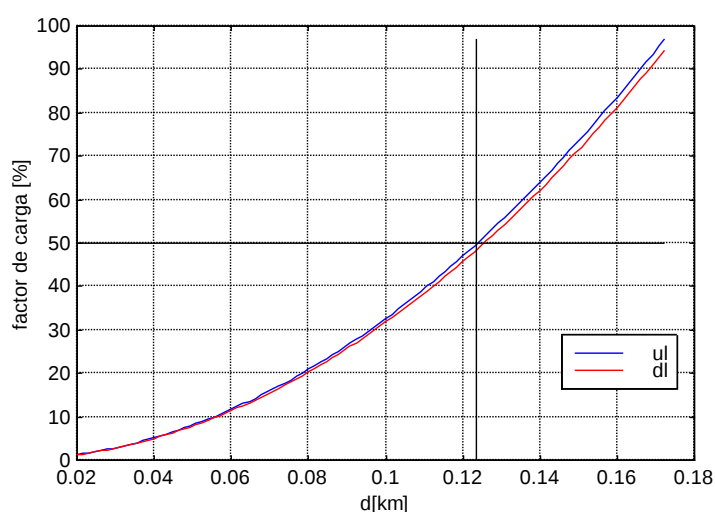
ANEXO K - DIMENSÕES E CARGAS DAS CÉLULAS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DAS PREVISÕES DE TRÁFEGO DO UMTS FORUM CONSIDERANDO LIGAÇÕES MULTI-SERVIÇO

Neste Anexo apresentam-se as figuras referentes à dimensão e carga nas células, obtidas a partir dos dados indicados pelo UMTS Forum, disponíveis no Anexo D, e dos balanços de potência que são apresentados no Anexo F. As figuras foram obtidas através do método analítico descrito na Secção 3.2 e permitem concluir sobre quais as dimensões das células que garantem um equilíbrio entre as ligações ascendente e descendente e qual a carga sobre a célula em cada um destes dois sentidos da ligação bidireccional. Como é referido no Capítulo 4 distinguem-se duas situações: uma em que não se consideram atenuações suplementares pela penetração em edifícios e veículos e outra em que essas correcções são consideradas.

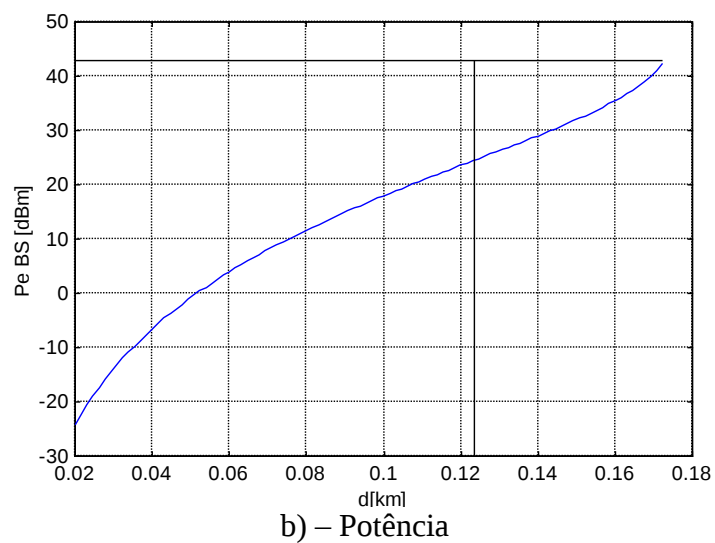
As Figuras K.1 a K.3 ilustram os resultados considerando serviços até 2 Mbps e sem cobertura garantida em interiores. As Figuras K.4 a K.6 já consideram cobertura em interiores.

As Figuras K.7 a K.9 ilustram os resultados considerando serviços até 384 kbps e sem cobertura garantida em interiores. Já as Figuras K.10 a K.12 consideram cobertura em interiores.

As Figuras K.13 a K.15 ilustram os resultados considerando serviços apenas até 144 kbps e sem cobertura garantida em interiores. Novamente as Figuras K.16 a K.18 consideram cobertura em interiores.

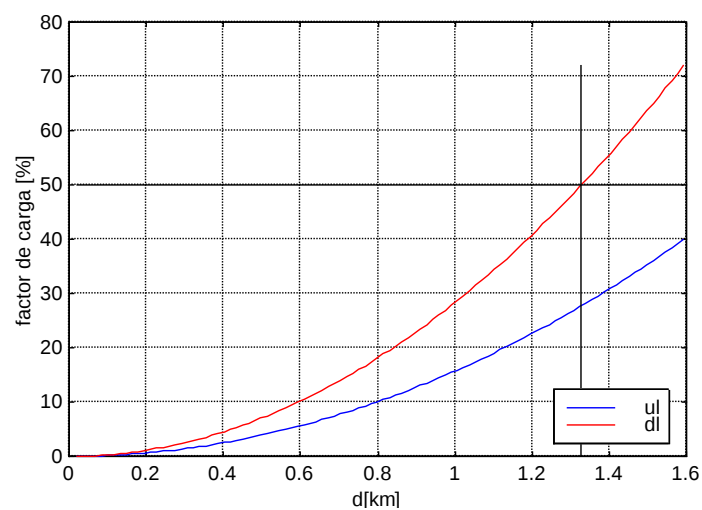


a) – Factor de carga

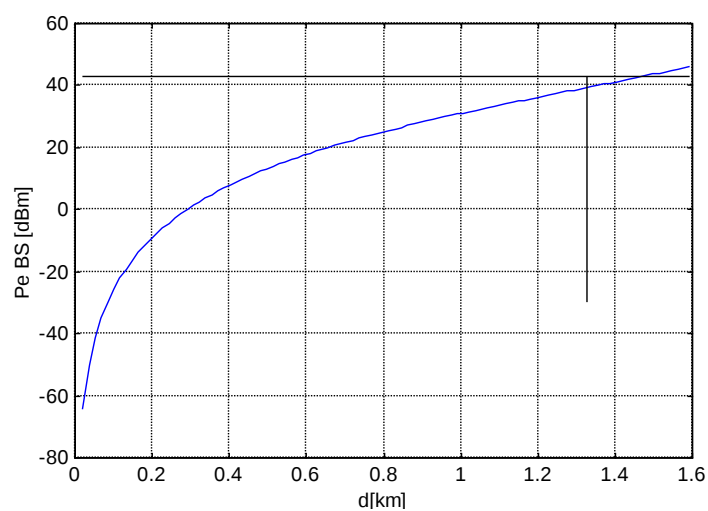


b) – Potência

Figura K.1 – Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 2 Mbps, sem interiores).

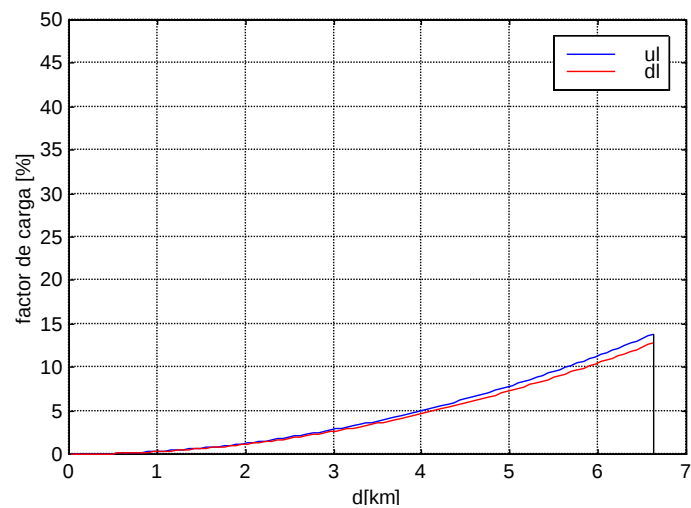


a) – Factor de carga

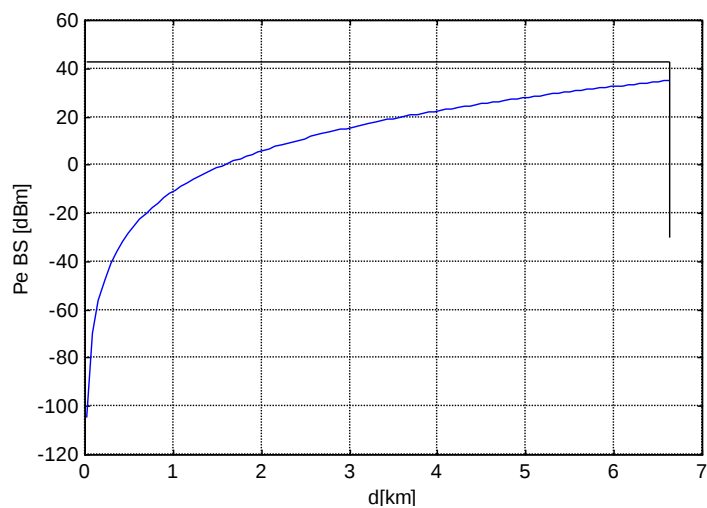


b) - Potência

Figura K.2 – Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 2 Mbps, sem interiores).

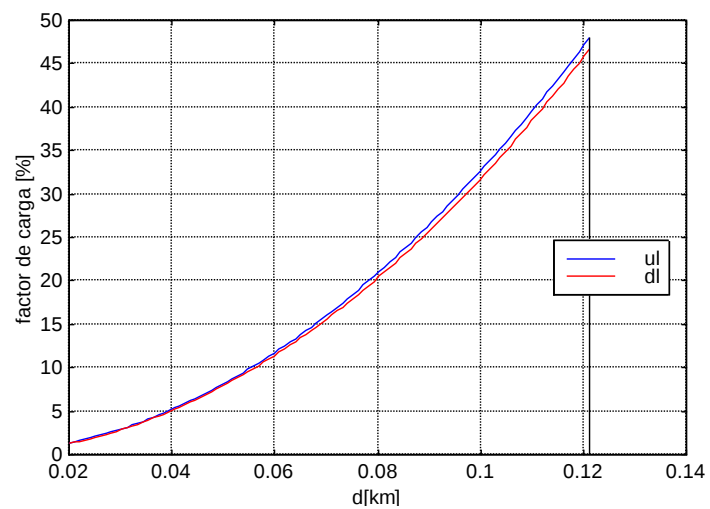


a) – Factor de carga

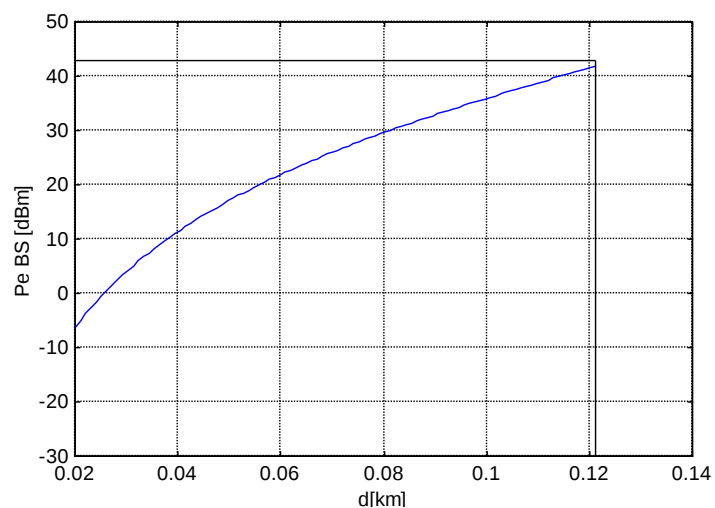


b) - Potência

Figura K.3 – Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 2 Mbps, sem interiores).

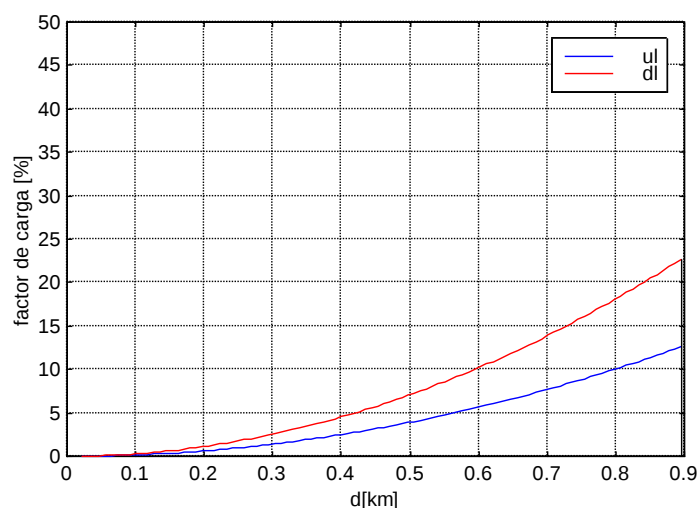


a) – Factor de carga

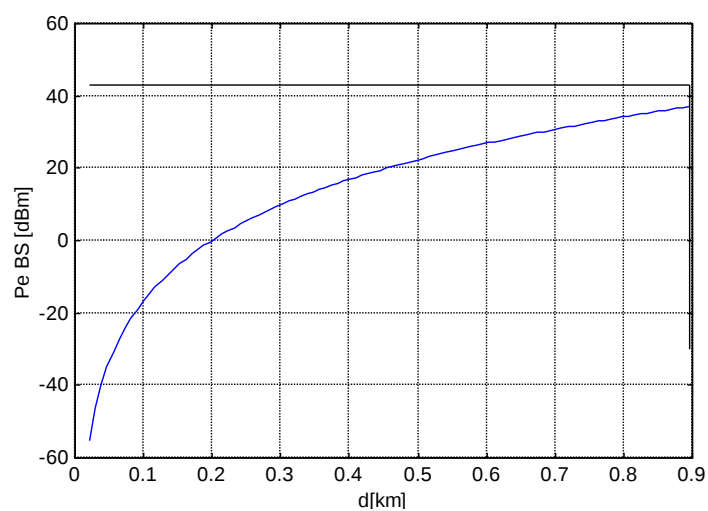


b) - Potência

Figura K.4 – Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 2 Mbps, interiores).

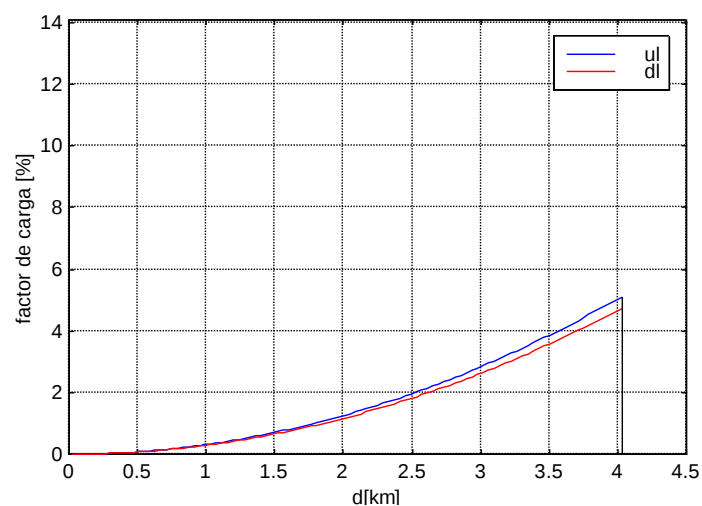


a) – Factor de carga

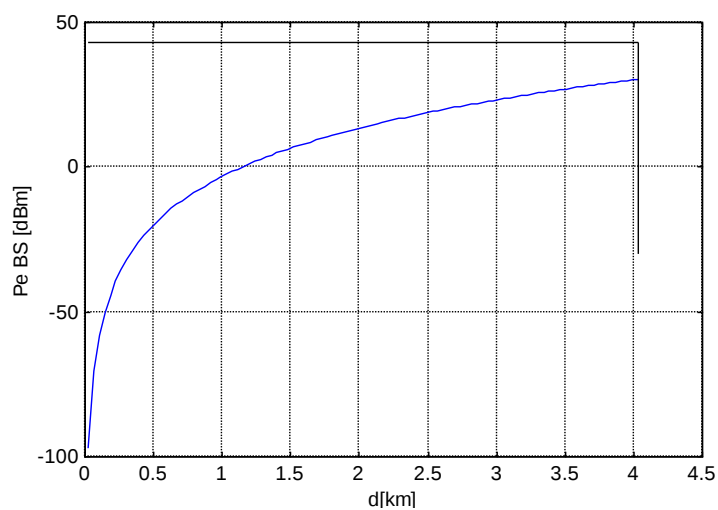


b) - Potência

Figura K.5 – Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 2 Mbps, interiores).

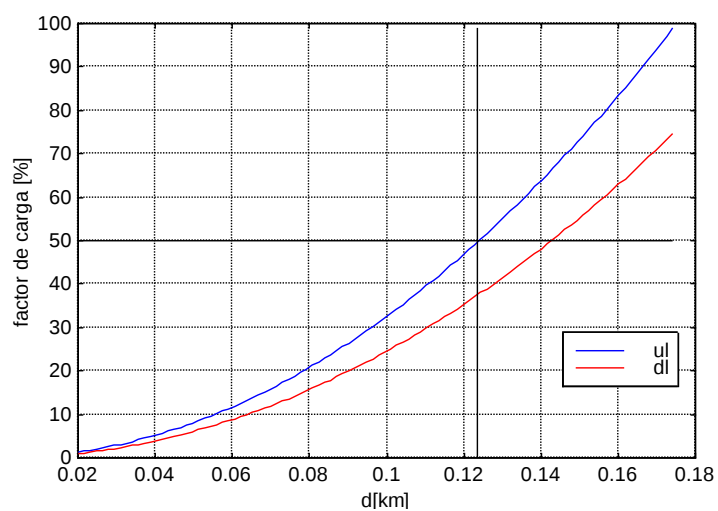


a) – Factor de carga



b) - Potência

Figura K.6 – Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 2 Mbps, interiores).



a) – Factor de carga.

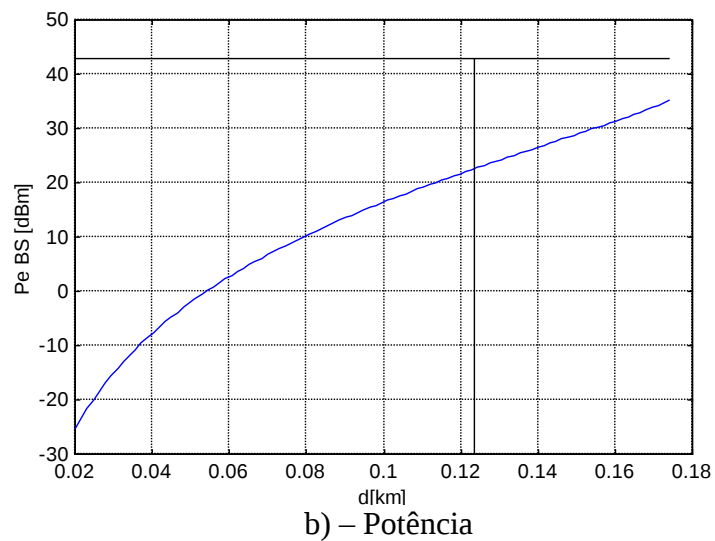


Figura K.7 – Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 384 kbps, sem interiores).

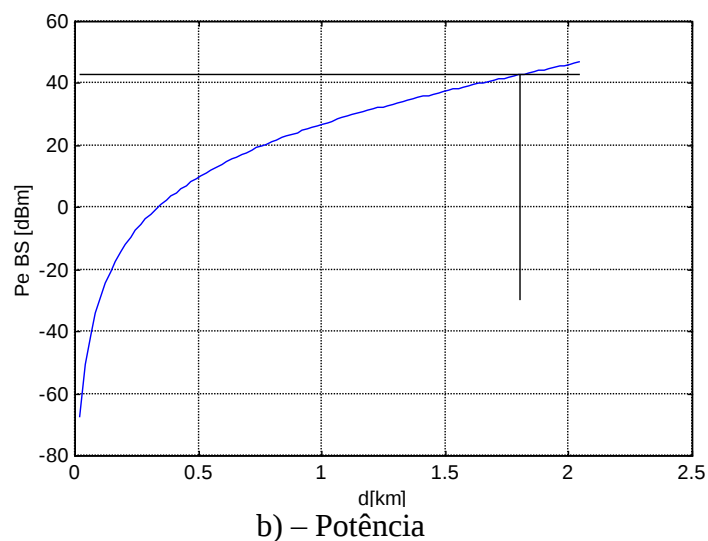
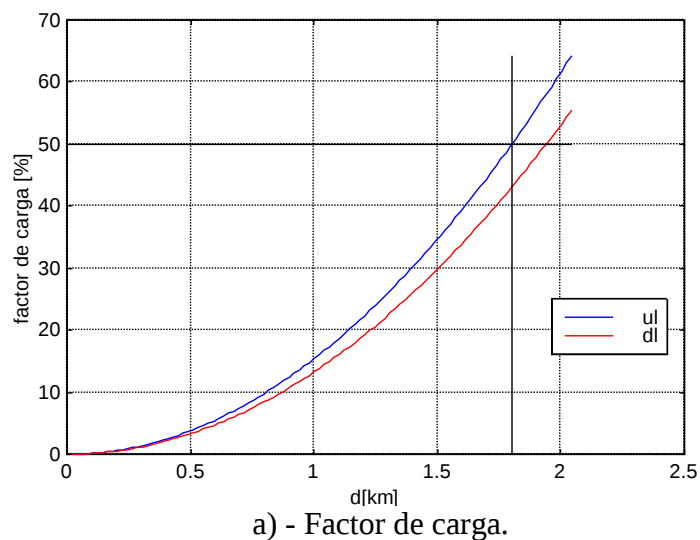
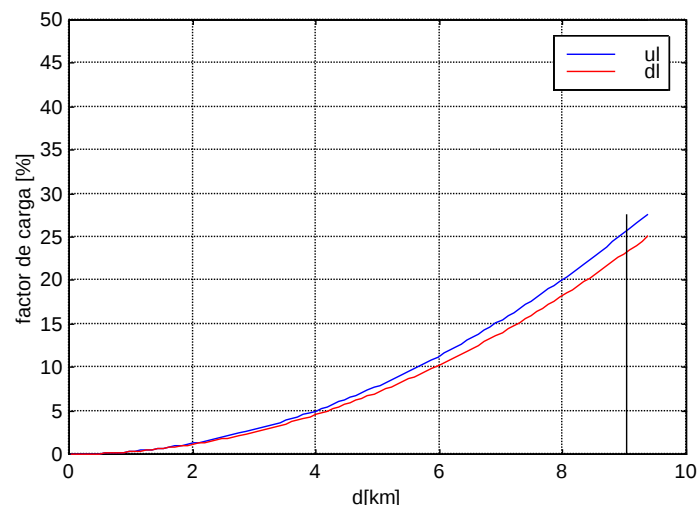
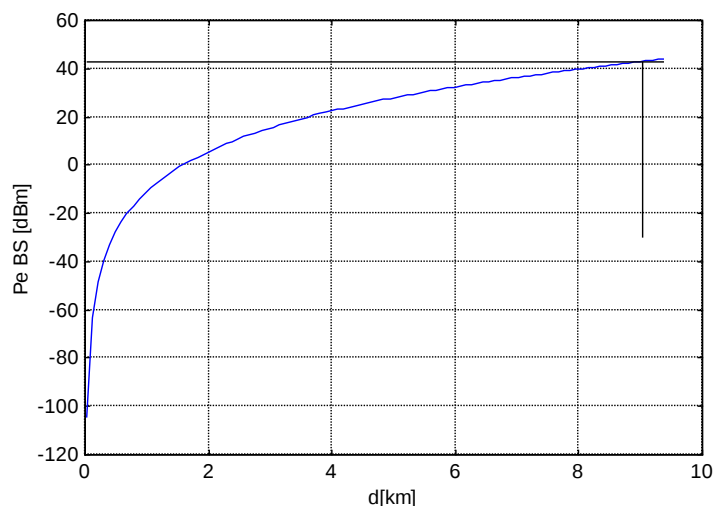


Figura K.8 – Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 384 kbps, sem interiores).

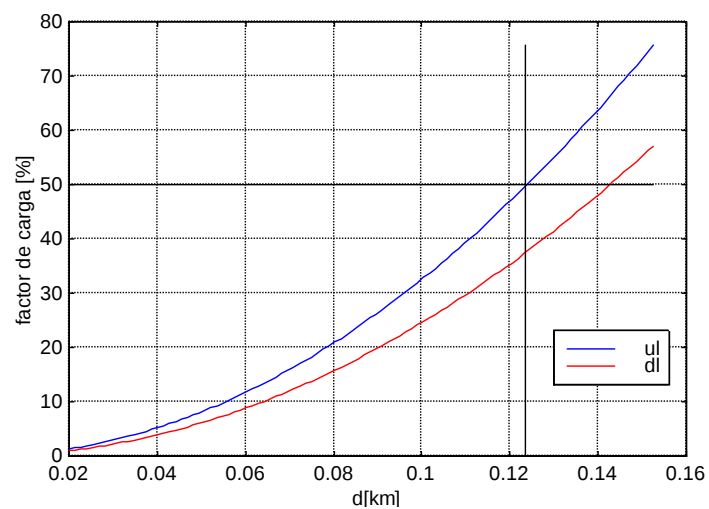


a) – Factor de carga.

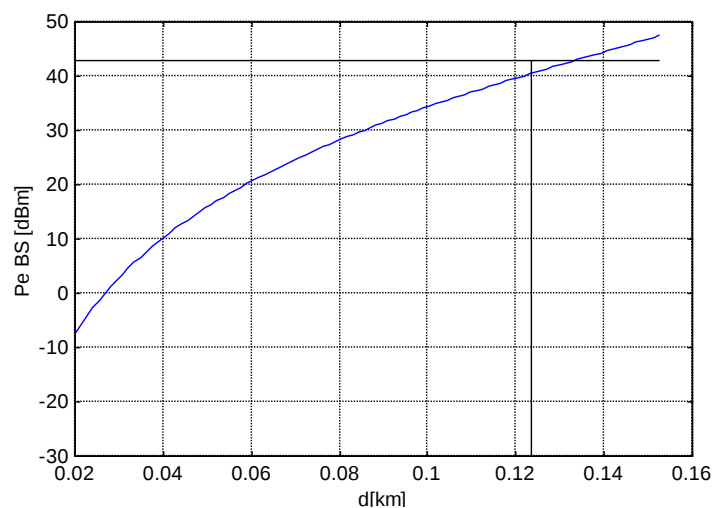


b) – Potência

Figura K.9 – Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 384 kbps, sem interiores).

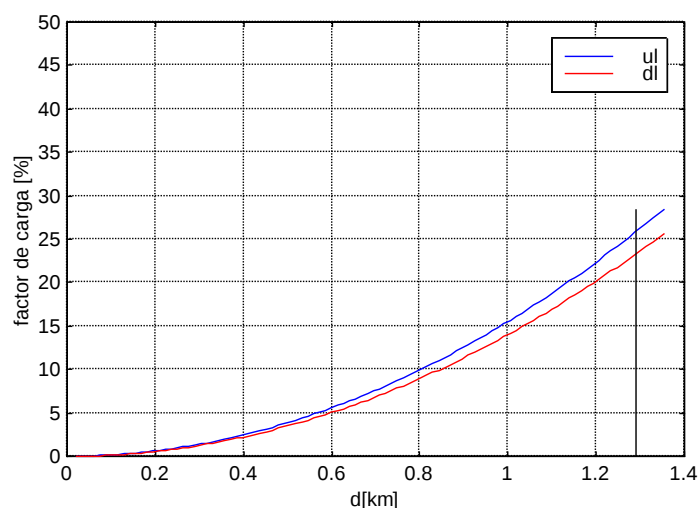


a) – Factor de carga.

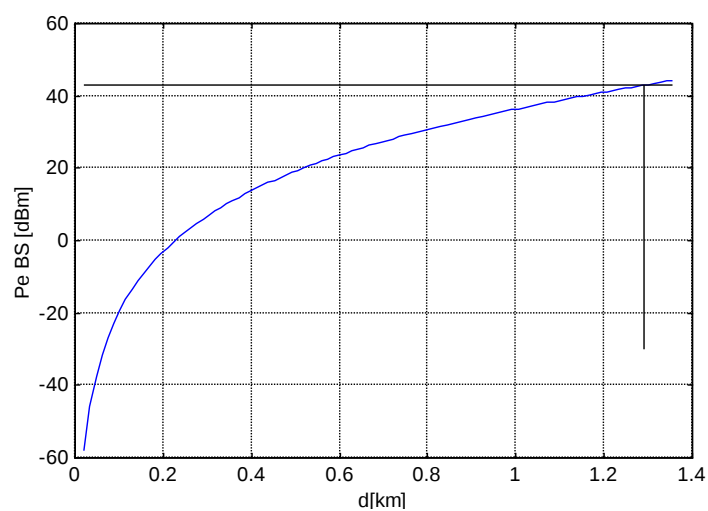


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura K.10 – Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 384 kbps, interiores).

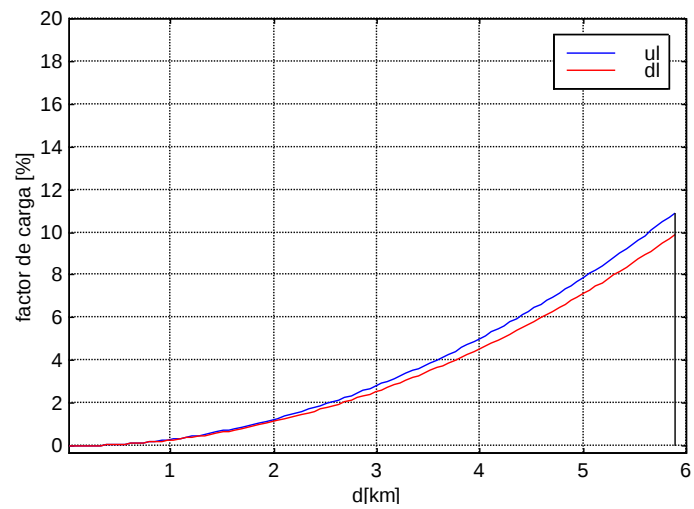


a) – Factor de carga.

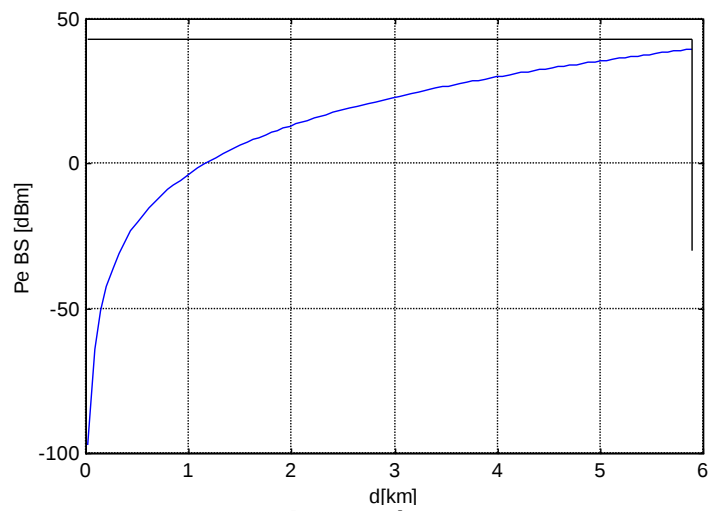


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura K.11 – Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 384 kbps, interiores).

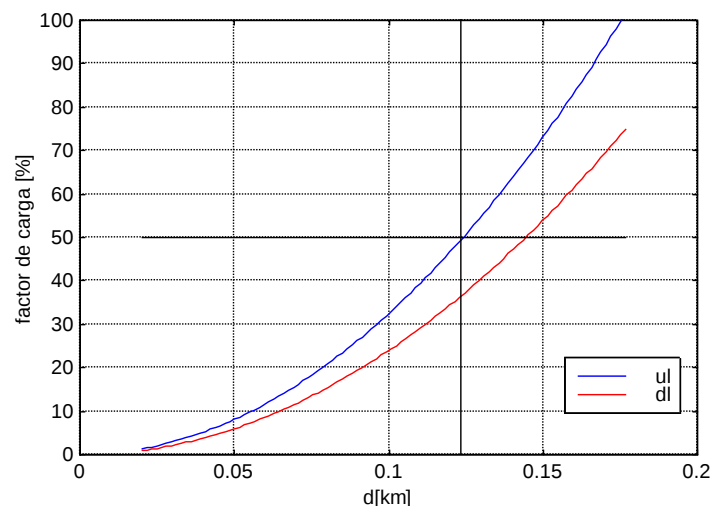


a) – Factor de carga.

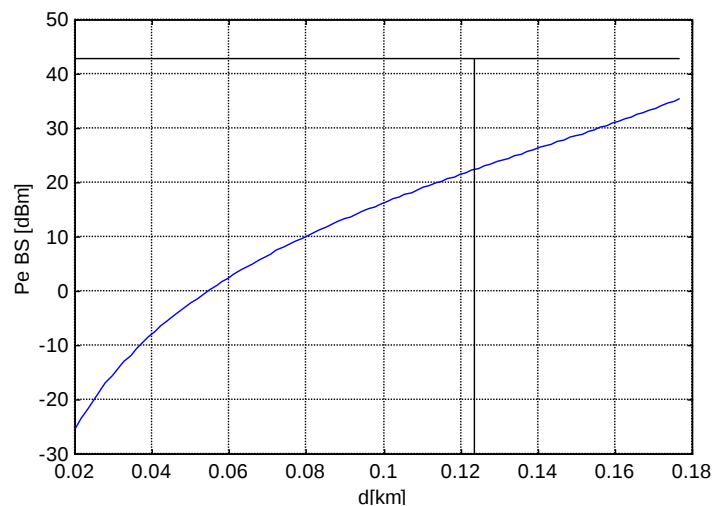


b) – Potência

Figura K.12 – Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 384 kbps, interiores).

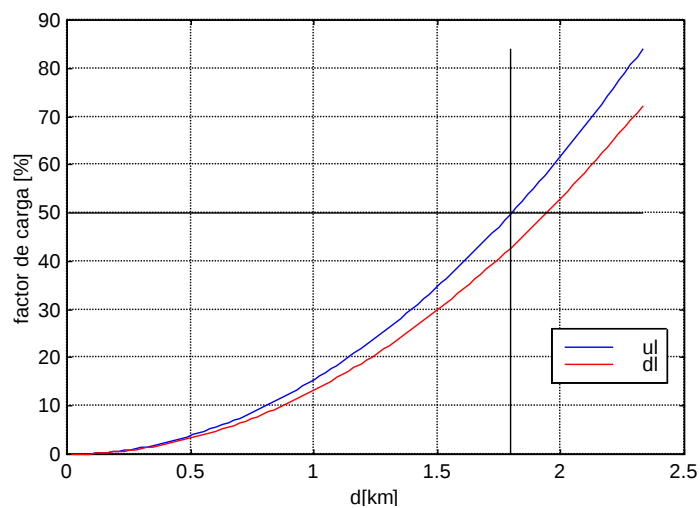


a) - Factor de carga

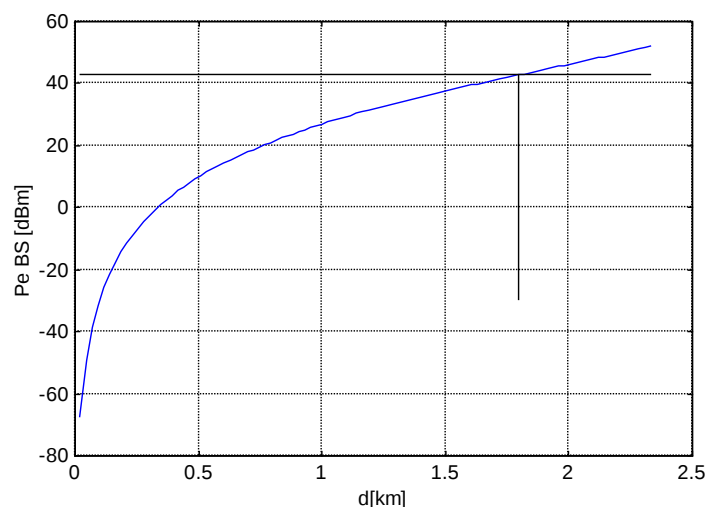


b) - Potência

Figura K.13 – Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 144 kbps, sem interiores).

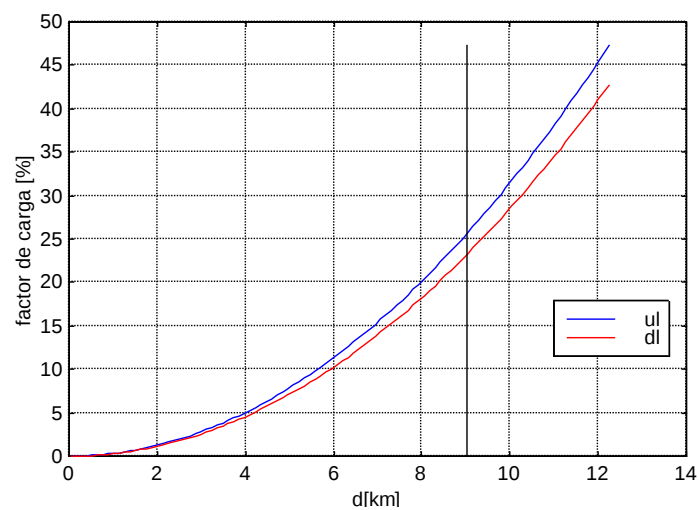


a) - Factor de carga

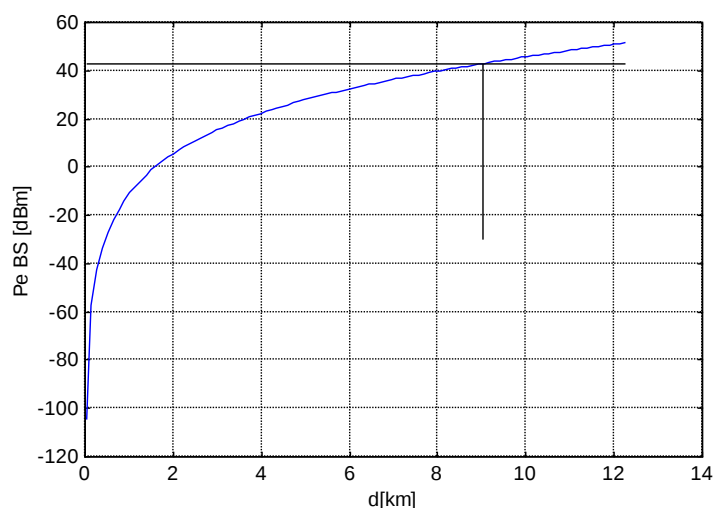


b) - Potência

Figura K.13 – Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 144 kbps, sem interiores).

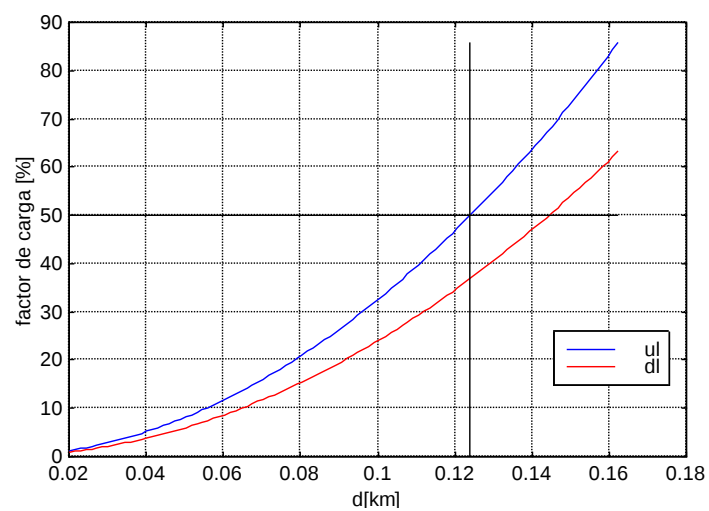


a) - Factor de carga

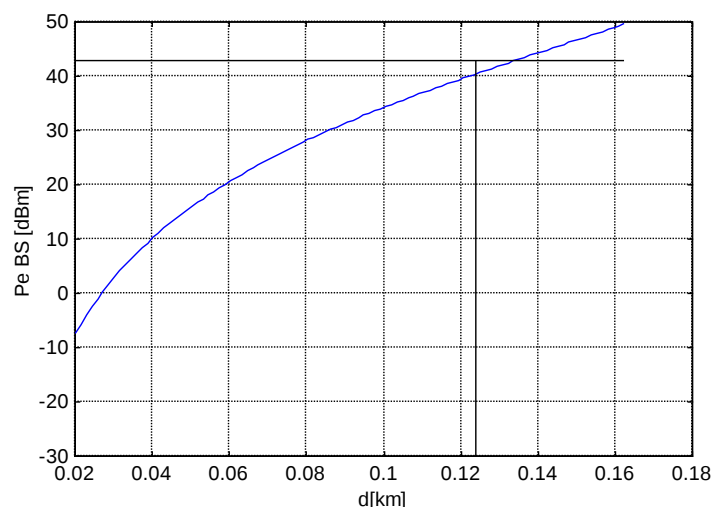


b) - Potência

Figura K.15 – Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 144 kbps, sem interiores).

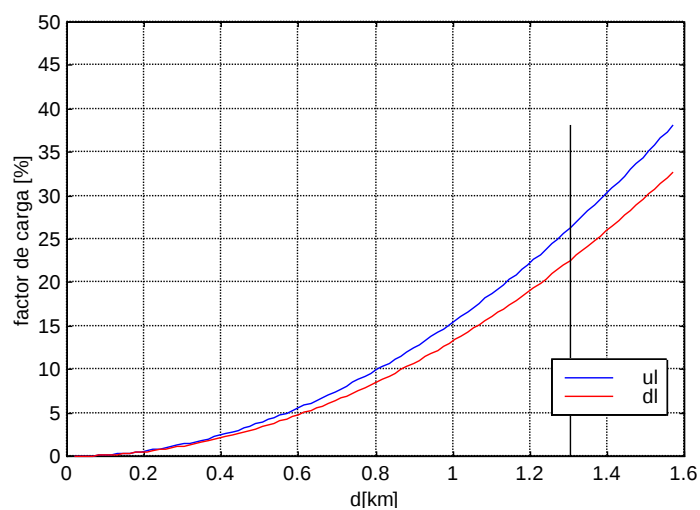


a) - Factor de carga

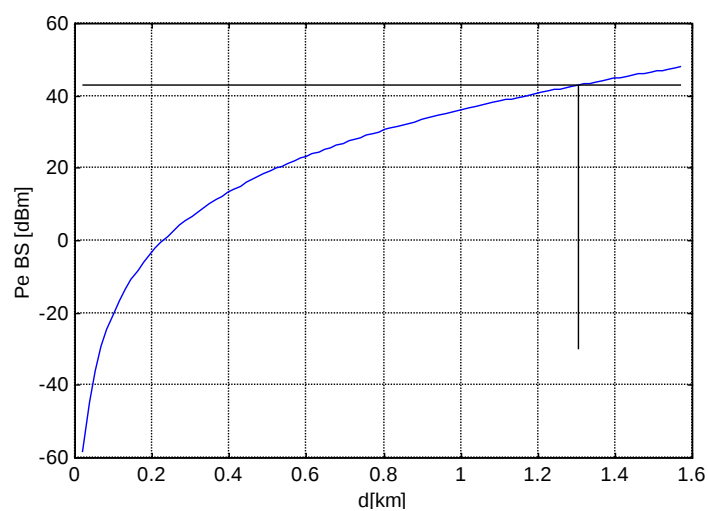


b) - Potência

Figura K.16 – Resultados para ambiente urbano denso, previsões para 2005 (até 144 kbps, interiores).

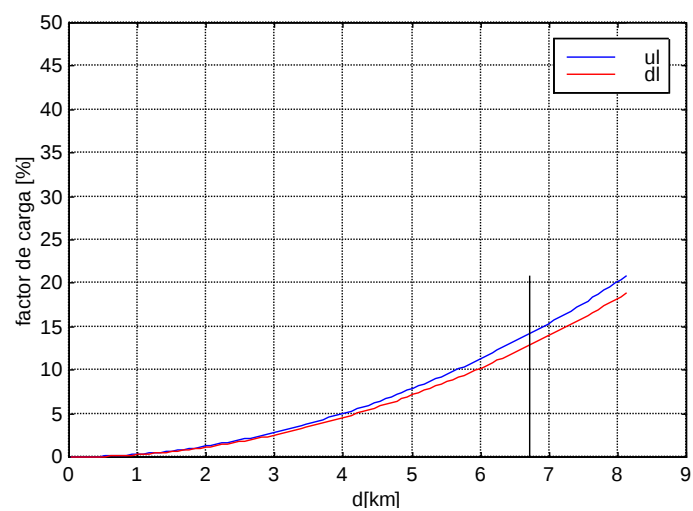


a) - Factor de carga

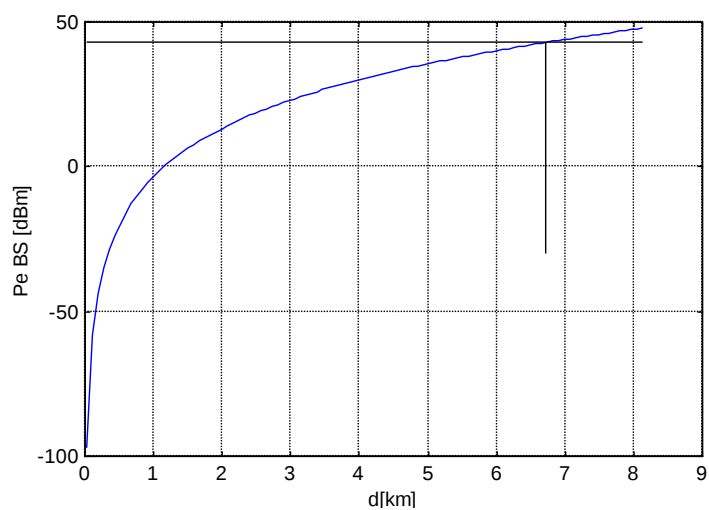


b) - Potência

Figura K.17 – Resultados para ambiente suburbano, previsões para 2005 (até 144 kbps, interiores).



a) - Factor de carga



b) - Potência

Figura K.18 – Resultados para ambiente rural, previsões para 2005 (até 144 kbps, interiores).

As Tabelas K.1 a K.3 sintetizam os resultados ilustrados nas Figuras K.1 a K.18.

Ambiente	Previsões 2005			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano Denso	46,7	50,0	41,8	0,12
Suburbano	22,7	12,6	37,1	0,90
Rural	4,7	5,1	30,5	4,03

a) Com cobertura de interiores.

Ambiente	Previsões 2005			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano Denso	48,4	50,0	24,5	0,12
Suburbano	50,0	27,7	39,4	1,33
Rural	12,8	13,9	35,1	6,63

b) Sem cobertura de interiores.

Tabela K.1 – Resultados para as previsões de 2005, para serviços até 2 048 kbps.

Ambiente	Previsões 2005			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano Denso	37,6	50,0	40,6	0,12
Suburbano	23,4	25,9	43,0	1,29
Rural	9,9	10,9	39,7	5,89

a) Com cobertura de interiores.

Ambiente	Previsões 2005			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano Denso	37,5	50,0	22,6	0,12
Suburbano	43,0	50,0	42,9	1,80
Rural	23,3	25,7	43,0	9,03

b) Sem cobertura de interiores.

Tabela K.2 – Resultados para as previsões de 2005, para serviços até 384 kbps.

Ambiente	Previsões 2005			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano Denso	36,8	50,0	40,4	0,12
Suburbano	22,7	26,4	43,0	1,30
Rural	12,9	14,2	43,0	6,72

a) Com cobertura de interiores.

Ambiente	Previsões 2005			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano Denso	36,5	50,0	22,4	0,12
Suburbano	43,0	50,0	42,9	1,80
Rural	23,3	25,7	43,0	9,03

b) Sem cobertura de interiores.

Tabela K.3 – Resultados para as previsões de 2005, para serviços até 144 kbps.

ANEXO L -DIMENSÕES E CARGAS DAS CÉLULAS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DAS PREVISÕES DE TRÁFEGO DA TELECEL VODAFONE CONSIDERANDO LIGAÇÕES MONO-SERVIÇO

Neste Anexo apresenta-se as figuras obtidas através do método analítico descrito na Secção 3.2 que permitem concluir sobre quais as dimensões das células que garantem um equilíbrio entre as ligações ascendente e descendente e qual a carga sobre a célula em cada um destes dois sentidos da ligação bidireccional. Nesta primeira abordagem não existem preocupações com a potência necessária às BS pois o objectivo é aferir a influência do cenário de propagação, densidade populacional e volume de tráfego característico de cada serviço sobre as dimensões e cargas das células. Os dados de tráfego e densidade de potenciais utilizadores utilizados estão indicados nas Tabelas E.4, E.5 e E.6 e os balanços de potência de referência aos ambientes e cenários considerados estão contidos no Anexo F.

As figuras ilustradas na próxima subsecção são o resultado da aplicação do método analítico para cada um dos casos considerados.

Para utilizadores exclusivamente do serviço de voz obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras L.1 a L.4.

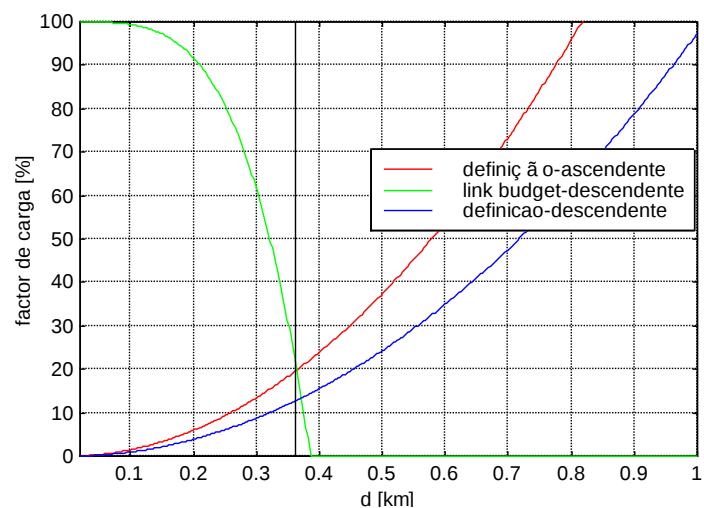
Para utilizadores exclusivamente do serviço de 64 kbps em CS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras L.5 a L.8.

Para utilizadores exclusivamente do serviço de 64 kbps em PS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras L.9 a L.12.

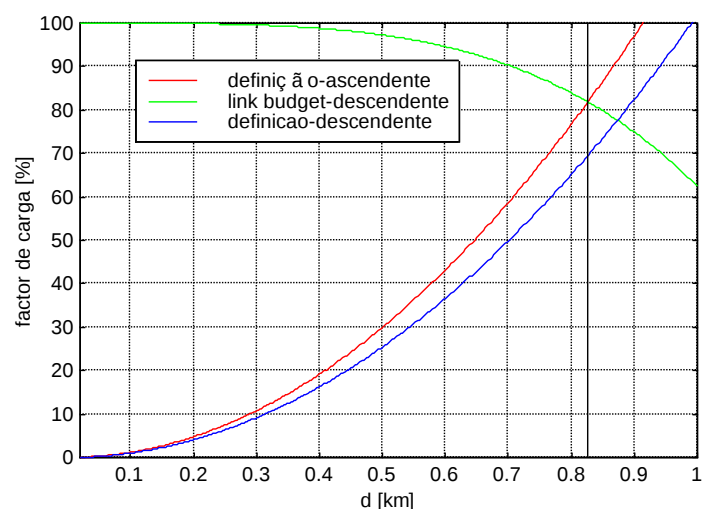
Para utilizadores exclusivamente do serviço de 144 kbps em CS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras L.13 a L.16.

Para utilizadores exclusivamente do serviço de 144 kbps em PS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras L.17 a L.20.

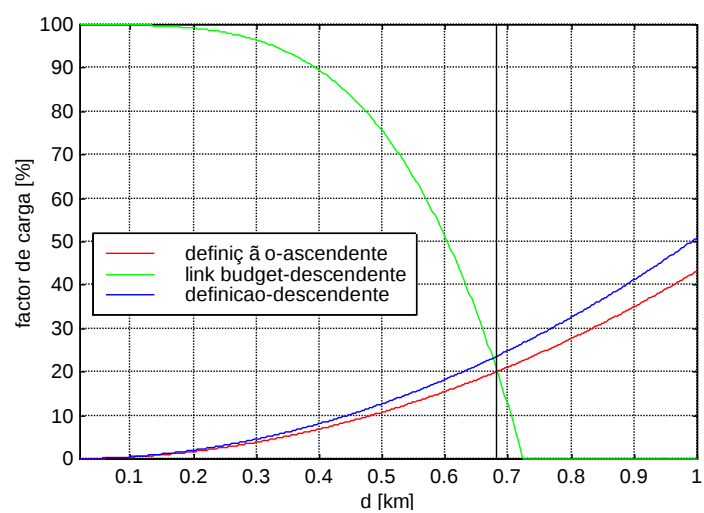
Para utilizadores exclusivamente do serviço de 384 kbps em PS obtêm-se, para os diferentes cenários e ambientes, os resultados das Figuras L.21 a L.24.



a) – Cenário interior.

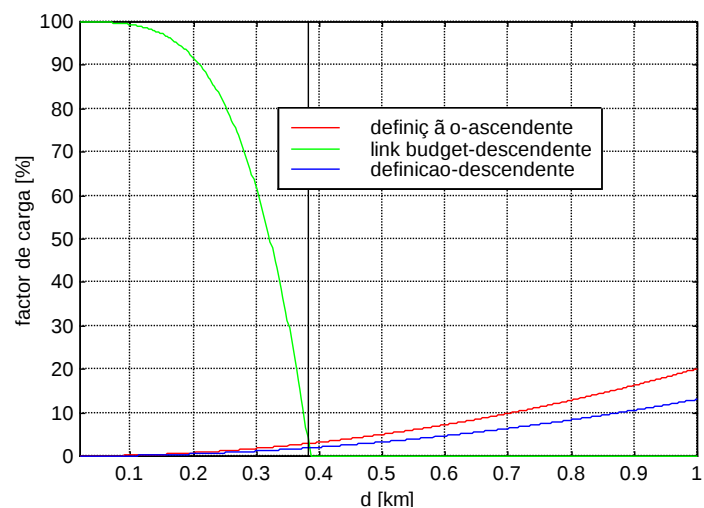


b) – Cenário pedestre.

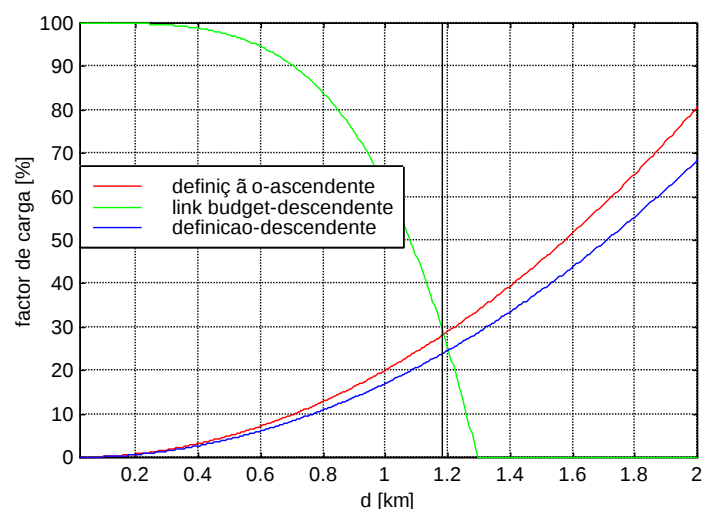


c) – Cenário veicular

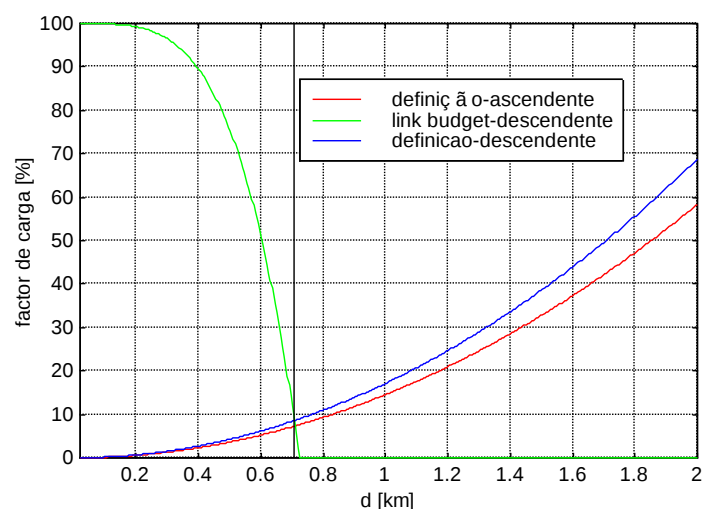
Figura L.1 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (Voz).



a) – Cenário interior.

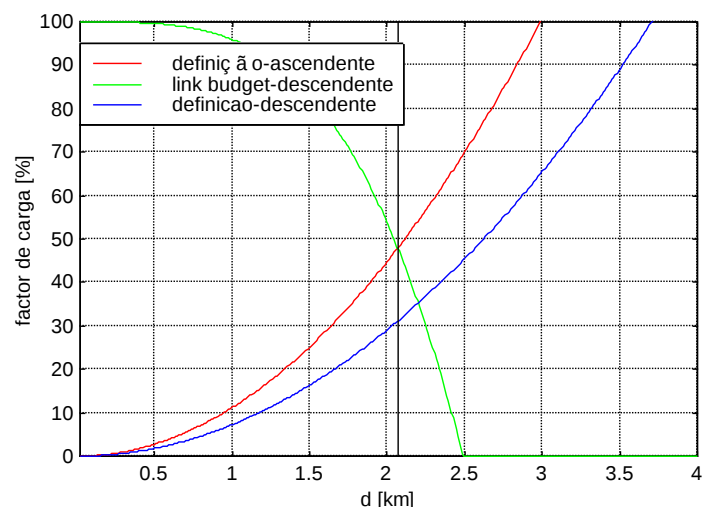


b) – Cenário pedestre.

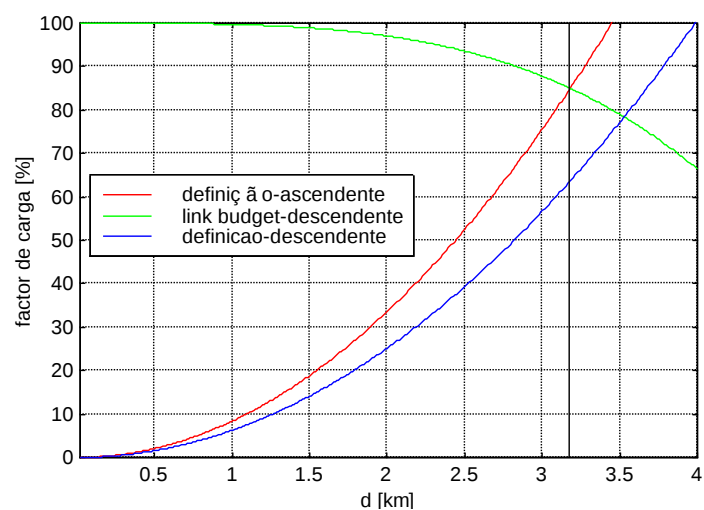


c) – Cenário veicular

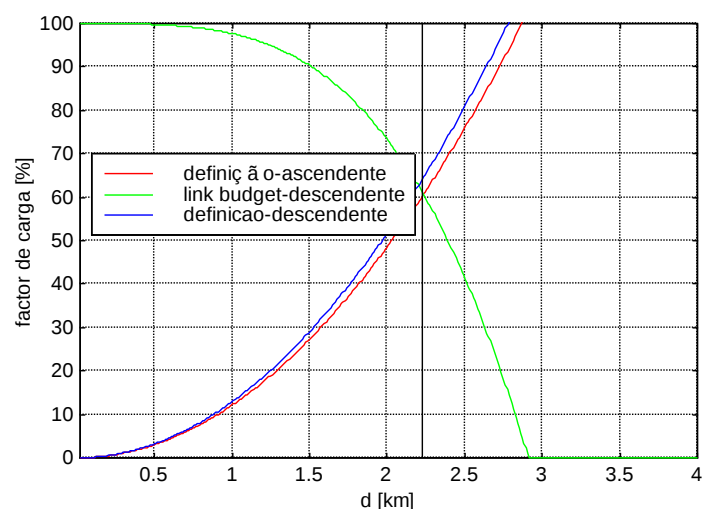
Figura L.2 – Raio e factores de carga em ambiente urbano (Voz).



a) – Cenário interior.

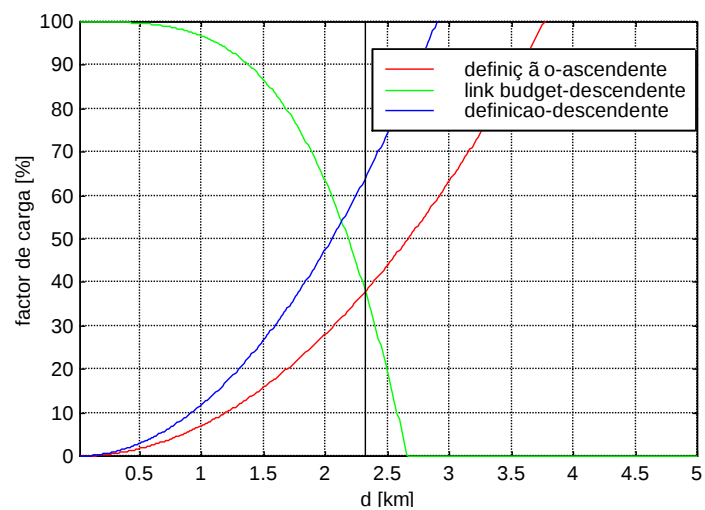


b) – Cenário pedestre.

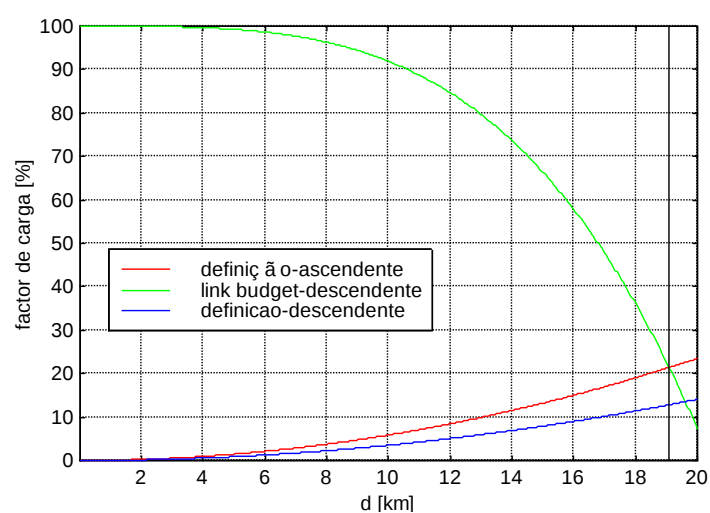


c) – Cenário veicular

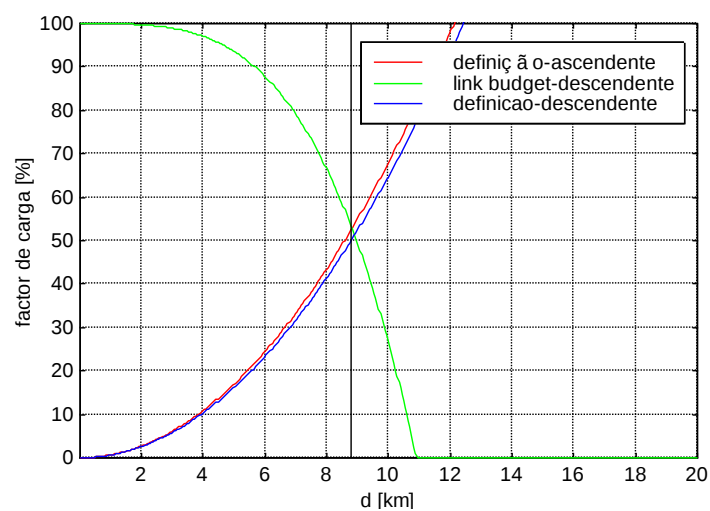
Figura L.3 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (Voz).



a) – Cenário interior.

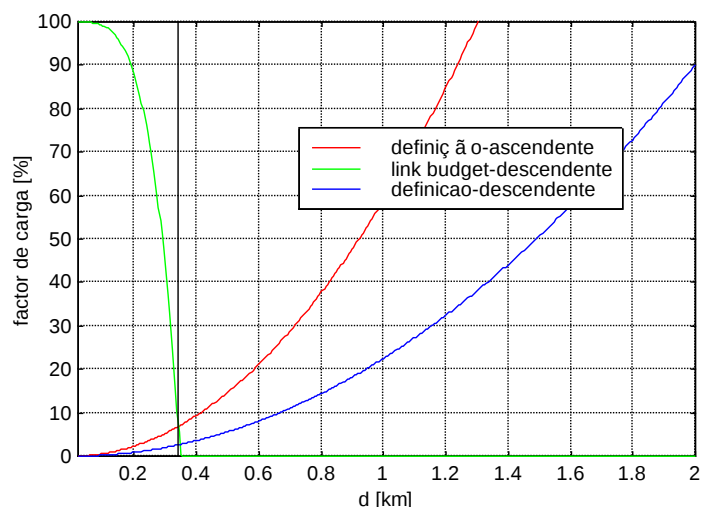


b) – Cenário pedestre.

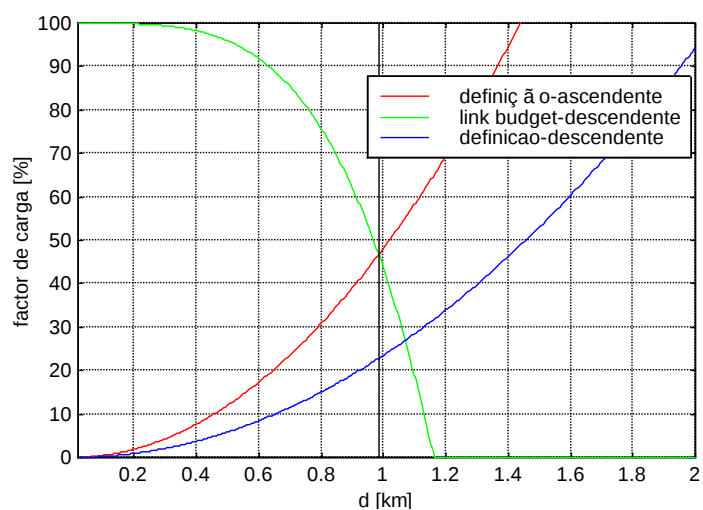


c) – Cenário veicular

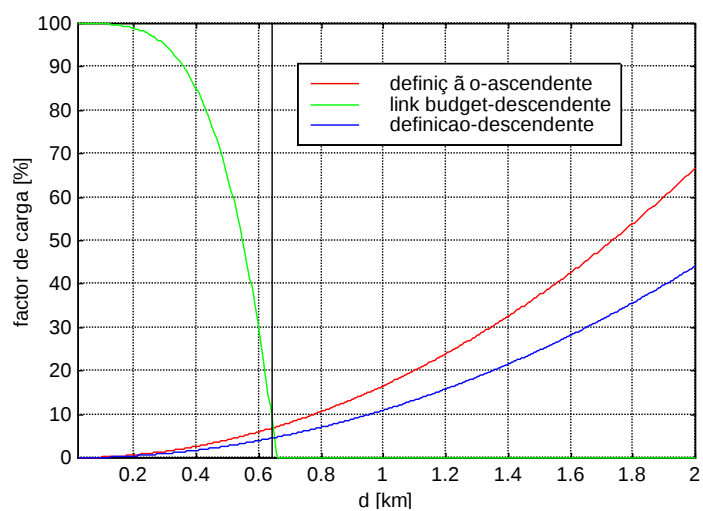
Figura L.4 – Raio e factores de carga em ambiente rural (Voz).



a) – Cenário interior.



b) – Cenário pedestre.



c) – Cenário veicular

Figura L.5 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (64 kbps, CS).

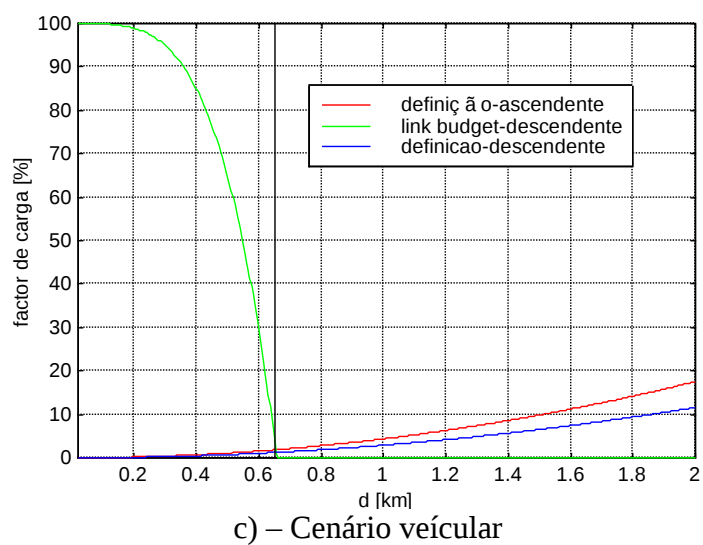
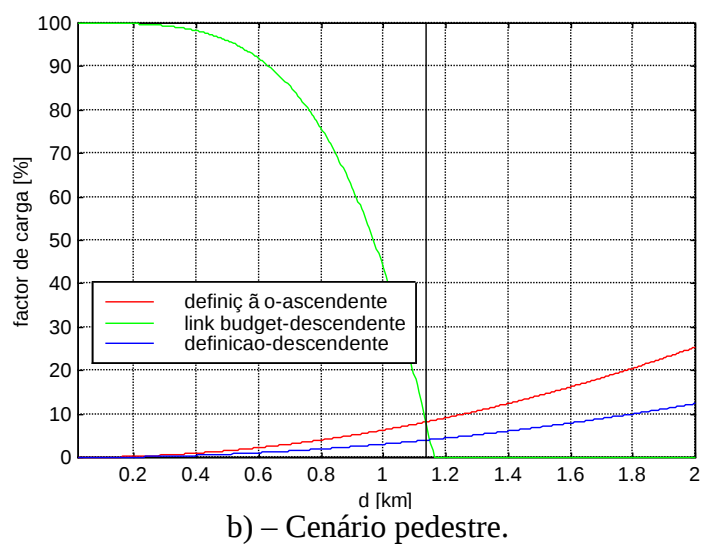
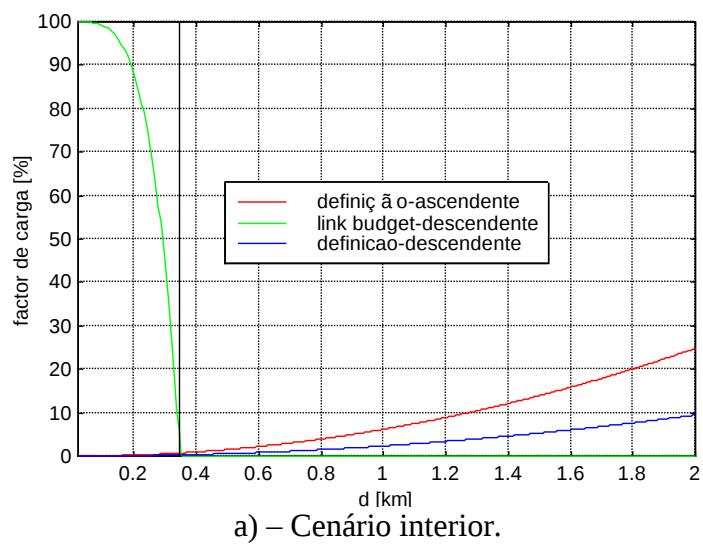
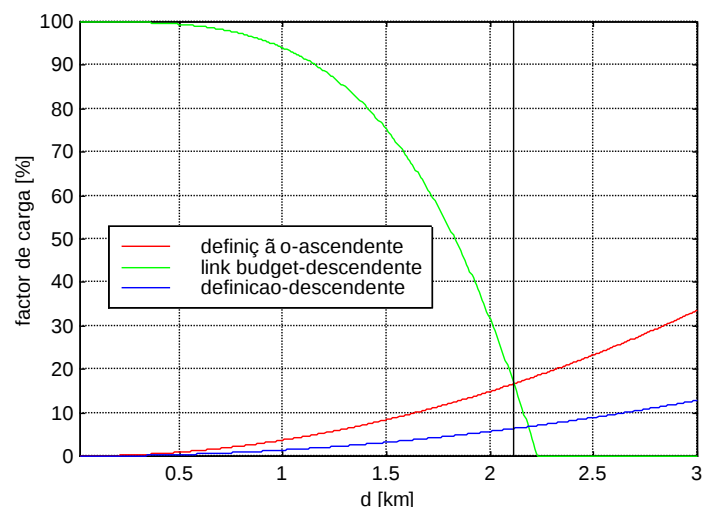
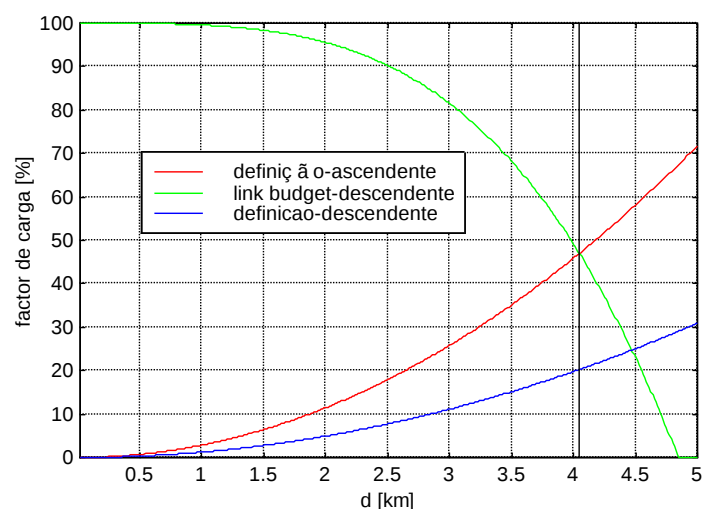


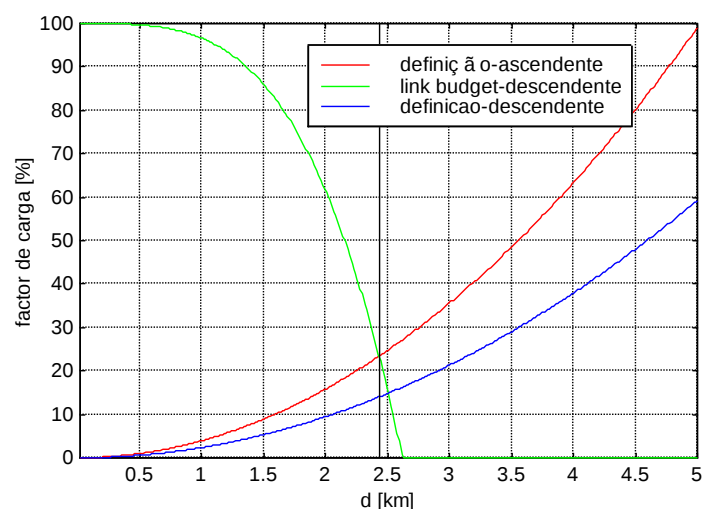
Figura L.6 – Raio e factores de carga em ambiente urbano (64 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

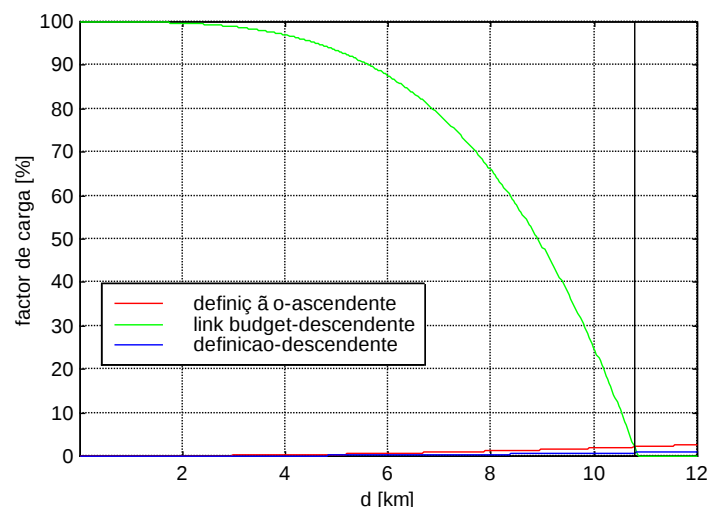


b) – Cenário pedestre.

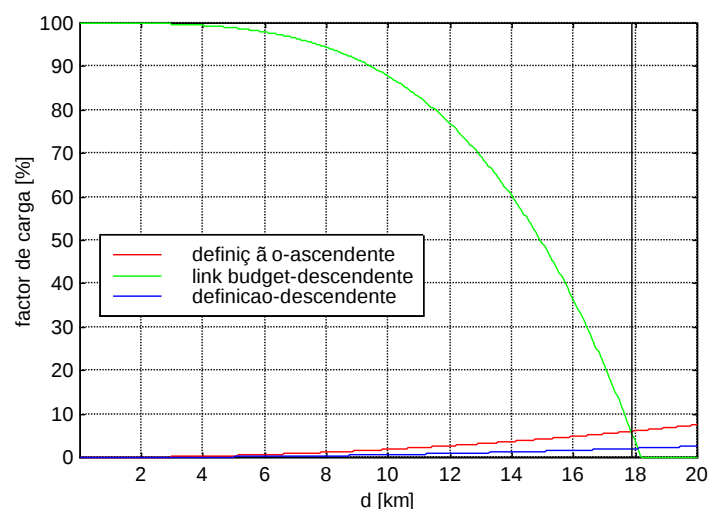


c) – Cenário veicular

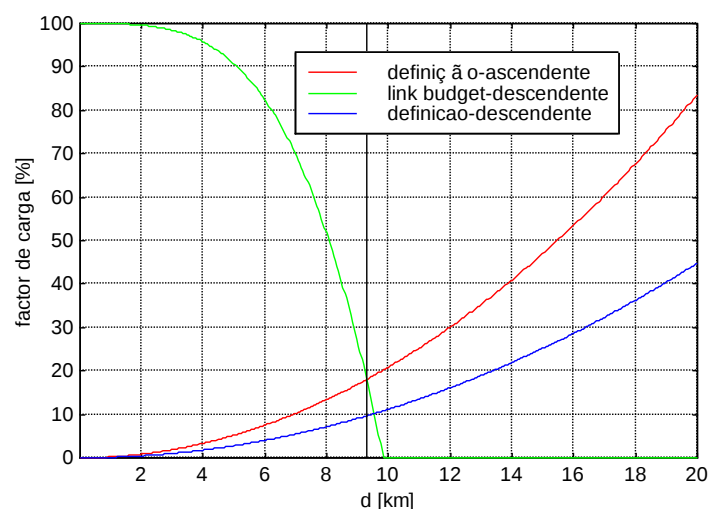
Figura L.7 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (64 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

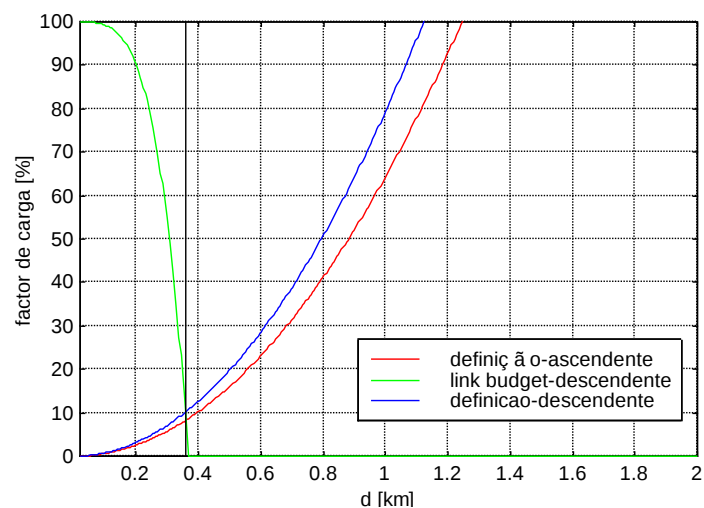


b) – Cenário pedestre.

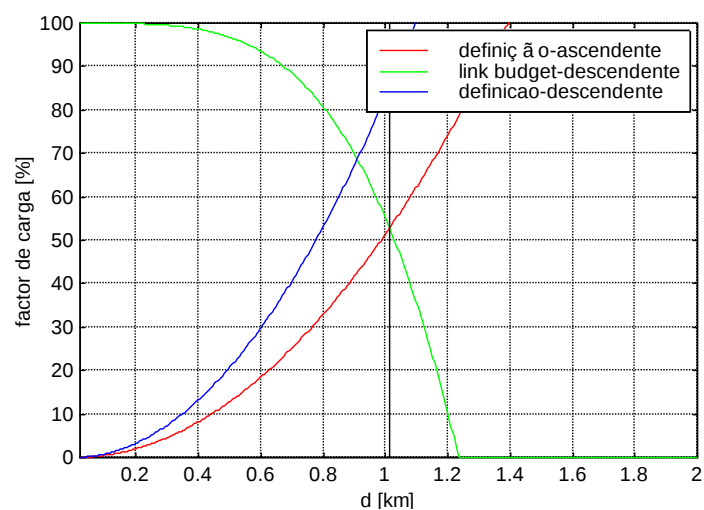


c) – Cenário veicular

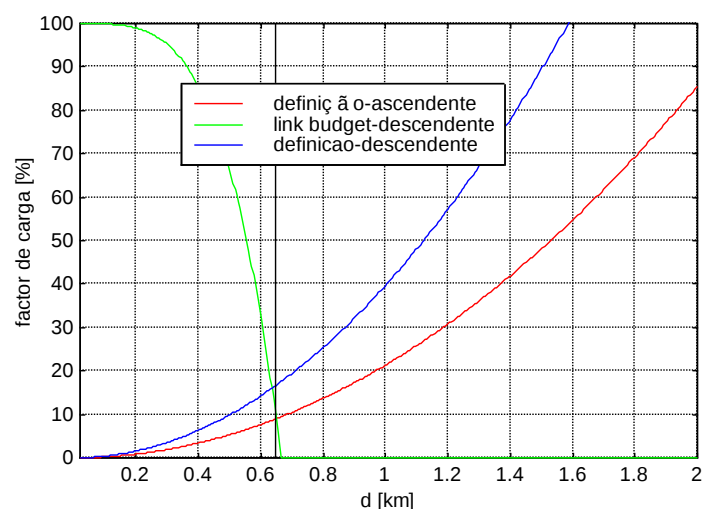
Figura L.8 – Raio e factores de carga em ambiente rural (64 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

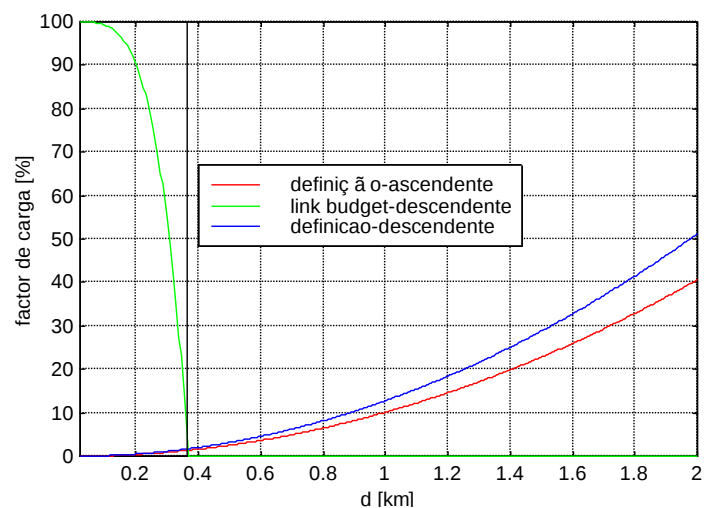


b) – Cenário pedestre.

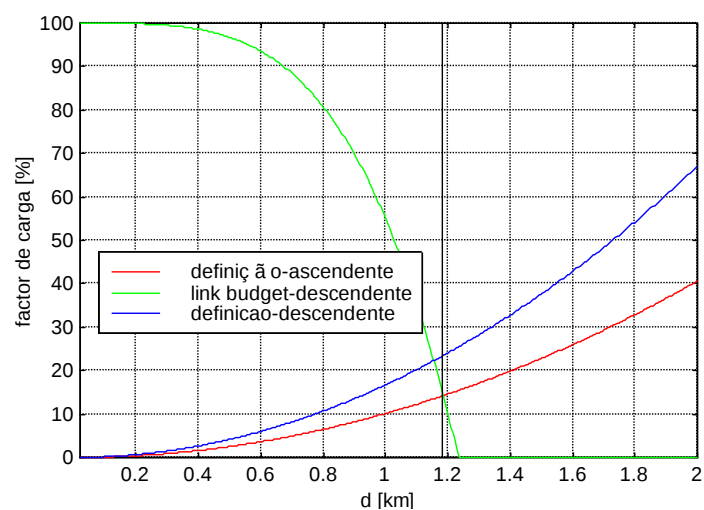


c) – Cenário veicular

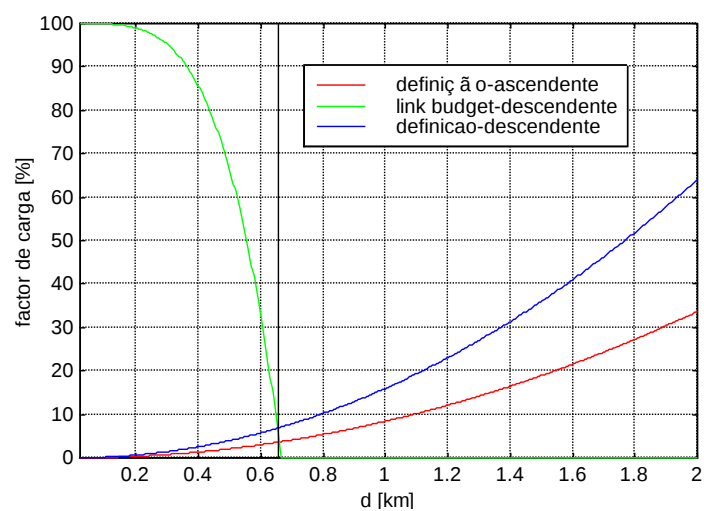
Figura L.9 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (64 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

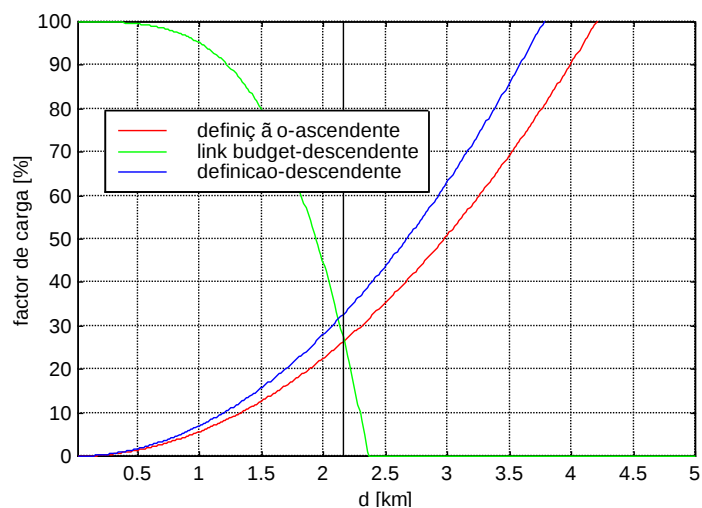


b) – Cenário pedestre.

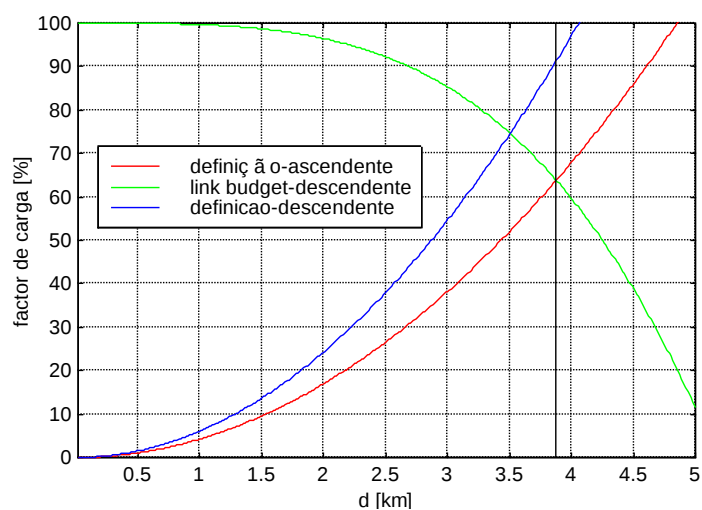


c) – Cenário veicular

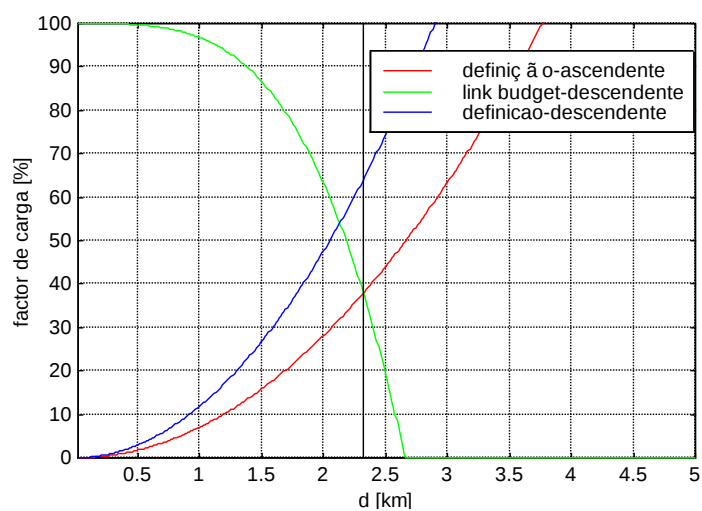
Figura L.10 – Raio e factores de carga em ambiente urbano (64 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

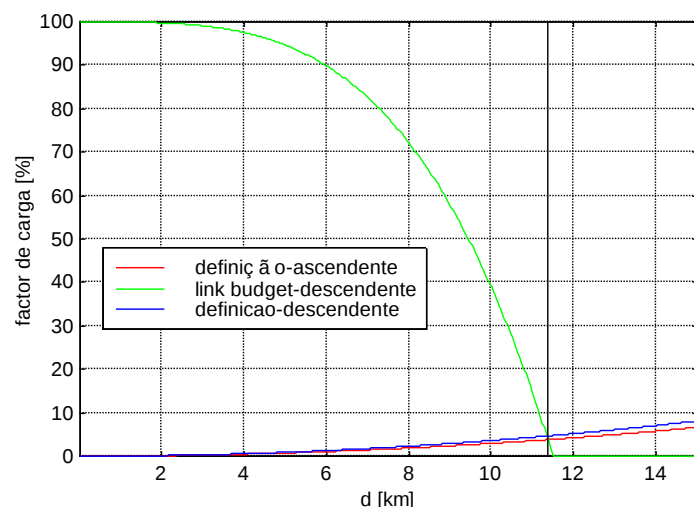


b) – Cenário pedestre.

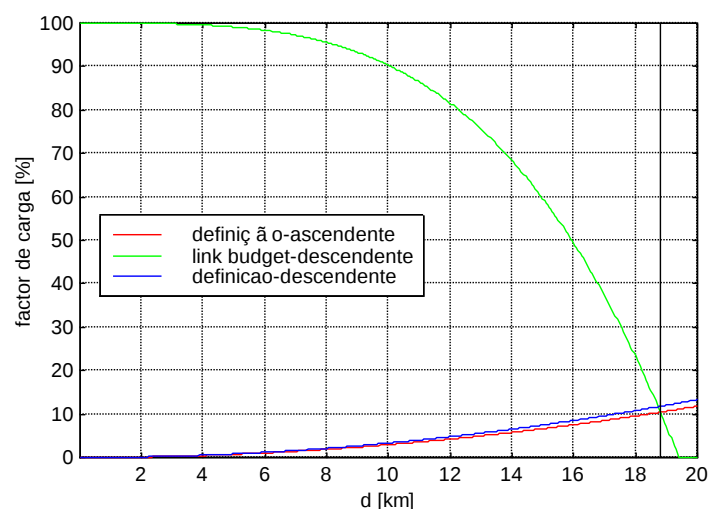


c) – Cenário veicular

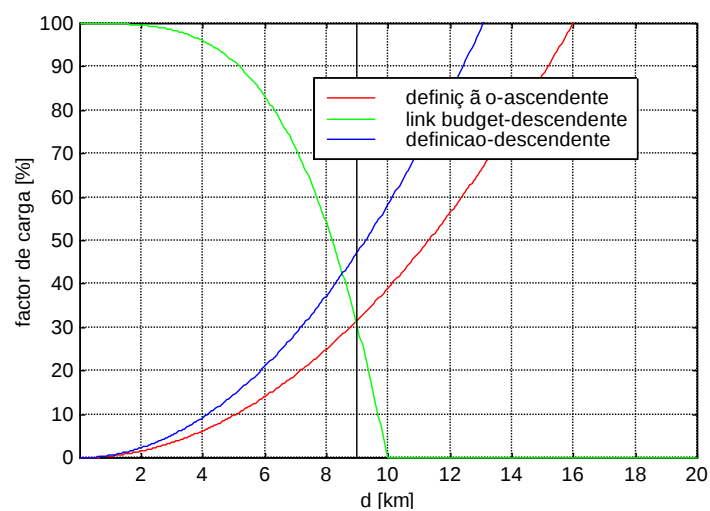
Figura L.11 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (64 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

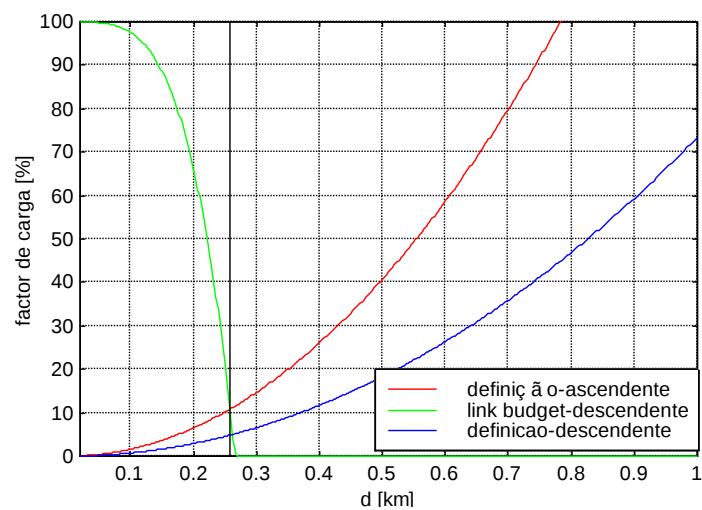


b) – Cenário pedestre.

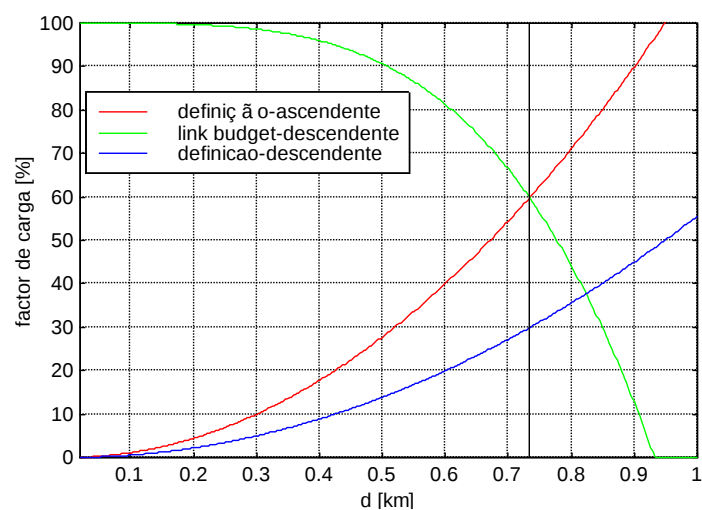


c) – Cenário veicular

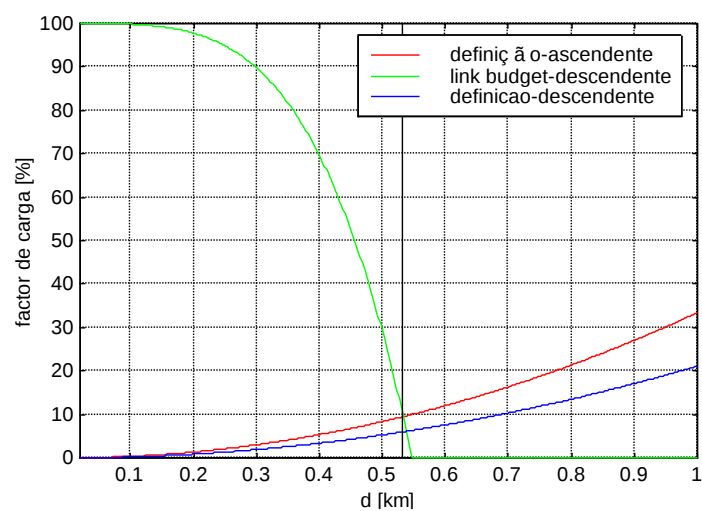
Figura L.12 – Raio e factores de carga em ambiente rural (64 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

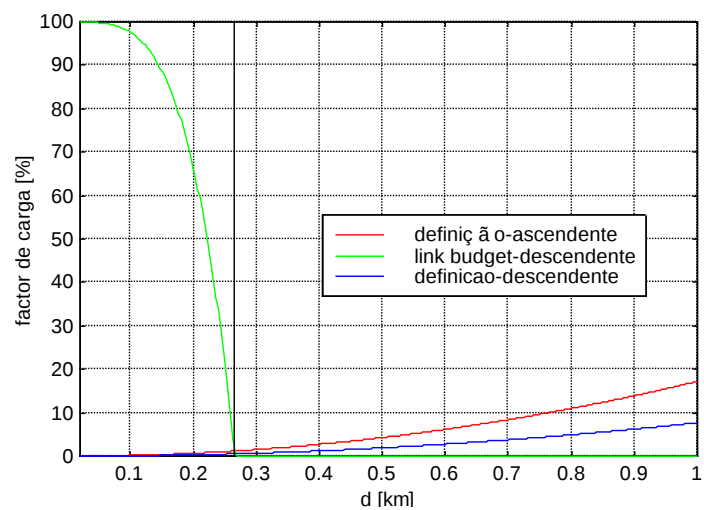


b) – Cenário pedestre.

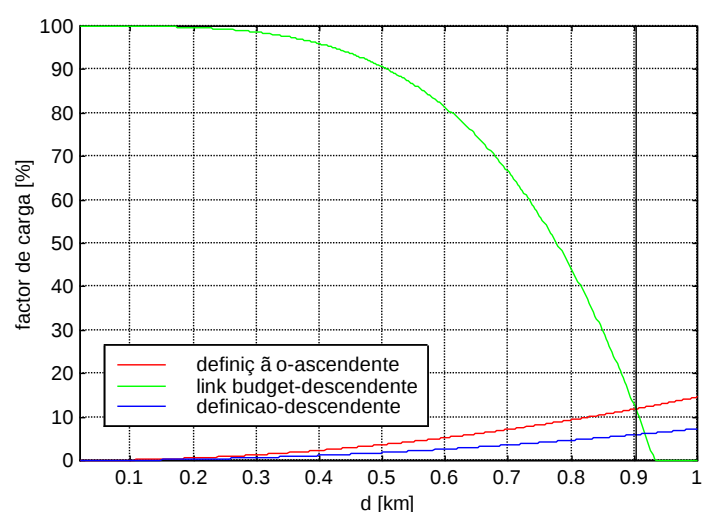


c) – Cenário veicular

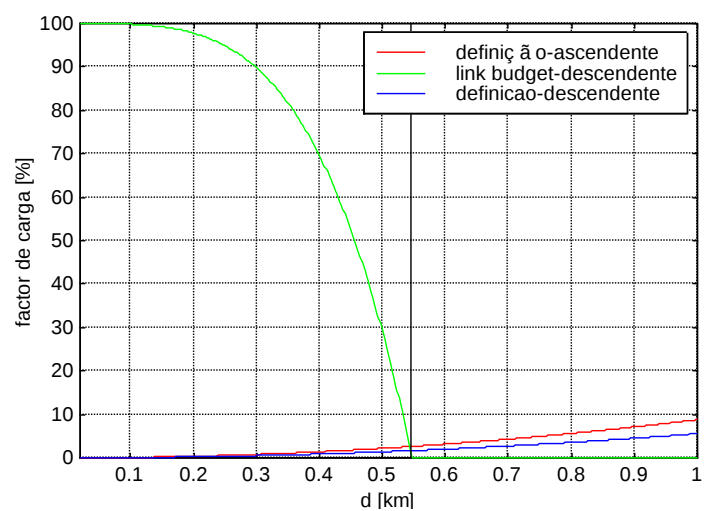
Figura L.13 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (144 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

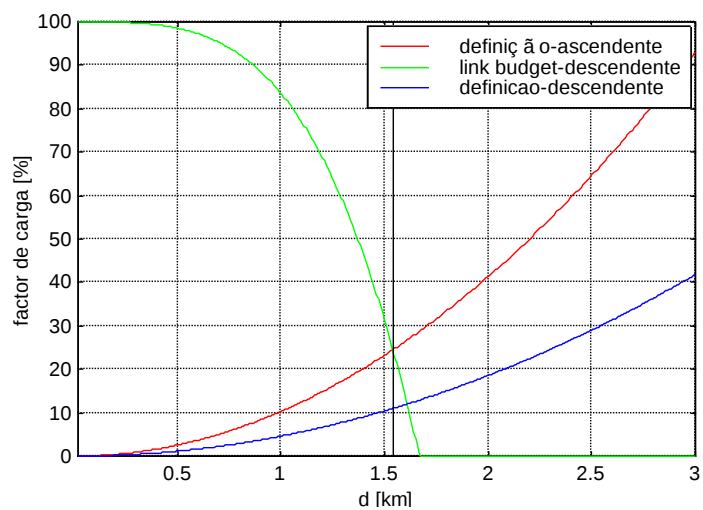


b) – Cenário pedestre.

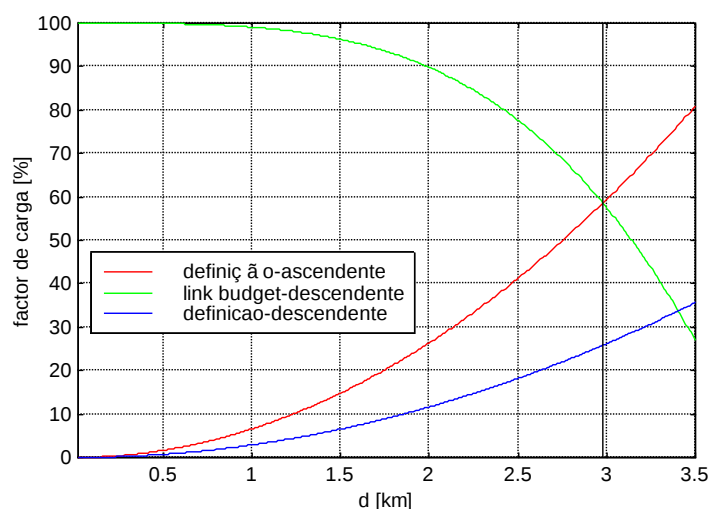


c) – Cenário veicular

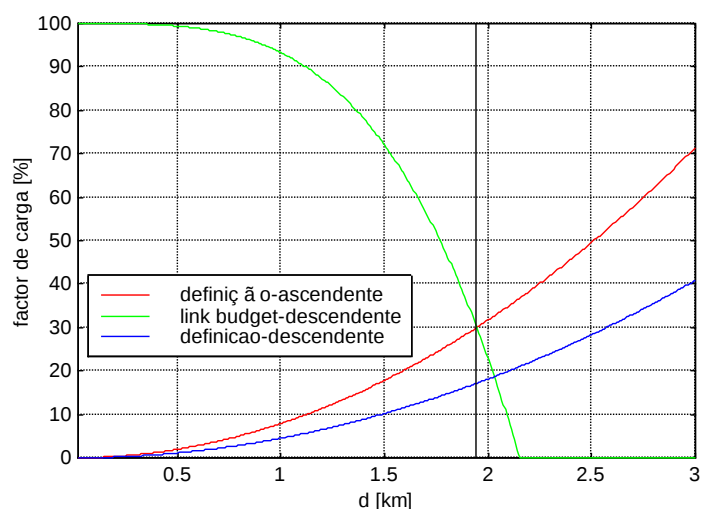
Figura L.14 – Raio e factores de carga em ambiente urbano (144 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

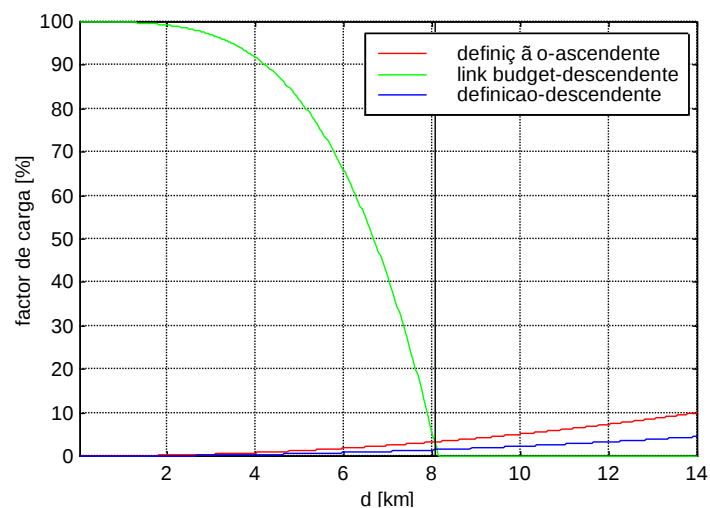


b) – Cenário pedestre.

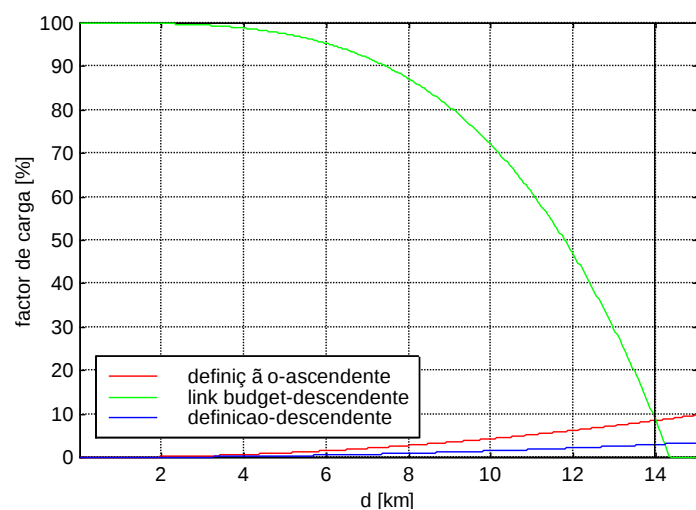


c) – Cenário veicular

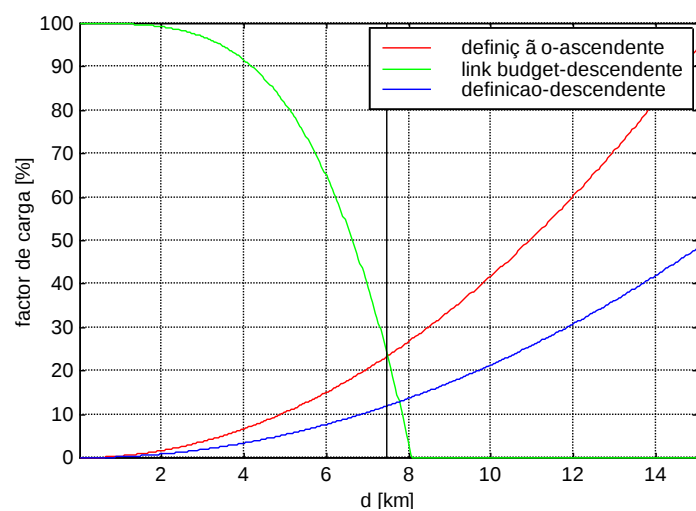
Figura L.15 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (144 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

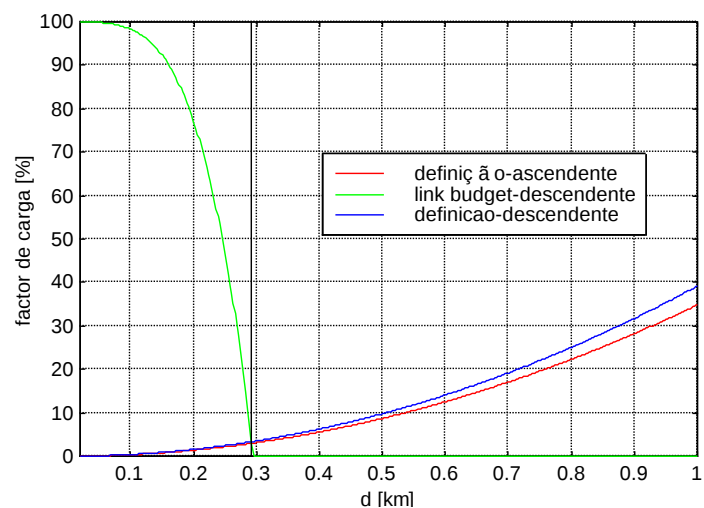


b) – Cenário pedestre.

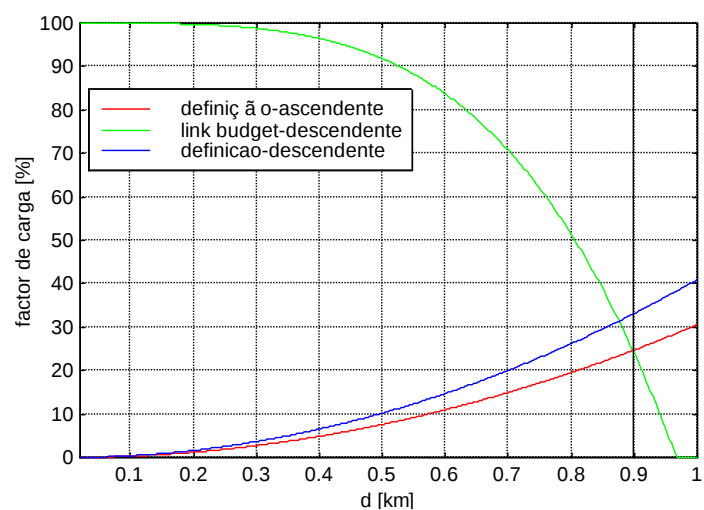


c) – Cenário veicular

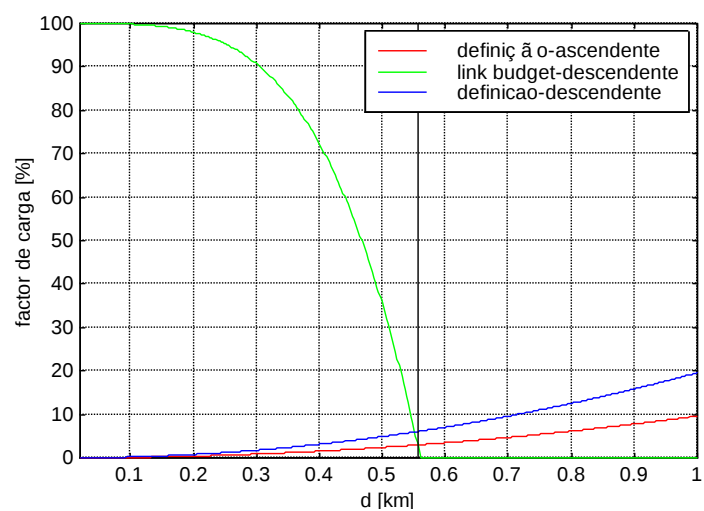
Figura L.16 – Raio e factores de carga em ambiente rural (144 kbps, CS).



a) – Cenário interior.

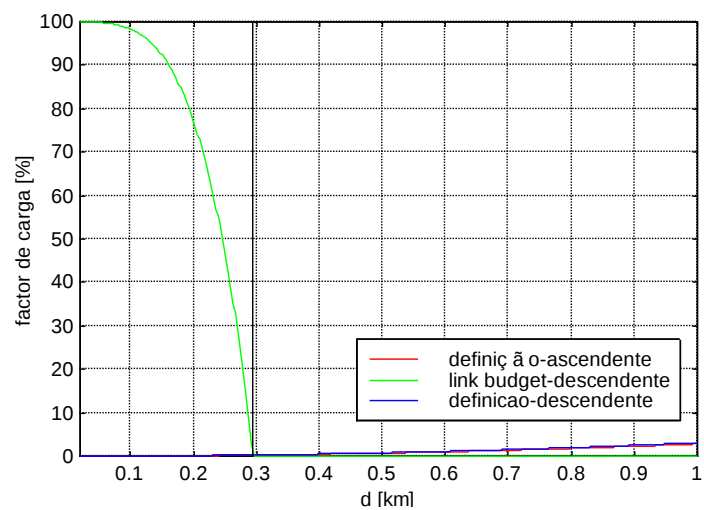


b) – Cenário pedestre.

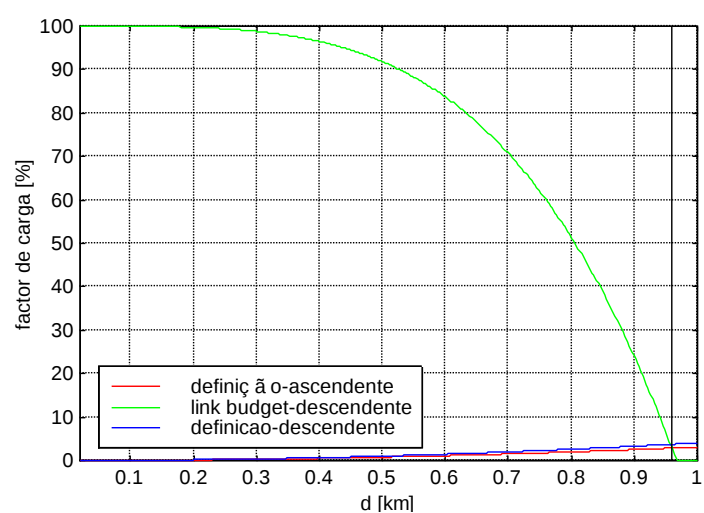


c) – Cenário veicular

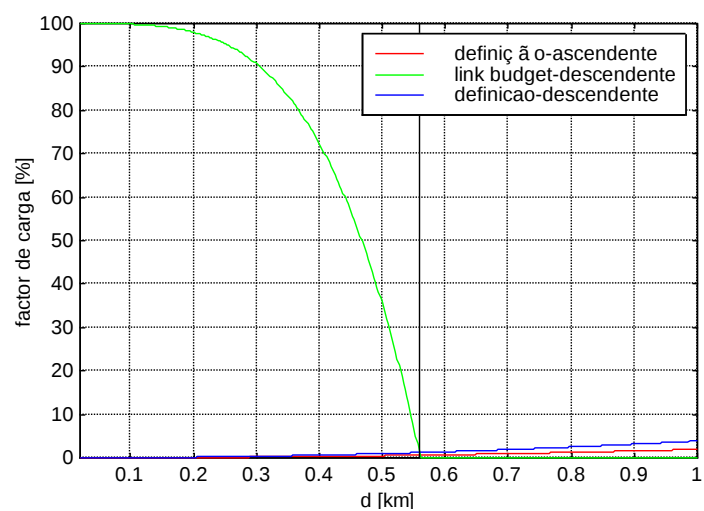
Figura L.17 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (144 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

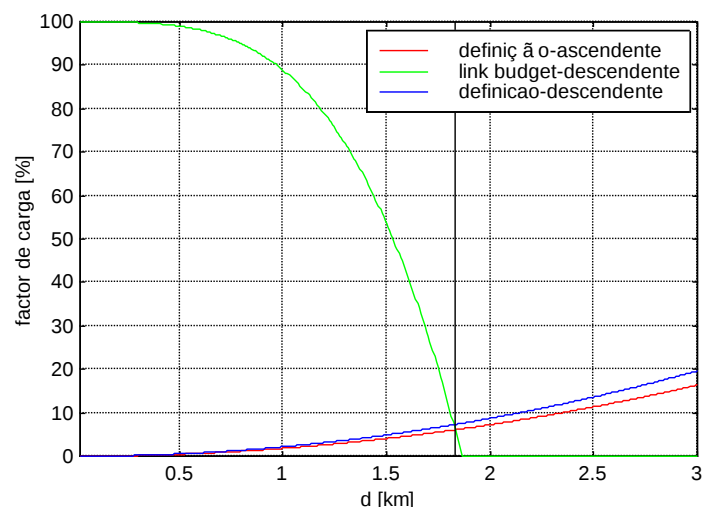


b) – Cenário pedestre.

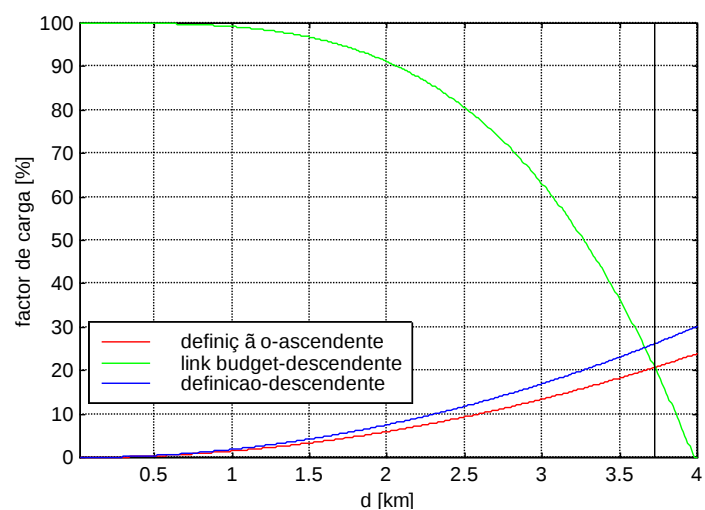


c) – Cenário veicular

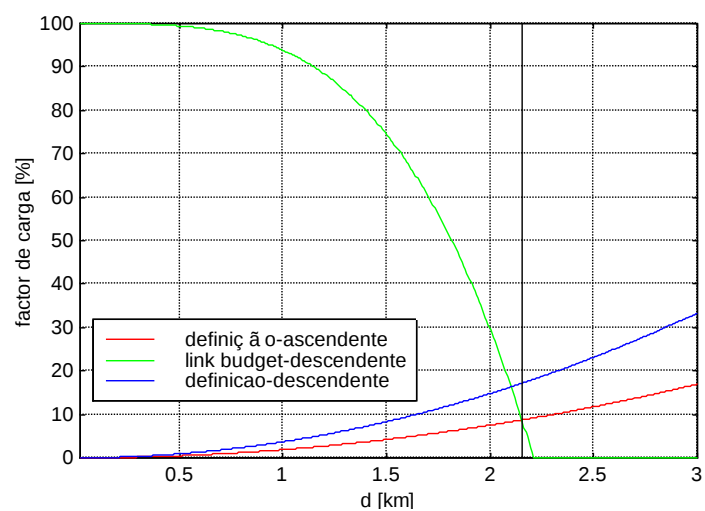
Figura L.18 – Raio e factores de carga em ambiente urbano (144 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

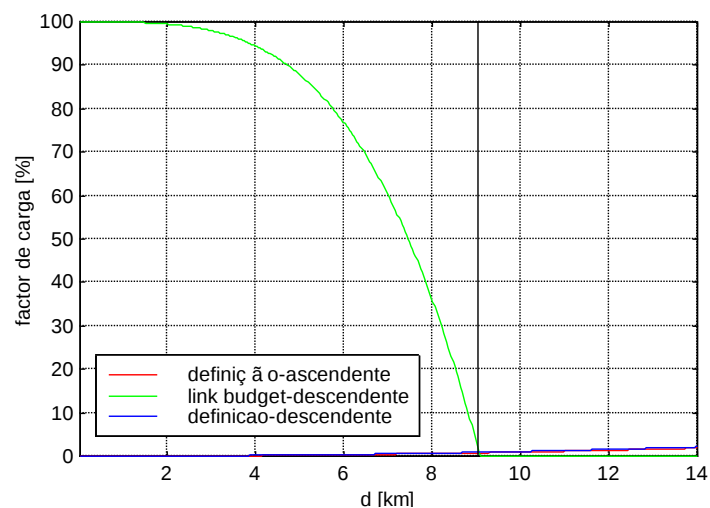


b) – Cenário pedestre.

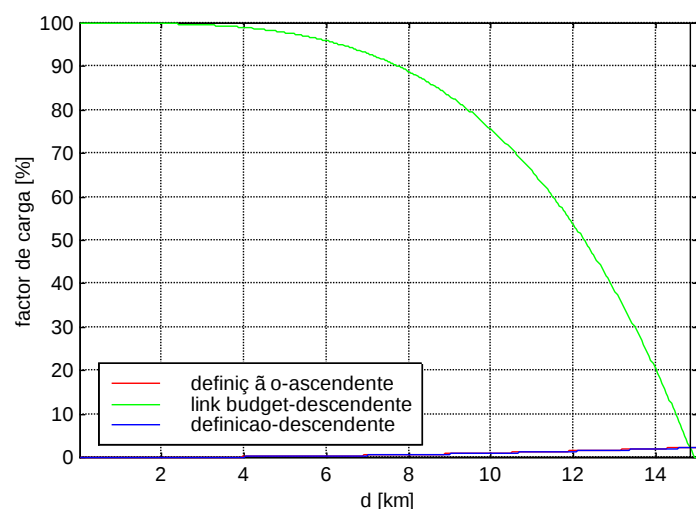


c) – Cenário veicular

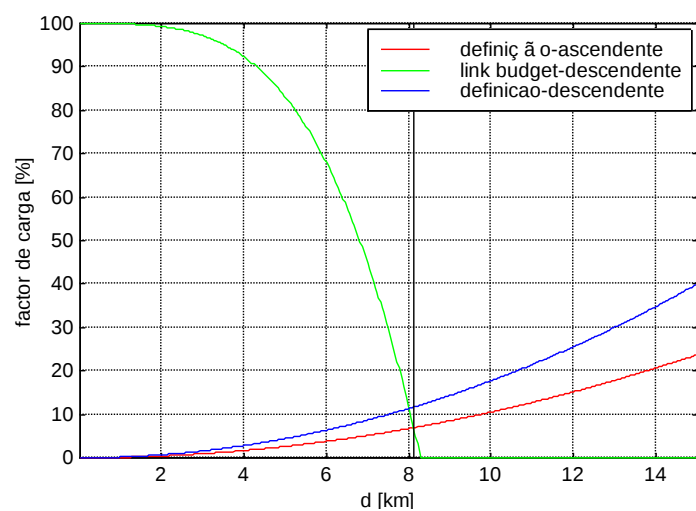
Figura L.19 – Raio e factores de carga em ambiente suburbano (144 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

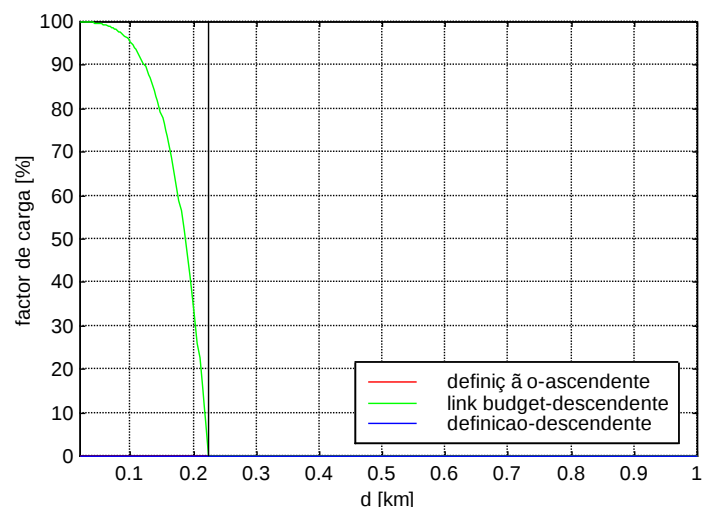


b) – Cenário pedestre.

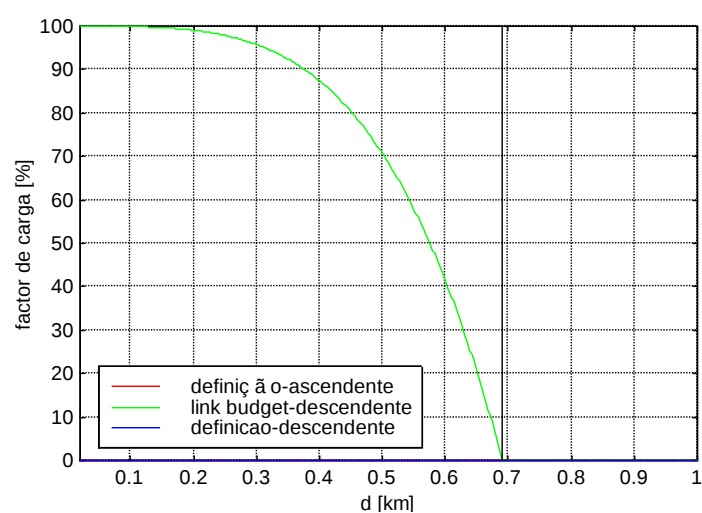


c) – Cenário veicular

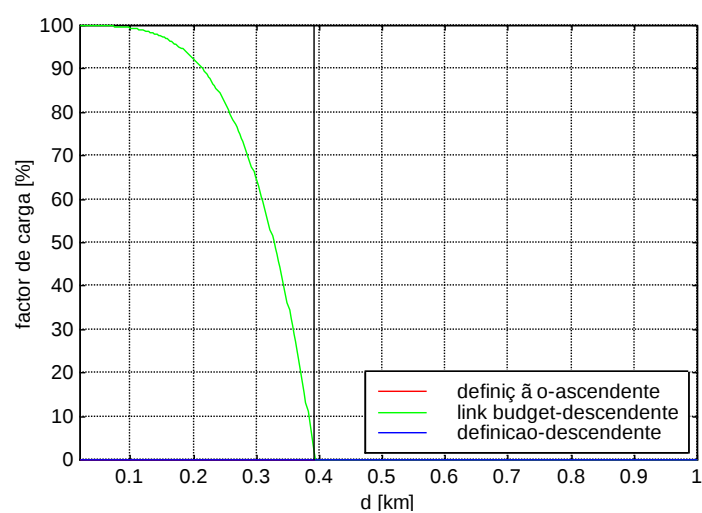
Figura L.20 – Raio e factores de carga em ambiente rural (144 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

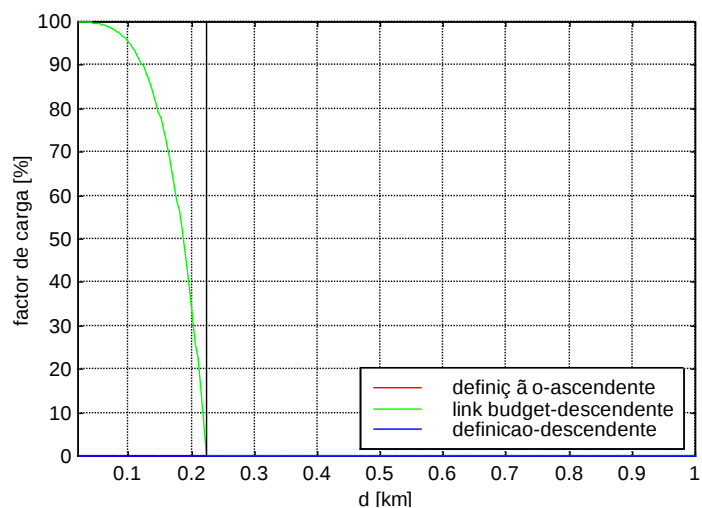


b) – Cenário pedestre.

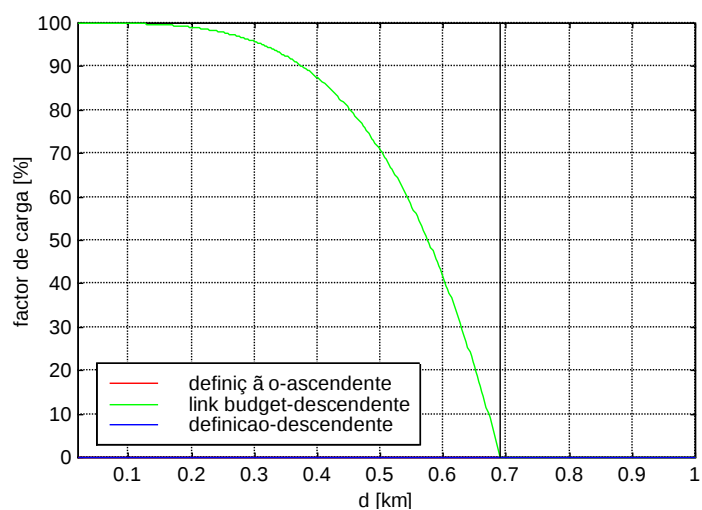


c) – Cenário veicular

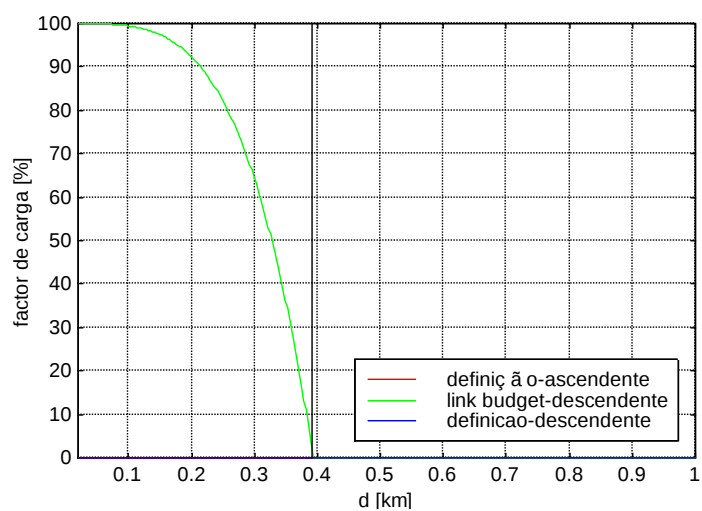
Figura L.21 – Raio e factores de carga em ambiente urbano denso (384 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

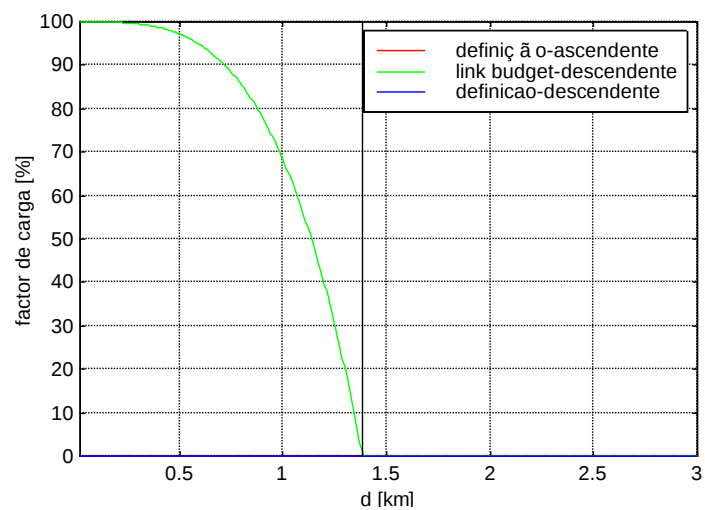


b) – Cenário pedestre.

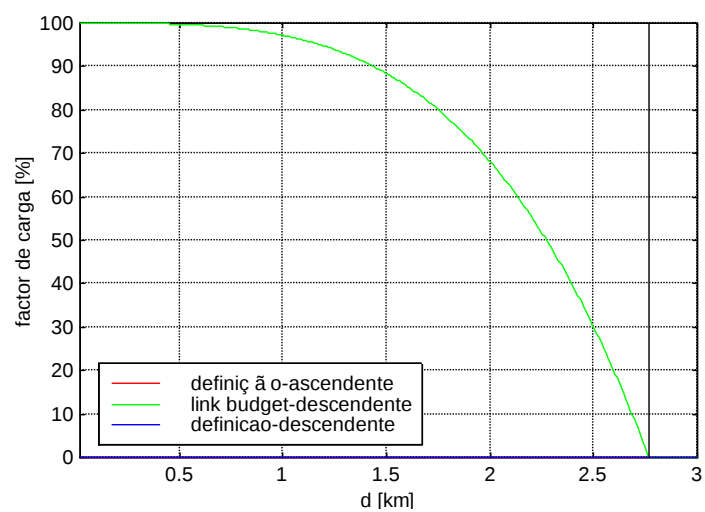


c) – Cenário veicular

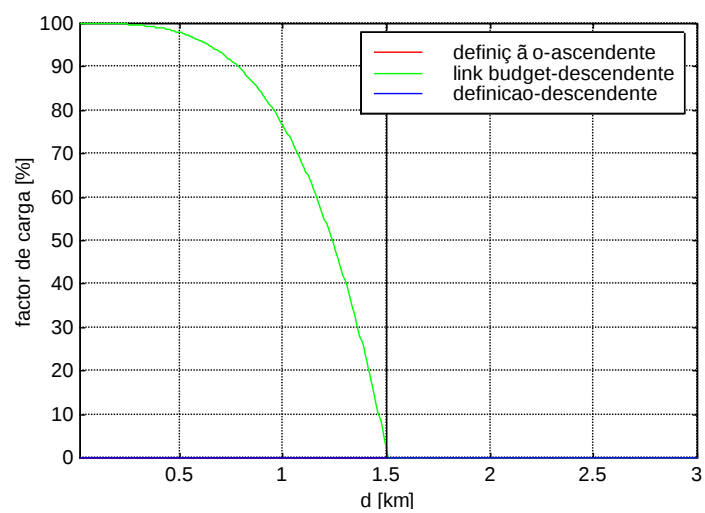
Figura L.22 – Raios e factores de carga em ambiente urbano (384 kbps, PS).



a) – Cenário interior.

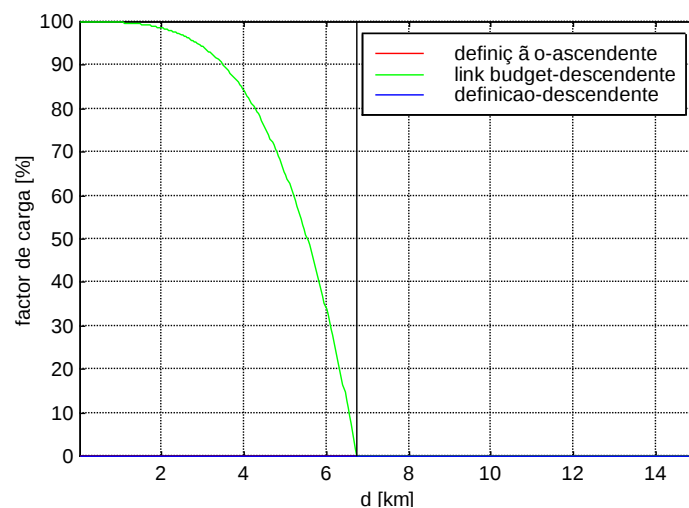


b) – Cenário pedestre.

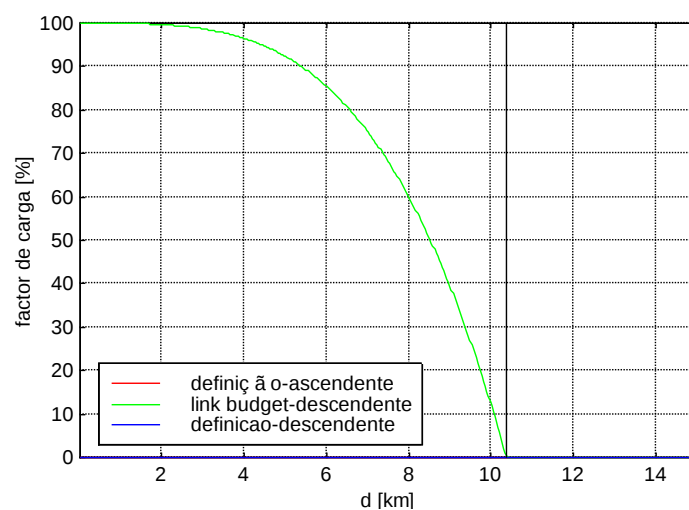


c) – Cenário veicular

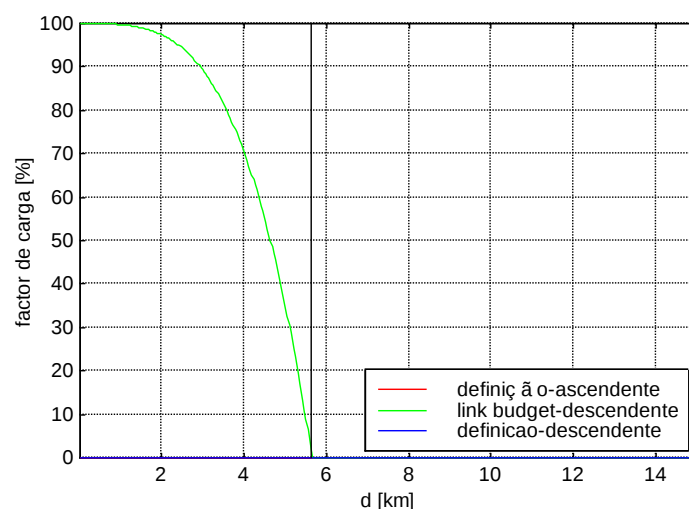
Figura L.23 – Raios e factores de carga em ambiente suburbano (384 kbps, PS).



a) – Cenário interior.



b) – Cenário pedestre.



c) – Cenário veicular

Figura L.24 – Raios e factores de carga em ambiente rural (384 kbps, PS).

Os resultados que sintetizam a informação contida nas Figuras L.1 a L.24 são exibidos na Tabela L.1.

Cenário		Voz		
		CS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL
Urbano Denso	Interior	0,36	19,7	12,8
	Pedestre	0,83	82,1	69,7
	Veícular	0,68	20,2	23,7
Urbano	Interior	0,38	3,0	1,9
	Pedestre	1,18	28,3	24,0
	Veícular	0,70	7,3	8,6
Suburbano	Interior	2,07	48,0	31,2
	Pedestre	3,18	84,9	63,6
	Veícular	2,23	60,4	64,4
Rural	Interior	11,84	8,2	5,3
	Pedestre	19,07	21,4	12,8
	Veícular	8,80	52,8	50,3

a)– Raios e factores de carga considerando apenas serviço de voz.

Cenário		64 kbps					
		CS			PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL		UL	DL
Urbano Denso	Interior	0,34	6,8	2,6	0,36	8,4	10,3
	Pedestre	0,98	46,9	22,9	1,01	52,6	84,8
	Veícular	0,64	6,9	4,6	0,65	9,0	16,7
Urbano	Interior	0,36	0,7	0,3	0,37	1,4	1,7
	Pedestre	1,13	8,2	4,0	1,18	14,2	23,4
	Veícular	0,65	1,9	1,2	0,66	3,6	6,9
Suburbano	Interior	2,11	16,7	6,4	2,16	26,4	32,8
	Pedestre	4,04	46,9	20,3	3,87	63,6	91,0
	Veícular	2,44	23,5	14,1	2,32	38,1	64,3
Rural	Interior	10,78	2,2	0,8	1,38	3,8	4,7
	Pedestre	17,87	6,1	2,1	18,8	10,5	11,8
	Veícular	9,30	18,1	9,7	8,96	31,5	47,0

b)– Raios e factores de carga considerando apenas serviço de 64 kbps.

Cenário		144 kbps					
		CS			PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL			UL
Urbano Denso	Interior	0,26	10,8	4,8	0,29	3,0	3,3
	Pedestre	0,73	59,8	29,9	0,90	24,7	33,1
	Veícular	0,53	9,5	5,6	0,56	3,0	6,1
Urbano	Interior	0,26	1,2	0,5	0,29	0,2	0,3
	Pedestre	0,90	11,9	6,0	0,96	2,9	3,7
	Veícular	0,54	2,6	1,6	0,56	0,6	1,2
Suburbano	Interior	1,54	24,5	11,0	1,83	6,1	7,3
	Pedestre	2,98	58,7	25,9	3,73	20,8	26,2
	Veícular	1,94	30,0	17,2	2,15	8,7	17,2
Rural	Interior	8,06	3,3	1,5	9,04	0,8	0,9
	Pedestre	14,97	8,5	3,0	14,83	2,3	2,2
	Veícular	7,47	23,4	12,0	6,95	8,1	11,7

c) – Raios e factores de carga considerando apenas serviço de 144 kbps.

Cenário		384 kbps		
		PS		
		d_{ef} [km]	Factor de carga [%]	
			UL	DL
Urbano Denso	Interior	0,22	0,0	0,0
	Pedestre	0,69	0,0	0,0
	Veícular	0,39	0,0	0,0
Urbano	Interior	0,22	0,0	0,0
	Pedestre	0,69	0,0	0,0
	Veícular	0,39	0,0	0,0
Suburbano	Interior	1,38	0,0	0,0
	Pedestre	2,76	0,0	0,0
	Veícular	1,50	0,0	0,0
Rural	Interior	6,72	0,0	0,0
	Pedestre	10,36	0,0	0,0
	Veícular	5,63	0,0	0,0

d) – Raios e factores de carga considerando apenas serviço de 384 kbps.

Tabela L.1 – Raios e factores de carga para os vários serviços de acordo com a perspectiva da Telecel Vodafone.

ANEXO M - DIMENSÕES E CARGAS DAS CÉLULAS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DAS PREVISÕES DE TRÁFEGO DA TELECEL VODAFONE CONSIDERANDO LIGAÇÕES MULTI-SERVIÇO

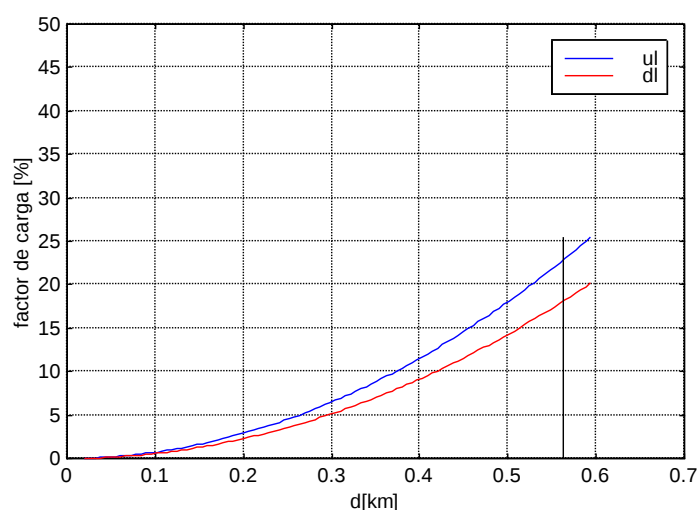
Neste anexo apresentam-se as figuras referentes à dimensão, potência das BS e carga nas células, obtidas a partir dos dados fornecidos pela Telecel Vodafone (Anexo E) e dos balanços de potência (Anexo F). As figuras foram obtidas através do método analítico descrito na Secção 3.2 e permitem concluir sobre quais as dimensões das células que garantem um equilíbrio entre as ligações ascendente e descendente e qual a carga sobre a célula em cada um destes dois sentidos da ligação bidireccional. Analisam-se algumas situações distintas: na primeira obtêm-se valores, considerando a existência de serviços até 384 kbps, procurando também qualificar o impacto das perdas de penetração em interiores sobre um dimensionamento de rede; numa segunda hipótese, só se considera a existência de serviços até 144 kbps, averiguando também o impacte da cobertura de ambientes interiores.

As Figuras M.1 a M.4 ilustram os resultados considerando serviços até 384 kbps numa fase de rede inicial. As Figuras M.5 a M.8 dizem respeito a uma fase de rede consolidada. Para estas Figuras M.1 a M.8 não há garantia de cobertura em interiores.

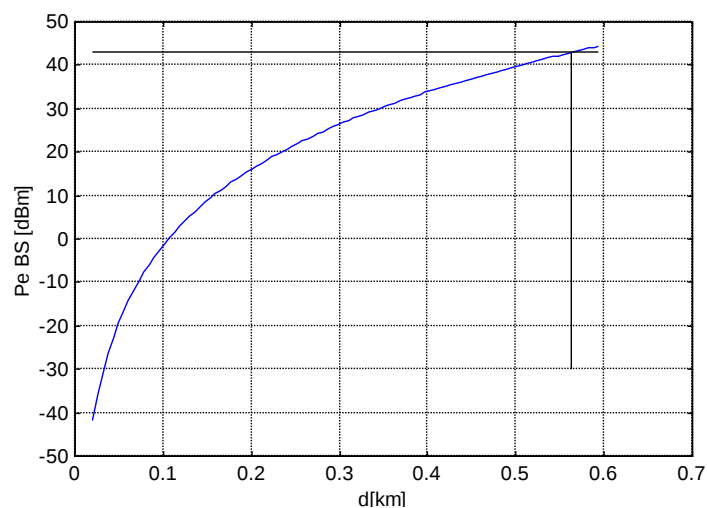
As Figuras M.9 a M.12 ilustram os resultados considerando serviços até 384 kbps numa fase de rede inicial. As Figuras M.13 a M.16 dizem respeito a uma fase de rede consolidada. Para estas Figuras M.9 a M.16 já há garantia de cobertura em interiores.

As Figuras M.17 a M.20 ilustram os resultados considerando serviços apenas até 144 kbps numa fase de rede inicial. As Figuras M.21 a M.24 dizem respeito a uma fase de rede consolidada. Para estas Figuras M.17 a M.24 não há garantia de cobertura em interiores.

As Figuras M.25 a M.28 ilustram os resultados considerando serviços também até 144 kbps numa fase de rede inicial. As Figuras M.29 a M.32 dizem respeito a uma fase de rede consolidada. Para estas Figuras M.25 a M.32 há garantia de cobertura em interiores.

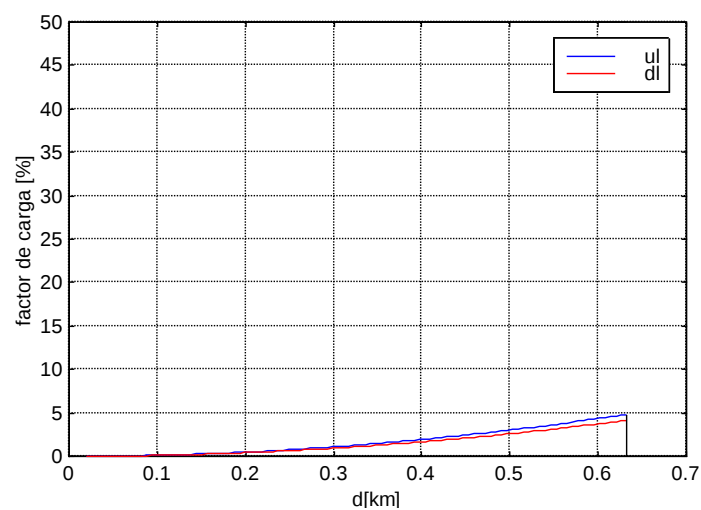


a) – Factor de carga.

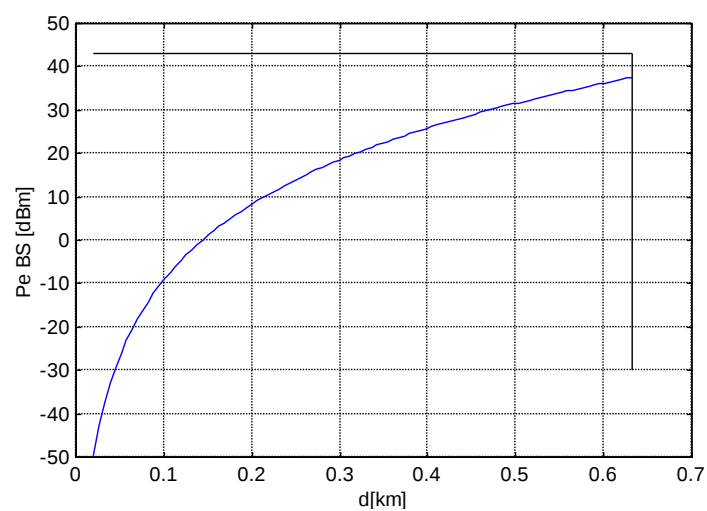


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura M.1 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano denso, rede inicial (até 384 kbps, sem interiores).

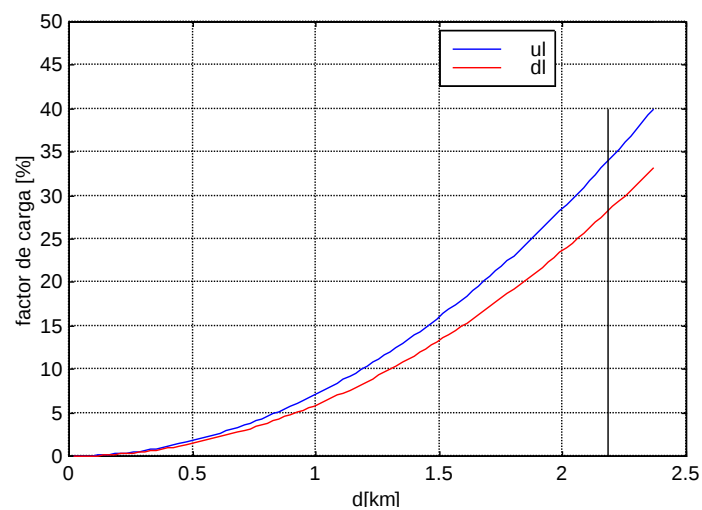


a) – Factor de carga.

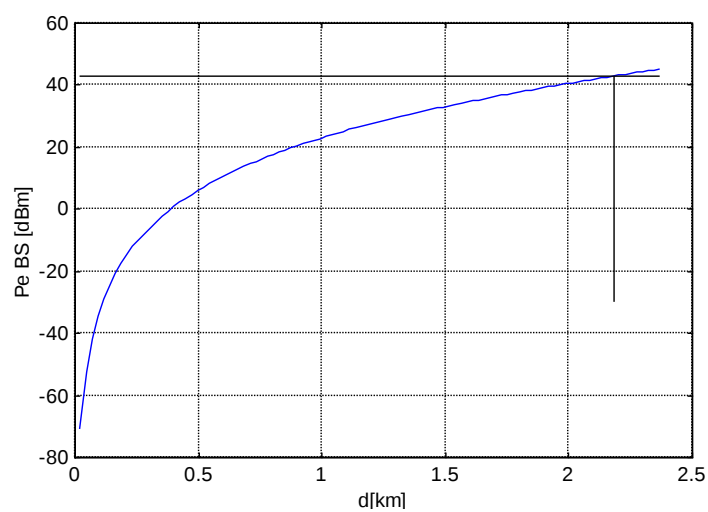


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura M.2 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano, rede inicial (até 384 kbps, sem interiores).

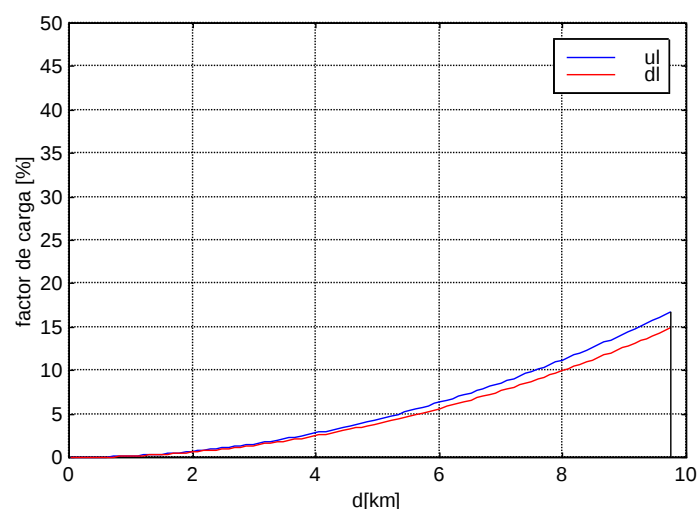


a) – Factor de carga.

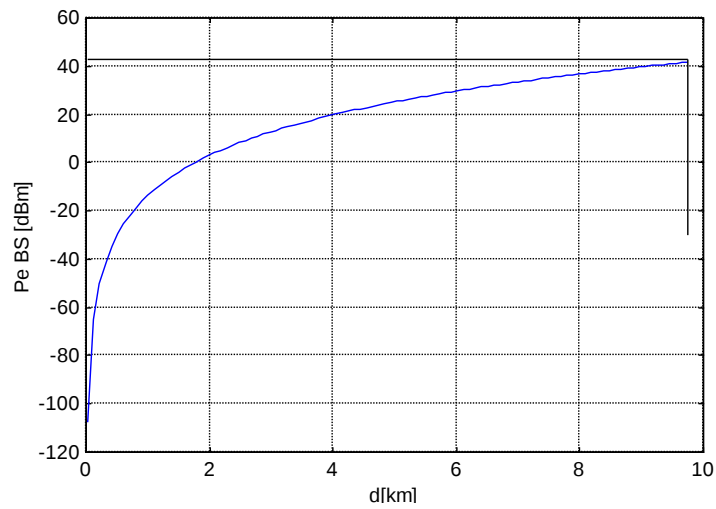


b) – Potência de emissão da estação de base.

Figura M.3 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente suburbano, rede inicial (até 384 kbps, sem interiores).

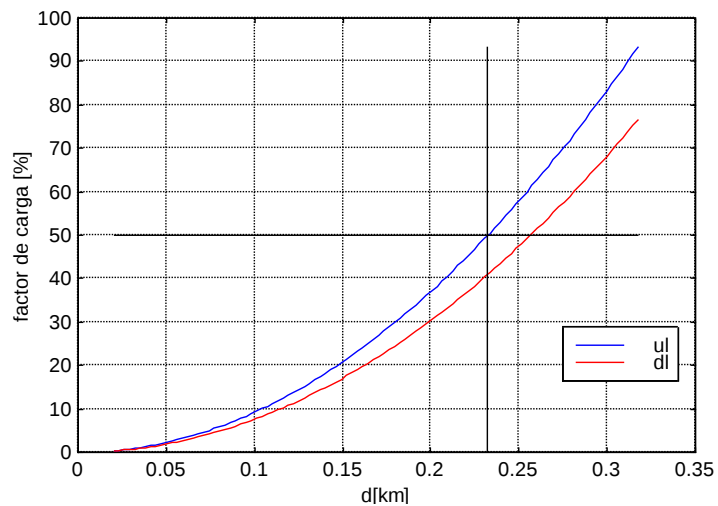


a) – Factor de carga.

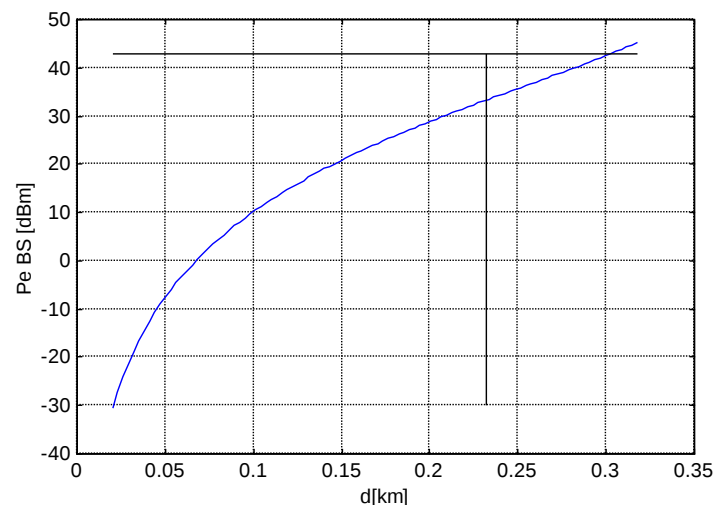


b) – Potência de emissão da estação de base.

Figura M.4 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente rural, rede inicial (até 384 kbps, sem interiores).

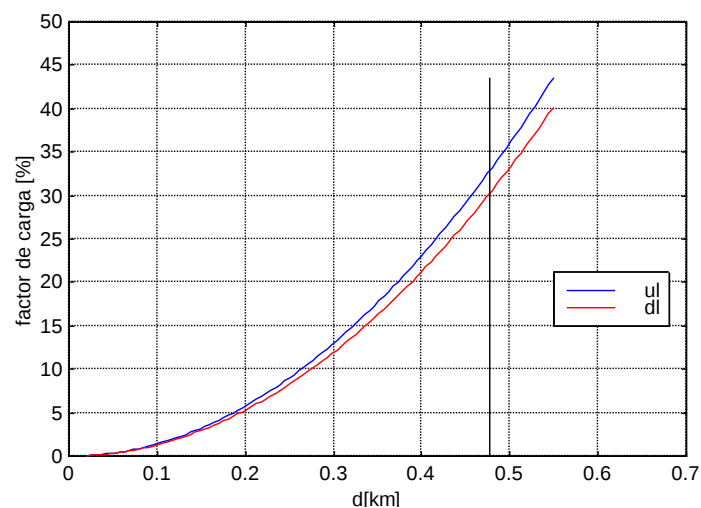


a) – Factor de carga.

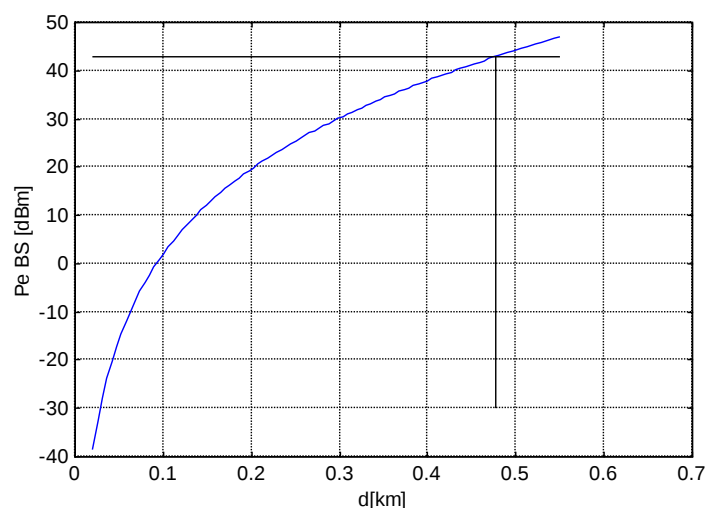


b) – Potência de emissão da estação de base.

Figura M.5 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano denso, rede consolidada (até 384 kbps, sem interiores).

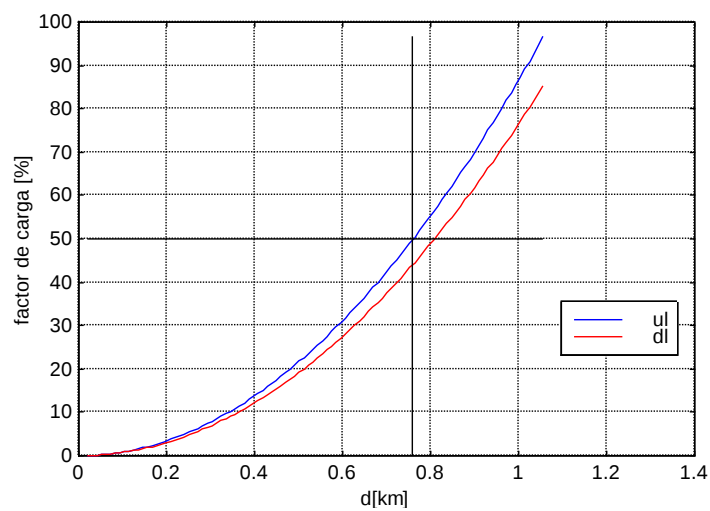


a) – Factor de carga.

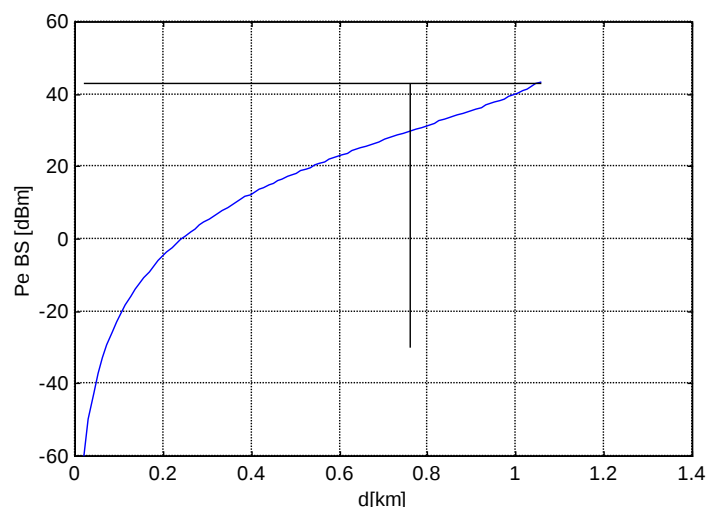


b) – Potência de emissão da estação de base.

Figura M.6 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano, rede consolidada (até 384 kbps, sem interiores).

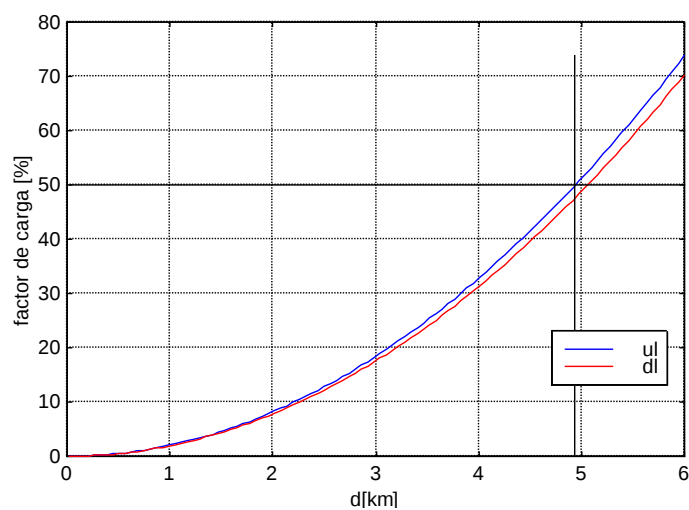


a) – Factor de carga.

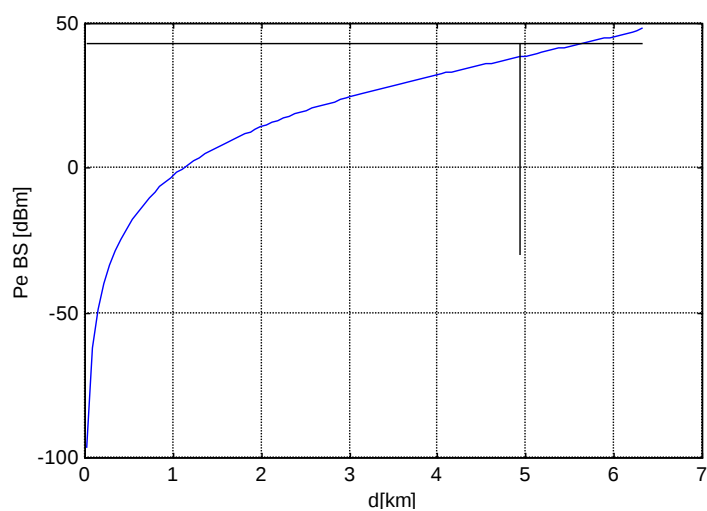


b) – Potência de emissão da estação de base.

Figura M.7 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente suburbano, rede consolidada (até 384 kbps, sem interiores).

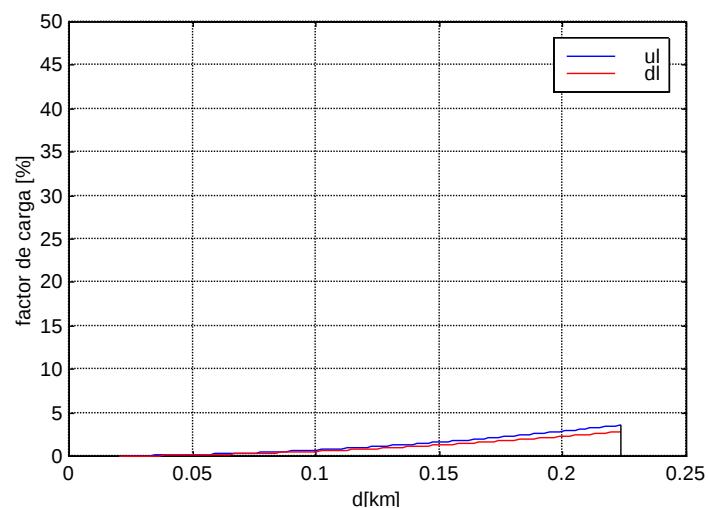


a) – Factor de carga.

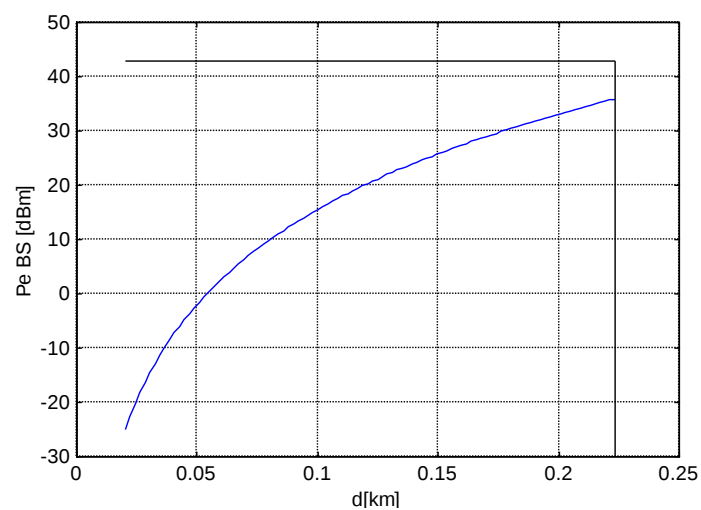


b) – Potência de emissão da estação de base.

Figura M.8 – Factor de carga e potência de emissão da estação base para ambiente rural, rede consolidada (até 384 kbps, sem interiores).

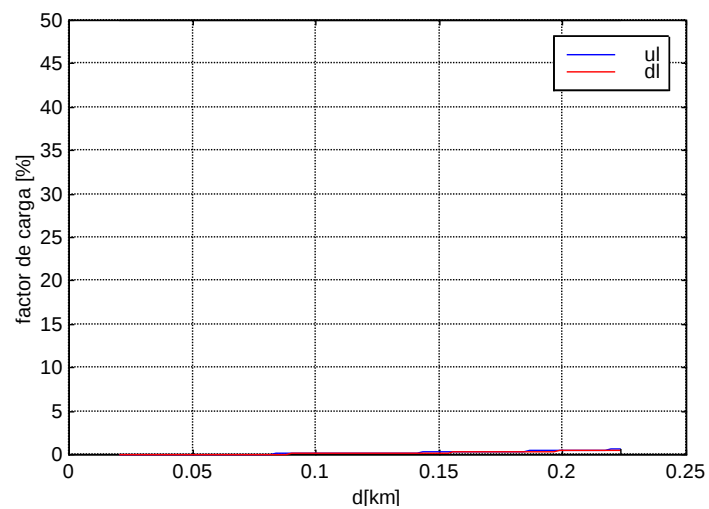


a) – Factor de carga.

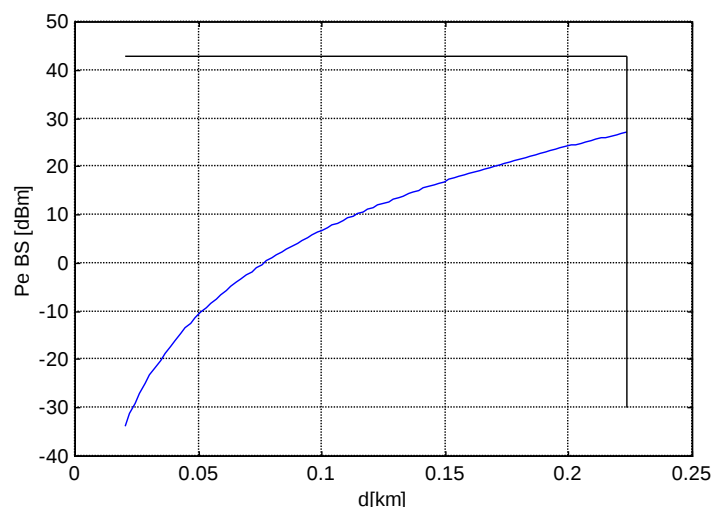


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura M.9 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano denso, rede inicial (até 384 kbps, interiores).

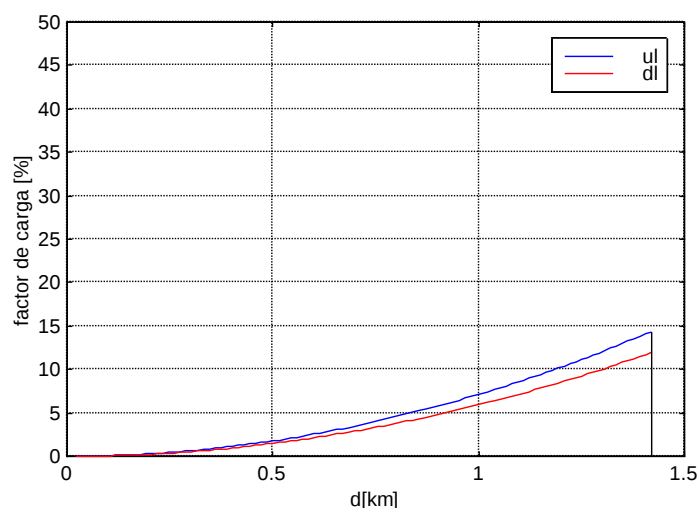


a) – Factor de carga.

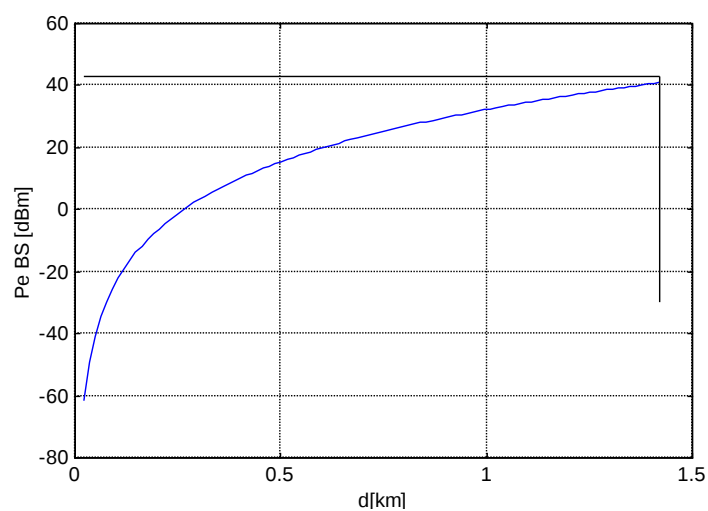


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura M.10 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano, rede inicial (até 384 kbps, interiores).

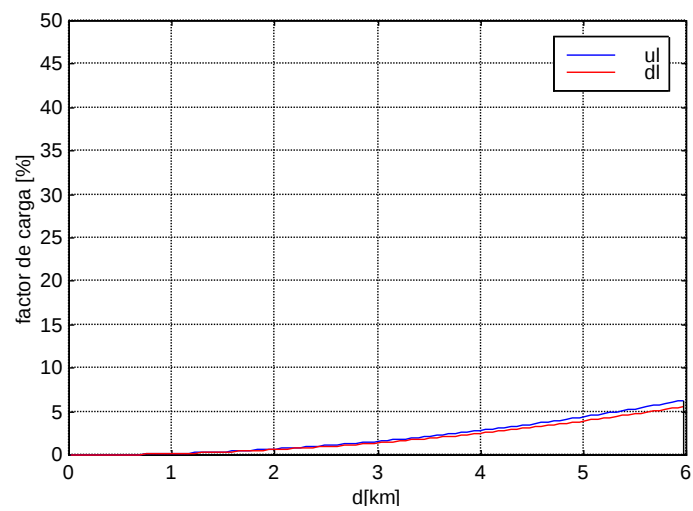


a) – Factor de carga.

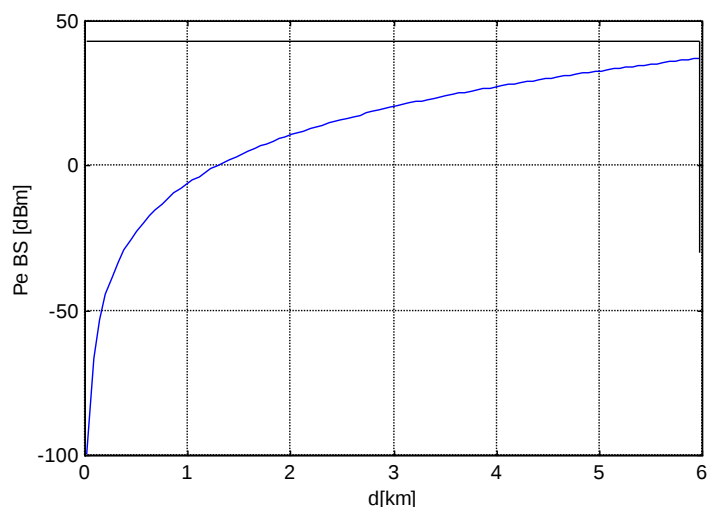


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura M.11 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente suburbano, rede inicial (até 384 kbps, interiores).

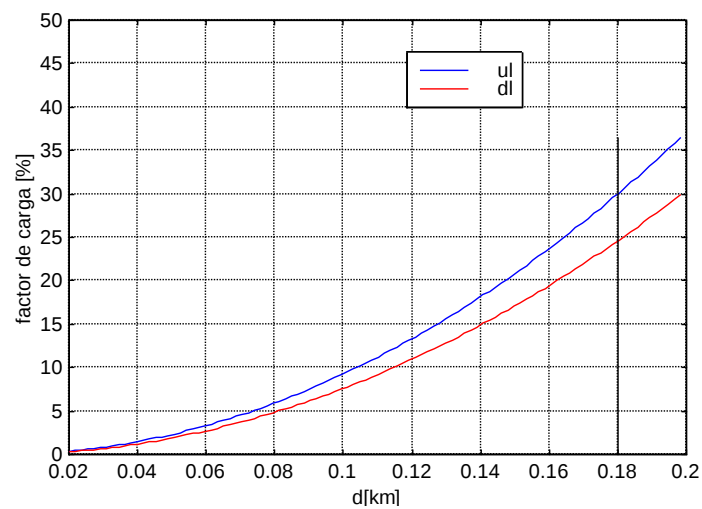


a) – Factor de carga.

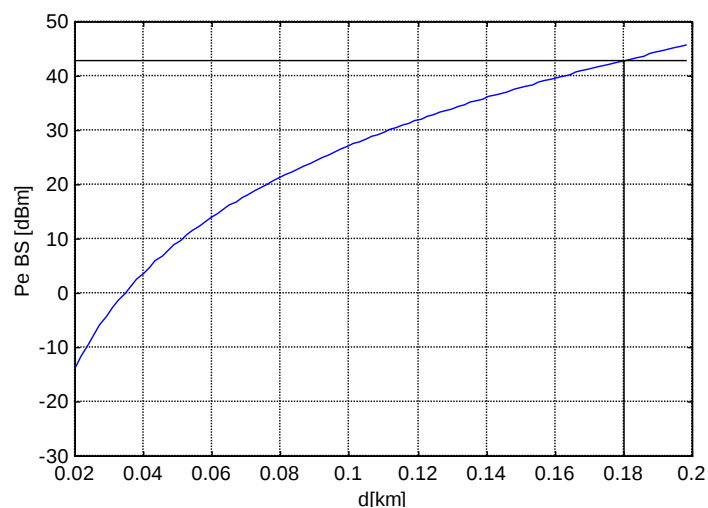


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura M.12 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente rural, rede inicial (até 384 kbps, interiores).

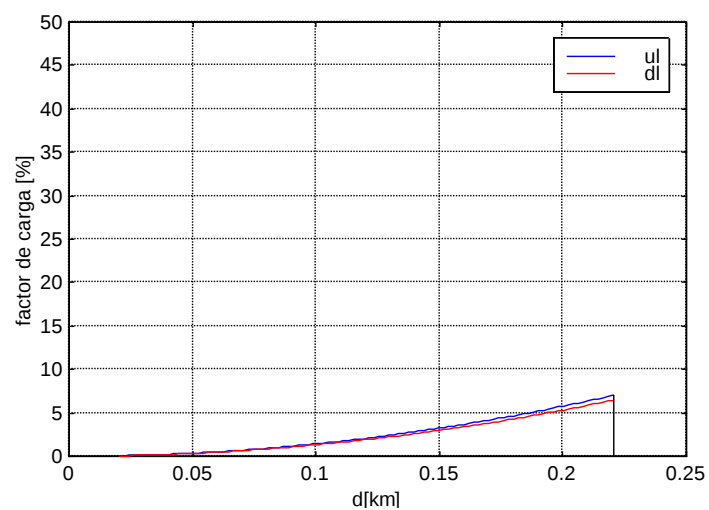


a) – Factor de carga.

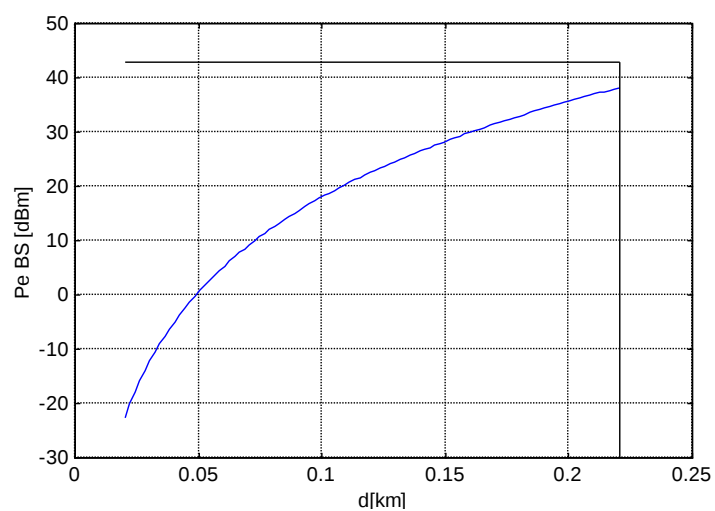


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura M.13 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano denso, rede consolidada (até 384 kbps, interiores).

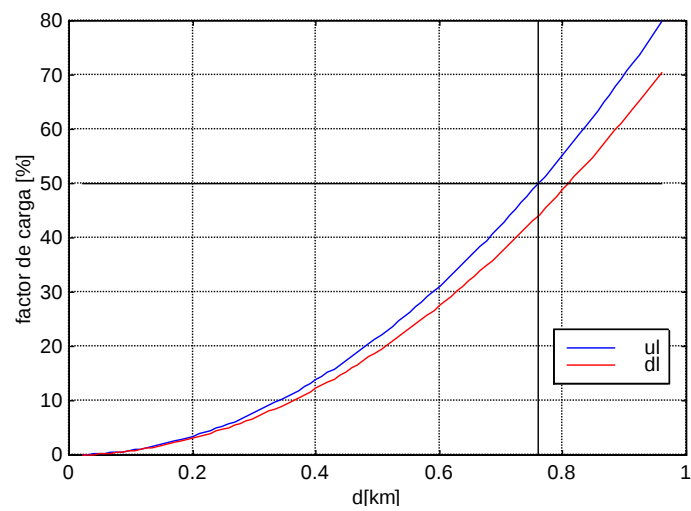


a) – Factor de carga.

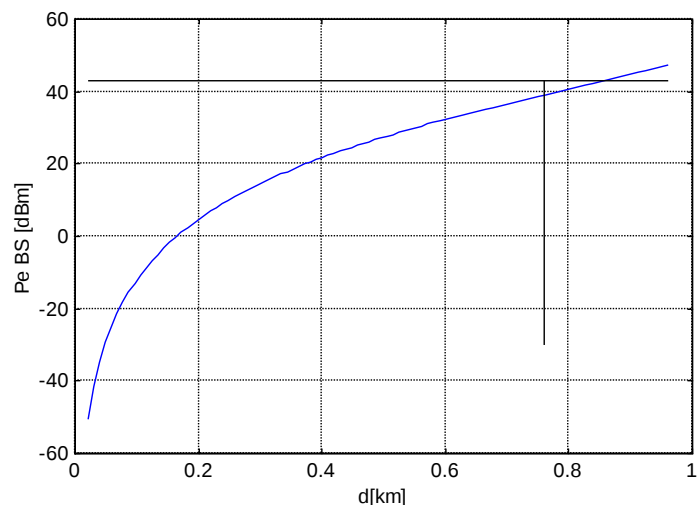


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura M.14 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano, rede consolidada (até 384 kbps, interiores).

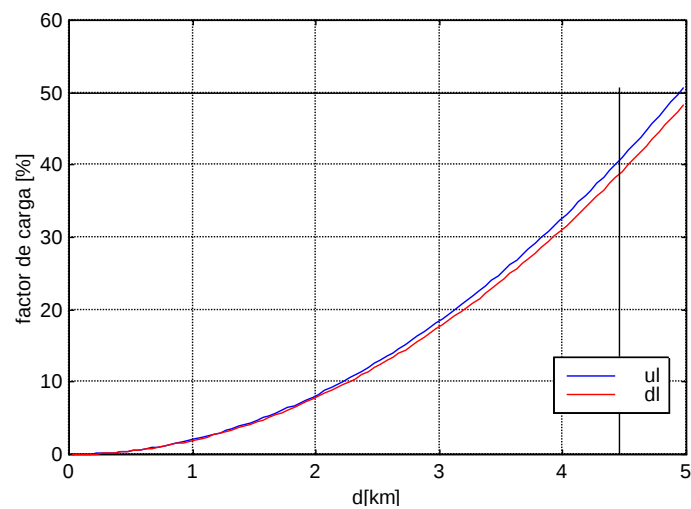


a) – Factor de carga.

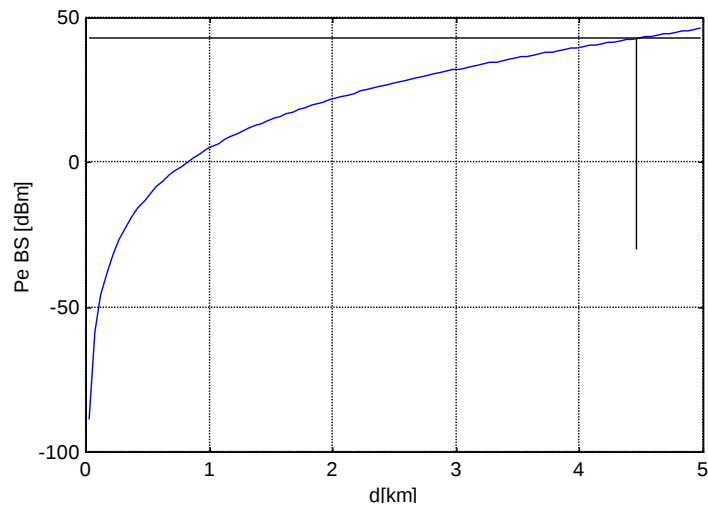


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura M.15 – Factor de carga e potência de emissão da estação base para ambiente suburbano, rede consolidada (até 384 kbps, interiores).

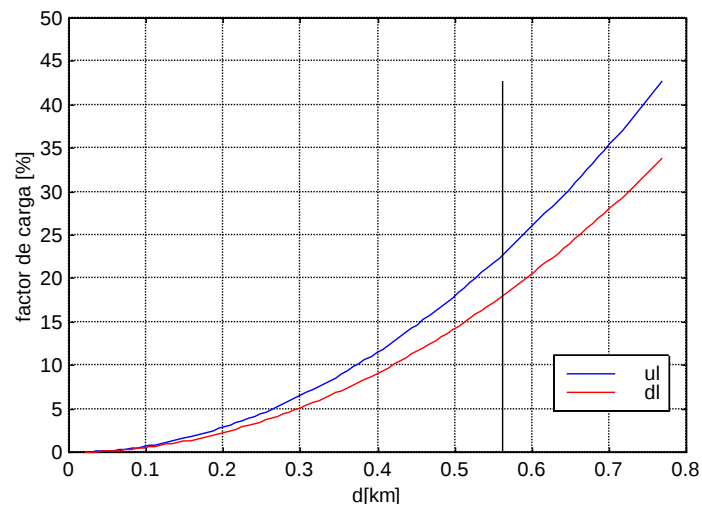


a) – Factor de carga.

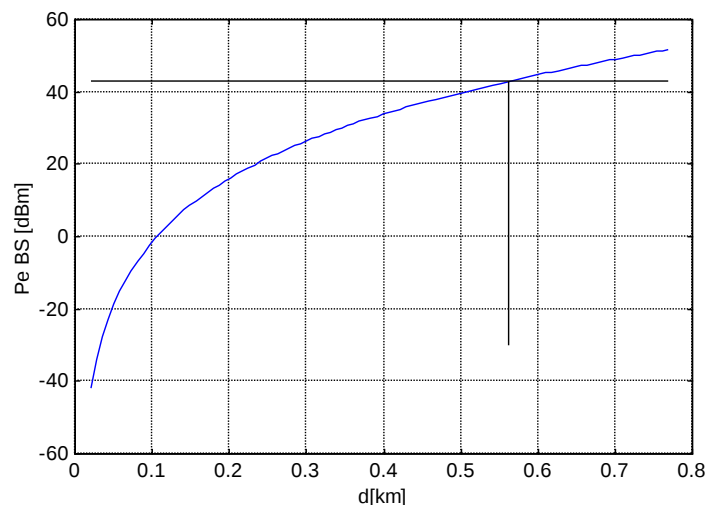


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura M.16 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente rural, rede inicial (até 384 kbps, interiores).

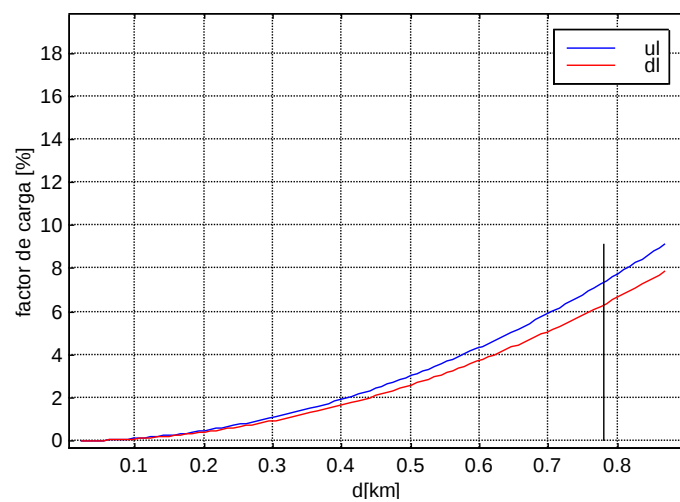


a) -Factor de carga

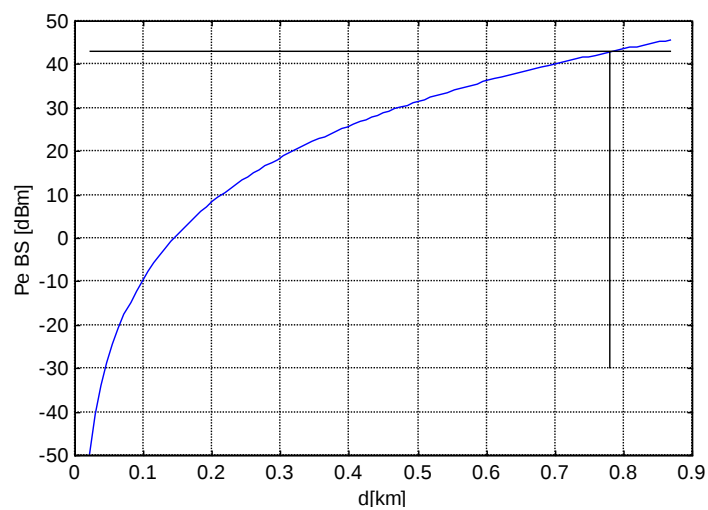


b) - Potência

Figura M.17 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano denso, rede inicial (até 144 kbps, sem interiores).

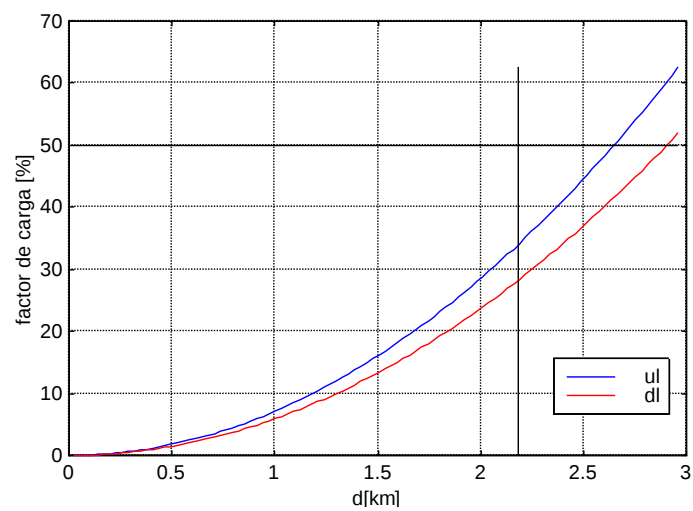


a) - Factor de carga

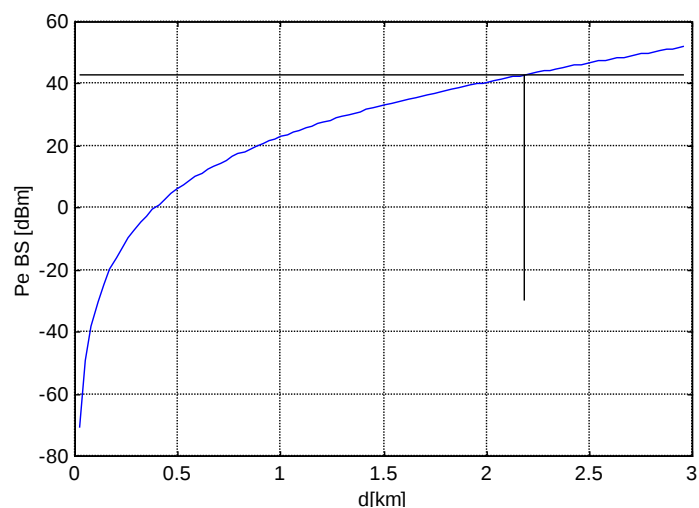


b) - Potência

Figura M.18 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano, rede inicial (até 144 kbps, sem interiores).

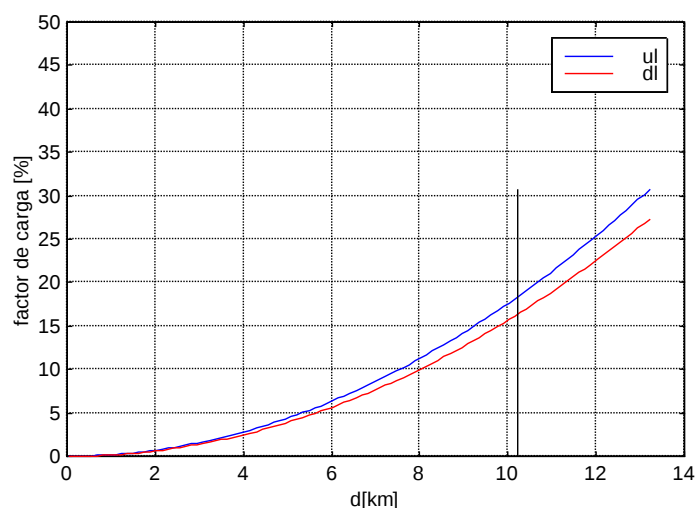


a) - Factor de carga

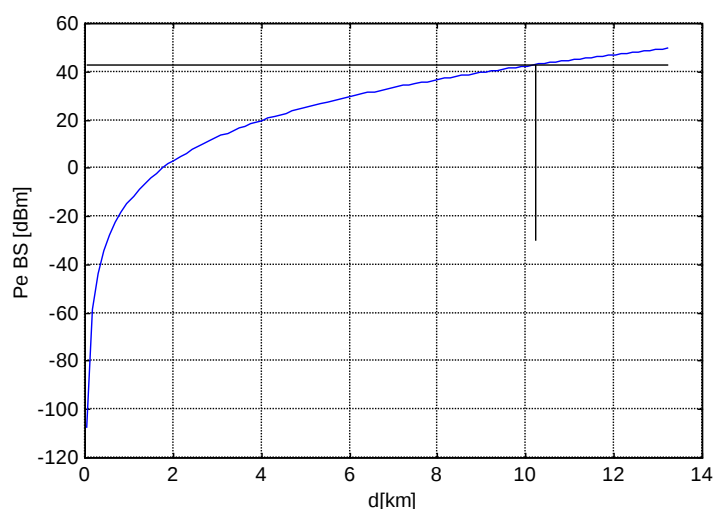


b) - Potência

Figura M.19 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente suburbano, rede inicial (até 144 kbps, sem interiores).

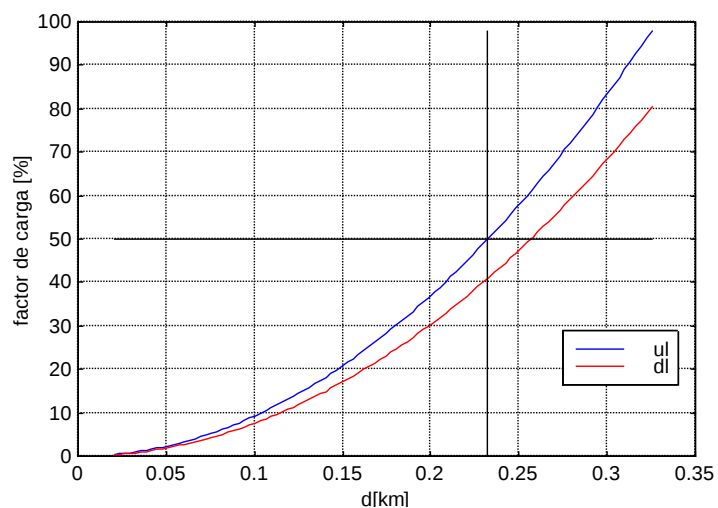


(a) - Factor de carga

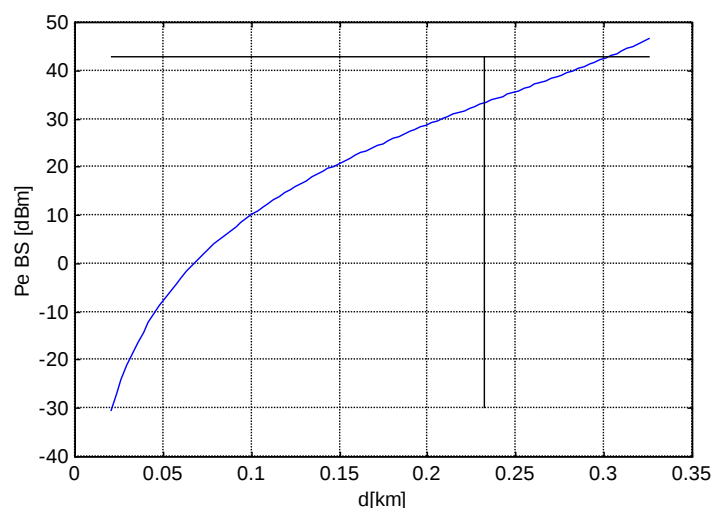


b) - Potência

Figura M.20 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente rural, rede inicial (até 144 kbps, sem interiores).

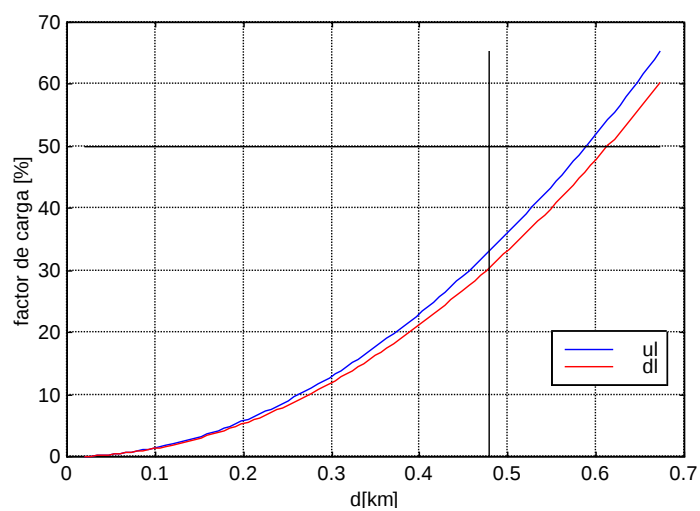


a) - Factor de carga



b) - Potência

Figura M.21 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano denso, rede consolidada (até 144 kbps, sem interiores).



a) - Factor de carga

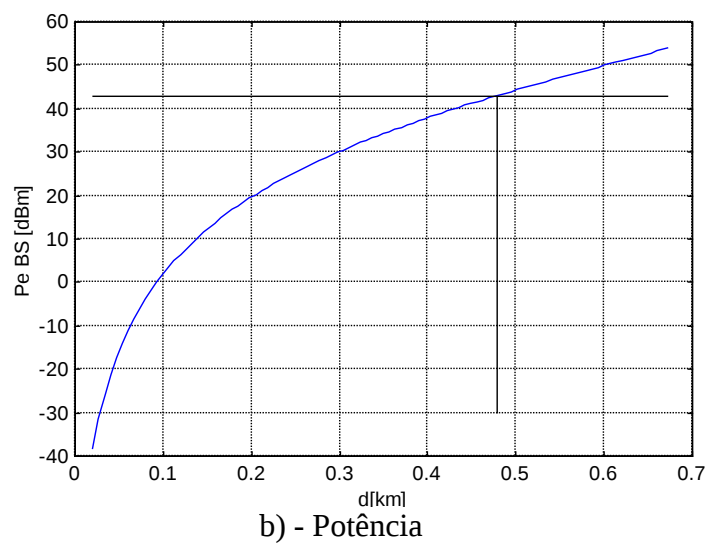


Figura M.22 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano, rede consolidada (até 144 kbps, sem interiores).

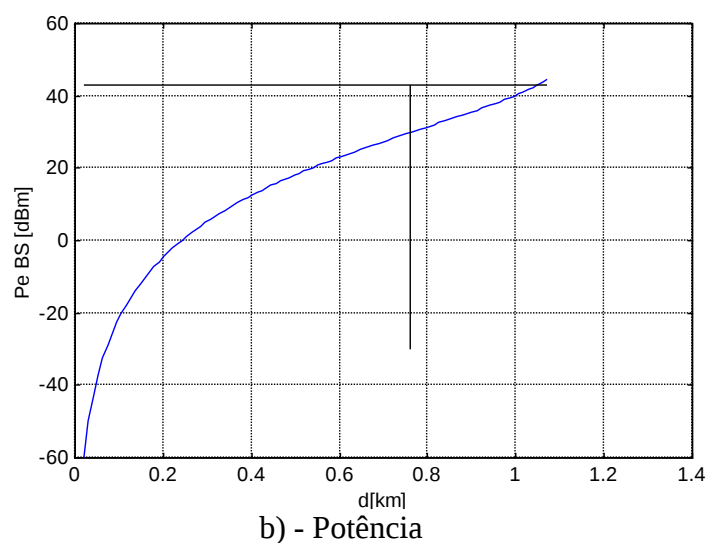
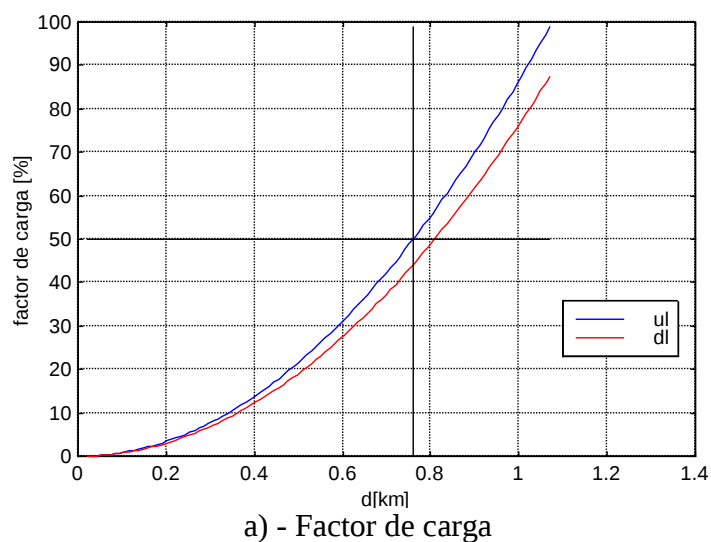
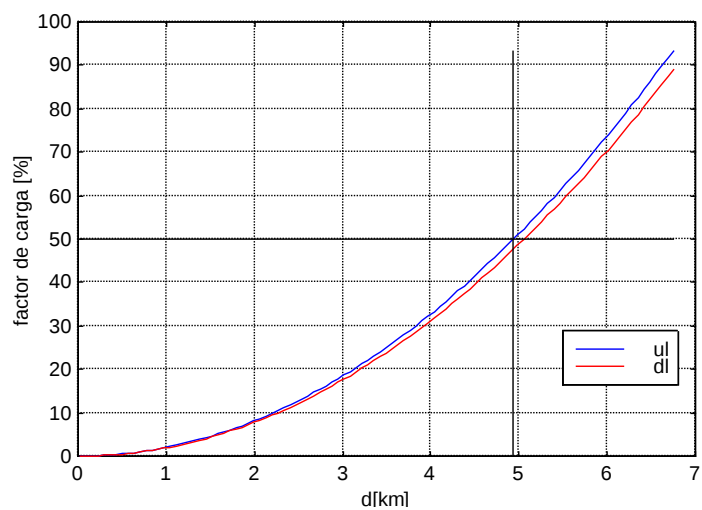
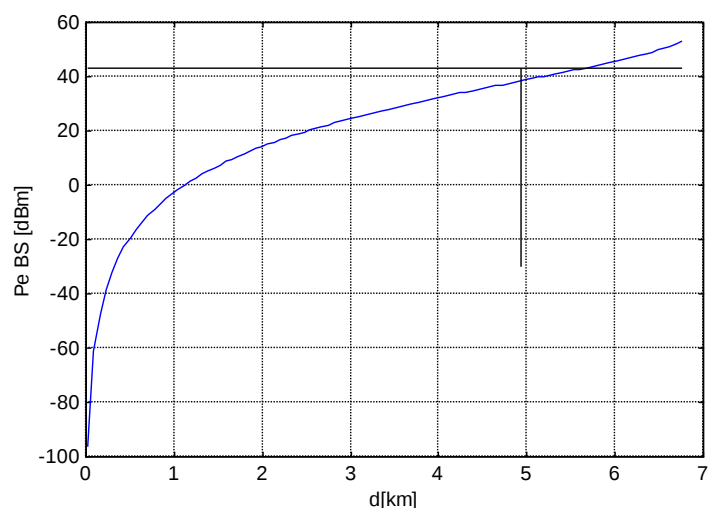


Figura M.23 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente suburbano, rede consolidada (até 144 kbps, sem interiores).

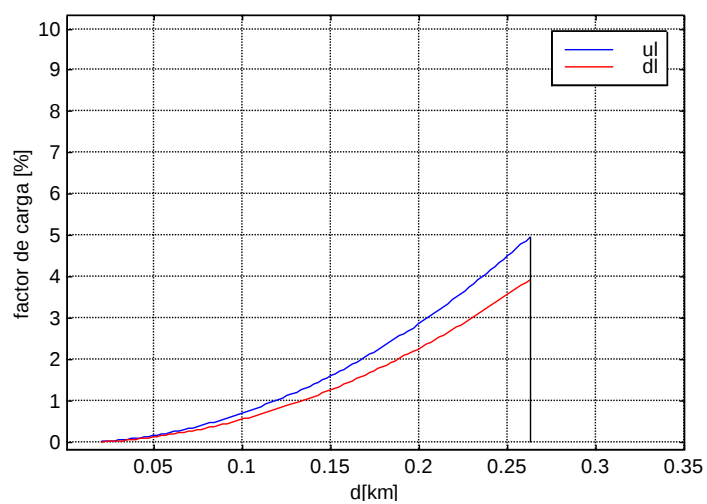


a) - Factor de carga



b) - Potência

Figura M.24 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente rural, rede consolidada (até 144 kbps, sem interiores).



a) - Factor de carga

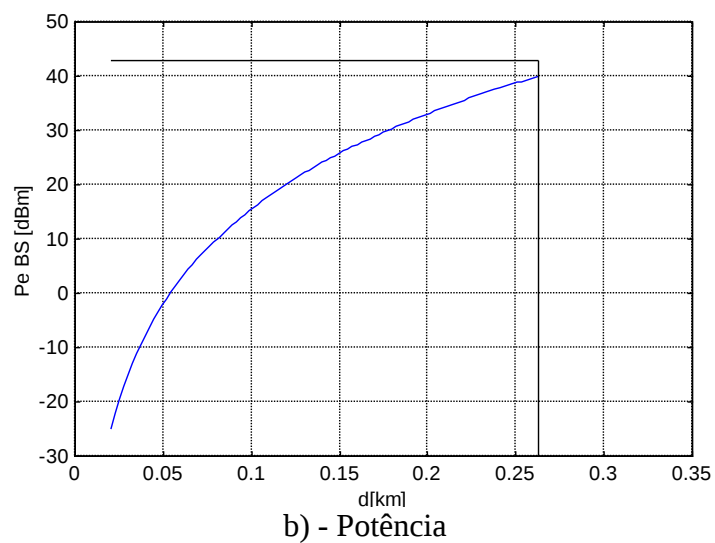


Figura M.25 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano denso, rede inicial (até 144 kbps, interiores).

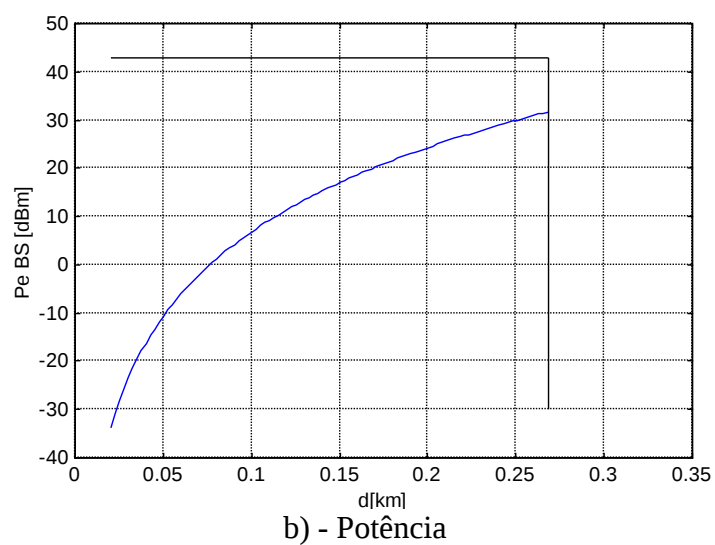
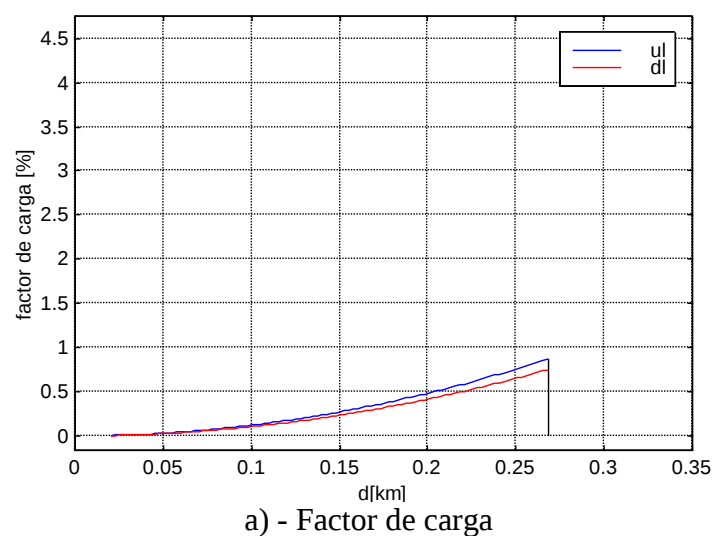
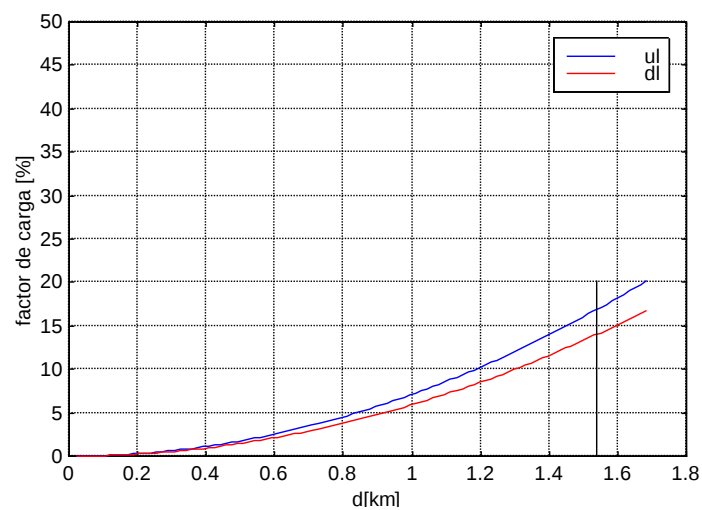
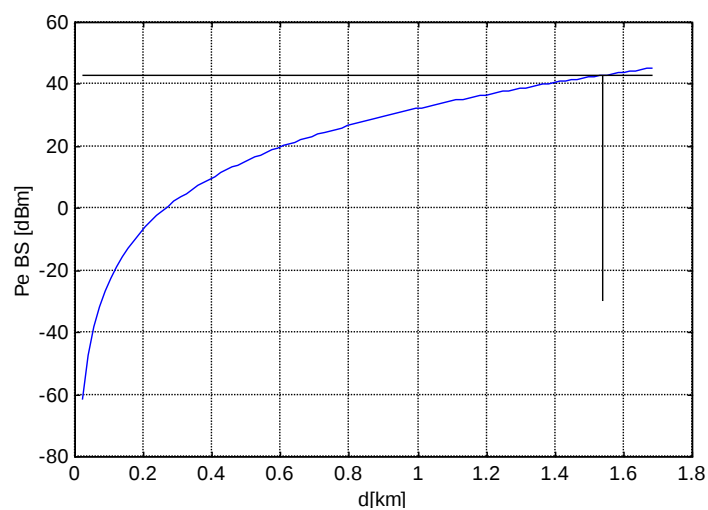


Figura M.26 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano, rede inicial (até 144 kbps, interiores).

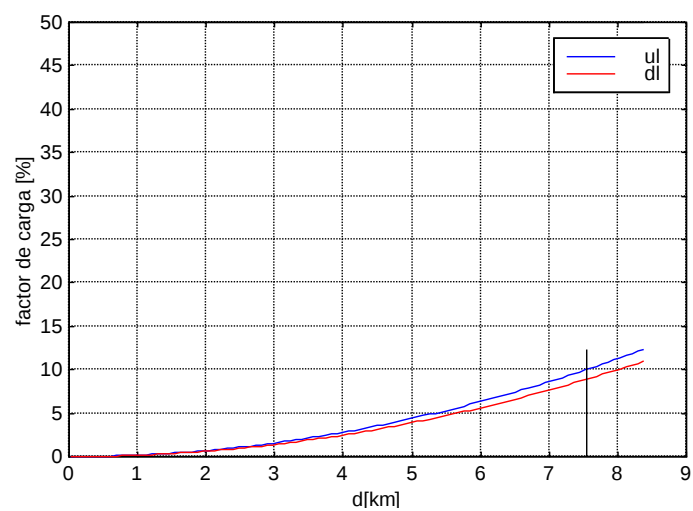


a) - Factor de carga



b) - Potência

Figura M.27 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente suburbano, rede inicial (até 144 kbps, interiores).



a) - Factor de carga

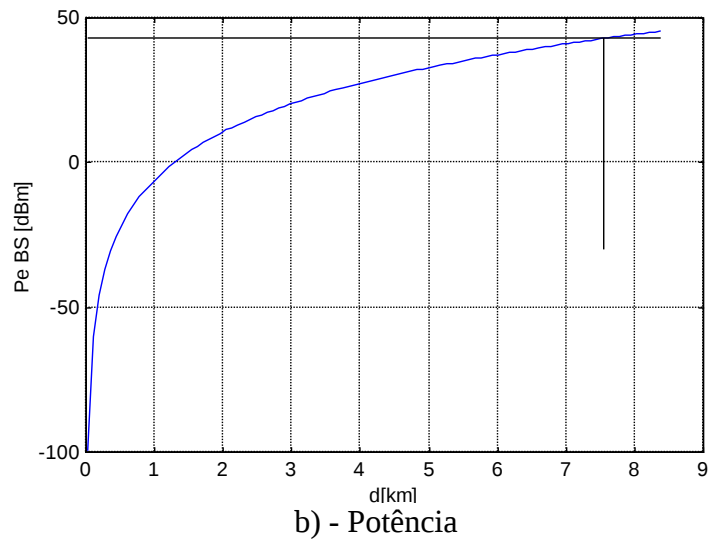


Figura M.28 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente rural, rede inicial (até 144 kbps, interiores).

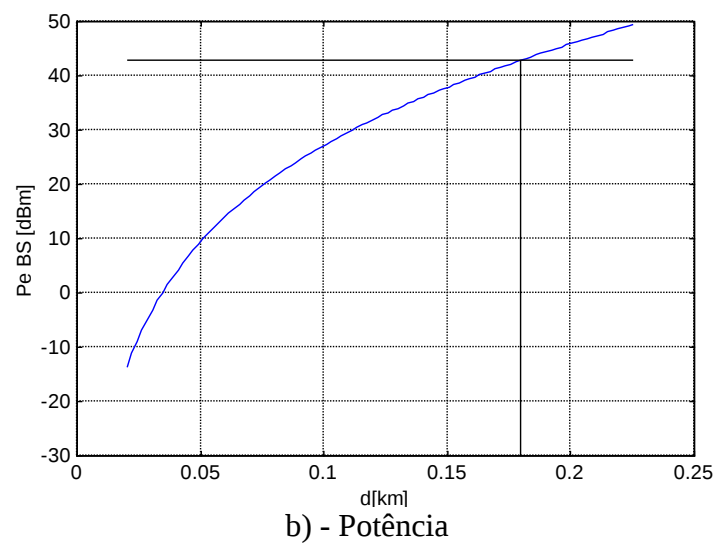
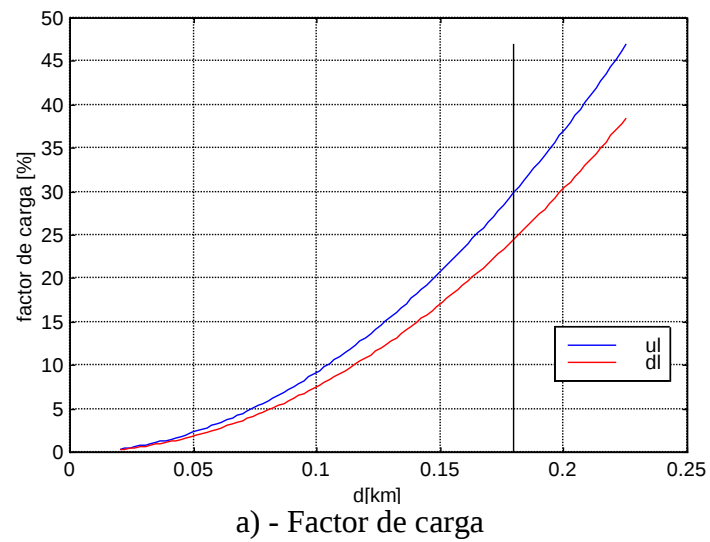
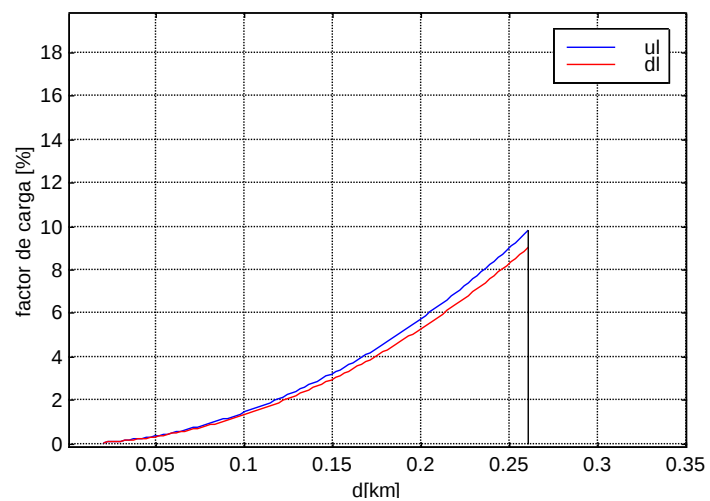
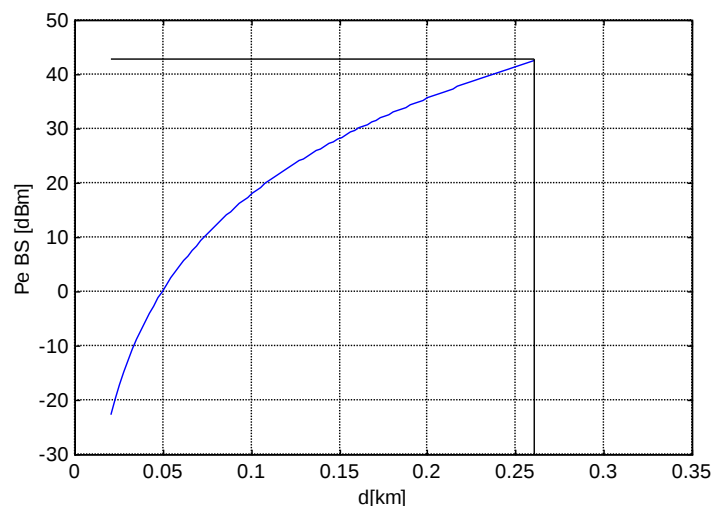


Figura M.29 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano denso, rede consolidada (até 144 kbps, interiores).

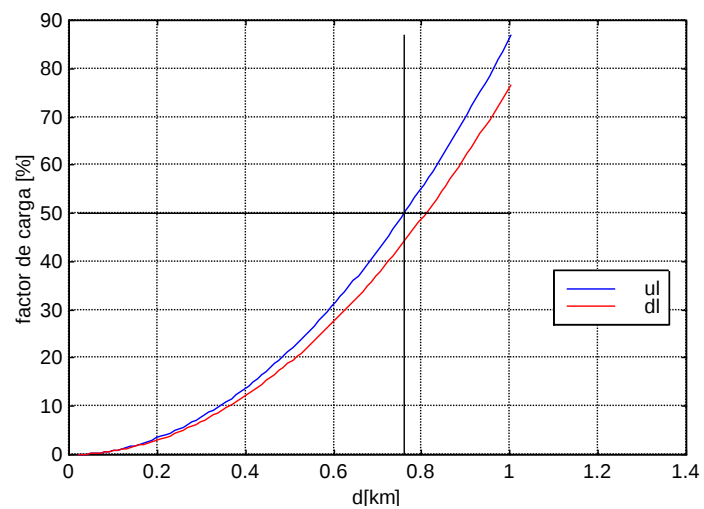


a) - Factor de carga

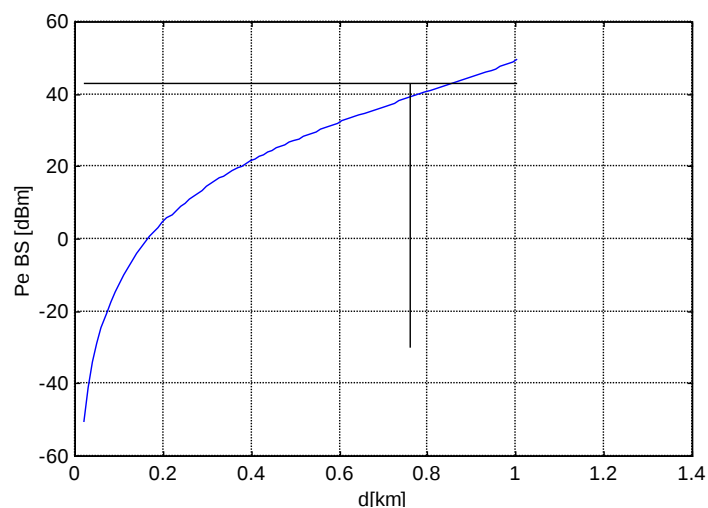


b) - Potência

Figura M.30 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano, rede consolidada (até 144 kbps, interiores).

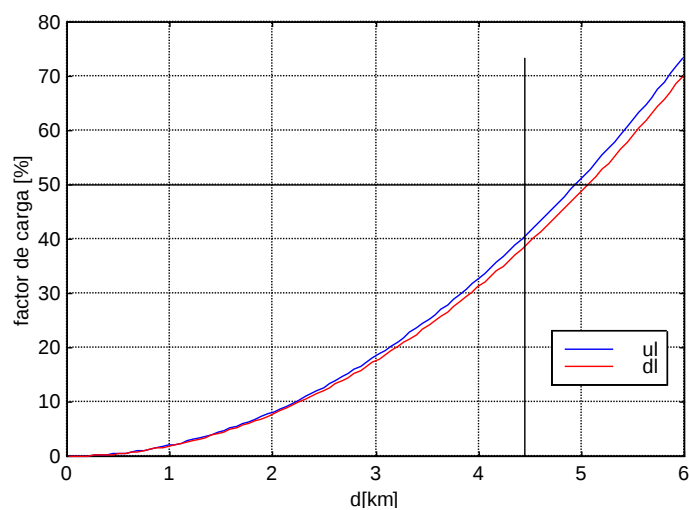


a) - Factor de carga

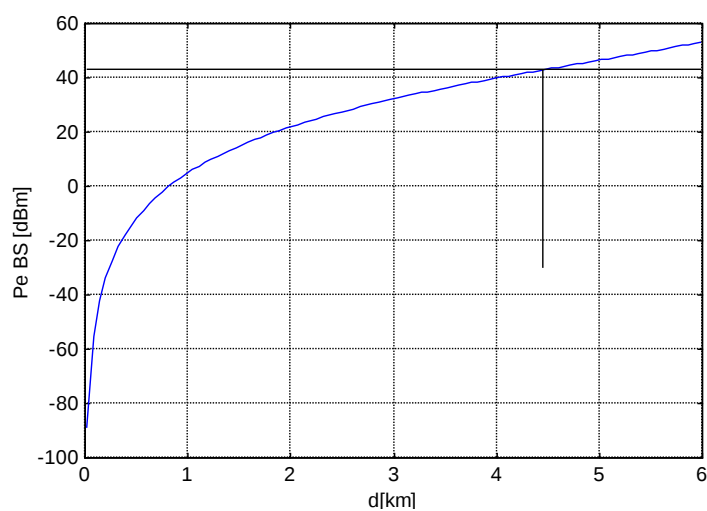


b) - Potência

Figura M.31 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente suburbano, rede consolidada (até 144 kbps, interiores).



a) - Factor de carga



b) - Potência

Figura M.32 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente rural, rede consolidada (até 144 kbps, interiores).

Os resultados obtidos através das Figuras M.1 a M.32 apresentam-se nas Tabelas M.1 a M.4.

Ambiente	Rede inicial				Rede consolidada			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano Denso	18,1	22,9	43,0	0,56	41,0	50,0	33,4	0,23
Urbano	4,2	4,9	37,6	0,63	30,4	33,0	43,0	0,48
Suburbano	28,2	34,0	43,0	2,18	44,1	50,0	30,0	0,76
Rural	14,8	16,7	41,8	9,75	47,7	50,0	38,6	4,90

Tabela M.1 - Resultados para os diferentes ambientes, não considerando cobertura de interiores, para serviços até 384 kbps.

Ambiente	Rede inicial				Rede consolidada			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano Denso	2,9	3,6	36,0	0,22	24,6	30,0	43,0	0,18
Urbano	0,5	0,6	27,1	0,22	6,5	7,0	38,2	0,22
Suburbano	11,9	14,4	41,0	1,42	44,1	50,0	39,1	0,76
Rural	5,6	6,3	37,2	5,98	38,8	40,7	43,0	4,45

Tabela M.2 – Resultados para os diferentes ambientes, considerando cobertura de interiores, para serviços até 384 kbps.

Ambiente	Rede inicial				Rede consolidada			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano Denso	18,1	22,8	43,0	0,56	40,	50,0	33,3	0,23
Urbano	6,3	7,4	43,0	0,78	30,4	33,0	43,0	0,48
Suburbano	28,2	34,0	43,0	2,18	44,1	50,0	29,9	0,76
Rural	16,4	18,4	43,0	10,22	47,7	50,0	38,6	4,94

Tabela M.3 - Resultados para os diferentes ambientes, não considerando cobertura de interiores, para serviços até 144 kbps.

Ambiente	Rede inicial				Rede consolidada			
	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
Urbano Denso	3,9	5,0	40,0	0,26	24,6	30,0	43,0	0,18
Urbano	0,7	0,9	31,7	0,27	9,0	9,8	42,5	0,26
Suburbano	14,0	16,9	43,0	1,54	44,1	50,0	39,1	0,76
Rural	8,9	10,0	43,0	7,6	38,8	40,7	43,0	4,45

Tabela M.4 – Resultados para os diferentes ambientes, considerando cobertura de interiores, para serviços até 144 kbps.

ANEXO N – PERFIS DE TRÁFEGO UTILIZADOS EM ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

Por forma a executar uma análise de sensibilidade de alguns parâmetros da rede rádio do UMTS em função do tipo de tráfego originado, o tráfego total para cada ambiente permanece constante, alterando-se apenas a percentagem de tráfego correspondente a cada modo de comutação, obtendo novos perfis de tráfego que permitem aferir a influência que a prevalência de serviços baseados num determinado modo de comutação tem sobre o comportamento do sistema. Para tal, são analisadas 4 situações em cada uma das quais o tráfego devido a um dos dois tipos de comutação possíveis é aumentado ou 5 ou 10%, diminuindo-se o restante tráfego na mesma proporção. Esta análise é feita com base nos dados de tráfego avançados pela Telecel Vodafone.

N.1 TRÁFEGO USADO ORIGINALMENTE

Para estudar a forma como o tráfego está dividido pelos diferentes serviços e respectivos modos de comutação, para introduzir as variações posteriores, obtêm-se, de acordo com a Tabela 2.9 os resultados que se indicam nas Tabelas N.1 a N.8.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 273,7	74,7	1 708	2 532,1	67,4
	64 kbps	133,6	7,8			
	144 kbps	300,7	17,5			
Pacotes	64 kbps	504	61,1	824,144		32,6
	144 kbps	320	38,8			
	384 kbps	0,144	0,1			

Tabela N.1 - Tráfego em ambiente urbano denso, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	966,2	76,3	1 265,8	1 873,9	67,5
	64 kbps	92,6	7,3			
	144 kbps	207,4	16,4			
Pacotes	64 kbps	464	76,3	608,1		32,5
	144 kbps	144	23,7			
	384 kbps	0,0672	0,01			

Tabela N.2 - Tráfego em ambiente urbano, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	966,2	75	1 288,2	1 928,3	66,8
	64 kbps	99,1	7,7			
	144 kbps	222,9	17,3			
Pacotes	64 kbps	456	71,2	640,1		33,2
	144 kbps	184	28,7			
	384 kbps	0,076	0,01			

Tabela N.3 - Tráfego em ambiente suburbano, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	878,4	74,6	1 177,9	1 754	67,2
	64 kbps	92,2	7,8			
	144 kbps	207,4	17,6			
Pacotes	64 kbps	400	69,4	576,1		32,8
	144 kbps	176	30,5			
	384 kbps	0,0688	0,01			

Tabela N.4 - Tráfego em ambiente rural, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	317,6	46,8	2 815,2	5 775,7	48,7
	64 kbps	460,8	16,4			
	144 kbps	1 036,8	36,8			
Pacotes	64 kbps	1 952	65,4	2 960,5		51,3
	144 kbps	1 008	34			
	384 kbps	0,536	0,01			

Tabela N.5 - Tráfego em ambiente urbano denso, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 010,2	52,9	1 908,7	4 157	45,9
	64 kbps	276,5	14,5			
	144 kbps	622,1	32,6			
Pacotes	64 kbps	1 792	79,7	2 248		54,1
	144 kbps	456	20,2			
	384 kbps	0,24	0,01			

Tabela N.6 - Tráfego em ambiente urbano, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 010,2	50,9	1 983,6	4 327,9	45,8
	64 kbps	299,5	15,2			
	144 kbps	673,9	33,9			
Pacotes	64 kbps	1 768	75,4	2 344,3		54,2
	144 kbps	576	24,5			
	384 kbps	0,28	0,011			

Tabela N.7 - Tráfego em ambiente suburbano, rede consolidada

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	922,3	52,4	1 761	3 849,2	45,7
	64 kbps	258,1	14,6			
	144 kbps	580,6	33			
Pacotes	64 kbps	1 584	75,8	2 088,2		54,3
	144 kbps	504	24,1			
	384 kbps	0,232	0,01			

Tabela N.8 - Tráfego em ambiente rural, rede consolidada.

N.2 AUMENTO DE 5% DO TRÁFEGO EM COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS.

Aumentando o tráfego devido aos serviços baseados em CS, obtêm-se os dados indicados nas Tabelas N.9 a N.16.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 369,4	74,7	1 833,2	2 532,1	72,4
	64 kbps	142,9	7,8			
	144 kbps	320,81	17,5			
Pacotes	64 kbps	427,0	61,1	698,9		27,6
	144 kbps	271,2	38,8			
	384 kbps	0,139	0,02			

Tabela N.9 - Tráfego em ambiente urbano denso, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 036,6	76,3	1 358,6	1 873,9	72,5
	64 kbps	99,2	7,3			
	144 kbps	222,8	16,4			
Pacotes	64 kbps	393,2	76,3	515,3		27,5
	144 kbps	122,1	23,7			
	384 kbps	0,0515	0,01			

Tabela N.10 - Tráfego em ambiente urbano, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 038,4	75	1 384,5	1 928,3	71,8
	64 kbps	106,6	7,7			
	144 kbps	239,5	17,3			
Pacotes	64 kbps	387,2	71,2	543,8		28,2
	144 kbps	156,1	28,7			
	384 kbps	0,0543	0,01			

Tabela N.11 - Tráfego em ambiente suburbano, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	944,7	74,6	1 266,4	1 754	72,2
	64 kbps	98,8	7,8			
	144 kbps	222,9	17,6			
Pacotes	64 kbps	338,4	69,4	487,6		27,8
	144 kbps	148,7	30,5			
	384 kbps	0,0501	0,01			

Tabela N.12 - Tráfego em ambiente rural, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 451,5	46,8	3 101,6	5 775,7	53,7
	64 kbps	508,7	16,4			
	144 kbps	1 141,4	36,8			
Pacotes	64 kbps	1 748,9	65,4	2 674,1		46,3
	144 kbps	909,2	34			
	384 kbps	0,393	0,01			

Tabela N.13 - Tráfego em ambiente urbano denso, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 119,3	52,9	2 115,9	4 157	50,9
	64 kbps	306,8	14,5			
	144 kbps	689,8	32,6			
Pacotes	64 kbps	1 626,7	79,7	2 041,1		49,1
	144 kbps	412,3	20,2			
	384 kbps	0,204	0,01			

Tabela N.14 - Tráfego em ambiente urbano, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 119,1	50,9	2 198,6	4 327,9	50,8
	64 kbps	334,2	15,2			
	144 kbps	745,3	33,9			
Pacotes	64 kbps	105,5	75,4	2 129,3		49,2
	144 kbps	521,7	24,5			
	384 kbps	0,23	0,011			

Tabela N.15 - Tráfego em ambiente suburbano, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 022,6	52,4	1 951,5	3 849,2	50,7
	64 kbps	284,9	14,6			
	144 kbps	644,0	33			
Pacotes	64 kbps	1 438,4	75,8	1 897,7		49,3
	144 kbps	457,3	24,1			
	384 kbps	0,19	0,01			

Tabela N.16 - Tráfego em ambiente rural, rede consolidada.

N.3 AUMENTO DE 10% DO TRÁFEGO EM COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS.

Aumentando o tráfego devido aos serviços baseados em comutação de circuitos, obtêm-se os dados indicados nas Tabelas N.17 a N.24.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 464,0	74,7	1 959,8	2532,1	77,4
	64 kbps	152,9	7,8			
	144 kbps	342,9	17,5			
Pacotes	64 kbps	349,6	61,1	572,2		22,6
	144 kbps	222,0	38,8			
	384 kbps	0,114	0,02			

N.17 - Tráfego em ambiente urbano denso, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 108,1	76,3	1 452,3	1 873,9	77,5
	64 kbps	106,0	7,3			
	144 kbps	238,2	16,4			
Pacotes	64 kbps	321,7	76,3	421,6		22,5
	144 kbps	99,9	23,7			
	384 kbps	0,0422	0,01			

Tabela N.18 - Tráfego em ambiente urbano, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 110,7	75	1 480,9	1 928,3	76,8
	64 kbps	114,0	7,7			
	144 kbps	256,2	17,3			
Pacotes	64 kbps	318,5	71,2	447,4		23,2
	144 kbps	128,4	28,7			
	384 kbps	0,0447	0,01			

Tabela N.19 - Tráfego em ambiente suburbano, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 010,2	74,6	1 354,1	1 754	77,2
	64 kbps	105,6	7,8			
	144 kbps	238,3	17,6			
Pacotes	64 kbps	277,5	69,4	399,9		22,8
	144 kbps	121,9	30,5			
	384 kbps	0,0415	0,01			

Tabela N.20 - Tráfego em ambiente rural, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 586,7	46,8	3 390,3	5 775,7	58,7
	64 kbps	556,0	16,4			
	144 kbps	1 247,6	36,8			
Pacotes	64 kbps	1 560,1	65,4	2 385,4		41,3
	144 kbps	811,0	34			
	384 kbps	0,238	0,01			

Tabela N.21 - Tráfego em ambiente urbano denso, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 229,3	52,9	2323,8	4 157	55,9
	64 kbps	336,9	14,5			
	144 kbps	757,5	32,6			
Pacotes	64 kbps	1461,1	79,7	1 833,2		44,1
	144 kbps	370,3	20,2			
	384 kbps	0,183	0,01			

Tabela N.22 - Tráfego em ambiente urbano, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 229,2	50,9	2 414,9	4 327,9	55,8
	64 kbps	367,1	15,2			
	144 kbps	818,7	33,9			
Pacotes	64 kbps	1 442,4	75,4	1 912,9		44,2
	144 kbps	468,7	24,5			
	384 kbps	0,210	0,011			

Tabela N.23 - Tráfego em ambiente suburbano, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 123,5	52,4	2 144	3 849,2	55,7
	64 kbps	313,0	14,6			
	144 kbps	707,5	33			
Pacotes	64 kbps	1 292,5	75,8	1 705,2	3 849,2	44,3
	144 kbps	410,9	24,1			
	384 kbps	0,170	0,01			

Tabela N.24 - Tráfego em ambiente rural, rede consolidada.

N.4 AUMENTO DE 5% DO TRÁFEGO EM COMUTAÇÃO DE PACOTES.

Aumentando o tráfego devido aos serviços baseados em comutação de pacotes em 5%, obtêm-se os dados indicados nas Tabelas N.25 a N.32.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 180,3	74,7	1 580	2 532,1	62,4
	64 kbps	123,2	7,8			
	144 kbps	276,5	17,5			
Pacotes	64 kbps	581,7	61,1	952,1	2 532,1	37,6
	144 kbps	369,4	38,8			
	384 kbps	0,190	0,02			

Tabela N.25 - Tráfego em ambiente urbano denso, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	893,6	76,3	1 171,2	1 873,9	62,5
	64 kbps	85,5	7,3			
	144 kbps	192,1	16,4			
Pacotes	64 kbps	536,2	76,3	702,7	1 873,9	37,5
	144 kbps	166,5	23,7			
	384 kbps	0,070	0,01			

Tabela N.26 - Tráfego em ambiente urbano, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	893,8	75	1 191,7	1 928,3	61,8
	64 kbps	91,8	7,7			
	144 kbps	206,2	17,3			
Pacotes	64 kbps	524,5	71,2	736,6		38,2
	144 kbps	211,5	28,7			
	384 kbps	0,0776	0,01			

Tabela N.27 - Tráfego em ambiente suburbano, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	813,9	74,6	1 090,9	1 754	62,2
	64 kbps	85,1	7,8			
	144 kbps	192,1	17,6			
Pacotes	64 kbps	460,1	69,4	663		37,8
	144 kbps	202,2	30,5			
	384 kbps	0,0712	0,01			

Tabela N.28 - Tráfego em ambiente rural, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 181,2	46,8	2523,9	5 775,7	43,7
	64 kbps	413,9	16,4			
	144 kbps	928,8	36,8			
Pacotes	64 kbps	2 126,6	65,4	3 251,7		56,3
	144 kbps	1 105,6	34			
	384 kbps	0,585	0,01			

Tabela N.29 - Tráfego em ambiente urbano denso, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	899,4	52,9	1 700,2	4 157	40,9
	64 kbps	246,5	14,5			
	144 kbps	554,3	32,6			
Pacotes	64 kbps	1 958,1	79,7	2 456,8		59,1
	144 kbps	496,3	20,2			
	384 kbps	0,245	0,01			

Tabela N.30 - Tráfego em ambiente urbano, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	898,8	50,9	1 765,8	4 327,9	40,8
	64 kbps	268,4	15,2			
	144 kbps	598,6	33,9			
Pacotes	64 kbps	1 931,8	75,4	2 562,1		59,2
	144 kbps	627,7	24,5			
	384 kbps	0,281	0,011			

Tabela N.31 - Tráfego em ambiente suburbano, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	820,9	52,4	1 566,6	3 849,2	40,7
	64 kbps	228,7	14,6			
	144 kbps	516,9	33			
Pacotes	64 kbps	1 730,2	75,8	2 282,6		59,3
	144 kbps	550,1	24,1			
	384 kbps	0,258	0,012			

N.32 - Tráfego em ambiente rural, rede consolidada.

N.5 AUMENTO DE 10% DO TRÁFEGO EM COMUTAÇÃO DE PACOTES.

Aumentando o tráfego devido aos serviços baseados em comutação de pacotes em 10%, obtêm-se os dados indicados nas Tabelas N.33 a N.40.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 085,7	74,7	1 453,4	2532,1	57,4
	64 kbps	113,4	7,8			
	144 kbps	254,4	17,5			
Pacotes	64 kbps	659,1	61,1	1 078,7	2532,1	42,6
	144 kbps	418,5	38,8			
	384 kbps	0,216	0,1			

Tabela N.33 - Tráfego em ambiente urbano denso, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	822,1	76,3	1 077,5	1 873,9	57,5
	64 kbps	78,7	7,3			
	144 kbps	176,7	16,4			
Pacotes	64 kbps	607,7	76,3	796,4	1 873,9	42,5
	144 kbps	188,7	23,7			
	384 kbps	0,0796	0,01			

Tabela N.34 - Tráfego em ambiente urbano, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	821,5	75	1 095,3	1 928,3	56,8
	64 kbps	84,3	7,7			
	144 kbps	189,5	17,3			
Pacotes	64 kbps	593,1	71,2	833,0	1 928,3	43,2
	144 kbps	239,1	28,7			
	384 kbps	0,0833	0,01			

Tabela N.35 - Tráfego em ambiente suburbano, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	748,4	74,6	1 003,3	1 754	57,2
	64 kbps	78,3	7,8			
	144 kbps	176,6	17,6			
Pacotes	64 kbps	520,9	69,4	7 50,7		42,8
	144 kbps	228,9	30,5			
	384 kbps	0,0751	0,01			

Tabela N.36 - Tráfego em ambiente rural, rede inicial.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	1 046,1	46,8	2 235,1959	5 775,7	38,7
	64 kbps	366,6	16,4			
	144 kbps	822,6	36,8			
Pacotes	64 kbps	2 315,5	65,4	3 540,5041		61,3
	144 kbps	1 203,8	34			
	384 kbps	0,637	0,02			

Tabela N.37 - Tráfego em ambiente urbano denso, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	789,5	52,9	1 492,4	4 157	35,9
	64 kbps	216,4	14,5			
	144 kbps	486,5	32,6			
Pacotes	64 kbps	2 123,7	79,7	2 664,6		64,1
	144 kbps	538,3	20,2			
	384 kbps	0,266	0,01			

Tabela N.38 - Tráfego em ambiente urbano, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	788,6	50,9	1 549,4	4 327,9	35,8
	64 kbps	235,5	15,2			
	144 kbps	525,2	33,9			
Pacotes	64 kbps	2 094,9	75,4	2 778,5		64,2
	144 kbps	680,7	24,5			
	384 kbps	0,306	0,011			

Tabela N.39 - Tráfego em ambiente suburbano, rede consolidada.

Modo de comutação	Serviço	Tráfego/utilizador [kb/h]	% do tráfego por modo de comutação	Tráfego total por modo de comutação [kb/h]	Tráfego total [kb/h]	% de tráfego total por modo de comutação
Circuitos	Voz	720,1	52,4	1 374,2	3 849,2	35,7
	64 kbps	200,6	14,6			
	144 kbps	453,5	33			
Pacotes	64 kbps	1 876,1	75,8	2 475		64,3
	144 kbps	596,5	24,1			
	384 kbps	0,287	0,01			

Tabela N.40 - Tráfego em ambiente rural, rede consolidada.

N.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS.

A Tabela N.41 exibe os valores de tráfego por utilizador para as várias situações apresentadas anteriormente. Nesta é possível vislumbrar o tráfego médio por utilizador para estas situações, quer para rede inicial quer para rede consolidada

			Rede inicial			
Penetração			4%			
Serviço	Ambiente	Ligação	Tráfego por utilizador			
			+5% CS, -5% PS	+10% CS, -10% PS	+5% PS, -5% CS	+10% PS, -10% CS
Voz a 12.2 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	31,2	33,3	26,9	24,7
	Urbano		23,6	25,2	20,3	18,7
	Suburbano		23,6	25,3	20,3	18,7
	Rural		21,5	23	18,5	17
CS 64 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	0,62	0,66	0,53	0,49
	Urbano		0,43	0,47	0,37	0,34
	Suburbano		0,46	0,49	0,4	0,36
	Rural		0,43	0,46	0,37	0,34
PS 64 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	135,6	110,9	184,7	209,3
		Descendente	427	349,6	581,7	659,1
	Urbano	Ascendente	122	99,8	166,4	188,6
		Descendente	393,2	321,7	536,2	607,7
	Suburbano	Ascendente	122,3	100,6	165,6	187,3
		Descendente	387,2	318,5	524,5	593,1
	Rural	Ascendente	108,3	88,8	147,2	166,7
		Descendente	338,4	277,5	460,1	520,9
CS 144 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	0,62	0,66	0,53	0,49
	Urbano		0,43	0,47	0,37	0,34
	Suburbano		0,46	0,49	0,4	0,36
	Rural		0,43	0,46	0,37	0,34
PS 144 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	88,1	72,2	120,1	136
		Descendente	271,2	222,1	369,4	418,5
	Urbano	Ascendente	40,7	33,3	55,5	62,8
		Descendente	122,1	99,9	166,5	188,7
	Suburbano	Ascendente	47,5	39,1	64,4	72,8
		Descendente	156,1	128,4	211,5	239,1
	Rural	Ascendente	47,3	38,8	64,3	72,8
		Descendente	148,7	121,9	202,2	228,9
PS 384 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	0,466	0,381	0,635	0,733
		Descendente	0,139	0,114	0,190	0,216
	Urbano	Ascendente	0,0344	0,0281	0,0467	0,0531
		Descendente	0,0515	0,0422	0,07	0,0796
	Suburbano	Ascendente	0,0366	0,0301	0,0496	0,0561
		Descendente	0,0543	0,0447	0,0776	0,0833
	Rural	Ascendente	0,0323	0,0264	0,042	0,0498
		Descendente	0,0501	0,0415	0,0712	0,0751

a) – Rede inicial.

			Rede consolidada			
Penetração			27%			
Serviço	Ambiente	Ligação	Tráfego por utilizador			
			+5% CS, -5% PS	+10% CS, -10% PS	+5% PS, -5% CS	+10% PS, -10% CS
Voz a 12.2 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	33	36,1	26,9	23,8
	Urbano		25,5	28	20,5	18
	Suburbano		25,5	28	20,5	18
	Rural		23,3	25,6	18,7	16,4
CS 64 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	2,2	2,4	1,8	1,6
	Urbano		1,3	1,5	1,1	0,9
	Suburbano		1,5	1,6	1,2	1
	Rural		1,2	1,4	0,9	0,8
PS 64 kbps [kb/h]	urbano denso	Ascendente	480,2	342,6	583,9	635,8
		Descendente	1 748,9	1 247,6	2 126,6	2 315,5
	Urbano	Ascendente	450,3	404,4	542	587,8
		Descendente	1 626,7	1 461,1	1 958,1	2 123,7
	Suburbano	Ascendente	443	398,1	533,2	578,2
		Descendente	1 605,5	1 442,4	1 931,8	2 094,9
	Rural	Ascendente	392,3	352,5	471,8	511,6
		Descendente	1 438,4	1 292,5	1 730,2	1 876,1
CS 144 kbps [mErl]	Urbano denso	Ascendente / Descendente	2,2	2,4	1,8	1,6
	Urbano		1,3	1,5	1,1	0,9
	Suburbano		1,5	1,6	1,2	1
	Rural		1,2	1,4	0,9	0,8
PS 144 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	245,3	218,8	298,3	324,8
		Descendente	909,2	811	1 105,6	1 203,8
	Urbano	Ascendente	108,5	97,5	130,6	141,7
		Descendente	412,3	370,3	496,3	538,3
	Suburbano	Ascendente	137,7	123,7	165,7	179,6
		Descendente	521,7	468,7	627,7	680,7
	Rural	Ascendente	169,1	110,9	148,4	160,9
		Descendente	457,3	410,9	550,1	596,5
PS 384 kbps [kb/h]	Urbano denso	Ascendente	0,179	0,16	0,393	0,428
		Descendente	0,393	0,238	0,585	0,637
	Urbano	Ascendente	0,136	0,122	0,163	0,177
		Descendente	0,204	0,183	0,245	0,266
	Suburbano	Ascendente	0,14	0,12	0,17	0,18
		Descendente	0,23	0,21	0,28	0,31
	Rural	Ascendente	0,13	0,11	0,15	0,16
		Descendente	0,19	0,17	0,26	0,29

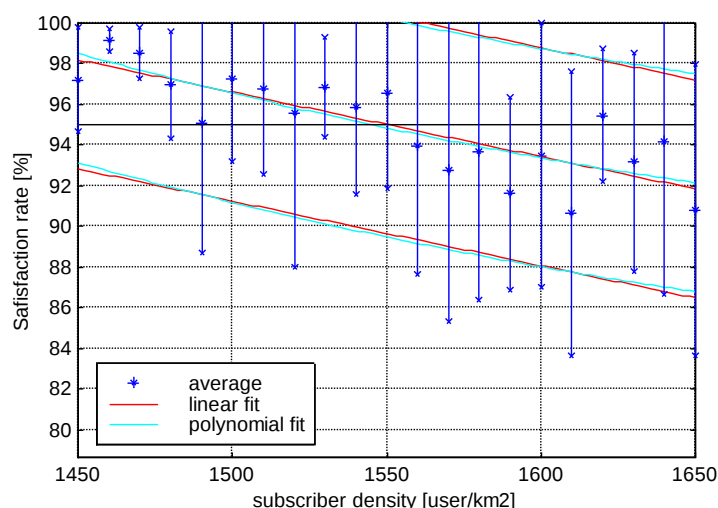
b) – Rede consolidada.

Tabela N.41 – Tráfego por utilizador nos vários ambientes para a rede inicial e rede consolidada.

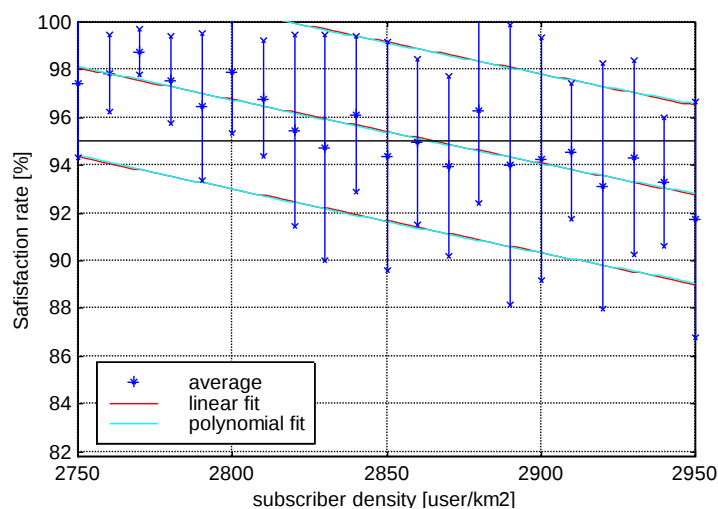
ANEXO O - RESULTADOS OBTIDOS PARA AMBIENTES E CENÁRIOS CONSIDERADOS NO ASILUM

Neste Anexo apresenta-se as figuras obtidas a partir dos dados fornecidos pelo projecto ASILUM para os vários cenários considerados em [MFCV01] que permitem concluir qual a densidade de utilizadores que leva à obtenção de uma *satisfaction rate* de 95%. Foram considerados os cenários D1 a D6 para todos os ambientes – CBD (também D7, a título de exemplo), urbano pedestre, urbano veicular e rural (apenas até D5) – podendo todos os dados utilizados podem ser consultados em [MFCV01].

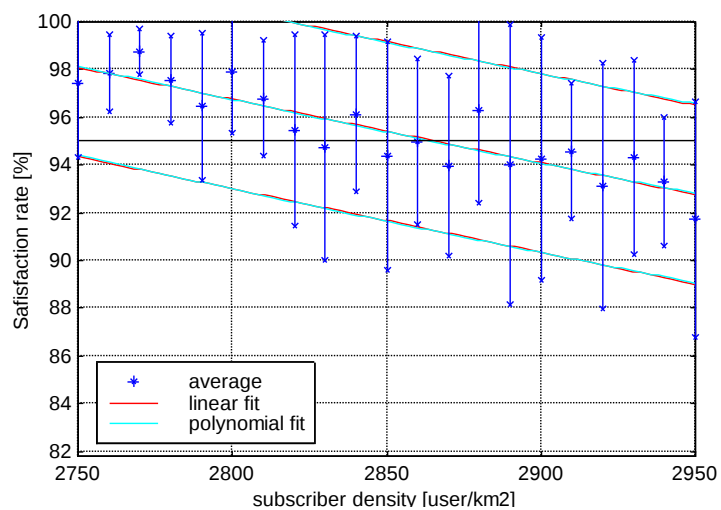
A Figura O.1 diz respeito ao ambiente CBD, O.2 a UP, O.3 a UV e finalmente O.4 ao ambiente rural (RU).



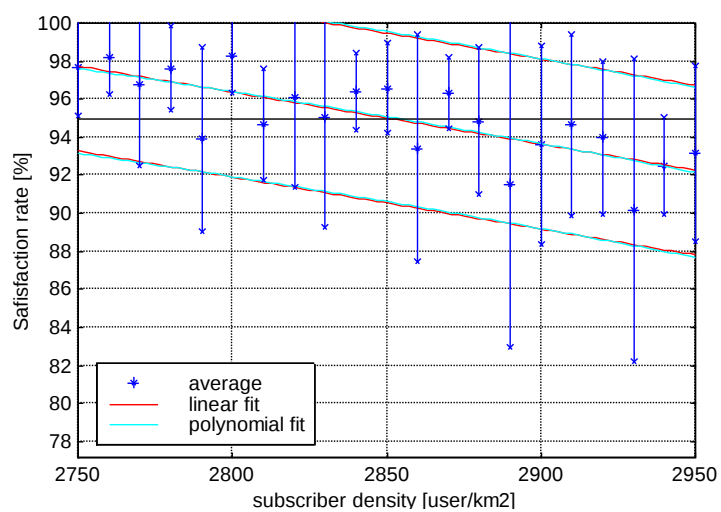
a) – Cenário 1.



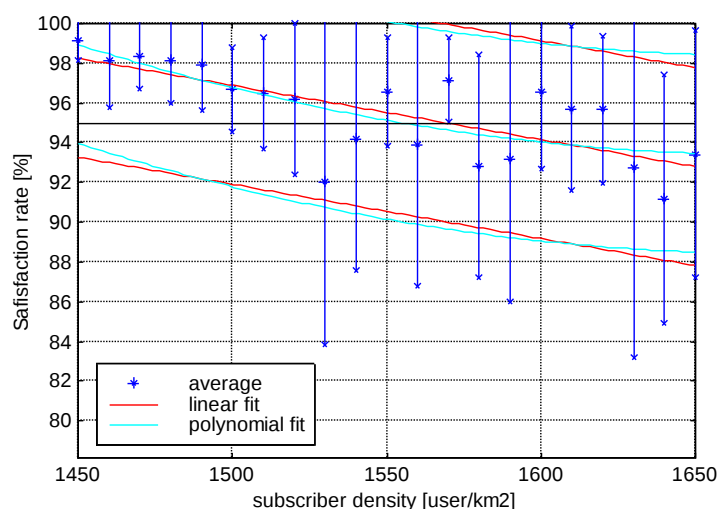
b) – Cenário 2.



c) – Cenário 3.



d) – Cenário 4.



e) – Cenário 5.

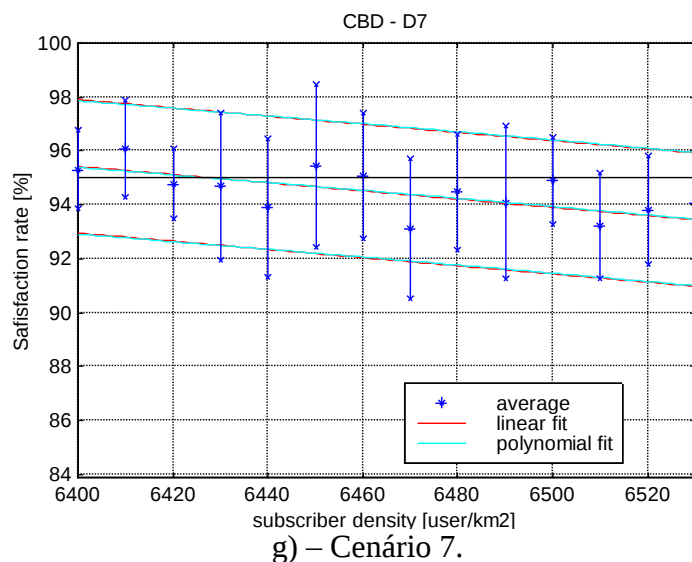
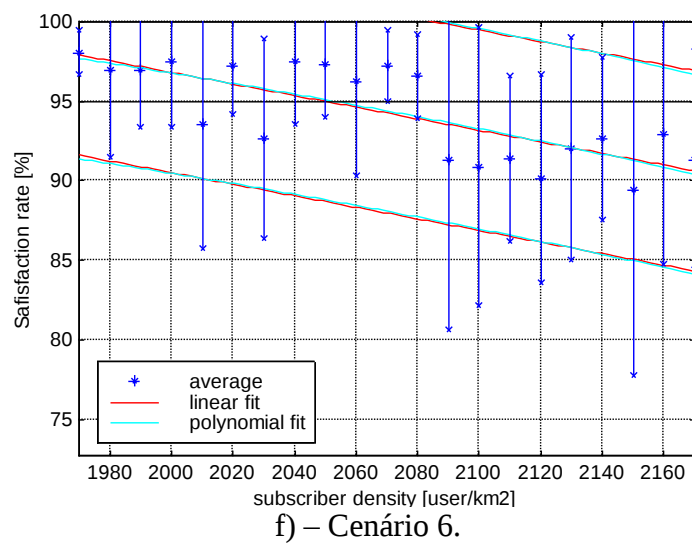
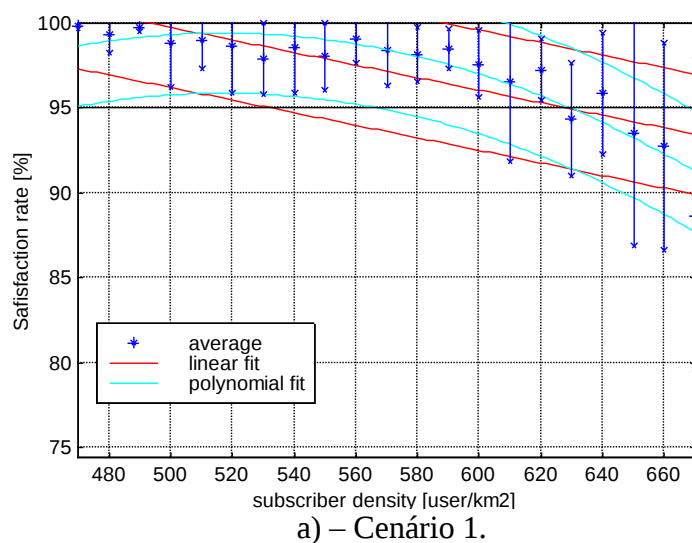
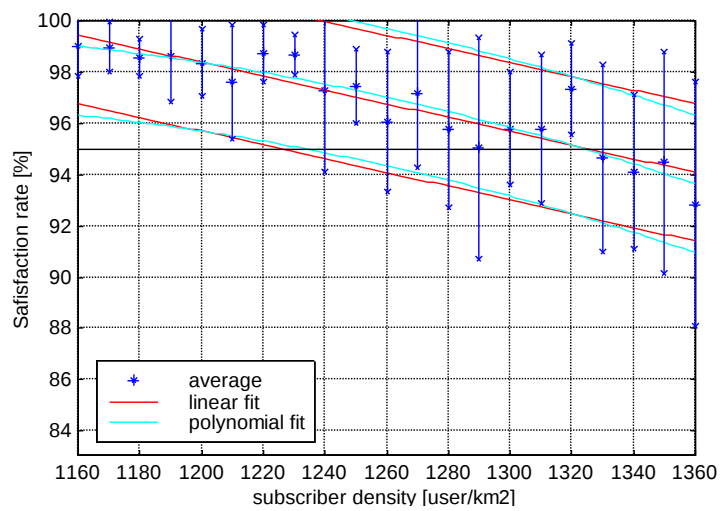
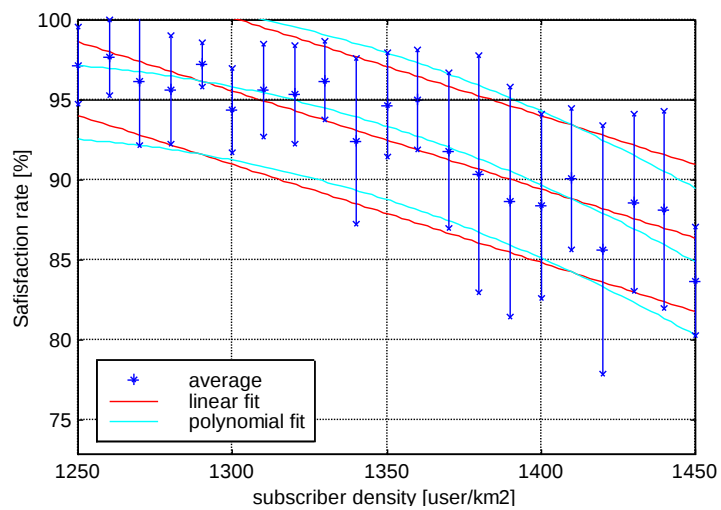


Figura O.1 – Aproximação linear e polinomial aos dados obtidos pelo simulador SLEP no ambiente CBD.

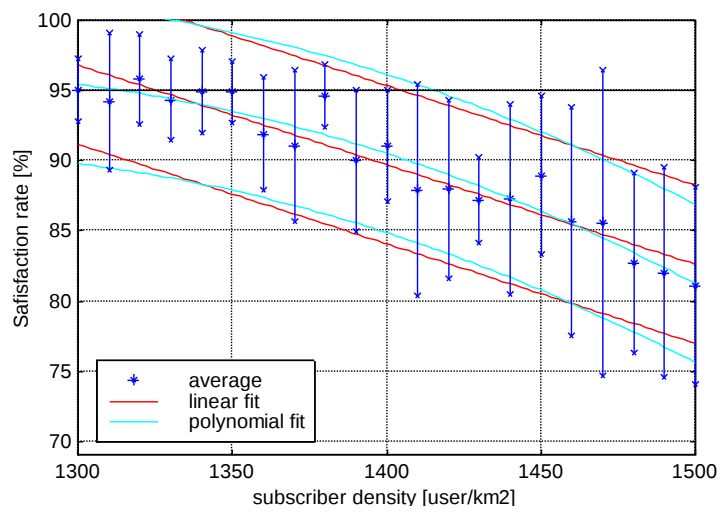




b) – Cenário 2.



c) – Cenário 3.



d) – Cenário 4.

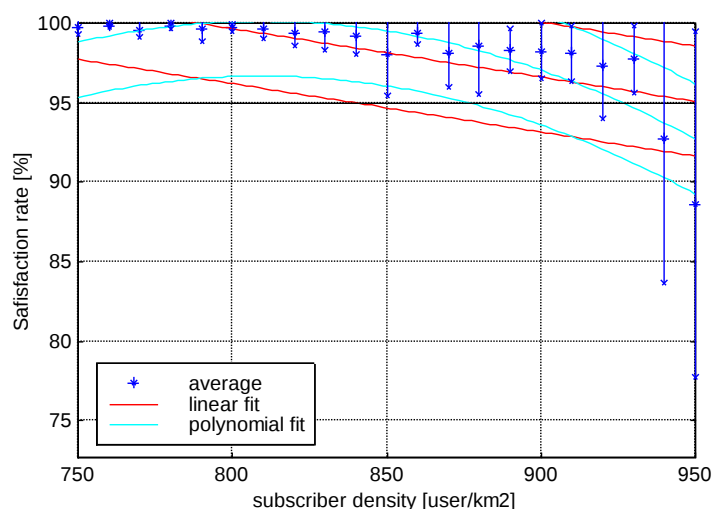
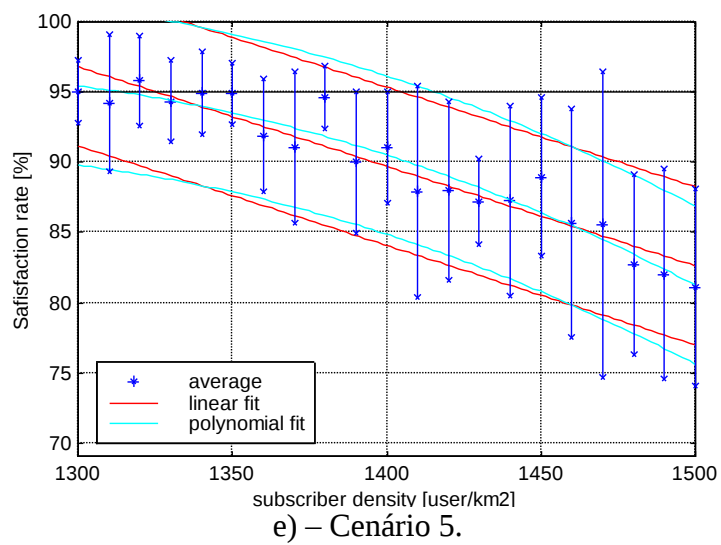
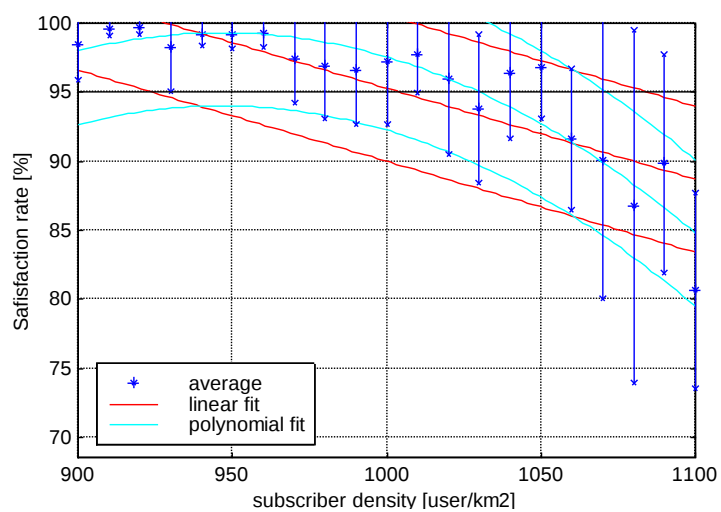
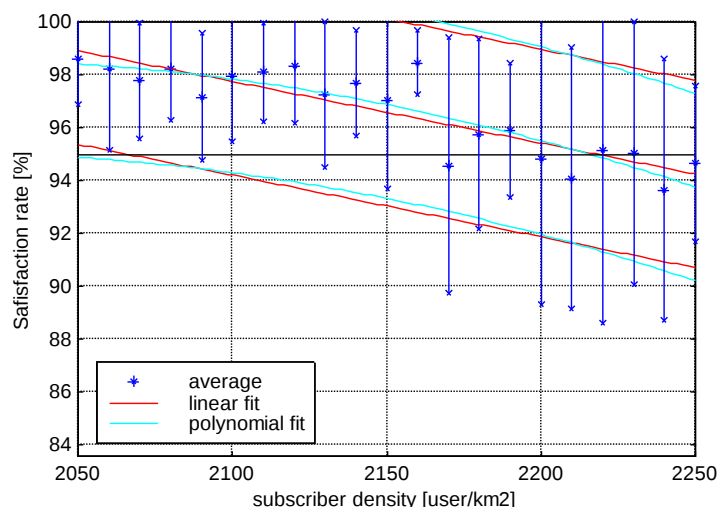
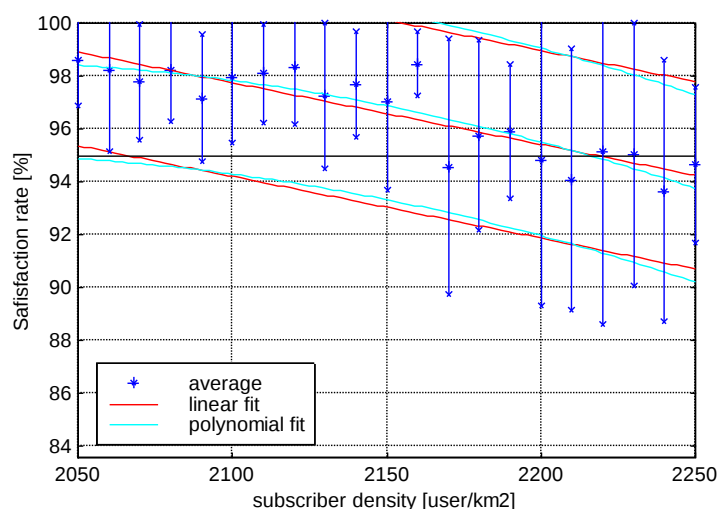


Figura O.2 – Aproximação linear e polinomial aos dados obtidos pelo simulador SLEP no ambiente urbano pedestre.

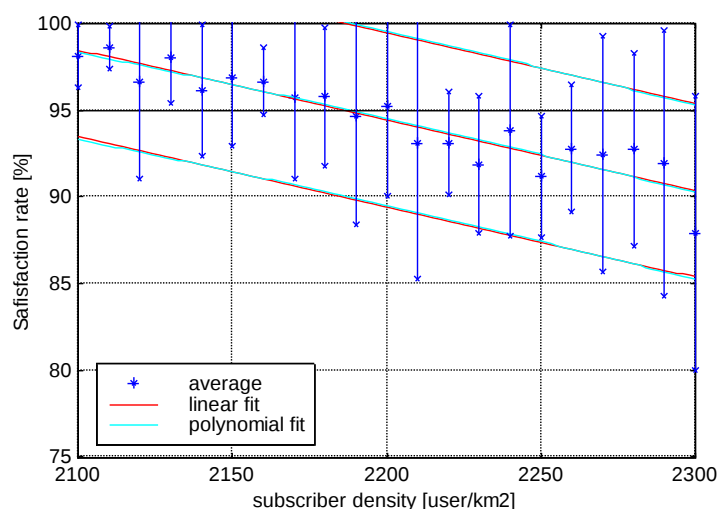




b) – Cenário 2.



c) – Cenário 3.



d) – Cenário 4.

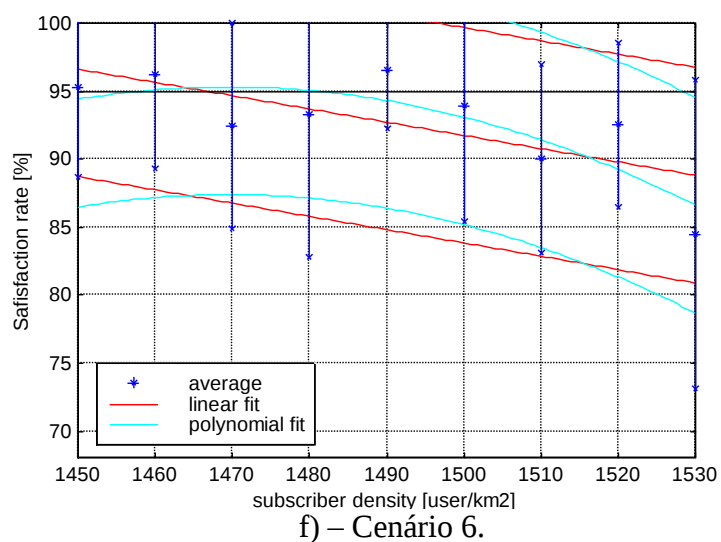
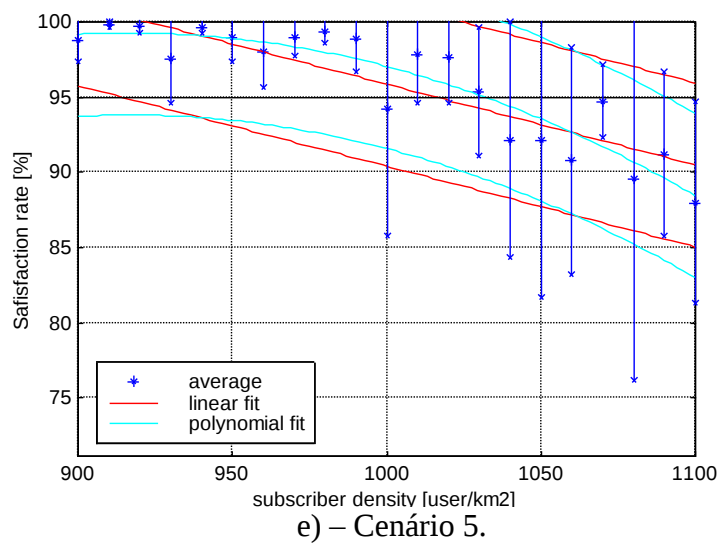
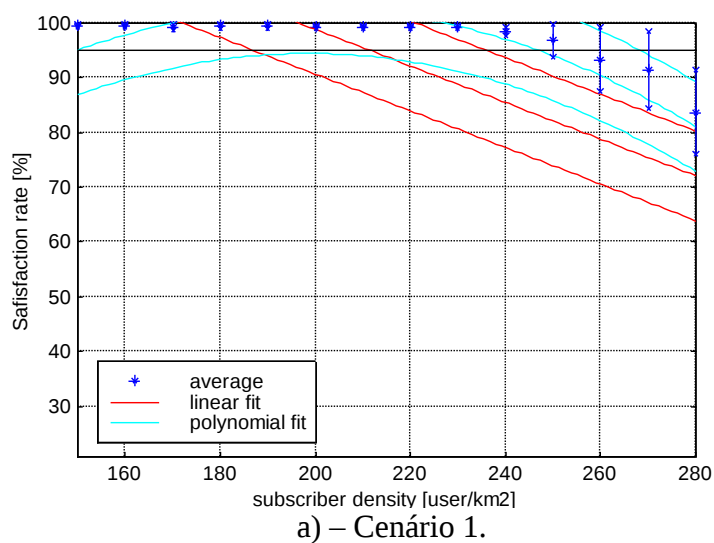
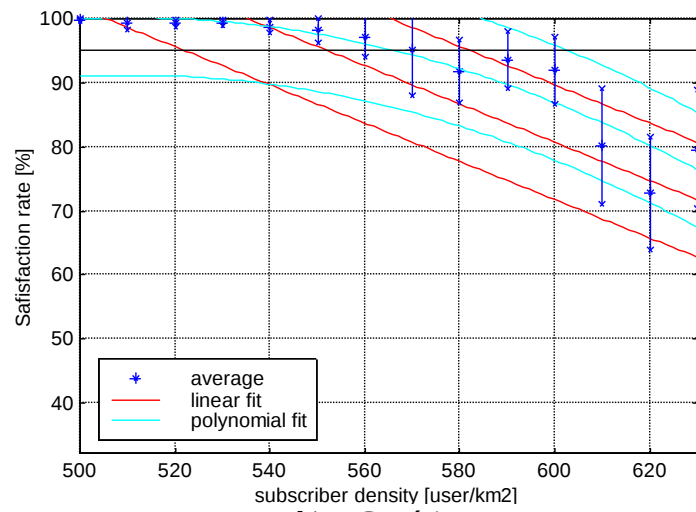
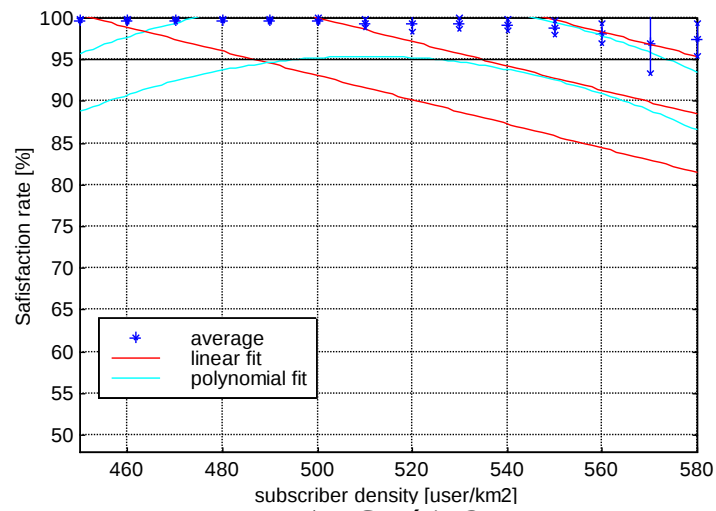


Figura O.3 – Aproximação linear e polinomial aos dados obtidos pelo simulador SLEP no ambiente urbano veicular.

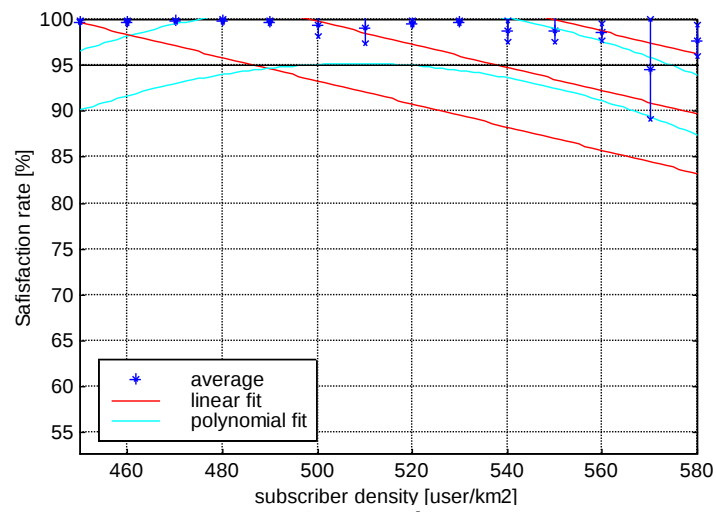




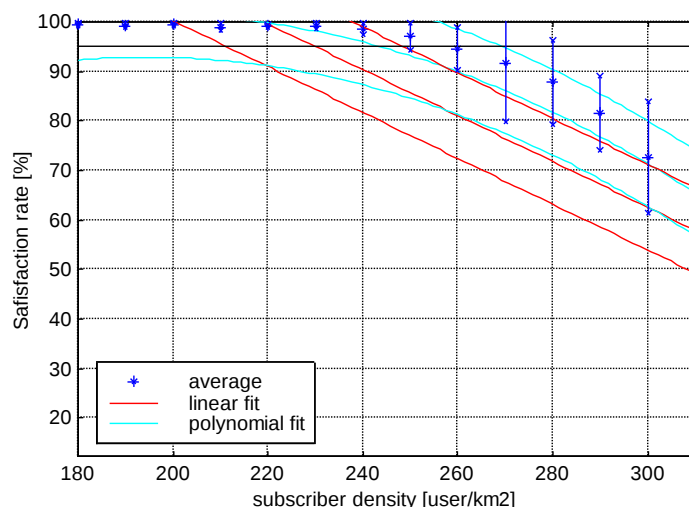
b) – Cenário 2.



c) – Cenário 3.



d) – Cenário 4.



e) – Cenário 5.

Figura O.4 – Aproximação linear e polinomial aos dados obtidos pelo simulador SLEP no ambiente rural.

Os resultados que sintetizam a informação contida nas Figuras O.1 a O.4 são exibidos da Tabela O.1.

Cenário	Aproximação linear		Aproximação polinomial	
	Densidade de utilizadores [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utilizadores [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$
1	1 551	1,84	1 545	1,81
2	2 866	0,65	2 865	0,65
3	2 843	1,95	2 837	1,84
4	2 850	1,91	2 853	1,91
5	1 569	2,47	1 555	2,34
6	2 050	3,57	2 053	3,56
7	6 429	0,83	6 428	0,83

a) – Ambiente CBD.

Cenário	Aproximação linear		Aproximação polinomial	
	Densidade de utilizadores [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utilizadores [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$
1	628	2,29	629	0,99
2	1 326	0,55	1 324	0,49
3	1 309	2,46	1 320	1,87
4	1 325	1,99	1 314	1,49
5	615	3,13	631	1,99
6	953	3,46	926	1,95

b) – Ambiente urbano pedestre.

Cenário	Aproximação linear		Aproximação polinomial	
	Densidade de utilizadores [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utilizadores [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$
1	1 004	7,22	1 030	3,15
2	2 218	0,64	2 215	0,57
3	2 172	1,08	2 166	0,95
4	2 186	1,01	2 188	1,00
5	1 016	3,25	1 032	2,14
6	1 467	5,93	1 481	3,99

c) – Ambiente urbano veicular.

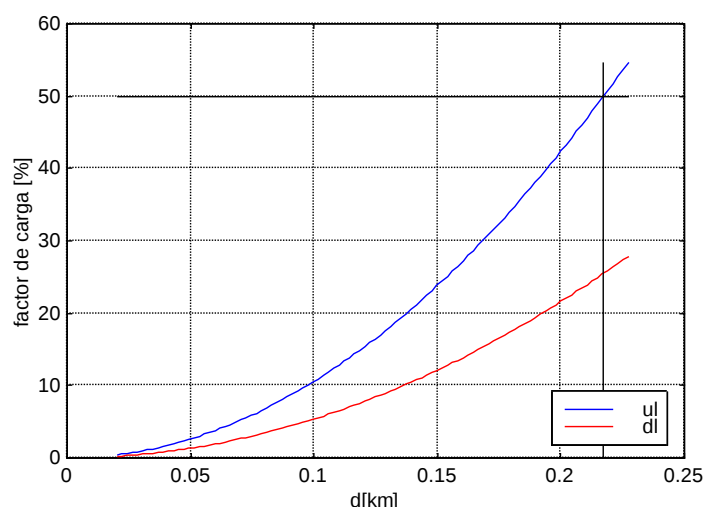
Cenário	Aproximação linear		Aproximação polinomial	
	Densidade de utilizadores [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$	Densidade de utilizadores [km ²]	$\overline{\varepsilon^2}$
1	212	126,27	247	13,8
2	552	37,10	566	6,81
3	535	48,69	574	13,02
4	538	29,70	575	5,55
5	230	10,82	244	29,70

d) – Ambiente rural.

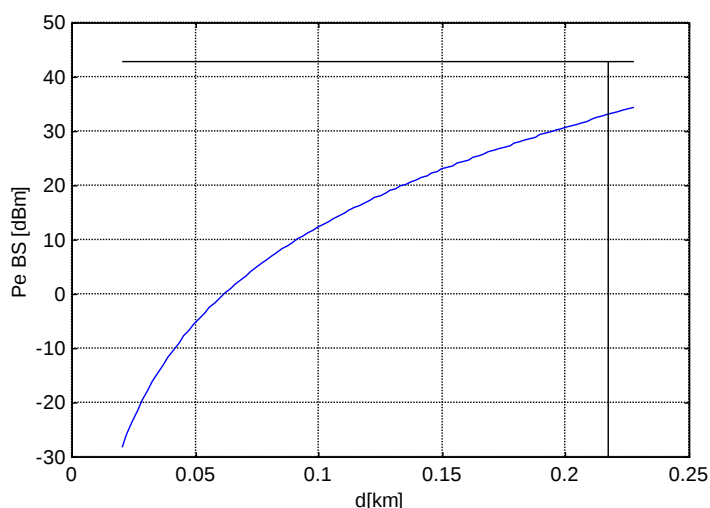
Tabela O.1 – Densidade de utilizadores e erro quadrático médio que originam uma *satisfaction rate* de 95% para os vários ambientes e cenários.

ANEXO P -DIMENSÕES E CARGAS DAS CÉLULAS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DAS PREVISÕES DE TRÁFEGO DO ASILUM CONSIDERANDO LIGAÇÕES MULTI-SERVIÇO

Neste Anexo apresentam-se as figuras referentes à dimensão e carga das células e potência das estações de base, obtidas pela aproximação analítica que se descreve na Secção 3.2, dos dados de tráfego exibidos na Secção 3.3 e dos balanços de potência apresentados no Anexo F. Os pressupostos assumidos para a realização destas simulações encontram-se descritos na Secção 4.3. A Figura P.1 diz respeito ao ambiente CBD, a P.2 ao ambiente UP, P.3 é respeitante ao ambiente UV e a P.4 ao ambiente RU.

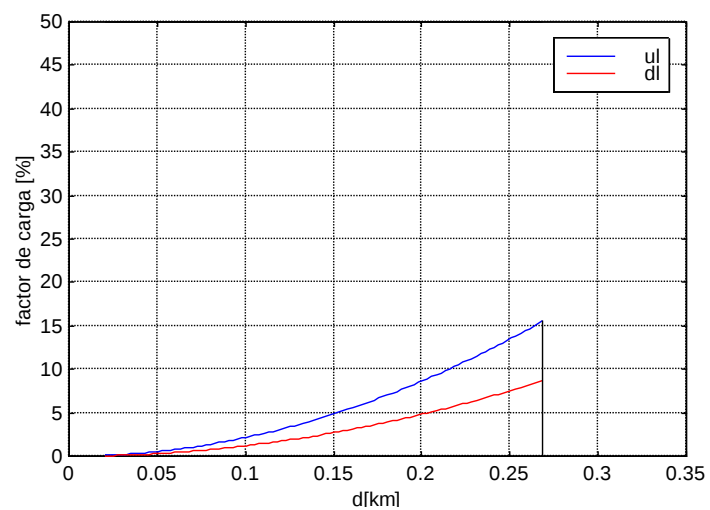


a) – Factores de carga.

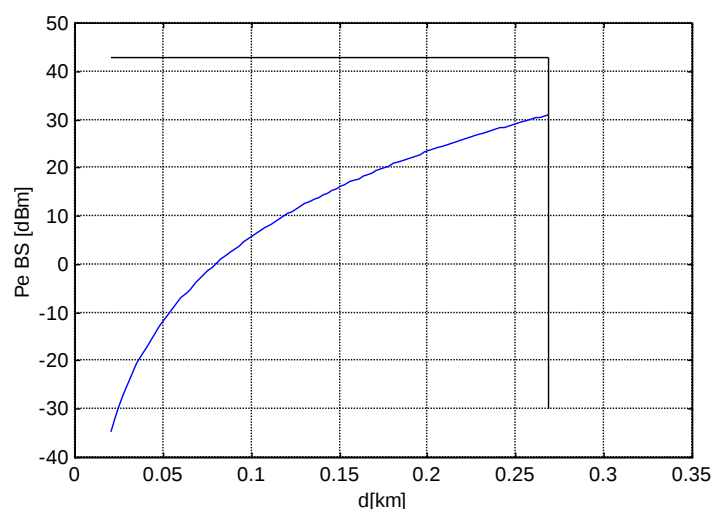


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura P.1 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente CBD.

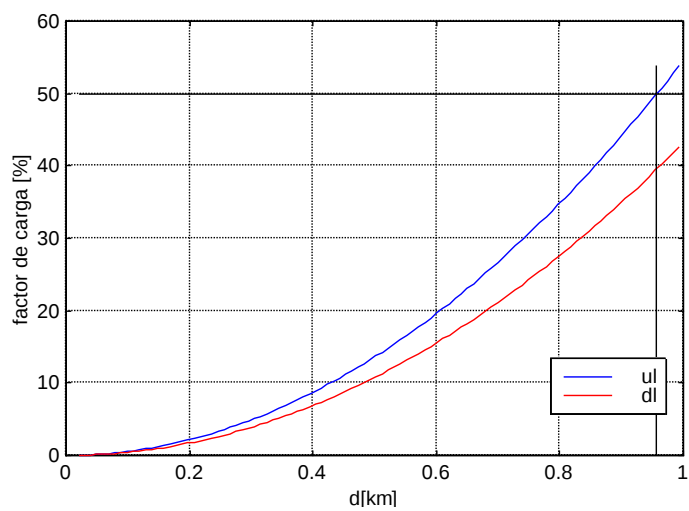


a) – Factores de carga.

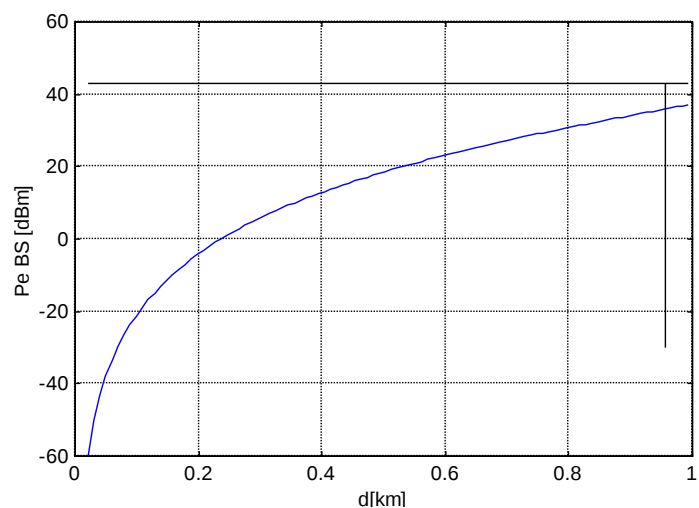


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura P.2 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano pedestre.

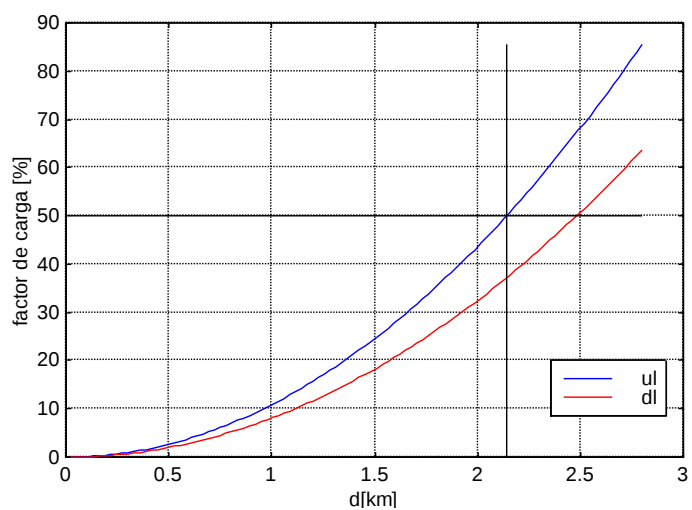


a) – Factores de carga.

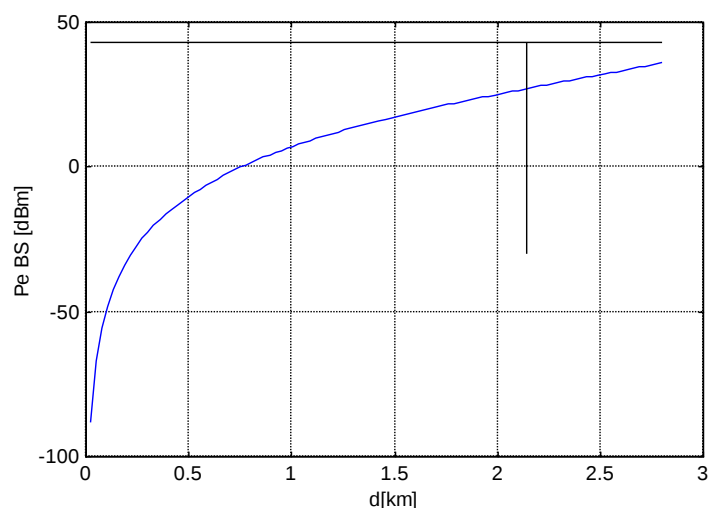


b) – Potência de emissão da estação base.

Figura P.3 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente urbano veicular.



a) – Factores de carga.



b) – Potência de emissão da estação base.

Figura P.4 – Factores de carga e potência de emissão da estação base para ambiente rural.

Os resultados obtidos através das Figuras P.1 a P.4 apresentam-se na Tabela P.1.

Ambiente	η_{dl} [%]	η_{ul} [%]	Pe [dBm]	d_{ef} [km]
CBD	25,5	50,0	33,1	0,22
Urbano Pedestre	8,7	15,6	31,1	0,27
Urbano Veicular	39,5	50,0	36,0	0,96
Rural	37,2	50,0	27,1	2,14

Tabela P.1 – Resultados para os diferentes ambientes.

REFERÊNCIAS

- [3GGe00] 2001 3G-Generation.com, *What is 3-G*, <http://www.3g-generation.com>, 2000.
- [3GPP00a] 3GPP, *Services & Service Capabilities*, 3GPP Technical Specification, No. 22.105, Ver. 3.8.0, Mar. 2000.
- [3GPP00b] 3GPP, *Physical Layer Procedures (FDD)*, 3GPP Technical Specification, No. 25.214, Ver. 3.2.0, Mar. 2000.
- [3GPP00c] 3GPP, *Spreading and Modulation (FDD)*, Technical Specification Group Core Network, 3GPP Technical Specification, No. 25.213, Ver. 3.2.0., Mar. 2000.
- [Aghv00] Aghvami, H., *UMTS / IMT2000*, Instituto de Telecomunicações, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Jun. 2000.
- [ARIB98] ARIB, *Self Evaluation Report on Japan's Proposal for Candidate Radio Transmission Technology on IMT-2000: W-CDMA*, ARIB IMT-2000 Study Committee, ver. 1.1, Japan, Sep. 1998.
- [CDMA00] 2000 CDMA Development group, *CDMA Revolution*, <http://www.cdg.org>, 2000.
- [Corr93] Correia, L., *Comunicações Móveis*, Secção de Folhas da AEIST, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1993.
- [COST91] Damasso, E. and Correia, L.M. (eds.), *Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems*, COST Telecom Secretariat European Commission, Brussels, Belgium, 1999.
- [CPGF98] Claro, A., Pardelinha, C., Gol, F., Ferreira, J., Queijo, J., Almeida, S., and Correia L. M., *Signal Level Requirements for 2W Mobile Phones*, Internal Report, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, July 1998.
- [ETSIsd] ETSI, *Evaluation Report for ETSI UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) ITU-R RTT Candidate*, s.d.
- [Fern00] Fernandes, B., *Capturing the value of UMTS and Driving the New Economy*, Instituto de Telecomunicações, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Out. 2000.
- [Gonç98] Gonçalves, N.C., *Modelos de Propagação para Sistemas Microcelulares Urbanos na Banda de UHF*, Tese de Mestrado, DEEC, IST, Lisboa, Jan. 1998.
- [Hata80] Hata, M., "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. VT-29, No. 3, Aug. 1980, pp. 317-325.

- [HoTo00] Holma, H. and Toskala, A., *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons, London, UK, 2000.
- [MFCV01] Marques, G., Ferreira, L., Correia, L.M. e Voyer, N., *Specifications Proposal for the SLEP Simulations*, IST-ASILUM Project, Internal Report IST/TUL/IN/Int./037/0.6, IST, Lisbon, Portugal, May 2001.
- [Moto96] Motorola, *CDMA Technology and Benefits*, available at: <http://www.motorola.com/MSS/technology/CDM.html>, Arlington Heights, USA, 1996.
- [OOKF68] Okumura, Y., Ohmori, E., Kawano, T. and Fukuda, K., "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service", *Rev. Elec. Commun. Lab.*, Vol. 16, Sep.-Oct. 1968, pp. 825-873.
- [Pars92] Parsons, J.D., *The Mobile Radio Propagation Channel*, Pentech Press, London, UK, 1992.
- [Pire99] Pires, J. J. O., *Sistemas de Telecomunicações I*, Secção de Folhas da AEIST, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 1999.
- [PrOj98] Prasad, R. and Ojamperä, T., *An Overview of CDMA Evolution toward Wideband CDMA*, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys/4q98issue/prasad>, 1998.
- [QuAl98] Queijo, J. e Almeida, S., *Projecto da Cobertura de um Sistema de Comunicações Celular para a Área de Lisboa em GSM 1800*, TFC, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Jul. 1998.
- [Sale98] Salema, C., *Feixes Hertzianos*, IST Press, Lisboa, Portugal, 1998.
- [Stal00] Stallings, W., *Data & Computer Communications*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2000.
- [UMTS00d] UMTS Forum, *Enabling UMTS / Third Generation Services and Applications*, Report no. 11, London, UK, Oct. 2000.
- [UMTS97a] UMTS Forum, *A Regulamentary Framework for UMTS*, Report no. 1, London, UK, June, 1997.
- [UMTS98b] UMTS Forum, *Minimum Spectrum Demand per Public Terrestrial UMTS Operator in the Initial Phase*, Report no. 5, London, UK, Sep. 1998.
- [UMTS98c] UMTS Forum, *UMTS/IMT-2000 Spectrum*, Report no. 6, London, UK, Dec. 1998.
- [Yaco93] Yacoub, M.D., *Foundations of Mobile Radio Engineering*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 1993.