



**INSTITUTO SUPERIOR DAS CIÊNCIAS
DO TRABALHO E DA EMPRESA**

Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

**ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE CÉLULAS
PARA TRANSMISSÃO MBMS**

Alexandra Botelho Boal
(Licenciada)

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do Grau de

Mestre em Engenharia Informática e de Telecomunicações

Orientador: Prof. Doutor Américo Manuel Carapeto Correia

Junho de 2007

Para a minha Família

“My interest is in the future, because I am going to spend the rest of my life there.”

(Charles F. Kettering 1876-1958)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao meu orientador, Professor Américo Correia por me ter orientado neste trabalho e pela disponibilidade, apoio e paciência que demonstrou ao longo do mesmo.

À minha família pelo apoio incondicional, encorajamento, compreensão e paciência manifestados durante todo o trabalho.

Um agradecimento a todos os meus colegas da ADETTI e ISCTE, especialmente aos envolvidos nos Projectos B-BONE e C-MOBILE pela amizade, pelos seus preciosos comentários, conselhos e encorajamento demonstrados durante a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma nova topologia de rede de modo a viabilizar a introdução da nova funcionalidade MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) no sistema UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) do futuro. Alguns dos principais desafios referentes à implementação do MBMS prendem-se essencialmente ao nível da rede de acesso rádio, onde obstáculos como a elevada potência de transmissão, necessária para garantir a qualidade e cobertura dos serviços, se torna num aspecto limitativo em relação à capacidade da rede onde são esperados múltiplos e variados serviços.

O objectivo principal deste trabalho consiste em prever e analisar a melhoria de cobertura e *throughput* associada a duas novas topologias nomeadamente, Topologia Real e Topologia de Estrutura Hierárquica de Células e tendo como referência a Topologia Macrocelular. Para se atingir esse objectivo, teve que se implementar (utilizando como ferramenta o JAVA) as novas topologias, onde também se utilizaram diversas técnicas que permitem reduzir a potência de transmissão sem que isso afecte a cobertura e o serviço recebido pelos UEs (*User Equipment*), nomeadamente, sistemas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) e sistemas de Macro diversidade.

Os resultados deste trabalho provêm de um simulador ao nível de Ligação (MATLAB) interligado com um simulador RNS (*Radio Network Subsystem*) ao nível de sistema (JAVA).

Palavras Chave

Antenas Distribuídas. Estrutura Hierárquica de Células. Macro Diversidade. MBMS. MIMO. UMTS.

ABSTRACT

This work presents a roll of solutions to realize the introduction of the new MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) functionality in the future UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) network. Some of the most difficult challenges regarding the implementation of the MBMS relies mostly at the radio access network, where obstacles like the high transmission power necessary to guarantee the quality and the coverage of the MBMS services makes it a limitative aspect in relation to the overall network capacity where it is expected the transmission of multiple and diverse services.

The main objective of this work consists of predicting and analyzing the coverage and throughput improvements associated to two new topologies namely, Real Topology and Hierarchical Cell Structure Topology, and having the Macrocell Topology as a reference. To reach that goal, it was necessary to implement the new topologies (using JAVA tool), where several techniques were used to reduce the transmission power without affecting the coverage and de service received by UEs, namely, MIMO and Macro diversity systems.

The results of this work were based on a Link Level Simulator (MATLAB) interconnected with a RNS (*Radio Network Subsystem*) System Level Simulator (JAVA).

Key Words

Distributed Antenna. Hierarchical Cell Structure. Macro Diversity. MBMS. MIMO. UMTS.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO.....	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
LISTA DE TABELAS.....	XVII
LISTA DE EQUAÇÕES.....	XVIII
LISTA DE ACRÓNIMOS	XX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XXV
NOTAÇÃO GERAL E TERMINOLOGIA	XXVII
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 ESTADO DE ARTE	2
1.3 OBJECTIVOS	3
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO E INOVAÇÃO	5
1.5 PUBLICAÇÕES.....	7
CAPÍTULO 2 <i>BROADCAST</i> E <i>MULTICAST</i> NO UMTS	9
2.1 INTRODUÇÃO	9
2.2 REDE UMTS.....	10
2.2.1 EVOLUÇÃO DO UMTS.....	11
2.2.2 ARQUITECTURA DA REDE UMTS	14
2.2.3 INTERFACES DA REDE UMTS.....	17
2.2.4 INTERFACE RÁDIO WCDMA	18
2.3 MBMS	19
2.3.1 ARQUITECTURA MBMS.....	19
2.3.2 CANAL MBMS.....	21
2.3.3 MODOS DE OPERAÇÃO DO MBMS	23
2.3.3.1 MODO <i>BROADCAST</i>	23
2.3.3.2 MODO <i>MULTICAST</i>	24
2.3.4 FASES DO SERVIÇO MBMS	25
2.3.5 SERVIÇOS MBMS	27
2.3.5.1 DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	28

2.3.5.2 SERVIÇOS <i>BROADCAST</i> E <i>MULTICAST</i>	30
2.3.6 TÉCNICAS DE DIVERSIDADE PARA O MBMS	31
2.3.6.1 <i>SELECTIVE COMBINING</i>	34
2.3.6.2 <i>MAXIMUM RATIO COMBINING</i>	35
CAPÍTULO 3 ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE CÉLULAS	37
3.1 INTRODUÇÃO	37
3.2 SISTEMAS MIMO	38
3.2.1 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS MIMO	40
3.2.2 CAPACIDADE DE UM SISTEMA MIMO	40
3.2.3 PROBLEMAS E BENEFÍCIOS	41
3.3 TOPOLOGIA DA ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE CÉLULAS	43
3.3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA	43
3.3.2 CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DO SISTEMA	45
3.3.3 PROBLEMAS E BENEFÍCIOS	47
CAPÍTULO 4 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO	49
4.1 INTRODUÇÃO	49
4.2 SIMULADOR RNS	49
4.2.1 MÓDULO DO NÍVEL DE LIGAÇÃO	51
4.2.1.1 INDICADORES DE DESEMPENHO DA LIGAÇÃO	52
4.2.1.2 ESTUDO ANALÍTICO DA LIGAÇÃO DESCENDENTE	54
4.2.1.3 DESEMPENHO DO CANAL S-CCPCH PARA O MBMS	56
4.2.1.4 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO	57
4.2.2 MÓDULO DO NÍVEL DE SISTEMA	59
4.2.2.1 ELEMENTOS LÓGICOS DO MÓDULO DO NÍVEL DE SISTEMA	61
4.2.2.2 GESTÃO DE RECURSOS RÁDIO	62
4.2.2.3 CANAL UMTS	63
4.2.2.4 GERADOR DE TRÁFEGO	64
4.2.2.5 MOBILIDADE	64
4.2.2.6 AMBIENTES DE SIMULAÇÃO	65
4.2.2.6.1 TOPOLOGIA MACROCELULAR	65
4.2.2.6.2 TOPOLOGIA REAL	67
4.2.2.6.3 TOPOLOGIA DA ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE CÉLULAS	69
CAPÍTULO 5 ANÁLISE DE RESULTADOS	73
5.1 INTRODUÇÃO	73

5.2 ANÁLISE DE RESULTADOS DA TOPOLOGIA REAL.....	74
5.2.1 ANÁLISE DO FACTOR DE GEOMETRIA.....	74
5.2.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO DO S-CCPCH PARA O MBMS.....	76
5.2.3 ANÁLISE DA COBERTURA E <i>THROUGHPUT</i>	80
5.2.3.1 FACTOR DE ORTOGONALIDADE	81
5.2.3.2 CANAL DE PROPAGAÇÃO	82
5.2.3.3 NÚMERO DE UES	84
5.2.3.4 RESULTADOS POR CÉLULA	84
5.2.3.5 RITMO BINÁRIO	86
5.2.3.5.1 PEDESTRIAN B 3KM/H.....	86
5.2.3.5.2 VEHICULAR A 30KM/H.....	87
5.2.3.6 MACRO DIVERSIDADE.....	88
5.2.3.6.1 PEDESTRIAN B 3KM/H.....	88
5.2.3.6.2 VEHICULAR A 30KM/H.....	89
5.3 ANÁLISE DE RESULTADOS DA TOPOLOGIA HCS.....	90
5.3.1 ANÁLISE DO FACTOR DE GEOMETRIA.....	90
5.3.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO DO S-CCPCH COM MIMO PARA O MBMS	94
5.3.3 ANÁLISE DA COBERTURA E <i>THROUGHPUT</i>	95
5.3.3.1 DISTÂNCIA ENTRE DAS	96
5.3.3.2 CANAL DE PROPAGAÇÃO	99
5.3.3.2.1 PEDESTRIAN B 3KM/H.....	99
5.3.3.2.2 VEHICULAR A 30KM/H.....	100
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES.....	103
6.1 TRABALHO DESENVOLVIDO.....	103
6.2 RESULTADOS	104
6.3 TRABALHO FUTURO.....	106
REFERÊNCIAS.....	109
ANEXO A CANAIS DA UTRAN.....	113
A.1 INTRODUÇÃO	113
A.2 CANAIS LÓGICOS	114
A.3 CANAIS DE TRANSPORTE	115
A.4 CANAIS FÍSICOS	116
ANEXO B PERDAS DE PROPAGAÇÃO	119
B.1 INTRODUÇÃO.....	119

B.2 MODELO OKUMURA – HATA.....	119
B.3 MODELO WALFISCH - IKEGAMI.....	120
ANEXO C CANAIS DE PROPAGAÇÃO ITU.....	124
C.1 INTRODUÇÃO.....	124
ANEXO D ESTRUTURA DO CANAL S-CCPCH.....	126
D.1 INTRODUÇÃO	126
ANEXO E RESULTADOS DE SIMULAÇÕES DA TOPOLOGIA REAL	129
E.1 INTRODUÇÃO.....	129
E.2 ANÁLISE DA COBERTURA E THROUGHPUT	129
E.2.1 RITMO BINÁRIO PARA VEHICULAR A 3KM/H.....	129
E.2.1 MACRO DIVERSIDADE PARA VEHICULAR A 3KM/H.....	130
ANEXO F RESULTADOS DE SIMULAÇÕES DA TOPOLOGIA HCS.....	131
F.1 INTRODUÇÃO	131
F.2 ANÁLISE DA COBERTURA E THROUGHPUT.....	131
F.2.1 DISTÂNCIA ENTRE DAS E CANAL DE PROPAGAÇÃO.....	131
F.2.1.1 PEDESTRIAN B 3KM/H.....	132
F.2.1.2 VEHICULAR A 30KM/H	132
ANEXO G E-UMTS (<i>ENHANCED-UMTS</i>) NA BANDA DOS 2500-2690MHZ	133
G.1 INTRODUÇÃO	133
G.2 ASPECTOS DE PROPAGAÇÃO PARA A BANDA DOS 2.5GHZ.....	134
G.3 CENÁRIOS PROPOSTOS	135
G.4 MODELO DE INTERFERÊNCIA FDD.....	137
G.5 ANÁLISE DE RESULTADOS	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Síntese das Releases do 3GPP [1].....	14
Figura 2.2: Arquitectura da Rede UMTS [2].....	15
Figura 2.3: Diagrama simplificativo de um sistema WCDMA [5].	18
Figura 2.4: Arquitectura e interfaces do MBMS [10, 11].	21
Figura 2.5: MBMS, modo <i>broadcast</i>	24
Figura 2.6: MBMS, modo <i>multicast</i>	24
Figura 2.7: Fases do Serviço MBMS [18].....	26
Figura 2.8: Exemplos das classes de serviços UMTS e aplicações [21].	28
Figura 2.9: Diversidade Temporal [23].	32
Figura 2.10: Diversidade de Frequência [23].	33
Figura 2.11: Diversidade Espacial [23].	34
Figura 2.12: <i>Selective Combining</i> [24].	35
Figura 2.13: <i>Maximum Ratio Combining</i> [24].	36
Figura 3.1: Configurações de múltiplas antenas [24].	38
Figura 3.2: Sistema MIMO [26].	39
Figura 3.3: Estrutura do sistema celular convencional, com antenas distribuidas.	44
Figura 4.1: Esquema do Simulador RNS [42].	50
Figura 4.2: Interação entre os simuladores do nível de ligação e do nível de sistema.	51
Figura 4.3: Esquema de simulação na ligação descendente [23].	55
Figura 4.4: Processo de simulação do Nível de Sistema [38].	60
Figura 4.5: Topologia Macrocelular.	66
Figura 4.6: Topologia Real.	68
Figura 4.7: Fotografia aérea da área em estudo.	68
Figura 4.8: Topologia HCS com Antenas Distribuidas (250m entre DAs).	70
Figura 5.1: Distribuição Cumulativa da Geometria nos ambientes Macrocelular e Real.	75
Figura 5.2: Distribuição Cumulativa da Geometria nos ambientes Macrocelular e Real (gama de valores mais relevantes).	76
Figura 5.3: BLER vs E_c/I_{or} – <i>Pedestrian B</i> (3km/h).	77
Figura 5.4: BLER vs E_c/I_{or} – <i>Vehicular A</i> (3km/h).	78
Figura 5.5: BLER vs E_c/I_{or} – <i>Vehicular A</i> (30km/h).	79

Figura 5.7: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do factor de ortogonalidade).....	82
Figura 5.8: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do factor de ortogonalidade).....	82
Figura 5.9: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (64kbps, variação do canal de propagação).	83
Figura 5.10: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (64kbps, variação do canal de propagação).	83
Figura 5.11: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do número de UEs).....	84
Figura 5.12: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do número de UEs).....	84
Figura 5.13: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (64kbps, VehA3, resultados por célula).	85
Figura 5.14: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB3, variação do ritmo binário).86	
Figura 5.15: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB3, variação do ritmo binário).	86
Figura 5.16: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do ritmo binário).	87
Figura 5.17: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do ritmo binário).	87
Figura 5.18: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB3, 64kbps, macro diversidade).	88
Figura 5.19: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB3, 64kbps, macro diversidade).	88
Figura 5.20: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA30, 64kbps, macro diversidade).	89
Figura 5.21: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA30, 64kbps, macro diversidade).	89
Figura 5.22: Distribuição Cumulativa da Geometria nos ambientes Macrocelular e HCS.	91
Figura 5.23: Distribuição Cumulativa da Geometria nos ambientes Macrocelular e HCS (gama de valores mais relevantes).....	92
Figura 5.24: Distribuição Cumulativa da Geometria na Topologia HCS com 1, 2 e 3RL.	93
Figura 5.25:BLER vs E_c/I_{or} - PedB (3km/h) e VehA (3km/h e 30km/h).	94
Figura 5.26: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 3km/h, 250m entre DAs)....	96
Figura 5.27: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 3km/h, 250m entre DAs). 96	

Figura 5.28: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 3km/h, 125m entre DAs)....	97
Figura 5.29: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 3km/h, 125m entre DAs).	97
Figura 5.30: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB 3km/h, 250m entre DAs).....	99
Figura 5.31: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB 3km/h, 250m entre DAs)..	99
Figura 5.32: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 30km/h, 250m entre DAs).	100
Figura 5.33: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 30km/h, 250m entre DAs).	100
.....	100
Figura A.1: Representação dos canais da UTRAN [3].....	113
Figura B.1: Definição dos parâmetros do modelo <i>Walfisch-Ikegami</i> [39].	120
Figura B.2: Definição do ângulo de orientação da estrada (φ) [39].....	121
Figura D.1: Estrutura da trama do canal físico S-CCPCH [48].....	126
Figura E.1: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do ritmo binário).	130
.....	130
Figura E.2: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do ritmo binário).	130
.....	130
Figura E.3: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, 64kbps, macro diversidade).	130
.....	130
Figura E.4: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, 64kbps, macro diversidade).	130
.....	130
Figura F.1: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB 3km/h, 125m entre DAs).....	132
Figura F.2: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB 3km/h, 125m entre DAs).	132
Figura F.3: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 30km/h, 125m entre DAs)..	132
Figura F.4: <i>Throughput</i> Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 30km/h, 125m entre DAs).	132
.....	132
Figura G.1: Fotografia aérea da área em estudo.....	139
Figura G.2: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 1, <i>Vehicular A</i> (DL).	140
.....	140
Figura G.3: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 2, <i>Vehicular A</i> (DL).	140
.....	140
Figura G.4: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 1, <i>Vehicular A</i> (DL), considerando macro diversidade.	141
.....	141
Figura G.5: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 2, <i>Vehicular A</i> (DL), considerando macro diversidade.	141
.....	141
Figura G.6: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 1, <i>Pedestrian B</i> (DL).	142
.....	142
Figura G.7: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 2, <i>Pedestrian B</i> (DL).	142
.....	142

Figura G.8: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 1, <i>Pedestrian B</i> (DL), considerando macro diversidade.	143
Figura G.9: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 2, <i>Pedestrian B</i> (DL), considerando macro diversidade.	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Interfaces e respectivos protocolos [3].	17
Tabela 2.2: Exemplos de Serviços <i>Broadcast</i> [22].	30
Tabela 2.3: Exemplos de Serviços <i>Multicast</i> [22].	31
Tabela 4.1: Parâmetros de simulação usados no nível de ligação.	58
Tabela 4.2: Conversão do E_c/I_{or} [dB] em fracção de potência transmitida na célula[%].	59
Tabela 4.3: Parâmetros de simulação da Topologia Macrocelular.	66
Tabela 4.4: Parâmetros de simulação da Topologia Real.	69
Tabela 4.5: Parâmetros de simulação da topologia de Antenas Distribuidas.	71
Tabela 5.1: VehA 3km/h com cobertura de 95% e 1% BLER (E_c/I_{or}).	98
Tabela B.1: Restrições do Modelo COST 231 – <i>Hata</i> [39].	120
Tabela B.2: Restrições do Modelo COST 231 - <i>Walfisch-Ikegami</i> [39].	123
Tabela C.1: Modelos de canal multi-percurso ITU [46].	124
Tabela C.2: Factor de ortogonalidade para os diferentes canais de propagação [45].	125
Tabela D.1: Campos do canal S-CCPCH [48].	127
Tabela D.2: Ritmos binários no percurso descendente.	128
Tabela G.1: Cenários do plano de espectro para a distribuição na banda dos 2500-2690MHz de acordo com a ITU-R [49].	135

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1: Saída do receptor (SC) [24].	35
Equação 2.2: Saída do receptor (MRC) [24].	36
Equação 3.1: Capacidade do canal.	41
Equação 3.2: Capacidade média.	41
Equação 4.1: E_b/N_o na ligação ascendente.	53
Equação 4.2: E_b/N_o na ligação descendente.	53
Equação 4.3: Factor de Geometria.	54
Equação 4.4: Factor de Geometria.	56
Equação 4.5: E_c/I_{or} .	56
Equação 4.6: Potência máxima de transmissão das antenas distribuidas (250m entre DAs).	71
Equação 4.7: Potência máxima de transmissão das antenas distribuidas (125m entre DAs).	71
Equação 5.1: SIR de referência.	80
Equação 5.2: Factor de Ortogonalidade.	81
Equação B.1: Atenuação para um meio urbano [39].	119
Equação B.2: $a(h_{Móvel})$ [39].	120
Equação B.3: Perda de propagação em situação LOS [39].	121
Equação B.4: Perda de propagação em situação NLOS [39].	121
Equação B.5: Atenuação em espaço livre [39].	122
Equação B.6: Atenuação devido ao percurso entre o topo do telhado dos edifícios e o terminal móvel [39].	122
Equação B.7: Diferença entre a altura dos edifícios e a altura do móvel [39].	122
Equação B.8: Atenuação devido à orientação do raio directo com o eixo da rua [39].	122
Equação B.9: Perda de difracção em múltiplas superfícies [39].	122
Equação B.10: Diferença entre a altura da antena do móvel e a altura dos edifícios [39].	122
Equação B.11: Atenuação suplementar devido à posição da estação de base relativamente ao topo dos edifícios [39].	122
Equação B.12: Factor de correcção da atenuação devido à posição da antena da estação de base [39].	123

Equação B.13: Factor de correcção da distância devido à posição da antena da estação de base [39].....	123
Equação B.14: Factor de correcção da frequência devido ao tipo de ambiente [39]. ..	123
Equação D.1: Factor de espalhamento.	126
Equação G.1: Variação da perda do trajecto.	134
Equação G.2: ACLR entre as portadoras.....	138
Equação G.3: Margem de interferência.....	138
Equação G.4: Potência de recepção.....	138

LISTA DE ACRÓNIMOS

2G	<i>2nd Generation</i>
3G	<i>3rd Generation</i>
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
3GPP2	<i>Third Generation Partnership Project 2</i>
4G	<i>4th Generation</i>
AAL2	<i>ATM Adaptation Layer type 2</i>
AAL5	<i>ATM Adaptation Layer type 5</i>
ACLR	<i>Adjacent Channel Leakage power Ratio</i>
ACIR	<i>Adjacent Channel Interference Ratio</i>
ACS	<i>Adjacent Channel Selectivity</i>
AICH	<i>Acquisition Indicator Channel</i>
AMC	<i>Adaptive Modulation and Coding</i>
ARIB	<i>Association of Radio Industries and Business</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
AuC	<i>Authentication Center</i>
AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
B-BONE	<i>Broadcasting and Multicasting Over Enhanced UMTS Mobile Broadband Networks</i>
BCCH	<i>Broadcast Control Channel</i>
BCH	<i>Broadcast Channel</i>
BCMCS	<i>BroadCast MultiCast Services</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BLER	<i>Block Error Rate</i>
BM-SC	<i>Broadcast Multicast – Service Center</i>
BS	<i>Base Station</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BSS	<i>Base Station System</i>
C-MOBILE	<i>Advanced MBMS for the Future World</i>
CA-ICH	<i>Channel Assignment Indication Channel</i>
CAMEL	<i>Customize Applications for Mobile network Enhanced Logic</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CBS	<i>Cell Broadcast Service</i>
CCCH	<i>Common Control Channel</i>
CD-ICH	<i>Collision Status Indication Channel</i>
CDF	<i>Cumulative Distribution Function</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>

CDMA2000	<i>Code Division Multiple Acces 2000</i>
CN	<i>Core Network</i>
COST	<i>European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research</i>
CPCH	<i>Common Packet Channel</i>
CPICH	<i>Common Pilot Channel</i>
CS	<i>Circuit Switched</i>
CSICH	<i>CPCH Status Indication Channel</i>
CTCH	<i>Common Traffic Channel</i>
DA	<i>Distributed Antenna</i>
DAB	<i>Digital Audio Broadcasting</i>
DCCH	<i>Dedicated Control Channel</i>
DCH	<i>Dedicated Channel</i>
DES	<i>Discrete Event Simulator</i>
DL	<i>Downlink</i>
DPCCH	<i>Dedicated Physical Control Channel</i>
DPDCH	<i>Dedicated Physical Data Channel</i>
DS-CDMA	<i>Direct Sequence - CDMA</i>
DSCH	<i>Downlink Shared Channel</i>
DTCH	<i>Dedicated Traffic Channel</i>
DTX	<i>Discontinuous Transmission</i>
DVB-H	<i>Digital Video Broadcasting - Handheld</i>
DVB-T	<i>Digital Video Broadcasting - Terrestrial</i>
E-UMTS	<i>Enhanced-UMTS</i>
EIR	<i>Equipment Identity Register</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FACH	<i>Forward Access Channel</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
GERAN	<i>GSM EDGE Radio Access Network</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
GMSC	<i>Gateway MSC</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Group System for Mobile Communications</i>
HARQ	<i>Hybrid Automatic Request</i>
HCS	<i>Hierarchical Cell Structure</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
HSS	<i>Home Subscriber Server</i>

HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
IMT-2000	<i>International Mobile Telecommunications - 2000</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPDC	<i>IP Datacast</i>
ISDB-T	<i>Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
LCS	<i>Location Services</i>
LOS	<i>Line-of-Sight</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MBMS	<i>Multimedia Broadcast Multicast Service</i>
MDC	<i>Macro Diversity Combining</i>
MediaFLO	<i>Media Forward Link Only</i>
MGW	<i>Media Gateway</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MISO	<i>Multiple Input Single Output</i>
MMS	<i>Multimedia Messaging Service</i>
MPEG	<i>Motion Picture Expert Group</i>
MRC	<i>Maximum Ratio Combining</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
MSC	<i>Mobile services Switching Center</i>
MT	<i>Mobile Terminal</i>
NBAP	<i>Node-B Application Control</i>
NLOS	<i>Non Line-of-Sight</i>
OCNS	<i>Orthogonal Channel Noise Simulator</i>
OSA	<i>Open Service Access</i>
OSS	<i>Operational Support System</i>
P-CCPCH	<i>Primary Common Control Physical Channel</i>
P-SCH	<i>Primary Synchronization Channel</i>
PCCH	<i>Paging Control Channel</i>
PCH	<i>Paging Channel</i>
PCPCH	<i>Physical Common Packet Channel</i>
PDSCH	<i>Physical Downlink Shared Channel</i>
PICH	<i>Paging Indication Channel</i>
PL	<i>Path Loss</i>
PLMN	<i>Public Land Mobile Network</i>
PRACH	<i>Physical Random Access Channel</i>
PS	<i>Packet Switched</i>

PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
PtM	<i>Point-to-Multipoint</i>
PtP	<i>Point-to-Point</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RACH	<i>Random Access Channel</i>
RAN	<i>Radio Access Network</i>
RANAP	<i>Radio Access Network Application Part</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RL	<i>Radio Link</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RNS	<i>Radio Network Subsystem</i>
RNSAP	<i>Radio Network Sublayer Application Part</i>
RRC	<i>Radio Resource Control</i>
RRM	<i>Radio Resource Management</i>
S-CCPCH	<i>Secondary Common Control Physical Channel</i>
S-SCH	<i>Secondary Synchronization Channel</i>
SC	<i>Selective Combining</i>
SCH	<i>Synchronization Channel</i>
SDMA	<i>Space Division Multiple Access</i>
SF	<i>Spreading Factor</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
SHO	<i>Soft Handover</i>
SIMO	<i>Single Input Multiple Output</i>
SIP	<i>Service Initiation Protocol</i>
SIR	<i>Signal Interference Ratio</i>
SISO	<i>Single Input Single Output</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SNR	<i>Signal Noise Ratio</i>
T-DMB	<i>Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TFCI	<i>Transport Format Combination Indicator</i>
TrFO	<i>Transcoder Free Operation</i>
TTI	<i>Transmission Time Interval</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UL	<i>Uplink</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
USIM	<i>UMTS Subscriber Identity Module</i>

UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
VDT	<i>Variable Duplex Technology</i>
VLR	<i>Visitor Location Register</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless LAN</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

h_{Movel}	<i>Altura da antena do móvel</i>
C	<i>ACLR entre as portadoras</i>
h_{Base}	<i>Altura da estação de base</i>
h_{Roof}	<i>Altura dos edifícios</i>
$g_k > g_j$	<i>Amplitude máxima dos coeficientes de desvanecimento</i>
φ	<i>Ângulo de orientação da estrada</i>
L_b	<i>Atenuação de percurso de uma estação de base</i>
L_{ori}	<i>Atenuação devido à orientação do raio directo com o eixo da rua</i>
L_i	<i>Atenuação entre o móvel e a estação de base</i>
L_{bsh}	<i>Atenuação suplementar devido à posição da estação de base relativamente à altura do móvel</i>
C	<i>Capacidade do canal</i>
I_{or}	<i>Densidade espectral da potência total transmitida na estação de base</i>
N_0	<i>Densidade espectral do ruído</i>
σ	<i>Desvio padrão</i>
Δh_{Base}	<i>Diferença entre a altura da antena do móvel e a altura dos edifícios</i>
Δh_{Movel}	<i>Diferença entre a altura dos edifícios e a altura do móvel</i>
d	<i>Distância</i>
D_i	<i>Distância entre o móvel e a estação de base</i>
r	<i>Distância entre qualquer par de antenas adjacentes</i>
E_b	<i>Energia de bit</i>
E_c	<i>Energia transmitida por chip</i>
μ	<i>Expoente das perdas de propagação</i>
k_a	<i>Factor de correcção da atenuação devido à posição da antena da estação de base</i>
k_d	<i>Factor de correcção da distância devido à posição da antena da estação de base</i>
k_f	<i>Factor de correcção da frequência devido ao tipo de ambiente</i>
G	<i>Factor de geometria</i>
α	<i>Factor de ortogonalidade</i>
f	<i>Frequência</i>

I_0	<i>Interferência</i>
Δf	<i>Intervalo de frequência</i>
Δt	<i>Intervalo de tempo</i>
w	<i>Largura das ruas</i>
W	<i>Largura de banda</i>
W_δ	<i>Largura de banda de coerência do canal</i>
M_i	<i>Margem de interferência</i>
H	<i>Matriz do canal</i>
L_{msd}	<i>Perda de difracção em múltiplas superfícies</i>
L_{rts}	<i>Perda de dispersão</i>
L_0	<i>Perdas em espaço livre</i>
I	<i>Potência de interferência recebida</i>
P_r	<i>Potência de recepção</i>
P_t	<i>Potência de transmissão</i>
P_N	<i>Potência do ruído (térmico e equipamento)</i>
p_{rx}	<i>Potência do sinal recebido</i>
I_{oth}	<i>Potência total recebida das células adjacentes</i>
I_{own}	<i>Potência total recebida das próprias células</i>
p_{tx}	<i>Potência transmitida</i>
R	<i>Raio</i>
β	<i>Relação SNR a cada antena emissora</i>
$n_k(t), n_j(t)$	<i>Ruído AWGN</i>
b	<i>Separação dos edifícios</i>
SIR_{ref}	<i>SIR de referência</i>
R	<i>Taxa de bit</i>
t	<i>Tempo</i>
$\delta(t)$	<i>Tempo de coerência do canal</i>
ΔPL	<i>Varição da perda do trajecto</i>
σ^2	<i>Variância</i>

NOTAÇÃO GERAL E TERMINOLOGIA

A notação utilizada ao longo deste trabalho segue a seguinte convenção:

- **Texto a negrito:** Utilizado para realçar uma palavra ou expressão (por exemplo: “[...] **RNC:** O RNC permite o RRM [...]”);
- **Texto em itálico:** Utilizado para palavras em língua estrangeira (por exemplo, em inglês: “[...] a melhoria de cobertura e *throughput* [...]”);
- **Texto numerado:** Utilizado para indicar uma referência bibliográfica (por exemplo: “[...] As especificações do UMTS estão em desenvolvimento no 3GPP [1].”);
- **Letras Maiúsculas:** Utilizadas para referenciar acrónimos (por exemplo: “[...] especificações do UMTS [...]).

Este trabalho teve por base a utilização da Língua Portuguesa, no entanto o seu uso não é generalizado uma vez que ainda não existe consenso na passagem de alguns termos técnicos para Português. Deste modo, optou-se por se manter determinados termos e acrónimos em Inglês, pois estes são os mais conhecidos e usados.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

O avanço das comunicações multimédia, providas de imagens e vídeos com alta qualidade, juntamente com a crescente demanda para o acesso a informações e serviços em redes privadas e/ou particulares a altas taxas de dados, fez com que a ITU (*International Telecommunication Union*) iniciasse o desenvolvimento de um sistema universal, o IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications - 2000*). Esse mesmo sistema é denominado de UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) e é essa a denominação que irá ser adoptada ao longo deste trabalho. Esse sistema é o que se convencionou na Europa chamar de 3G (*3rd Generation*) ou 3ª Geração dos sistemas móveis celulares.

O MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) é uma tecnologia baseada no protocolo IP (*Internet Protocol*), planeada para transmitir mais eficientemente conteúdos multimédia como vídeo, áudio e texto através da rede UMTS.

As novas topologias celulares, tais como a Topologia relativa à Estrutura Hierárquica de Células (com antenas distribuídas), permitem o aumento da cobertura e a transmissão de elevadas taxas de dados, sendo por isso candidatos promissores para as soluções de implementação futura do MBMS, que será oferecida pela futura rede UMTS.

Este primeiro capítulo visa descrever de forma sucinta o estado de arte, bem como os objectivos, estrutura e contribuições inovadoras deste trabalho e as publicações feitas no âmbito do mesmo.

1.2 ESTADO DE ARTE

Para o mundo das comunicações móveis actual, os dois principais subsistemas que representam o estado de arte em termos de arquitectura e infra-estrutura por entregarem serviços de multimédia são o IMS (*IP Multimedia Subsystem*) e o MBMS *Release 6*. O IMS é um sistema independente capaz de interagir com diversas redes, nomeadamente com a rede móvel UMTS. Este sistema vai permitir uma aproximação uniformizada para a provisão de serviços IP através da comutação de pacotes. O MBMS define os mecanismos de entrega de *multicast* da CN (*Core Network*) para a UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) e GERAN (*GSM EDGE Radio Access Network*), usando o BM-SC (*Broadcast Multicast - Service Center*) para a subscrição de conteúdo, sua facturação e entrega. Em contraste com as tecnologias de acesso especificamente projectadas para *broadcasting* como o DVB-H (*Digital Video Broadcasting - Handheld*), o MBMS tenta entregar serviços de *broadcast* e *multicast* para os dispositivos dos utilizadores móveis utilizando a infra-estrutura da rede de acesso rádio RAN (*Radio Access Network*) existente.

Para a RAN a especificação do 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) do MBMS *Release 6* é o estado de arte. Para permitir uma implementação rápida deste *standard* e uma evolução suave, foram usados diversos mecanismos existentes. O tráfego MBMS é transmitido, por exemplo, por uma estrutura de canal comum já existente e são usados métodos que melhoram a diversidade existente (diversidade de transmissão, entrelaçamento longo - *long interleaving*). As novas características introduzidas para aumentar a eficiência espectral são as transmissões de *simulcast* que permitem a combinação no MAC (*Media Access Control*) ou no nível de camada Física, permitindo aumentar a potência de recepção no terminal mantendo a potência de transmissão.

O MBMS não é, actualmente, a única tecnologia a ser desenvolvida para a transmissão de conteúdos multimédia nos modos *broadcast/multicast* em redes móveis. Outras especificações e tecnologias desenvolvidas para suportar transmissões multimédia, essencialmente no modo *broadcast* são:

- BCMCS (*BroadCast MultiCast Services*): Serviço comparável ao MBMS, que está a ser desenvolvido pelo consórcio 3GPP2 (*Third Generation Partnership*

Project 2), como parte da evolução das especificações das redes 3G baseadas no CDMA2000 (*Code Division Multiple Acces 2000*).

- DVB-H: Tecnologia adaptada das especificações do DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*) para suportar a transmissão de dados IP para terminais móveis;
- ISDB-T (*Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial*): Tecnologia japonesa desenvolvida pela ARIB (*Association of Radio Industries and Business*) que inclui transmissão de dados, *broadcast* de televisão e áudio digital;
- T-DMB (*Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting*): Tecnologia coreana adaptada das especificações do Eureka 147 DAB (*Digital Audio Broadcasting*) para fornecer vídeo, áudio e serviço de dados via MPEG-2 (*Motion Picture Expert Group*) para os terminais móveis;
- MediaFLO (*Media Forward Link Only*): Tecnologia para *broadcast* de serviços multimédia propriedade da Qualcomm desenvolvida para ser implementada nos Estados Unidos da América.

O BCMCS é a tecnologia que mais se assemelha ao MBMS, sendo também um serviço implementado para uma rede móvel já existente, ao contrário das outras tecnologias que necessitam de uma rede móvel distinta e separada. A principal diferença entre o MBMS (ou BCMCS) e as outras tecnologias é não ser necessária a implementação de uma nova rede, nem a alocação de novas bandas de frequência para a sua execução. Apesar da tardia implementação do MBMS, as redes móveis UMTS que irão suportar o MBMS já estão implementadas, em construção ou planeadas, e as frequências de funcionamento atribuídas. Como um complemento às comunicações básicas de voz e uma alternativa à transmissão de conteúdos multimédia transmitidos no modo *unicast*, o MBMS vai muito provavelmente ser adoptado pelos operadores móveis de modo a oferecer mais e melhores serviços multimédia a custos reduzidos.

1.3 OBJECTIVOS

Pode-se dizer que a meta final da comunicação móvel pessoal é permitir que as pessoas troquem qualquer tipo de informação de forma fiável, o mais rapidamente possível, e

sem qualquer restrição à mobilidade. Os sistemas 3G foram talhados para suportarem uma grande variedade de taxas de *bits* e serviços. A introdução de serviços que requeiram elevadas taxas de transferência reforça a importância de soluções que ampliem a capacidade dos novos sistemas.

Diferentemente do mundo das comunicações “com fio”, os sistemas móveis simplesmente não podem criar largura de banda indefinidamente através da adição de novos recursos físicos, como o cabo e fibra óptica, pois o espectro de frequências disponível é escasso e caro. Com o crescimento da demanda por serviços digitais móveis de alta qualidade, existe a necessidade de se estender a capacidade das redes UMTS. A fim de se resolver o dilema da crescente demanda por serviços que exigem cada vez mais largura de banda, foi projectada uma mistura de diferentes tecnologias, tais como o MBMS, MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), antenas distribuídas e estrutura hierárquica de células.

Os objectivos deste trabalho inserem-se no enquadramento anteriormente referido, pretendendo-se contribuir com um estudo sistemático para o aprofundamento e esclarecimento de alguns aspectos relativos à introdução do MBMS na rede UMTS, bem como o impacto que terá na sua arquitectura. Com a introdução do MBMS a interface rádio do sistema UMTS necessita de ser melhorada, uma vez que é esperado um aumento na transmissão de serviços multimédia. Apesar das transmissões rádio ponto a multiponto permitirem poupar recursos rádio, a distribuição de diversos canais *broadcast* ou *multicast* podem facilmente criar problemas em termos de capacidade na rede de acesso rádio devido à transmissão paralela de outros serviços.

Este trabalho surge incluído no contexto do Projecto Europeu C-MOBILE (*Advanced MBMS for the Future World*), que tem como principal objectivo promover a evolução do *broadcast* móvel provendo melhorias ao MBMS para sistemas além dos actuais sistemas 3G.

O objectivo principal deste trabalho consiste em prever e analisar, através da utilização de uma ferramenta de simulação dinâmica, a melhoria de cobertura e *throughput* associada a duas novas topologias nomeadamente, Topologia Real e Topologia de Estrutura Hierárquica de Células e tendo como referência a Topologia Macrocelular. Para se atingir esse objectivo, teve que se implementar (utilizando como ferramenta o JAVA) novas topologias, onde também se utilizaram diversas técnicas que permitem

reduzir a potência de transmissão sem que isso afecte a cobertura e o serviço recebido pelos UEs (*User Equipment*).

Inicialmente será estudado o desempenho do canal S-CCPCH (*Secondary Common Control Physical Channel*), que é o canal físico do FACH (*Forward Access Channel*), para o MBMS, utilizando como ferramenta o MATLAB, com o intuito de determinar a potência transmitida pela estação de base para o serviço MBMS.

De seguida será apresentado um estudo comparativo, em termos de cobertura e *throughput*, entre a Topologia Macrocelular e Topologia Real, tendo em conta vários parâmetros variáveis entre os quais o ritmo binário, o número de UEs, o factor de ortogonalidade, duas técnicas de macro diversidade, nomeadamente o SC (*Selective Combining*) e o MRC (*Maximum Ratio Combining*). Seguidamente será estudada a cobertura e *throughput* da Topologia de Estrutura Hierárquica de Células, tendo em consideração vários parâmetros, sendo o principal o número de ligações RL (*Radio Link*) que cada UE poderá receber simultaneamente, recorrendo desse modo ao conceito da tecnologia MIMO.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO E INOVAÇÃO

A estrutura do presente trabalho assenta em seis capítulos e sete anexos, que serão descritos em seguida.

Este capítulo introdutório apresenta o enquadramento, objectivos e estrutura desta tese de mestrado. É ainda abordada a contribuição inovadora deste trabalho, bem como uma breve descrição dos capítulos e anexos constituintes do projecto.

O Capítulo 2 é dedicado aos conhecimentos teóricos subjacentes ao trabalho realizado, nomeadamente os principais aspectos da rede UMTS, tais como a sua evolução, arquitectura e interfaces, e do MBMS, mais concretamente a sua arquitectura, modos de operação, canal MBMS, conceito dos serviços MBMS e respectivas fases, e técnicas de macro diversidade.

No Capítulo 3 é introduzido o tema principal deste trabalho, mais concretamente a Estrutura Hierárquica de Células. Este capítulo apresenta duas partes distintas. Numa primeira parte será feita uma breve apresentação dos Sistemas MIMO, mencionando as suas características, capacidade, problemas e benefícios. De seguida é apresentada a

Estrutura Hierárquica de Células, sendo feita uma descrição do sistema e apresentadas as suas características típicas, problemas e benefícios.

No Capítulo 4 é descrito, de forma sucinta, o simulador RNS (*Radio Network Subsystem*) utilizado, descrevendo de forma mais pormenorizada o Módulo do Nível de Ligação e o Módulo de Nível de Sistema e as respectivas características.

No Capítulo 5 apresentam-se e discutem-se os resultados, provenientes das simulações efectuadas, para os vários objectivos propostos para este trabalho. Começa por se analisar o desempenho do canal S-CCPCH para o MBMS e depois é feito um estudo comparativo entre a Topologia Macrocelular e a Topologia Real e entre a Topologia Macrocelular e a Topologia relativa à Estrutura Hierárquica de Células.

Finalmente no Capítulo 6 serão apresentadas as respectivas conclusões desta tese, onde se apresentam alguns aspectos importantes a salientar. Neste capítulo apresenta-se ainda uma referência ao trabalho futuro.

No fim deste documento são apresentados vários anexos com informação auxiliar que permitem uma melhor compreensão dos textos apresentados.

No Anexo A é feita uma breve descrição dos canais da UTRAN, nomeadamente dos canais lógicos, de transporte e físicos.

O Anexo B e C caracterizam os modelos de propagação e os canais de propagação, respectivamente, utilizados na ferramenta de simulação no módulo do nível de sistema.

No Anexo D é descrita a estrutura e a constituição do canal físico S-CCPCH.

Nos Anexos E e F são apresentados os resultados relativos à Topologia Real e à Topologia da Estrutura Hierárquica de Células, respectivamente.

Finalmente no Anexo G é apresentado um estudo auxiliar que descreve os aspectos de propagação para a banda dos 2.5GHz, os cenários propostos para a distribuição dessa banda e ainda descreve o modelo de interferência nos sistemas FDD (*Frequency Division Duplex*). Por fim, neste anexo serão mostrados os resultados obtidos, incluindo uma discussão desses e uma breve conclusão dos assuntos discutidos ao longo do mesmo.

Nos últimos anos tem havido um rápido progresso das telecomunicações, resultando em novos cenários para as redes móveis. A maior contribuição inovadora deste trabalho consiste precisamente na apresentação de um novo cenário para as redes móveis,

resultando de uma convergência de várias tecnologias (MBMS, MIMO, antenas distribuídas, hierarquia de células) por forma a aproveitar as melhores características de cada uma dessas tecnologias. Assim, como já foi mencionado anteriormente, no Capítulo 3 é feita a apresentação teórica do novo cenário bem como de algumas tecnologias por ele utilizadas. No Capítulo 4 é descrito de forma sucinta o simulador utilizado para a obtenção dos resultados relativos ao novo cenário (presentes no Capítulo 5). Também foi implementado um outro cenário, desta feita um cenário real, com o objectivo de comparar com um cenário teórico.

1.5 PUBLICAÇÕES

Os artigos abaixo mencionados foram já publicados, o primeiro dos quais em revista internacional, no seguimento do trabalho desenvolvido nesta tese:

- “Multi-Resolution Broadcast/Multicast System for MBMS”, Américo Correia, João C. Silva, Nuno Souto, Luísa Silva, Alexandra Boal, Armando Soares, *IEEE Broadcast Technology Society*, pp. 212-222, Março de 2007.
- “Distributed Antennas Cellular System for Transmission of Broadcast/Multicast Services”, Alexandra Boal, Armando Soares, Américo Correia, *IEEE 65th Vehicular Technology Conference VTC2007 Spring*, 23-25 de Abril de 2007, Dublin, Irlanda. *Website*: <http://www.ieeevtc.org/vtc2007spring/>.
- “Real Topology for Transmission of MBMS in UMTS Networks”, Alexandra Boal, Armando Soares, Américo Correia, *6th Conference on Telecommunications (CONFTELE 2007)*, 9-11 de Maio de 2007, Peniche, Portugal. *Website*: <http://www.co.it.pt/conftele2007/>
- “Hierarchical Cell Structure System for MBMS in UMTS Networks”, Alexandra Boal, Rui Salomé, Américo Correia, *6th Conference on Telecommunications (CONFTELE 2007)*, 9-11 de Maio de 2007, Peniche, Portugal. *Website*: <http://www.co.it.pt/conftele2007/>
- “Enhanced MBMS in the Band of 2500-2690MHz”, Luísa Silva, Alexandra Boal, Américo Correia, *13th International Conference on Telecommunications*, 9-12 de Maio de 2006, Funchal, Portugal. *Website*: <http://www.ict2006.com>.

- “Use of Enhanced MBMS in the Band of 2500-2690MHz”, Alexandra Boal, Luísa Silva, Américo Correia, *15th IST Mobile & Wireless Communications Summit*, 4-8 de Junho de 2006, Myconos, Grécia. *Website*: <http://www.mobilesummit2006.org>.

Capítulo 2

BROADCAST E MULTICAST NO UMTS

2.1 INTRODUÇÃO

O UMTS, como já foi mencionado anteriormente, foi criado como parte duma iniciativa tecnológica europeia, com o objectivo de facilitar a mobilidade dos terminais e o suporte de serviços baseados num único *standard* móvel mundial. Esta nova tecnologia, irá disponibilizar uma grande variedade de serviços, especialmente relacionados com as tecnologias multimédia de elevado ritmo binário. Nesse contexto, o WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) surge como a principal solução para a interface rádio da 3ª Geração.

Um dos propósitos do UMTS é conseguir uma separação entre as redes de acesso, de transporte, de serviços e aplicações oferecidas aos assinantes, assegurando no entanto uma integração ao nível das facilidades oferecidas pelas diferentes tecnologias.

Com o crescente aumento de aplicações de elevada largura de banda no UMTS e com a existência de um número cada vez maior de utilizadores a receberem estas aplicações, torna-se necessária uma eficiente distribuição de informação. Uma das abordagens utilizadas para aumentar a capacidade e permitir uma eficiente distribuição da informação é a redução do número de pacotes transmitidos ao longo da rede. Utilizando esta abordagem de forma a ultrapassar ou minimizar as questões acima referenciadas, o 3GPP definiu um novo serviço, o MBMS, como sendo um serviço eficiente que transfere dados a muitos utilizadores em paralelo.

Este capítulo visa descrever, de forma sucinta, a evolução da tecnologia UMTS focando os principais componentes da tecnologia, e respectiva arquitectura e interfaces, assim como as alterações introduzidas ao longo das *releases*, de acordo com as especificações publicadas pelo 3GPP. Também será apresentado o MBMS no contexto do 3GPP, assim

como a sua arquitectura, os modos de operação do serviço MBMS, os serviços MBMS e as técnicas de diversidade para o MBMS.

2.2 REDE UMTS

Os sistemas 3G são conhecidos por proporcionarem uma mobilidade global com um extenso número de serviços, incluindo videotelefonia, *paging*, mensagens de texto e *Internet*. Conforme mencionado anteriormente, para uniformizar a 3G, o ETSI decidiu adoptar o UMTS como o novo padrão europeu nas comunicações móveis, procurando com o qual tornar-se no padrão tecnológico internacional das telecomunicações, permitindo assim o *roaming* à escala planetária. Em 1998 o 3GPP foi formado para continuar o trabalho das especificações técnicas. O 3GPP tinha cinco áreas de padronização principais para o UMTS, nomeadamente RAN, CN, *Terminals*, *Services & Systems Aspects* e GERAN.

As vantagens da utilização das redes 3G, nomeadamente da tecnologia de acesso rádio WCDMA, poderá basear-se em dois planos: no plano do utilizador, com a introdução de novas facilidades e potencialidades na utilização de serviços de comunicações, e no plano do operador, através de uma maximização da eficiência na utilização dos recursos rádio. Algumas das principais características dos sistemas UMTS são:

- Interface rádio mais evoluída, com grande flexibilidade na utilização e multiplexagem dos serviços tradicionais;
- Planeamento de recursos rádio, tendo em consideração a multiplexidade de serviços oferecida, e as exigências ao nível da qualidade de serviço, distintas para cada serviço, que devem ser levadas em conta no dimensionamento do sistema;
- Tecnologia de transmissão adaptativa e flexível, tendo vários níveis de codificação, maior robustez na operação com a presença de interferências, e grande eficiência espectral;
- Maior eficiência no suporte de serviços baseados em pacotes.

Nesta secção será apresentada, de forma sucinta, a evolução do UMTS, assim como a sua arquitectura e interfaces. A interface rádio WCDMA também será brevemente apresentada.

2.2.1 EVOLUÇÃO DO UMTS

As comunicações móveis sofreram um grande avanço com o advento dos sistemas móveis celulares. Estes sistemas apresentam uma série de vantagens sobre os sistemas móveis convencionais, tais como a elevada densidade de utilizadores, o reuso de frequências, a baixa potência de transmissão, as antenas pouco elevadas e a área de cobertura dividida em pequenas células. Para atender ao grande aumento das comunicações móveis foi desenvolvido o UMTS.

O UMTS é o sistema sucessor do GSM (*Group System for Mobile Communications*) para a 3ª Geração de telefones móveis. Esta tecnologia representa uma evolução das redes móveis 2G (*2nd Generation*), em termos de serviços e ritmo binário, e endereça a crescente demanda de aplicações móveis e *Internet* para uma nova capacidade nas comunicações móveis de hoje e foi *standardizada* pelo 3GPP, entidade responsável por promover e especificar funcionalidades que permitam a evolução das comunicações móveis 3G. Integrado num projecto de criar um *standard* que possa ser utilizado universalmente (ao contrário da 2ª Geração, cujos sistemas americano e europeu são incompatíveis), o UMTS altera a forma como os telemóveis são utilizados actualmente, ao permitir capacidades multimédia e um acesso sem limites à *Internet*.

O UMTS irá evoluir por etapas, designadas por *Releases*, sendo que cada nova *Release* acrescenta novas funcionalidades às anteriores. Após a *Release 99* foi impossível determinar em que altura iriam estar disponíveis as subsequentes, e por esse motivo a numeração foi modificada, deixando de estar relacionada com o ano de produção. As especificações do UMTS estão em desenvolvimento no 3GPP [1]. Para alcançar a aceitação global, o 3GPP introduziu o UMTS em fases/*releases* [1]:

- O 3GPP *Release 99* é a primeira *release* do 3GPP e contém todas as especificações para se desenvolver uma PLMN (*Public Land Mobile Network*) e é constituída por vários elementos de rede associados em domínios bem definidos e funcionalmente independentes: a Rede Núcleo (CN) e a Rede de Acesso Rádio (UTRAN). Para completar o sistema, o Equipamento Móvel (UE) serve de interface entre o utilizador e a rede de acesso. A arquitectura da CN é baseada na rede GSM com GPRS (*General Packet Radio Service*). O UMTS *Release 99* introduz uma nova interface rádio denominada WCDMA, como método de acesso rádio. Para utilizar esta nova interface rádio, uma nova rede de

acesso rádio denominada UTRAN, foi adicionada devido à incompatibilidade entre o WCDMA e o equipamento do GSM. Paralelamente três interfaces foram introduzidas na rede, nomeadamente I_u , I_{ub} e I_{ur} . Esta *release* foi dada como terminada em Dezembro de 1999.

- O 3GPP *Release 4* é uma melhoria do 3GPP *Release 99*. Esta *release* introduziu algumas alterações à *release* anterior, sendo que as mais importantes se deram ao nível da CN e da RAN pela substituição da rede de acesso GSM BSS (*Base Station System*) da *Release 99* para GERAN. É introduzido o TrFO (*Transcoder Free Operation*), que melhora a qualidade da voz, e o *Tandem Free Operation* e também é introduzido o conceito de arquitectura híbrida, uma vez que a UTRAN é baseada em ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e a CN é baseada em IP/ATM. Para além disso a CN sofre grandes alterações, nomeadamente com a separação do domínio CS (*Circuit Switched*) em dois planos: plano de sinalização (o servidor MSC – *Mobile Services Switching Center*) e o plano de transporte (MGW – *Media Gateway*), o que levou à introdução de novas entidades na rede. Esta *release* também contém melhorias do CAMEL (*Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic*) e do OSA (*Open Service Access*). Esta *release* foi dada como terminada em Março de 2001.
- O 3GPP *Release 5* é uma melhoria das *releases* anteriores. A maior novidade desta *release* surge ao nível da tecnologia de transporte na UTRAN, que passa de ATM para IP. Segundo esta *release*, as futuras redes móveis serão baseadas em PS (*Packet Switched*) ponto-a-ponto. Nesta *release*, as evoluções passaram por melhorias ao nível dos serviços de localização (LCS – *Location Services*) e a adopção do protocolo SIP (*Service Initiation Protocol*). Comparativamente com a *Release 4*, as novas entidades introduzidas são o HSS (*Home Subscriber Server*), que é a base de dados principal para um dado utilizador, sendo a entidade que contém a informação relativa à subscrição de suporte das entidades da rede que realmente gerem as chamadas e sessões, e o IMS, que teve como fundamento a independência da tecnologia de acesso tornando-se uma peça fundamental da convergência de redes. Nesta *release* também é introduzido o HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), tendo sido introduzidas simultaneamente novas técnicas, entre as quais o AMC (*Adaptive Modulation and Coding*), o HARQ (*Hybrid Automatic Request*), o *Fast Scheduling* e o

Channel Quality Feedback. Esta *release* também contém melhorias do CAMEL e do OSA. Esta *release* foi dada como terminada em Março de 2002, embora só tenha efectivamente terminado em Junho de 2002.

- O 3GPP *Release 6* veio melhorar as funcionalidades e serviços existentes incluindo o OSA, a QoS (*Quality of Service*), o LCS, o MMS (*Multimedia Messaging Service*), a segurança, a GERAN e a interface rádio. As principais alterações nesta fase foram a actualização do IMS (IMS Fase 2) e a interligação entre o UMTS e outras tecnologias do acesso rádio, tais como o WLAN (*Wireless LAN*). Foram também introduzidas novas funcionalidades como o MBMS, que introduziu o *broadcast* e o *multicast* na rede UMTS, permitindo a partilha dos recursos e deste modo uma maior eficiência da interface rádio. Relativamente aos serviços introduzidos, destacam-se o serviço do tipo *Push* (tecnologia que veio permitir à entidade fornecedora de conteúdos transferir informação para um determinado utilizador, sem que este a tenha previamente solicitado), o serviço Prioritário (permite o acesso prioritário de serviços a determinados utilizadores previamente autorizados) e o serviço de Presença (permite o acesso a informação da localização do utilizador, dos seus dispositivos e serviços). Para além disso, desenvolveu-se uma nova tecnologia que permitiu aumentar as taxas de transmissão na direcção ascendente (até aos 10Mbps), semelhante ao HSDPA, denominado HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*). Esta *release* foi dada como terminada em Maio de 2005.
- No 3GPP *Release 7*, embora ainda esteja em estudo, é esperada uma actualização das funcionalidades consideradas nas duas *releases* anteriores, isto é, mantém o progresso do UMTS, habilitando maiores velocidades e capacidades e oferecendo melhor suporte para serviços em tempo real. Por exemplo, o aumento das capacidades do IMS, de modo a suportar acessos fixos (*wireline*) para permitir a convergência fixo-móvel. Tem como principais objectivos o aumento da eficiência espectral da interface rádio através da introdução de novos métodos de codificação e modulação bem como o uso de sistemas de antenas MIMO para a interface rádio.

Ao longo das *releases*, têm sido realizadas várias alterações com o objectivo de corresponder às necessidades dos utilizadores, nomeadamente a serviços bastante exigentes no que diz respeito à taxa de erro, logo as principais evoluções deram-se ao

nível do modo de transporte utilizado, que passou para IP em toda a rede, a introdução do IMS e do HSDPA e a interligação WLAN/UMTS.

Na figura que se segue estão apresentadas as especificações desenvolvidas pelo 3GPP, reunidas em *Releases*.

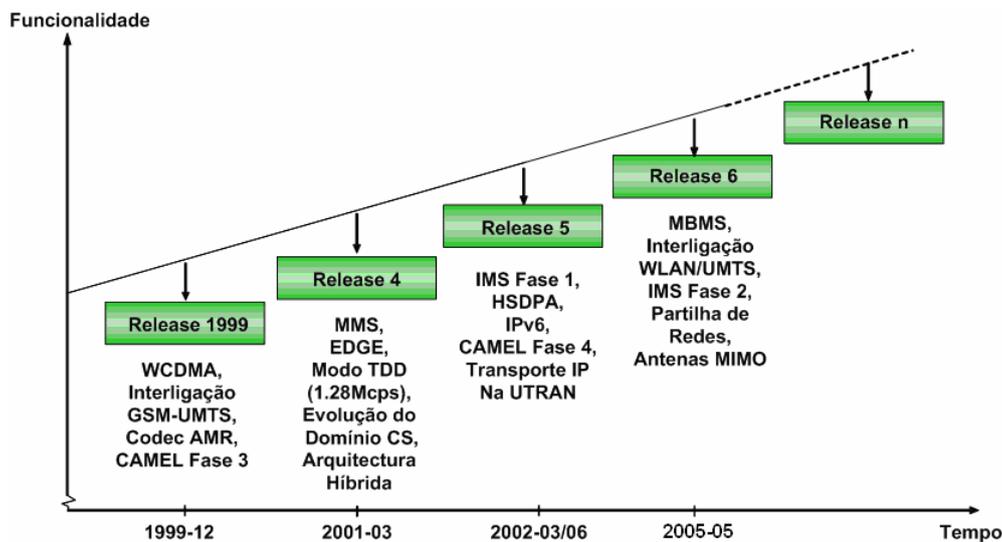


Figura 2.1: Síntese das Releases do 3GPP [1].

2.2.2 ARQUITECTURA DA REDE UMTS

Uma rede UMTS consiste na interacção de três domínios ou componentes principais:

- CN;
- UTRAN;
- UE.

A arquitectura básica da CN, para o UMTS, é baseada na rede GSM com GPRS. A UTRAN fornece para o UE, o método de acesso à interface rádio. O UE é o equipamento do utilizador, que inclui funcionalidades de transmissão rádio e as aplicações disponibilizadas aos utilizadores. A estação de base também é conhecida como *Node-B* e o equipamento que a controla é designado por RNC (*Radio Network Controller*).

A figura que se segue apresenta os elementos de uma PLMN e as suas ligações, redes externas e a CN.

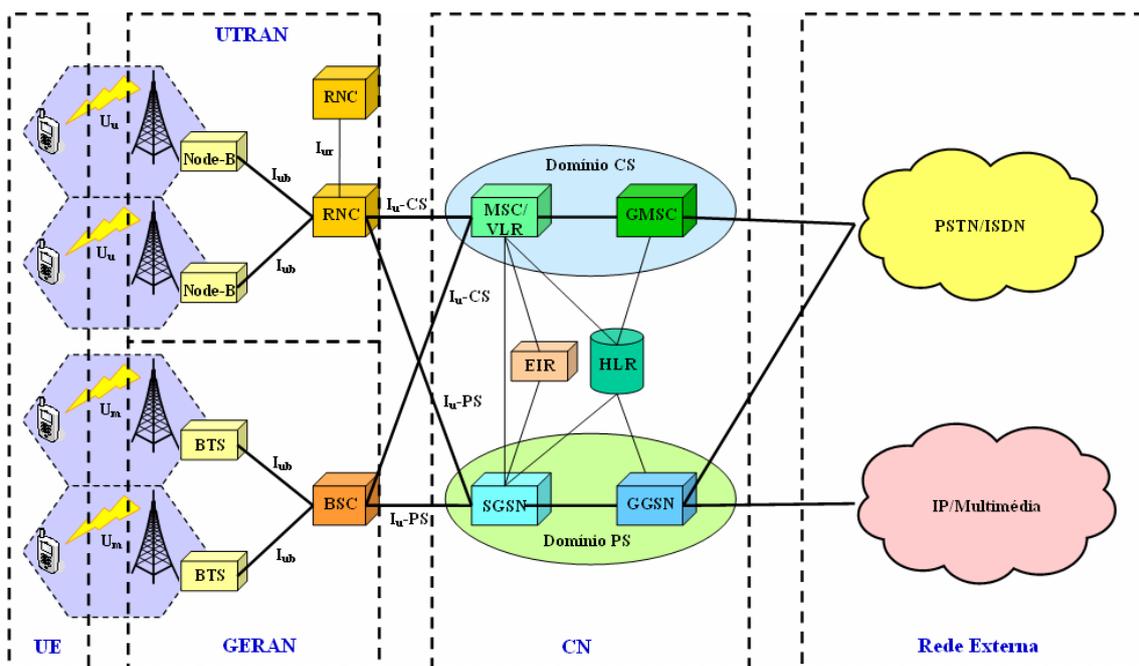


Figura 2.2: Arquitectura da Rede UMTS [2].

O equipamento do utilizador (UE) do UMTS é baseado nos mesmos princípios do MS (*Mobile Station*) do GSM, ou seja, na separação entre o equipamento móvel e o cartão USIM (*UMTS Subscriber Identity Module*). Um equipamento UMTS pode operar de três modos possíveis [3]:

- **Modo de operação PS/CS:** Os serviços são capazes de operar simultaneamente em serviços comutados a circuitos e a pacotes;
- **Modo de operação PS:** Os serviços são capazes de operar apenas ao nível da comutação de pacotes, embora o VoIP (*Voice over IP*), que é um serviço de CS, seja permitido neste modo de operação;
- **Modo de operação CS:** Os serviços operam apenas ao nível da comutação de circuitos, como é o caso dos serviços de voz.

Através da Figura 2.2 verifica-se que a UTRAN consiste em dois elementos diferentes (ver no Anexo A uma breve descrição dos canais da UTRAN):

- **Node-B:** Também conhecido como estação de base (BS - *Base Station*), é uma unidade física, de transmissão e recepção rádio nas células. A estação de base é o ponto onde termina a rede física ATM. A principal função da estação de base é a conversão de dados de/para a interface rádio U_u , incluindo o FEC (*Forward Error Correction*), adaptação das taxas de transmissão, espalhamento e

despalhamento WCDMA e modulação QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) na interface rádio. Uma estação de base pode suportar ambos os modos FDD e TDD (*Time Division Duplex*).

- **RNC:** O RNC permite o RRM (*Radio Resource Management*) através da UTRAN, possuindo as mesmas funções da BSC (*Base Station Controller*) do GSM, promovendo o controlo central dos elementos RNS (RNC e *Node-B*). O RNC permite assim, o intercâmbio de protocolos entre as interfaces I_{ub} , I_{ur} e I_{ub} e é responsável pela operação centralizada e pela manutenção de todas as RNSs com acesso à OSS (*Operational Support System*). Os dados comutados a circuitos e os dados comutados a pacotes, que vêm das interfaces I_u -CS e I_u -PS, são multiplexados juntos, para a transmissão de multimédia, através das interfaces I_{ur} , I_{ub} e U_u para, e do, utilizador. O RNC está ligado a um conjunto de estações de base, cada qual servindo uma ou mais células. As principais funções do RNC são: controlo de recursos rádio, controlo de admissão, parâmetros de controlo de potência, controlo de *handover*, macro diversidade, encriptação, segmentação/união, sinalização de *broadcast* e controlo de potência de anel aberto (*Open loop power control*) [4].

A principal função da CN é fazer a comutação, roteamento e encaminhamento do tráfego que a rede vai transportar. A CN também contém a base de dados e as funções de gestão da rede [4]. Através da Figura 2.2 verifica-se que a Rede Núcleo (CN) está dividida em dois domínios:

- Comutado a Circuitos (CS);
- Comutado a Pacotes (PS).

Os elementos comutados a circuitos são: MSC, VLR (*Visitor Location Register*), e GMSC (*Gateway MSC*) e os elementos comutados a pacotes são: SGSN (*Serving GPRS Support Node*) e GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) [4]. Alguns elementos da rede como o EIR (*Equipment Identity Register*), o HLR (*Home Location Register*) e o AuC (*Authentication Center*) partilham ambos os modos de operação. Na CN do UMTS, a transmissão é feita com base no protocolo ATM, usando o AAL2 (*ATM Adaptation Layer type 2*), que permite uma ligação comutada a circuitos e o AAL5 (*ATM Adaptation Layer type 5*), que permite uma ligação comutada a pacotes [4].

As redes externas podem ser divididas em redes CS, que provêm ligações CS, como por exemplo, o ISDN (*Integrated Services Digital Network*) e o PSTN (*Public Switched Telephone Network*), e em redes PS, que provêm ligações PS, como por exemplo, a *Internet*.

2.2.3 INTERFACES DA REDE UMTS

Como se pode verificar através da Figura 2.2, uma rede UMTS é composta por diversas interfaces, constituintes de três sistemas articulados entre si: GSM, GPRS e UMTS. Cada uma dessas interfaces implementa um protocolo, como se poderá ver através da Tabela 2.1 [3]:

Interfaces	Protocolos implementados
U_u (interface entre o UE e o <i>Node-B</i>)	RRC (<i>Radio Resource Control</i>)
I_{ub} (interface entre o <i>Node-B</i> e o RNC)	NBAP (<i>Node-B Application Control</i>)
I_{ur} (interface RNC para RNC, não comparável a qualquer interface GSM)	RNSAP (<i>Radio Network Sublayer Application Part</i>)
I_u (interface entre a UTRAN e o CN)	RANAP (<i>Radio Access Network Application Part</i>)
I_{u-CS} (para dados comutados a circuitos)	AAL-2
I_{u-PS} (para dados comutados a pacotes)	AAL-5

Tabela 2.1: Interfaces e respectivos protocolos [3].

As principais interfaces são:

- U_u : É a interface utilizada entre o UE e o *Node-B*.
- I_u : É a interface localizada entre o RNS e o MSC para tráfego CS (I_{u-CS}) e entre o RNS e o SGSN para tráfego PS (I_{u-PS}). Esta interface provê a ligação para serviços de voz e ao mesmo tempo a ligação para todos os tipos de serviços de pacote, tendo um papel vital no procedimento de *handover*.
- I_{ub} : Interface situada entre um RNC e um *Node-B*. É usada pelo RNC para controlar o *Node-B*, que pode servir uma ou mais células.
- I_{ur} : Interface que permite o SHO (*Soft Handover*) entre RNCs, complementando a interface I_u .

2.2.4 INTERFACE RÁDIO WCDMA

A base de qualquer tecnologia de comunicações móveis é a sua interface rádio, pois esta será o suporte à comunicação e mobilidade dos respectivos utilizadores.

O WCDMA é, como já foi mencionado anteriormente, um padrão de interface rádio, entre o terminal móvel e a estação de base, desenvolvido para o UMTS e padronizado pela ITU.

A Figura 2.3 mostra que o sistema WCDMA inclui vários tipos de dispositivos de comunicação móvel, chamados UE, que comunicam através de estações de base (*Node-B*) e MSCs ou redes de encaminhamento de dados, para outros telefones móveis, telefones públicos, ou para a *Internet* via CN. Este diagrama mostra ainda que o sistema WCDMA é compatível com a banda dos 5MHz do canal rádio WCDMA e com a banda dos 200kHz dos canais GSM. Este exemplo também mostra que a CN é dividida essencialmente em sistemas de voz (comutação de circuitos) e pacotes de dados (comutação de pacotes) [5].

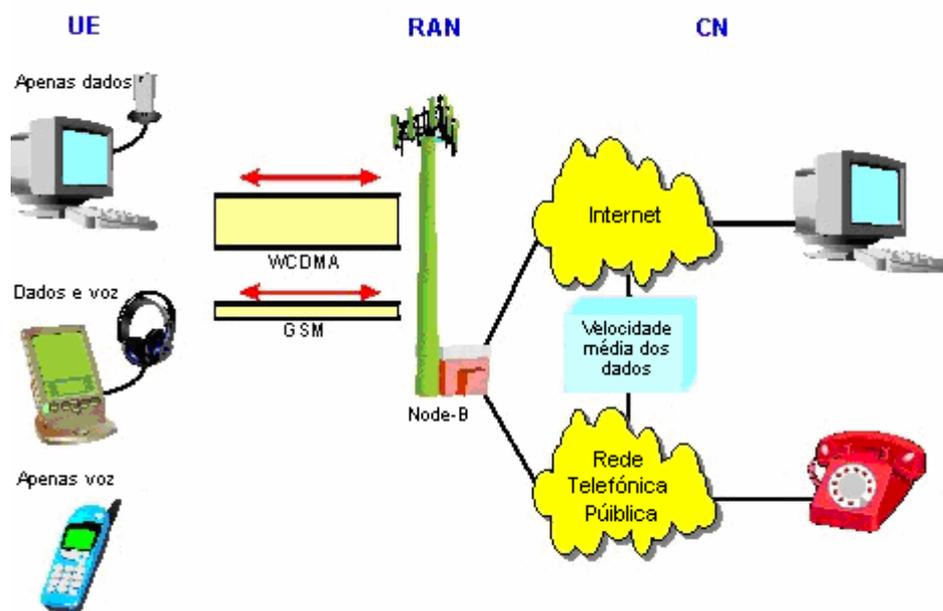


Figura 2.3: Diagrama simplificado de um sistema WCDMA [5].

A interface rádio Uu entre o terminal do utilizador e a UTRAN é baseada no WCDMA.

O WCDMA utiliza como método de acesso múltiplo o DS-SS-SS (Direct Sequence-SS), com os vários terminais a partilharem a mesma banda de frequências, mas utilizando diferentes códigos de espalhamento espectral.

Este padrão baseia-se numa tecnologia diferente que permite manter simultaneamente ligações de dados e de voz, tal como com o GPRS e o EDGE, é utilizado através dos dados transferidos e não pelo tempo de ligação, podendo-se estar sempre ligado, se assim se entender.

2.3 MBMS

O MBMS é um tipo de serviço IPDC (IP *Datacast*) que pode ser oferecido pelas redes UMTS e GSM existentes. A infraestrutura dá a possibilidade de usar um canal UL (*Uplink*) para interacções entre o serviço e o utilizador [6]. Isto não é uma questão nas redes de *broadcast* usuais, como por exemplo a televisão digital convencional que é um sistema *unicast* [6]. Como o próprio nome indica, o MBMS tem dois modos de operação: o modo *broadcast* e o modo *multicast*.

Segundo o 3GPP *Release 6*, o MBMS é um serviço unidireccional em que a informação é transmitida de uma entidade para múltiplos destinatários. Assim, a informação é apenas enviada uma única vez, ao contrário do que acontecia no serviço *IP Multicast*. Por exemplo, o SGSN irá enviar a informação apenas uma vez para o RNC ao invés do número de *Node-Bs* e UEs que pretendam receber a informação. Isto permite uma distribuição eficiente da mesma informação para múltiplos destinatários, ao contrário das ligações PtP (*Point-to-Point*), onde cada terminal recebe a informação em sessões PtP separadas, utilizando a sua própria frequência e *time slot*, como era feito no tradicional GPRS.

Nesta secção será apresentada a arquitectura MBMS, os seus modos de operação e o canal MBMS. Também serão descritas as fases do serviço MBMS, assim como os serviços MBMS e as técnicas de diversidade para o MBMS.

2.3.1 ARQUITECTURA MBMS

Um serviço de *broadcasting* pode ser generalizado para um serviço unidireccional PtM (*Point-to-Multipoint*), em que os dados são transmitidos de uma única fonte para múltiplos terminais (UE) na área de serviço de *broadcast* associada. Por outras palavras, os serviços de *broadcast* podem ser designados por serviços do tipo *Push*. Por outro lado, um serviço de *multicast* pode ser definido como um serviço unidireccional PtM,

em que os dados são transmitidos de uma única fonte a um grupo *multicast* na área de serviço *multicast* associada. Só os utilizadores que se inscreveram ao serviço de *multicast* específico e tenham aderido ao grupo de *multicast* associado ao serviço podem receber os serviços de *multicast*. Como diferença, um serviço de *broadcast* pode ser recebido sem indicação separada dos clientes [7]. Na prática, os utilizadores de *multicast* precisam de um canal de retorno para os procedimentos de interacção no sentido de serem capazes de inscrever para os serviços desejados.

O MBMS provê um novo método para transferir dados simultaneamente para o número de utilizadores. Como regra geral do percurso da evolução das redes e terminais GSM e UMTS, os assuntos de compatibilidade com o passado também se aplicam ao MBMS. Isto significa que o MBMS não interferirá com os serviços GSM e UMTS já existentes, e os terminais móveis que não suportam o MBMS trabalharão em redes que oferecem MBMS para os clientes com terminais capazes de suportar MBMS [8, 9].

A arquitectura do MBMS é orientada para tornar a utilização dos recursos da CN e da rede rádio mais eficiente, com ênfase na melhoria da eficiência na interface rádio. A arquitectura MBMS baseia-se em adicionar novas funcionalidades às entidades funcionais já existentes na arquitectura do 3GPP no domínio PS e a incorporação de novas entidades funcionais [10]. A arquitectura básica do MBMS, apresentada na Figura 2.4, é quase a mesma que a existente na plataforma GPRS à excepção de um novo nó que foi introduzido e que é designado por BM-SC [11].

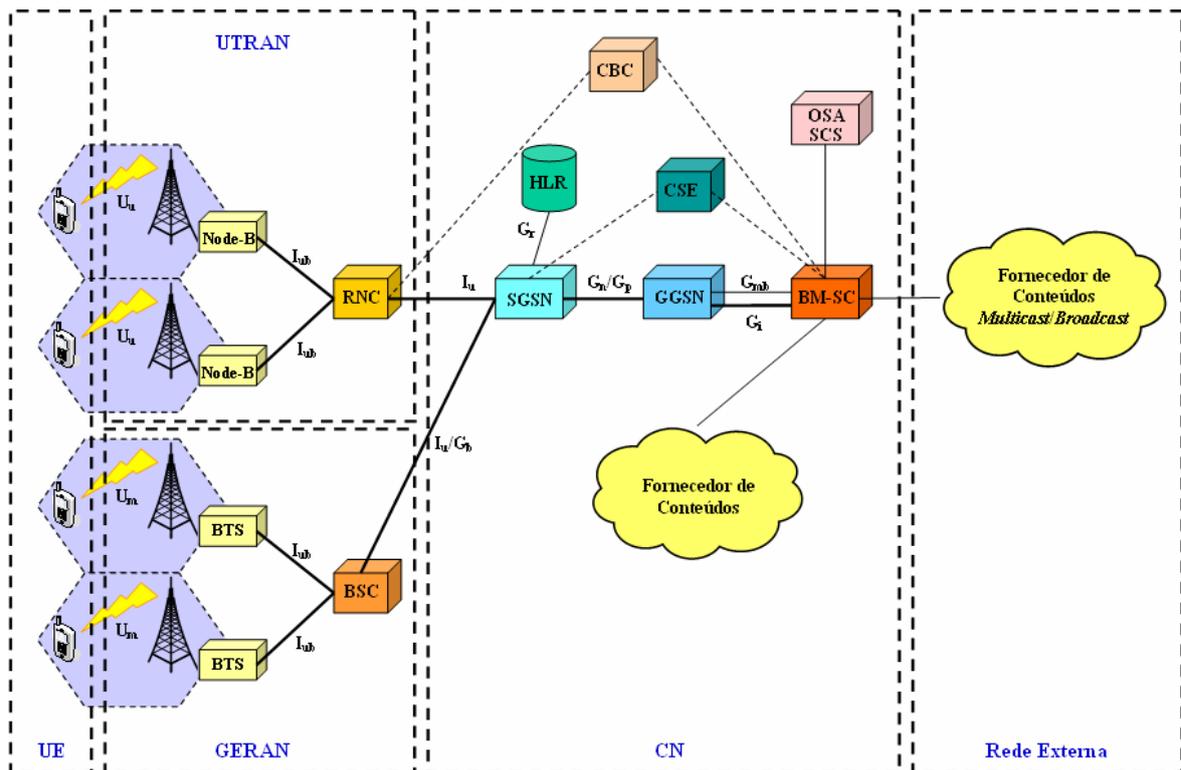


Figura 2.4: Arquitectura e interfaces do MBMS [10, 11].

O BM-SC é uma nova entidade funcional adicionada à arquitectura para permitir a implementação do serviço MBMS na rede UMTS. Esta nova entidade fornece funções para a disponibilização e entrega de um serviço, podendo servir como ponto de entrada para a informação MBMS proveniente de fornecedores de conteúdos e fornecer funções de segurança especificadas pelo 3GPP, para o modo *multicast*. As funções mais importantes que serão desempenhadas pelo BM-SC são: Autenticação, Autorização e Facturação do Fornecedor de Conteúdos, Transporte MBMS, Transmissões MBMS, Anúncio e Descrição de Serviços.

2.3.2 CANAL MBMS

Com a introdução do MBMS na arquitectura do UMTS, torna-se necessário estudar um novo canal de transporte ou modificar os canais existentes de modo a seleccionar um que preencha os requisitos necessários para este serviço, e que estão mencionados a seguir [12]:

- Uso eficiente de todos os recursos da rede no caso de muitos/poucos utilizadores dentro da mesma célula receberem a mesma informação MBMS:

- Na direcção ascendente (UL): esta ligação não será referida, visto o serviço MBMS ser direccionado para o sentido descendente.
- Na direcção descendente (DL - *Downlink*): tem de ter capacidade para ajustar a potência de transmissão do DL de modo a cobrir as áreas alvo com o objectivo de reduzir o excesso de interferência.
- Uso de um canal comum na interface rádio acessível a muitos utilizadores ao mesmo tempo e que permita uma QoS aceitável;
- Suporte de ritmos de transmissão elevados e variáveis (a partir de 64kbps);
- O consumo de potência do terminal deve ser tido em consideração. O terminal não pode estar permanentemente a “ouvir” o canal MBMS, logo é necessário mecanismos que indiquem ao terminal que a informação está prestes a ser recebida, por exemplo a utilização de mecanismos de *paging*;
- A perda de informação durante o processo de *handover* deve ser aceitável;
- O canal de transporte escolhido não deve impedir o funcionamento normal das funcionalidades dos UEs das *Releases* anteriores (R99, R4 e R5).

Assim, o 3GPP definiu para o MBMS dois modos de transmissão para fornecer o serviço MBMS [13]:

- **Transmissão ponto-a-multiponto (PtM):** Os serviços *multicast* utilizam recursos comuns entre as entidades de modo a minimizar a utilização de largura de banda e utilizar eficientemente os recursos da rede de acesso rádio e da rede núcleo. Portanto, torna-se adequado o uso de um canal comum na interface rádio, que transporte a informação do fornecedor de conteúdos para os utilizadores, isto é, utilizando uma transmissão PtM. O canal deve ser acessível a um grupo de utilizadores, o que significa que os vários utilizadores devem ser capazes de ouvir o mesmo canal MBMS ao mesmo tempo. Este modo pode ser utilizado nos dois modos definidos pelo MBMS (*multicast* e *broadcast*), que foram definidos na secção 2.3.2.
- **Transmissão ponto-a-ponto (PtP):** Este modo de transmissão é usado para transferir toda a informação, de sinalização ou dados, entre a rede e um determinado utilizador. É usado apenas para o modo *multicast* do MBMS, no caso de existirem poucos utilizadores a receberem o mesmo serviço. Para este

modo de transmissão apenas um canal de transporte actualmente existente é adequado para a transmissão PtP, nomeadamente o canal DCH (*Dedicated Channel*).

2.3.3 MODOS DE OPERAÇÃO DO MBMS

O MBMS é projectado para introduzir um modo eficiente para entregar o mesmo conteúdo de multimédia a muitos receptores em sistemas WCDMA, de forma a que os operadores possam entregar os conteúdos de multimédia aos subscritores, a um preço mais baixo.

Como o termo MBMS indica, há dois tipos de modos de operação incluídos nas soluções práticas: o modo *broadcast* e o modo *multicast* [10, 14, 15]. Eles diferem um do outro como descrito nas secções que se seguem.

2.3.3.1 MODO *BROADCAST*

O modo *broadcast* (ver Figura 2.5) é um tipo de transmissão de informação multimédia (por exemplo texto, áudio, imagens, vídeo,...) unidireccional PtM, de uma única entidade para todos os utilizadores numa área de serviço de *broadcast*. Um exemplo de um serviço que usa este modo é a transmissão de anúncios de publicidade. A informação é transmitida através de uma ligação PtM, tais como a televisão, a rádio e os jornais [16, 17]. O modo *broadcast* usa recursos rádio de forma eficiente, desde que os dados sejam transmitidos sob um canal comum.

Este modo não pode garantir a correcção dos erros dos dados transmitidos por qualquer meio. Não obstante, o terminal pode ser capaz de reconhecer a perda de dados que acontece durante a recepção.

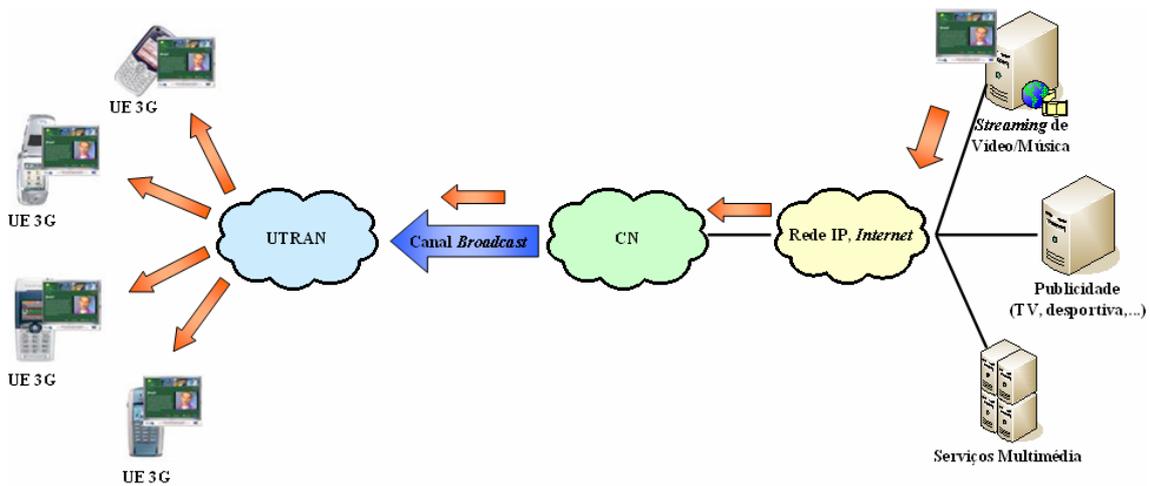


Figura 2.5: MBMS, modo *broadcast*.

2.3.3.2 MODO MULTICAST

O modo *multicast* (ver Figura 2.6) permite uma transmissão unidireccional PtM de dados multimédia de uma única origem para um grupo de *multicast* numa área de serviço de *multicast*. É pretendido que este modo utilize recursos de rádio/rede eficazmente, por exemplo os dados serem transmitidos num canal comum. Assim os dados são transmitidos na área de serviço de *multicast* e definidos pela rede.

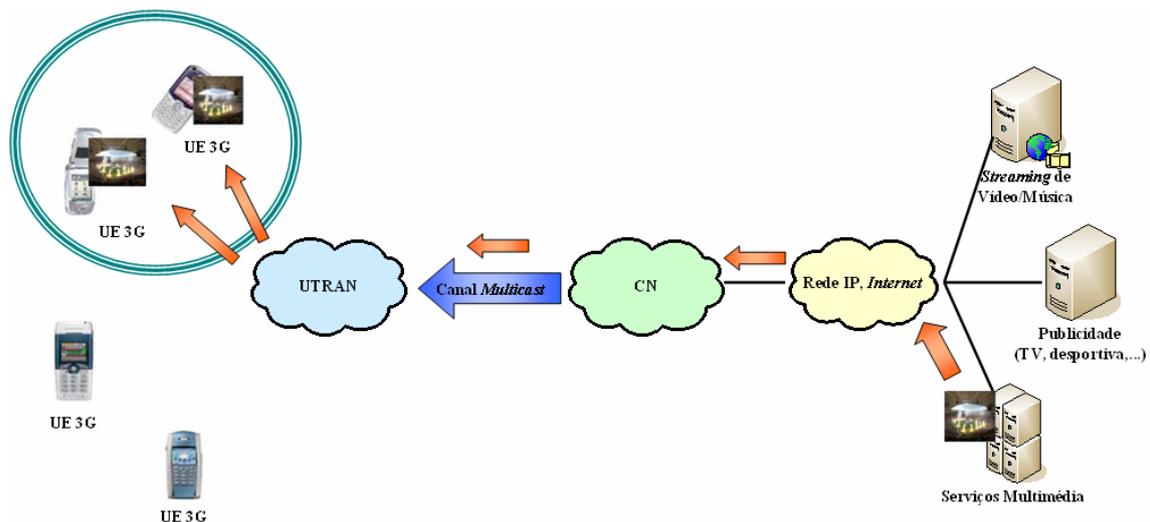


Figura 2.6: MBMS, modo *multicast*.

A diferença entre os modos *broadcast* e *multicast* é que o utilizador não precisa de se inscrever em cada serviço *broadcast* separadamente, considerando que no modo *multicast*, os serviços podem ser ordenados separadamente. A subscrição e ligação de

grupo para os serviços do modo *multicast* poderiam ser feitas pelo operador da rede móvel, pelo próprio utilizador ou por um provedor de serviços separado.

Há muitos requisitos semelhantes entre os modos *broadcast* e *multicast*, como por exemplo, o modo *multicast* permite a transmissão unidireccional PtM de informação multimédia dentro de uma área de serviço *multicast*. O modo *multicast* usa recursos rádio de modo eficiente, utilizando o canal comum.

Tal como no modo *broadcast*, os serviços *multicast* não podem ser garantidos sob a rede rádio. Não obstante, a transmissão segura de dados de aplicações e serviços pode ser melhorada usando métodos da camada mais alta para proteger os dados.

2.3.4 FASES DO SERVIÇO MBMS

Para uma correcta compreensão do modo de funcionamento do serviço MBMS, nos modos *broadcast* e *multicast*, a seguir são apresentadas e descritas as diversas fases necessárias para receber a informação MBMS, tendo por base a Figura 2.7 que ilustra as várias fases de um serviço MBMS e onde são visíveis algumas diferenças entre os dois modos de operação. A verde encontram-se as fases do modo *broadcast* e a azul as fases do modo *multicast*.

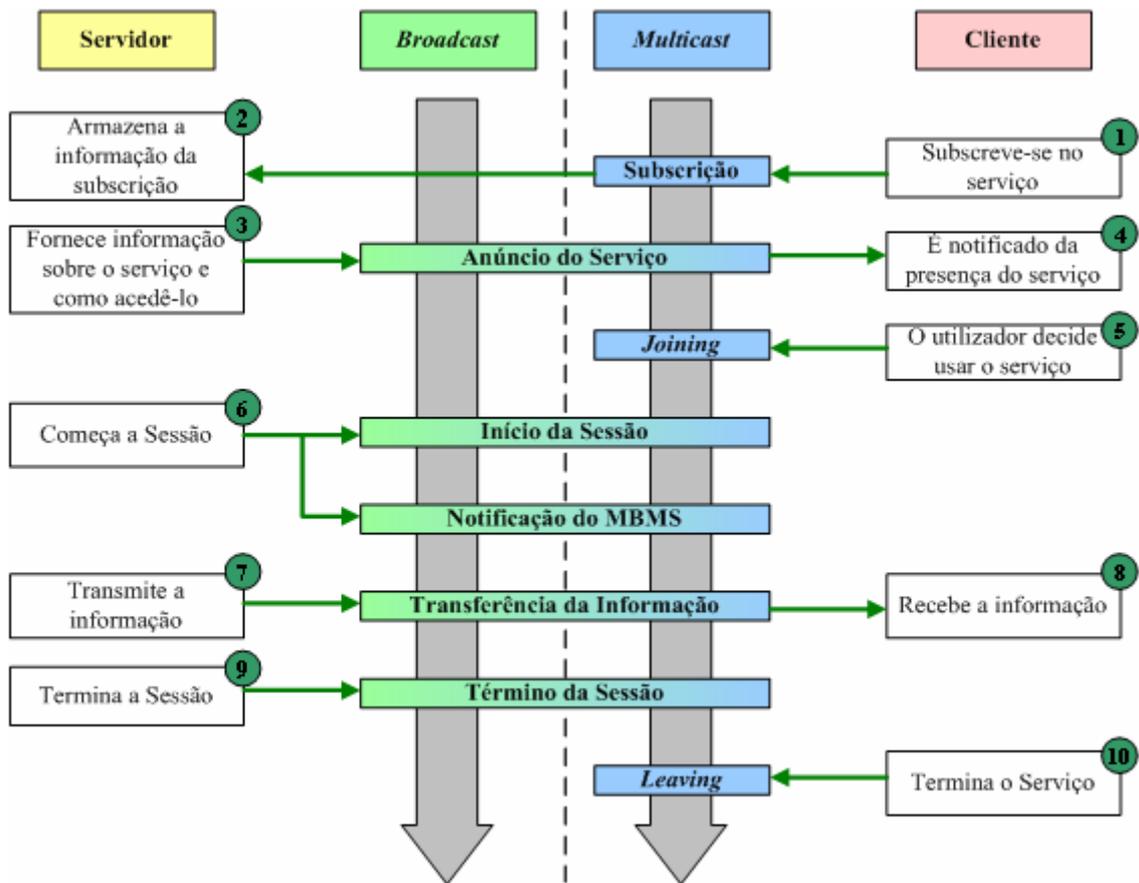


Figura 2.7: Fases do Serviço MBMS [18].

Como o serviço MBMS no modo *multicast* necessita previamente da subscrição do utilizador para aceder ao serviço, existem algumas diferenças entre os dois modos de um serviço MBMS. As fases *Subscrição*, *Joining* e *Leaving* são desempenhadas por utilizador, enquanto que as outras fases são desempenhadas para um serviço, para todos os utilizadores. De seguida são descritas, de forma sucinta, as várias fases do Serviço MBMS [10, 17, 19, 20]:

- **Subscrição:** Nesta fase é estabelecida a ligação entre o utilizador e o fornecedor de conteúdos, o que permite ao utilizador receber o serviço. A informação da subscrição é armazenada na rede do operador. Esta fase é apenas necessária para o modo *multicast*.
- **Anúncio do Serviço:** Esta fase é iniciada pelo fornecedor de conteúdos e permite informar os utilizadores (quer sejam, ou não, assinantes do serviço MBMS) dos serviços disponibilizados pelo fornecedor. Existem várias alternativas para efectuar o anúncio do serviço, tais como o CBS (*Cell*

Broadcast Service), o SMS (*Short Message Service*), *Web URL (Uniform Resource Locator)*, entre outros.

- **Joining (Activação do Serviço MBMS):** É o processo pelo qual o utilizador se torna membro do grupo *multicast*, isto é, o utilizador dá o seu consentimento à rede para receber informação de um serviço específico. Esta fase pode ocorrer depois da fase Início da Sessão e é apenas necessária no modo *multicast*.
- **Início da Sessão:** Nesta fase são estabelecidos os recursos rádio para a transferência da informação MBMS na área *broadcast/multicast*. Esta fase ocorre independentemente da fase *Joining (Activação)* de um serviço, pelo utilizador.
- **Notificação do MBMS:** Durante esta fase, os utilizadores são informados da proximidade da transferência da informação *broadcast/multicast*. Esta fase começa imediatamente depois da fase Início de Sessão.
- **Transferência da Informação:** Esta é a fase onde a informação MBMS é transferida para os utilizadores. Os requisitos relativos à mobilidade são explorados nesta fase.
- **Término da Sessão:** Nesta fase os recursos rádio são libertados quando não existe mais informação MBMS para ser transferida.
- **Leaving (Desactivação do Serviço MBMS):** É o processo pelo qual o assinante deixa de ser membro do grupo *multicast*, isto é, o utilizador não quer continuar a receber informação de um serviço MBMS específico. Esta fase é apenas necessária para o modo *multicast*.

2.3.5 SERVIÇOS MBMS

O objectivo principal do MBMS no UMTS é a difusão de serviços em massa a vários utilizadores, ao mesmo tempo. Esta técnica permite a optimização dos recursos ao nível da interface rádio para utilizadores localizados na mesma célula e também economiza recursos de rede ao transportar dados de dispositivos de distribuição de serviços para RNCs e *Node-Bs* que são servidos pelo mesmo RNC.

Nesta secção serão descritos, de forma resumida, os serviços MBMS e os serviços *broadcast* e *multicast*.

2.3.5.1 DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS

As aplicações multimédia com ritmos de transmissão elevados, como por exemplo, as notícias locais, informações de viagem, publicidade baseada na localização, transmissão directa de filmes e jogos, são alguns dos serviços de interesse para os fornecedores de conteúdos.

Existem muitas maneiras de categorizar os serviços, dependendo do critério de selecção como a direcionalidade (unidireccional ou bidireccional), simetria das comunicações (simétrico ou assimétrico), entre outros. O 3GPP definiu uma classificação de tráfego consoante os seus requisitos gerais de QoS. Deste modo, os serviços são classificados em termos das quatro classes de QoS para o UMTS, de acordo com as características de tráfego e exigência de qualidade de serviços, resumidos na Figura 2.8. São consideradas quatro classes principais: *Conversational*, *Interactive*, *Streaming* e *Background*. Em todas essas classes são consideradas aplicações tolerantes e intolerantes a erros.

	<i>Conversational</i> (atraso << 1s)	<i>Interactive</i> (atraso ≈ 1s)	<i>Streaming</i> (atraso < 10s)	<i>Background</i> (atraso > 10s)
Tolerante a Erros	Voz e Vídeo	Mensagens de Voz	<i>Streaming</i> de Vídeo e Áudio	Fax, SMS, MMS
Intolerante a Erros	Telnet, Jogos Interactivos	<i>E-commerce</i> , www, Serviços baseados em localização	FTP, Imagem fixa, <i>Paging</i>	Notificação e chegada de <i>E-mail</i>

Figura 2.8: Exemplos das classes de serviços UMTS e aplicações [21].

Através da Figura 2.8, constata-se que, enquanto que a classe *Conversational* é dirigida ao tráfego que é muito sensível a atrasos, a classe *Background* é a classe menos sensível aos atrasos. As classes *Conversational* e *Streaming* são destinadas a transportar serviços em tempo real entre o terminal móvel e a rede fixa de comutação de serviços ou pacotes

(isto é, VoIP). Por outro lado, as classes *Interactive* e *Background* são destinadas a serviços em tempo não real entre o terminal móvel e a rede fixa de comutação de pacotes. As características destas últimas classes são não serem sensíveis a atrasos, não tendo portanto um tempo de atraso estabelecido, e também não têm um ritmo binário fixo definido.

Os serviços MBMS são serviços do tipo “um para muitos”, fornecendo grupos de utilizadores com a mesma informação. Estes serviços são classificados de acordo com o método usado para distribuir e utilizar essa informação [8].

Dois métodos principais de transferência de dados e utilização são possíveis: *Streaming* e *Download*. Uma terceira possibilidade também considerada na norma do MBMS é o método *Carousel*, o qual difere do método *Download* no modo como os dados são usados no lado do UE [8].

- **Serviços *Streaming*:** Este tipo de serviço permite a transmissão contínua de informação (por exemplo, áudio e vídeo). A aplicação não necessita de esperar pelo *download* de toda a informação para transmitir o ficheiro. Exemplos de serviços de *streaming* são a transmissão de áudio e vídeo.
- **Serviços de *Download*:** Este serviço transmite informação binária (dados de ficheiro) sequencialmente através de uma ordem pré-determinada. Um cliente MBMS activa a aplicação apropriada e utiliza a informação recebida. A funcionalidade mais importante neste serviço é a fiabilidade, isto é, é necessário que o utilizador receba toda a informação enviada para poder utilizar o serviço. Exemplos de serviços de *download* são os serviços de vídeotexto.
- **Serviços *Carousel*:** Este tipo de serviço combina aspectos de ambos os serviços acima mencionados. Este serviço é semelhante ao Serviço de *Streaming* no sentido em que inclui sincronização do tempo. No entanto, a informação utilizada neste serviço é apenas informação estática, como por exemplo, texto e/ou imagens fixas. Por outro lado, é um serviço idêntico ao Serviço de *Download*, no que diz respeito ao lado do servidor. No lado do cliente (UE) o mesmo conjunto de informação é exibido e actualizado regularmente. Um exemplo deste tipo de serviço pode ser uma aplicação que transmite imagens das estradas para informação de trânsito.

2.3.5.2 SERVIÇOS *BROADCAST* E *MULTICAST*

Geralmente aceita-se que há necessidade de serviços *broadcast* e *multicast* multimédia.

- **Serviços *Broadcast*:** Este é um serviço unidireccional PtM em que a informação é transmitida de uma única fonte para todos os utilizadores numa certa área geográfica ou áreas geográficas. A área do serviço é determinada por essa certa área geográfica. Pela definição, pode-se deduzir que os serviços *broadcast* podem ser aplicações com uma reduzida taxa de transmissão e baixo custo para o operador. Na Tabela 2.2, são listados alguns exemplos de serviços *broadcast*:

Serviço	Componentes	Classe MBMS	Classe QoS UMTS
Serviços de Emergência	Texto, Voz	<i>Streaming</i>	<i>Streaming</i>
Publicidade	Texto, Voz	<i>Streaming</i>	<i>Streaming</i>
Áudio – qualidade média	Áudio (estéreo)	<i>Streaming</i>	<i>Streaming</i>
Áudio – qualidade CD	Áudio (estéreo)	<i>Streaming</i>	<i>Streaming</i>
Vídeo	Vídeo	<i>Streaming</i>	<i>Streaming</i>

Tabela 2.2: Exemplos de Serviços *Broadcast* [22].

- **Serviços *Multicast*:** O Serviço *Multicast* é um serviço unidireccional PtM de uma única fonte para um grupo de utilizadores numa certa área geográfica ou áreas geográficas. Neste serviço, o utilizador deve subscrever-se ao serviço para conseguir acedê-lo. O operador deve ter controlo de admissão para cada serviço de forma a ser capaz de fornecer um serviço particular apenas para grupos fechados, como por exemplo empresas. Pelo facto de existir subscrição do serviço, pode-se deduzir que este será um serviço com um custo mais elevado e com taxas de transmissão elevadas e, para além disso, a rede deverá conhecer a localização do(s) UE(s). Na Tabela 2.3, estão listados alguns exemplos de serviços *multicast*:

Serviço	Componentes	Classe MBMS	Classe QoS UMTS
Notícias Locais	Texto, Áudio	<i>Download</i>	<i>Streaming</i>
Informação do Tempo	Texto, Imagem fixa	<i>Carousel</i>	<i>Background</i>
Informação do Tráfego	Áudio, Imagem fixa, Vídeo	<i>Carousel</i>	<i>Background</i>
Informação de Turismo	Texto, Áudio, Vídeo	<i>Download</i>	<i>Streaming</i>
Áudio – qualidade média	Áudio (estéreo)	<i>Streaming</i>	<i>Streaming</i>
Áudio – qualidade CD	Áudio (estéreo)	<i>Streaming</i>	<i>Streaming</i>
Vídeo	Vídeo	<i>Streaming</i>	<i>Streaming</i>

Tabela 2.3: Exemplos de Serviços Multicast [22].

Como se pode constatar pela Tabela 2.2 e Tabela 2.3, a maioria das aplicações são classificadas *Streaming*, na perspectiva das classes do UMTS [21]. Contudo, deve ser notado que os serviços pertencentes à classe MBMS *Carousel* podem ser servidos adequadamente pela classe *Background* do UMTS. Isto irá permitir alguma economia e organização na implementação do MBMS, especialmente em situações onde um enorme número de serviços MBMS irá desenvolver-se [22].

2.3.6 TÉCNICAS DE DIVERSIDADE PARA O MBMS

O actual estado das comunicações móveis é caracterizado por um vertiginoso crescimento na demanda por serviços nos mais diversos tipos de cenários urbanos, desde os mais densos até aos menos ocupados. Entre elas, apontam-se a liberdade de movimentação do utilizador, a redução do número de fios nas construções e a facilidade de introdução de novos serviços sem a necessidade de modificações estruturais.

O sinal transmitido no canal de comunicação móvel pode sofrer várias distorções devido a vários factores entre os quais se destacam o ruído térmico modelado como ruído AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), a interferência co-canal, a interferência de canal adjacente, o desvanecimento lento (*shadowing*) devido à presença de obstáculos fixos e o desvanecimento rápido devido a múltiplos percursos (com dispersão no tempo). Devido a estes factores, o desempenho de todo o sistema rádio pode ser

verdadeiramente degradado. Para além disso, a introdução do serviço MBMS requer uma eficiência da transmissão da informação e reduzido atraso entre os pacotes na rede, tornando-se assim necessário, a introdução de técnicas que atenuem estes problemas referidos.

Actualmente existem várias técnicas de vanguarda que têm sido equacionadas para a interface rádio, com vista ao aumento da capacidade e ao aumento dos ritmos de transmissão, nomeadamente a Diversidade e as Antenas Adaptativas (Sistemas MIMO), que também serão desenvolvidas no âmbito deste trabalho.

A diversidade pode ser usada para melhorar o desempenho do sistema em canais de desvanecimento, pois é uma técnica na qual múltiplas réplicas do sinal transmitido são combinadas, de modo a aumentar a totalidade da potência recebida e atenuar o desvanecimento. Deste modo melhora o desempenho do canal sem que haja qualquer aumento da potência transmitida.

Durante décadas, diferentes técnicas de diversidade foram estudadas e empregues para mitigar o efeito do desvanecimento. Assim, permitiram alcançar uma melhor qualidade na comunicação, sem aumentar excessivamente a complexidade do receptor e sem aumentar a potência transmitida. As técnicas de diversidade mais importantes e que são usualmente empregues nos sistemas de comunicações sem fios são [23]:

- **Diversidade Temporal:** Uma abordagem para obter diversidade é transmitir o sinal desejado em M instantes de tempo distintos, sendo que o intervalo de separação entre as réplicas deve ser superior ao tempo de coerência do canal de modo a que as diferentes réplicas do mesmo símbolo sofram desvanecimentos independentes na recepção.

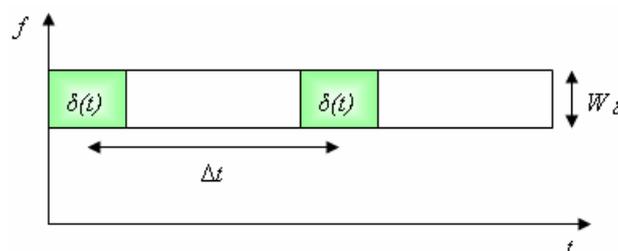


Figura 2.9: Diversidade Temporal [23].

- **Diversidade na Frequência:** A técnica de diversidade na frequência consiste em modular a informação através de M portadoras diferentes. Essas portadoras

devem estar suficientemente separadas na frequência para que o desvanecimento a que são sujeitas pelo canal de propagação sejam pouco correlacionados. Essas portadoras encontram-se separadas na frequência por um valor superior à largura da banda de coerência do canal, para que haja descorrelação entre as réplicas obtidas na recepção. A diversidade de frequência pode ser usada para combater o desvanecimento selectivo da frequência.

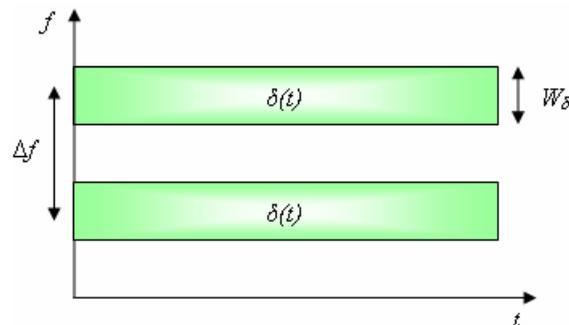


Figura 2.10: Diversidade de Frequência [23].

- **Diversidade de Antena:** Outra abordagem para obter diversidade é usar uma única antena de transmissão e M antenas de recepção. Este é o método mais comum de diversidade, a diversidade espacial, onde são usadas M antenas para receber M cópias do sinal transmitido. As antenas de recepção devem ser espaçadas de modo a que as cópias recebidas do sinal sofram desvanecimentos independentes. Ao contrário da diversidade de frequência e da diversidade temporal, nenhum trabalho adicional é necessário no fim da transmissão e nenhuma largura de banda e tempo de transmissão adicional é requerido. Os sinais provenientes dessas antenas são depois combinados pelo receptor.

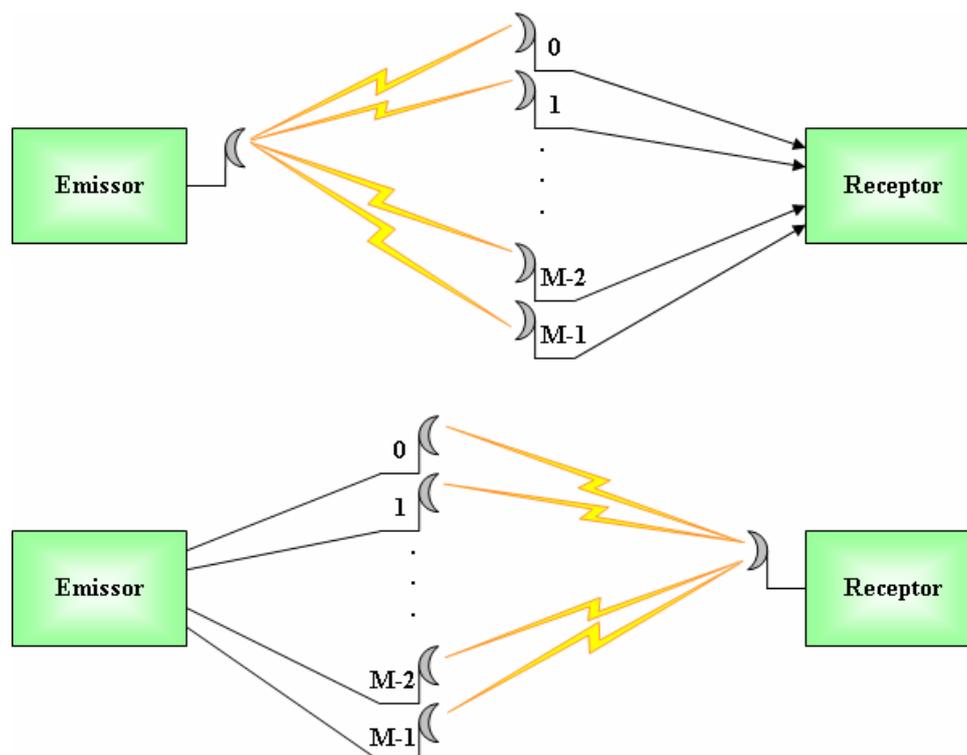


Figura 2.11: Diversidade Espacial [23].

No âmbito deste trabalho, vamos concentrar-nos na Diversidade Espacial e na Diversidade Temporal. De seguida são descritos, de forma sucinta, os métodos de combinação de sinais recebidos mais importantes e úteis para o MBMS, nomeadamente o SC e o MRC.

2.3.6.1 SELECTIVE COMBINING

Num sistema MBMS usando a transmissão PtM, a mesma informação deve ser transmitida em toda a rede, usando o *broadcast* ou o *multicast*.

Uma maneira de melhorar o desempenho da camada física é utilizar a técnica existente na diversidade espacial, o SC. O SC é um dos métodos proposto no sentido de reduzir a quantidade de potência transmitida mantendo constante a qualidade dos recursos da rede. No lado da rede, isto significa assegurar a sincronização de tempo suficiente de idênticas transmissões MBMS em diferentes células e pelo contrário no UE, a capacidade de receber e decodificar a mesma informação de múltiplos emissores simultaneamente.

A Figura 2.12 apresenta um esquema do modo como o SC funciona no lado do receptor. No SC, o ramo com o SNR (*Signal Noise Ratio*) maior é sempre seleccionado. No

sentido de garantir que o receptor usa o percurso com a melhor qualidade, é necessário que haja uma monitorização contínua e simultânea de todos os percursos. O resultado à saída deste combinador de diversidade é dada por [24]:

$$y(t) = g_k \cdot s_m(t) + n_k(t), \quad \text{com } g_k = \max\{|g_1|, \dots, |g_N|\}$$

Equação 2.1: Saída do receptor (SC) [24].

onde g_k é a amplitude máxima dos coeficientes de desvanecimento, e $n_k(t)$ é o ruído AWGN que é independente de ramo para ramo.

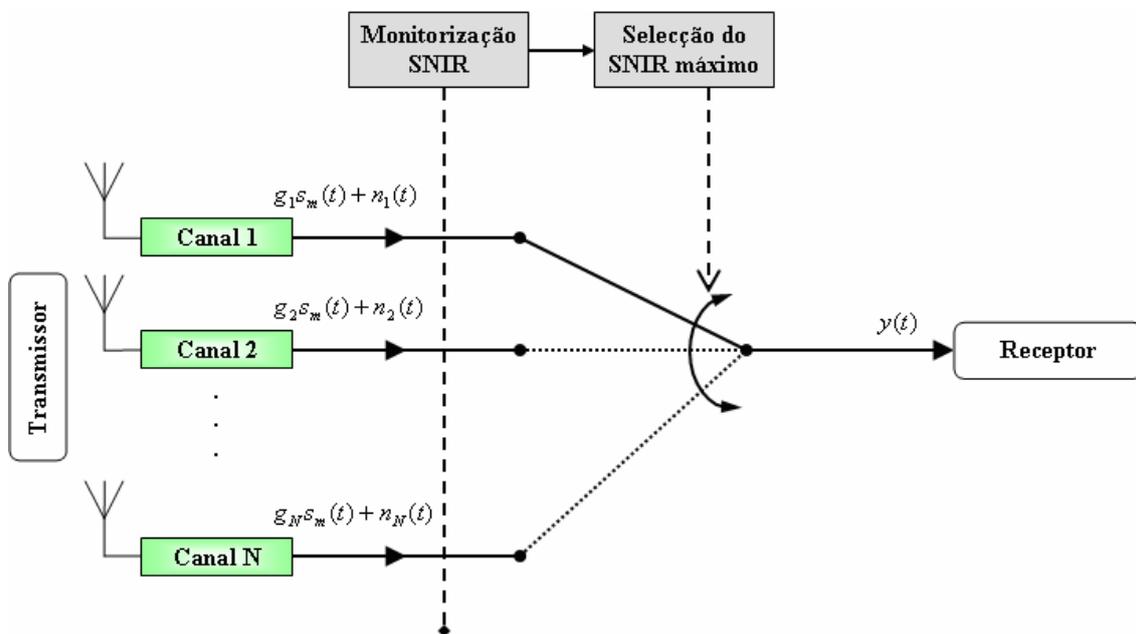


Figura 2.12: Selective Combining [24].

Esta técnica será analisada com maior profundidade na Análise de Resultados, quando comparada com outra técnica análoga, o MRC, que será definida de seguida.

2.3.6.2 MAXIMUM RATIO COMBINING

O MRC, representado na Figura 2.13, embora seja a técnica de diversidade mais complexa apresentada neste trabalho, é o modo óptimo, em termos de BER (*Bit Error Rate*) e BLER (*Block Error Rate*), para combinar a informação dos diferentes ramos. Esta técnica é uma forma especial de combinação de diversidade, onde múltiplas réplicas do mesmo sinal de informação, recebido por diferentes meios de diversidade,

são combinadas de modo a maximizar a relação sinal-ruído (SNR). A saída do receptor pode ser representada como [24]:

$$y(t) = \sum_{j=1}^N |g_j|^2 s_m(t) + n_j(t)$$

Equação 2.2: Saída do receptor (MRC) [24].

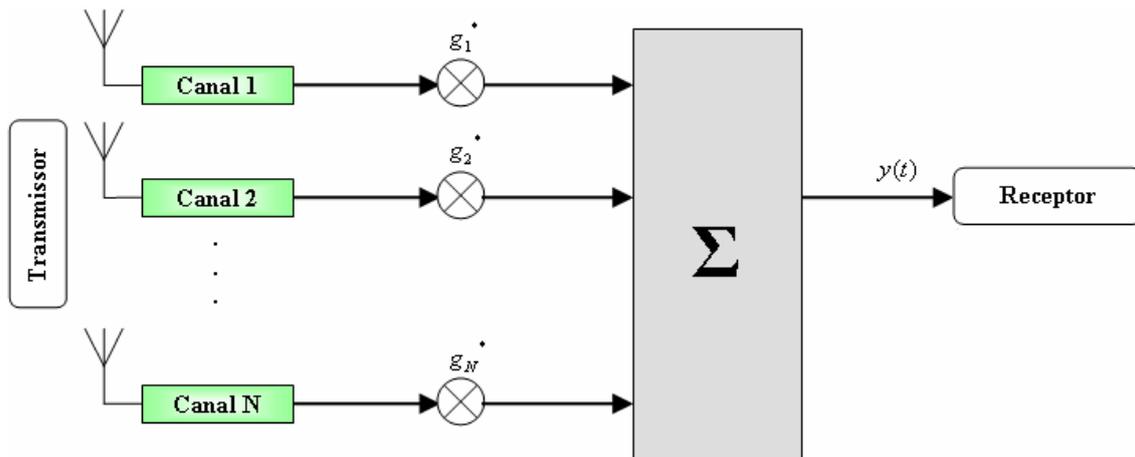


Figura 2.13: Maximum Ratio Combining [24].

Capítulo 3

ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE CÉLULAS

3.1 INTRODUÇÃO

É esperado que os futuros sistemas de comunicação sem fios suportem uma extensa gama de serviços que necessitarão de elevadas taxas de transmissão de dados. Devido à disponibilidade limitada do espectro de rádio, uma possível aproximação para alcançar a maior capacidade do sistema, é através da utilização do sistema MIMO. Assim sendo, a utilização de comunicação digital utilizando várias entradas e várias saídas (MIMO) tem sido recentemente apresentada como uma das mais importantes técnicas descobertas para a comunicação. Esta tecnologia faz parte de uma série de recentes avanços técnicos que tentam resolver o problema da capacidade de tráfego em redes sem fios (*wireless*).

Um modo para diminuir o custo total do sistema e melhorar a eficiência nos futuros sistemas de comunicação móveis é através de uma estrutura de células que cobre a mesma área. Isso é frequentemente designado por Estrutura Hierárquica de Células ou HCS (*Hierarchical Cell Structure*).

Neste trabalho considerou-se um sistema HCS usando antenas distribuídas (DA – *Distributed Antennas*). Essa é uma nova topologia que tem por base o conceito da tecnologia MIMO e que permite o aumento da cobertura para a transmissão de elevadas taxas de dados.

Este capítulo apresenta duas partes distintas. Numa primeira fase será apresentado o sistema MIMO onde serão mencionadas as suas principais características, capacidade, problemas e benefícios. De seguida será descrito o Sistema de Estrutura Hierárquica de Células usando antenas distribuídas, onde também serão mencionadas as suas principais características, problemas e benefícios.

3.2 SISTEMAS MIMO

Nos últimos anos, os sistemas MIMO atraíram grandes interesses na área da investigação. É reconhecido que os sistemas MIMO podem ser utilizados para se alcançar uma elevada capacidade e uma elevada ordem de diversidade, para se mitigarem os efeitos de vários tipos de sinais interferentes, e para apoiar o SDMA (*Space Division Multiple Access*).

As múltiplas antenas podem ser usadas tanto no transmissor, como no receptor ou em ambos. As várias configurações, apresentadas na Figura 3.1, referem-se ao SISO (*Single Input Single Output*), MISO (*Multiple Input Single Output*), SIMO (*Single Input Multiple Output*) e MIMO [24].

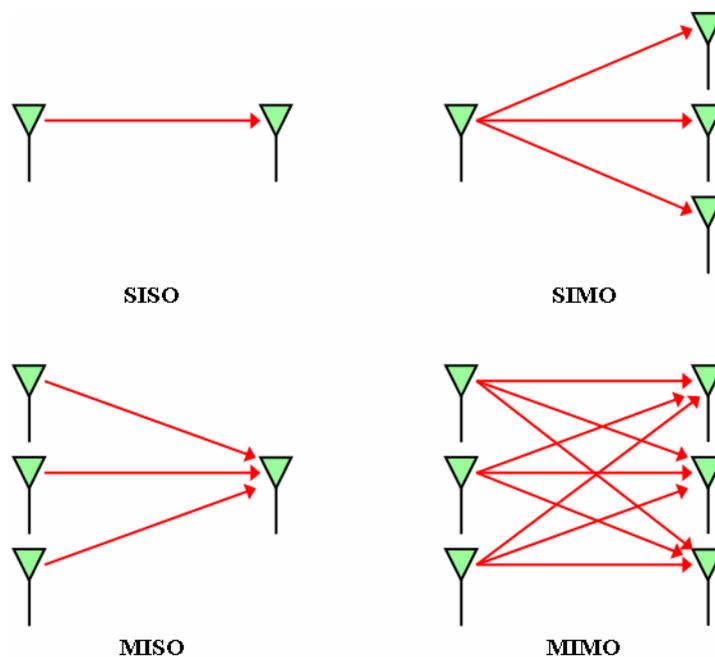


Figura 3.1: Configurações de múltiplas antenas [24].

Um sistema MIMO, tal como o ilustrado na Figura 3.2, corresponde a um conjunto de antenas na transmissão e na recepção, caracterizando um sistema que utiliza diversidade espacial [25]. Assim sendo, um canal MIMO é o meio por onde se propaga a informação transmitida por este conjunto de antenas. O canal MIMO, como todo o canal sem fios, sofre de problemas referentes a desvanecimentos de larga escala, multipercursos e de espalhamentos de atraso. As propriedades espaciais dos canais de comunicação sem fio são muito importantes na determinação do desempenho de sistemas utilizando conjuntos de antenas.

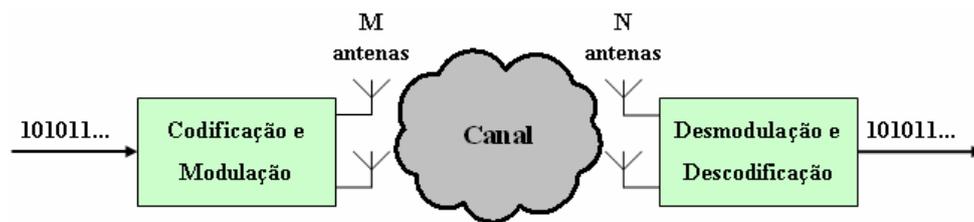


Figura 3.2: Sistema MIMO [26].

Nos sistemas MIMO os sinais nas antenas do emissor e nas antenas do receptor são combinados de modo a aumentar a qualidade (BER) ou a taxa de dados (bits/s) de cada utilizador. A principal ideia dos sistemas MIMO é o processamento do sinal, no espaço e no tempo, onde a variável tempo é complementada com a variável espaço, obtida através da utilização de múltiplas antenas [26].

Os sistemas MIMO podem ser vistos como extensões à tecnologia de *smart antennas* [26]. Um dos conceitos chave nas *smart antennas* é a possibilidade de aumentar a relação sinal ruído (SNR) através da emissão de energia em direcções desejadas, logo consegue-se maximizar o valor do sinal médio desejado e minimizar as interferências e o ruído. Um dos efeitos da utilização de *smart antennas* é a diversidade espacial. Com a utilização de matrizes de antenas, a probabilidade de perda do sinal diminui exponencialmente com o número de conjuntos de antenas.

A principal propriedade dos sistemas MIMO é a capacidade de utilizar, a favor do utilizador, as propagações multipercurso de modo a aumentar a taxa de dados.

Através da utilização dos sistemas MIMO, a sequência de *bits* de um único utilizador é separado em M sequências de *bits*, onde M é igual ao número de antenas no emissor.

Os sinais são recebidos por N antenas receptoras. Através deste modo de transmissão, é obtido um aumento linear na eficiência espectral, comparada ao aumento logarítmico nos sistemas tradicionais que utilizam diversidade apenas no receptor. A elevada eficiência espectral obtida pelos sistemas MIMO é possível pelo facto dos sinais de cada emissor individual serem incorrelacionados. Quando os sinais são transmitidos através de canais incorrelacionados entre o emissor e o receptor, os sinais correspondentes a cada antena de emissão têm diferentes assinaturas espaciais. O receptor pode então utilizar esta diferença entre as assinaturas espaciais para simultaneamente e à mesma frequência separar os sinais emitidos pelas diferentes antenas de emissão.

Nesta secção serão apresentadas as principais características dos sistemas MIMO, assim como a sua capacidade, problemas e benefícios.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS MIMO

Após uma visão geral da operação dos sistemas MIMO, algumas características podem ser enfatizadas, tais como:

- **Ganho de multiplexagem:** Estes sistemas possuem uma capacidade de vazão de dados superior aos sistemas convencionais que utilizam um conjunto de antenas na transmissão ou na recepção, possibilitando um ganho de taxa de vazão de dados nas redes de comunicação sem fio;
- **Ganho de diversidade:** O aumento do número de antenas, tanto na transmissão como na recepção, aumenta o grau de liberdade para ser utilizado na adição de redundância oferecida pelo sistema, sendo possível a oferta de ganhos muito maiores do que nos sistemas de transmissão tradicionais;
- **Sensibilidade a erros de estimação:** Os sistemas MIMO são sensíveis a erros de estimação da matriz de canal, pois pequenos erros de estimação prejudicam o processo de cancelamento de interferência, diminuindo assim o desempenho do sistema;
- **Complexidade dos receptores:** Devido à natureza do sinal recebido, que sofre da interferência causada pelas diferentes antenas transmissoras e dos problemas oferecidos pelos canais sem fio, os receptores normalmente precisam de um elevado grau de processamento para reconstruir a informação transmitida, aumentando assim a complexidade do sistema.

3.2.2 CAPACIDADE DE UM SISTEMA MIMO

Considerando uma ligação MIMO, como a representada na Figura 3.2, com M antenas no emissor e N antenas no receptor, a capacidade do canal é representada por uma matriz de dimensão $M \times N$, com elementos independentes e aleatórios representados por H . A capacidade do canal é dada por:

$$C = \log_2 [\det(I_N + (\beta / M)HH')]]$$

Equação 3.1: Capacidade do canal.

onde H é a matriz do canal, H' é a transposta conjugada de H e β corresponde à relação SNR a cada antena emissora.

As vantagens dos casos MIMO são significativas, quer na capacidade média quer na capacidade de saída. Para um elevado número de $M = N$ antenas a capacidade média aumenta linearmente com M :

$$C_a \approx M \log_2(1 + \rho)$$

Equação 3.2: Capacidade média.

Teoricamente, utilizando canais aleatórios ideais, conseguem-se atingir capacidades ilimitadas desde que se consiga suportar o custo e o espaço de muitas antenas e ligações RF (*Radio Frequency*). Na realidade, o desempenho depende dos algoritmos de transmissão e das características físicas do canal.

3.2.3 PROBLEMAS E BENEFÍCIOS

Os benefícios da comunicação MIMO são obtidos através da combinação de um conjunto de antenas que provêm diversidade espacial do canal de propagação e algoritmos que se podem adaptar à mudança do canal multivariado [27].

Os sistemas MIMO oferecem ganhos de diversidade e de multiplexagem e representam um modo económico para aumentar a capacidade do utilizador em vários ambientes. O uso de antenas no lado do transmissor e receptor permite, entre outros:

- Aumento da capacidade e da eficiência espectral;
- Grandes reduções de desvanecimento, graças à diversidade;
- Aumento da capacidade do sistema (número de utilizadores);
- Menor probabilidade de deteção;
- Melhor resistência para a interferência.

Normalmente o desvanecimento é considerado um problema nas comunicações sem fio, contudo os canais MIMO utilizam o desvanecimento para aumentarem a capacidade e assim o MIMO é visto como uma tecnologia importante para os futuros sistemas de 3G e 4G (*4th Generation*). Os sistemas MIMO podem combater os efeitos do desvanecimento de multipercursos do sinal desejado e podem suprimir os sinais interferentes. Isto resulta num aumento do desempenho e da capacidade dos sistemas sem fios [24].

Actualmente existe um grande interesse no estudo de redes celulares MIMO. Enquanto certas técnicas estão agora a ser propostas para a camada física da 3G como opções, as múltiplas antenas terão, provavelmente, uma presença obrigatória nos sistemas 4G. É justo dizer que as ligações da comunicação MIMO estão a ser bem compreendidas, embora os sistemas celulares MIMO não desfrutem da mesma compreensão. O ponto crucial do problema está relacionado com a interferência, acesso múltiplo, mobilidade e gestão de recursos [27]:

- **Interferência:** Em redes MIMO, a multiplicidade de antenas de transmissão multiplica o problema da interferência;
- **Acesso Múltiplo:** Actualmente a comunicação MIMO é vista como uma técnica para aumentar a eficiência espectral de um sistema celular. E em relação aos utilizadores? Será que o MIMO também é a solução para comunicações de voz? Que técnicas de acesso múltiplo são satisfatórias para o uso com sistemas de comunicação MIMO?
- **Mobilidade:** O movimento dos UEs entre células abre novas portas para o *MIMO-centric handoff*. Considerando que transmissões de múltiplas estações de base são usadas para a macro diversidade em sistemas existentes, nos futuros sistemas celulares MIMO estas transmissões podem suportar fluxos de dados independentes para aumentar o *throughput* da ligação. Neste caso os assuntos de pesquisa incluem novos aspectos de *handoff* devido à pluralidade de antenas disponíveis, alocação dinâmica do canal espaço-tempo, novos modelos para o plano celular e estratégias de selecção de acesso múltiplo (CDMA - *Code Division Multiple Access* - e suas variantes de multiportadoras);
- **Gestão de Recursos:** A presença de múltiplas antenas introduz outro recurso que pode ser gerido e alocado numa ligação sem fios. A pesquisa de algoritmos

de *scheduling* é necessária para alocar eficientemente os recursos espaço/tempo/frequência que considerem métricas de desempenho do sistema ou por utilizador.

3.3 TOPOLOGIA DA ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE CÉLULAS

Na topologia proposta, as antenas distribuídas estão ligadas a centros de processamento de sinal, que são referidos como estações de base (BS), usando fibras ópticas ou cabo. Embora se continue a utilizar o conceito de estação de base, agora esta é apenas um centro de processamento de sinal, que pode ser convertido de uma estação de base convencional. As antenas na estação de base do sistema proposto não têm nenhuma prioridade comparativamente com as antenas distribuídas. A estação de base é responsável pelo processamento de sinal dos utilizadores dentro da área que está coberta pelas antenas distribuídas ligadas a essa estação de base.

O sistema proposto é capaz de prover uma plataforma para possivelmente integrar os sistemas celulares convencionais no futuro, uma elevada flexibilidade, *ad-hoc* e redes sem fios cooperativas. Além disso, pode prover uma plataforma de unificação para finalmente combinar as comunicações sem fio e as comunicações *wired* numa só, de forma a que a elevada flexibilidade e a elevada qualidade de serviços estejam disponíveis a qualquer hora e em qualquer lugar.

Nesta secção será então descrito o sistema proposto e apresentadas as respectivas características.

3.3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

É bem conhecido que, nos sistemas celulares convencionais, cada célula é centrada ao redor de uma estação de base, que pode empregar um conjunto de antenas [28, 29].

No sistema celular proposto, ilustrado na Figura 3.3, cada célula tem numerosos conjuntos de antenas (DA), que estão distribuídos dentro da área de cobertura da célula e que estão ligados às estações de base através de fibra óptica ou cabo.

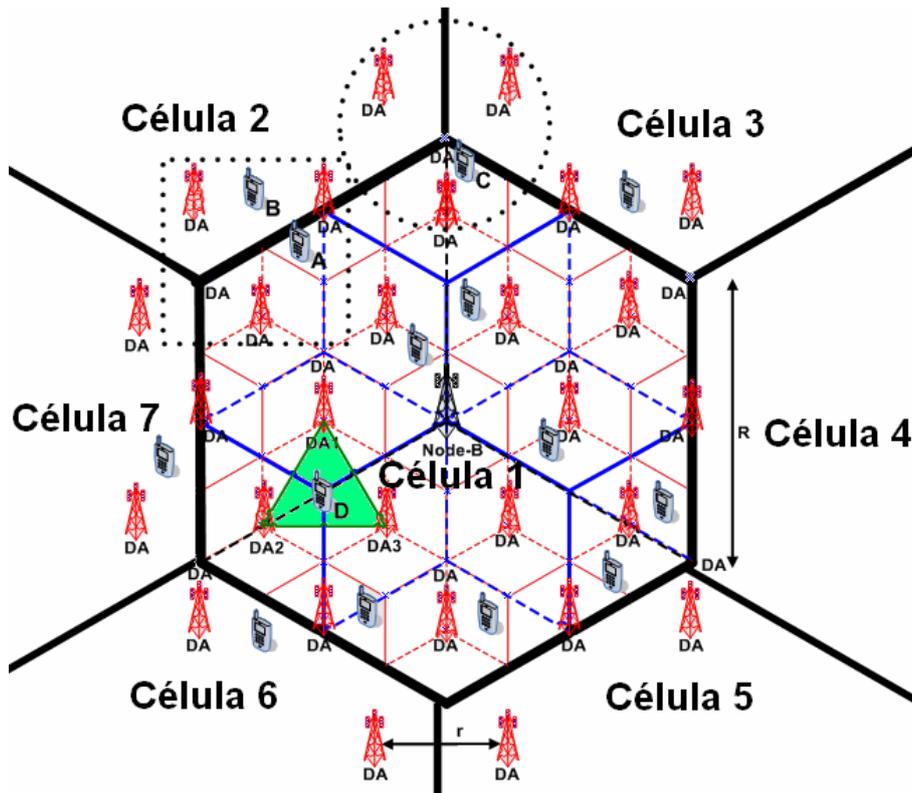


Figura 3.3: Estrutura do sistema celular convencional, com antenas distribuídas.

No sistema proposto, as antenas perto da fronteira podem estar ligadas a duas ou três estações de base, como se pode verificar através da Figura 3.3, onde cada MT (*Mobile Terminal*) dentro do quadrado a tracejado está ligado ao *Node-B* da célula 1 e da célula 2, respectivamente, enquanto que os MTs dentro da circunferência a tracejado junto da intersecção das células 1, 2 e 3 estão ligados ao *Node-B* respectivo dessas células.

No sistema considerado, por conveniência de análise, assume-se que as células têm a forma hexagonal com raio R . Como mostra a Figura 3.3, assume-se que qualquer par de antenas adjacentes está separado por uma distância de r , ou seja, cada antena é rodeada por numerosas antenas distribuídas (DA). Note-se que a estrutura da Figura 3.3 é suficientemente geral para se poder modelar o sistema de antenas distribuídas que pode ter uma densidade de antenas arbitrária. Isto pode ser feito alterando o valor do raio R ou o valor de r (neste trabalho assumiu-se sempre $R=1000m$ e $r=250m$ e/ou $r=125m$).

No sistema da Figura 3.3, assume-se que as antenas distribuídas apenas implementam as funções de transportar o sinal RF para a banda base ou da banda base para a RF, no sentido de tornar a carga da computação da antena distribuída o mais baixa quanto possível. Consequentemente, neste sistema de antenas distribuídas todos os sinais

recebidos dos MTs pelas antenas distribuídas são transportados à estação de base, onde é feito o processamento do sinal. Simultaneamente, todas as antenas distribuídas também são usadas para transmitir os sinais dos *Node-Bs* para o MT, para melhorar a qualidade de transmissão de *downlink*.

Nesta nova topologia, considera-se que, se um UE pode transmitir directamente para um DA que por sua vez está ligado a um *Node-B*, então a ligação é realizável.

3.3.2 CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DO SISTEMA

Os objectivos das antenas distribuídas nos sistemas sem fio incluem, entre outros:

- O aumento da capacidade do sistema;
- A diminuição da potência de transmissão;
- A redução da dependência no controle centralizado;
- A recuperação da capacidade do sistema gasta para a configuração do sistema nos sistemas celulares convencionais.

Em comparação com os sistemas celulares CDMA, os sistemas HCS com antenas distribuídas, como apresentado na Figura 3.3, têm as seguintes características típicas:

- Nos sistemas HCS com antenas distribuídas, a capacidade do sistema pode ser extremamente maior do que nos sistemas celulares convencionais de 3G [30]. Em primeiro lugar, o sistema HCS usando antenas distribuídas emprega um grande número de antenas. Consequentemente, a sua capacidade pode ser muito maior do que a capacidade provida pelos convencionais sistemas celulares 3G, onde cada *Node-B* pode empregar uma antena ou um conjunto de antenas [30, 31, 32]. Em segundo lugar, até mesmo para um elevado número de antenas, o sistema HCS usando antenas distribuídas é capaz de prover uma capacidade de sistema significativamente mais alta do que um sistema celular construído com base no conceito do sistema celular convencional, onde todas as antenas são desdobradas no *Node-B*. Isto é principalmente porque numerosas antenas distribuídas em diferentes locais são capazes de explorar os graus de liberdade no domínio do espaço com uma alta eficiência, o que não acontece no caso dessas antenas desdobradas estarem no mesmo local. Além disso, como será

detalhado abaixo, o sistema celular de antenas distribuídas é capaz de prover uma elevada potência/eficiência;

- Um sistema HCS com antenas distribuídas é um sistema sem fios de elevada potência/eficiência. Num sistema celular CDMA convencional, cada MT tem que comunicar com um *Node-B* que está normalmente localizado no centro geométrico da célula. Tanto os *Node-Bs* como os MTs têm que transmitir um valor de potência variável, e a potência transmitida aumenta, quando a distância entre um MT e um *Node-B* aumenta. Além disso, num sistema celular convencional a perda de percurso de transmissão é normalmente alta, o que implica um aumento de potência adicional. No contexto da estrutura celular proposta, que utiliza antenas distribuídas, cada MT comunica apenas com as antenas que lhe são mais próximas. Assim, no sistema sem fios com antenas distribuídas cada MT pode ser visto como o centro de uma “célula virtual” e só comunica com as antenas dentro dessa “célula virtual”. Devido ao facto das distâncias entre um MT e as antenas circundantes serem pequenas, e devido ao facto das perdas de percurso de transmissão serem relativamente baixas, a potência de transmissão satisfatória é possível nos sistemas celulares de antenas distribuídas, até mesmo no caso de se transmitir uma elevada taxa de dados que pode ser suportada através da integração dos princípios MIMO no sistema HCS com antenas distribuídas [29, 33];
- Nos sistemas HCS com antenas distribuídas, a demanda pelo controlo de potência pode ser pouco usado, ou até mesmo não usado. Como mostrado na Figura 3.3, independentemente do local onde o MT está, este comunica com várias antenas localizadas dentro da área de LOS (*Line-of-Sight*) do MT considerado ou dentro da “célula virtual”. Consequentemente, os sinais amostrados das antenas na “célula virtual” pertencem ao conjunto de sinais mais fortes. Em mais detalhe, como mostrado na Figura 3.3, a potência recebida pelas antenas DA1, DA2 e DA3 do MT D serão normalmente mais elevadas do que de outros MTs ou pelo menos estarão a um nível similar. Consequentemente, quando os sinais do MT D são detectados com base na observação dos dados amostrados das antenas DA1, DA2 e DA3 ou das antenas dentro da sua “célula virtual”, pode ser assegurado que o MT D não irá experimentar nenhum problema perto-longe ou então se o experimentar este será pequeno [34];

- O *handover* de uma célula para outra, num sistema HCS com DAs é significativamente diferente do *handover* nos sistemas celulares convencionais [29]. O *handover* nos sistemas celulares HCS com antenas distribuídas é simplesmente baseado na geometria e os seus princípios podem ser entendidos através da Figura 3.3. Mais especificamente, como foi mencionado previamente, nos sistemas celulares de antenas distribuídas, as antenas próximas da fronteira podem estar ligadas a dois ou três *Node-Bs*. Consequentemente, quando um MT cai na primeira célula, o *Node-B* da primeira célula controla a comunicação com o MT pelas antenas dentro da “célula virtual” do MT. Quando este MT passa para outra célula, por exemplo, para a Célula 2 da Figura 3.3, a comunicação com o MT é então controlada pelo *Node-B* da Célula 2;
- Nos sistemas HCS com antenas distribuídas o processamento do sinal é dependente do local, desde que um MT esteja apenas relacionado a várias antenas dentro da sua “célula virtual”. Os sinais em correspondência com um MT específico ficarão suficientemente fracos num local suficientemente distante do MT. Consequentemente, num sistema HCS com antenas distribuídas o mesmo conjunto de códigos de espalhamento pode ser reutilizado na mesma célula. Especificamente, os códigos de espalhamento nomeados para um MT também podem ser nomeados para outro MT, desde que estes dois MTs estejam suficientemente separados.

3.3.3 PROBLEMAS E BENEFÍCIOS

Como já foi mencionado anteriormente, a introdução das antenas distribuídas nos sistemas celulares convencionais resulta, entre outros, num aumento da área de cobertura da estação de base, e também na diminuição de algumas “zonas mortas”, o que também viabiliza o emprego de um nível de potência menor nas estações de base, num aumento da capacidade do sistema e numa redução da dependência no controlo centralizado [35].

A utilização das antenas distribuídas conduz a um aumento da cobertura assim como a uma redução da interferência devido à redução da potência de transmissão do terminal. A redução da potência de transmissão traz novos benefícios entre os quais o aumento da duração da bateria do terminal e a frequência de reuso que pode ser maior devido à

redução da interferência, aumentando assim a capacidade. A redução da perda de percurso pode melhorar o serviço. Nos sistemas celulares convencionais, as elevadas taxas de dados, ou até mesmo alguns serviços, podem não estar disponíveis aos utilizadores que se encontrem na fronteira da célula devido à sua elevada potência de transmissão. Com a introdução das antenas distribuídas a cobertura e as elevadas taxas de dados encontram-se disponíveis para mais utilizadores.

Esta nova topologia tem alguns problemas nomeadamente o aumento da complexidade da rede, o facto da sincronização ser mais complexa comparativamente com os sistemas centralizados, o facto de ser gerado mais tráfego (e conseqüentemente mais interferência) e o facto dos atrasos *end-to-end* serem geralmente maiores.

Capítulo 4

FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO

Para que o estudo deste trabalho possa ser efectuado, é imprescindível o recurso a ferramentas de simulação.

As simulações ao nível de uma rede de comunicações móveis podem ser classificadas em simulações ao nível da ligação (ligação rádio entre o terminal e a estação de base) e simulações ao nível de sistema. Nesta tese apenas foi considerado o subsistema que inclui os nós da rede que compõem o Subsistema da Rede Rádio RNS.

Neste capítulo serão descritas as características gerais do Simulador do Subsistema da Rede Rádio (RNS) desenvolvido no âmbito do projecto B-BONE (*Broadcasting and Multicasting Over Enhanced UMTS Mobile*) e C-MOBILE, bem como as principais opções tomadas no que diz respeito à estrutura da aplicação desenvolvida [36].

4.2 SIMULADOR RNS

O simulador do subsistema RNS, apresentado na Figura 4.1, é composto pelos seguintes módulos/simuladores:

- Módulo do Nível de Ligação;
- Módulo do Nível de Sistema.

O módulo do nível de ligação é constituído pelo *Node-B* e pelo UE, incluindo o canal de propagação e outras fontes de interferência, enquanto que o módulo do nível de sistema é constituído pelo subsistema RNS e pelos UEs. Estes módulos/simuladores serão mais aprofundados nas secções que se seguem.

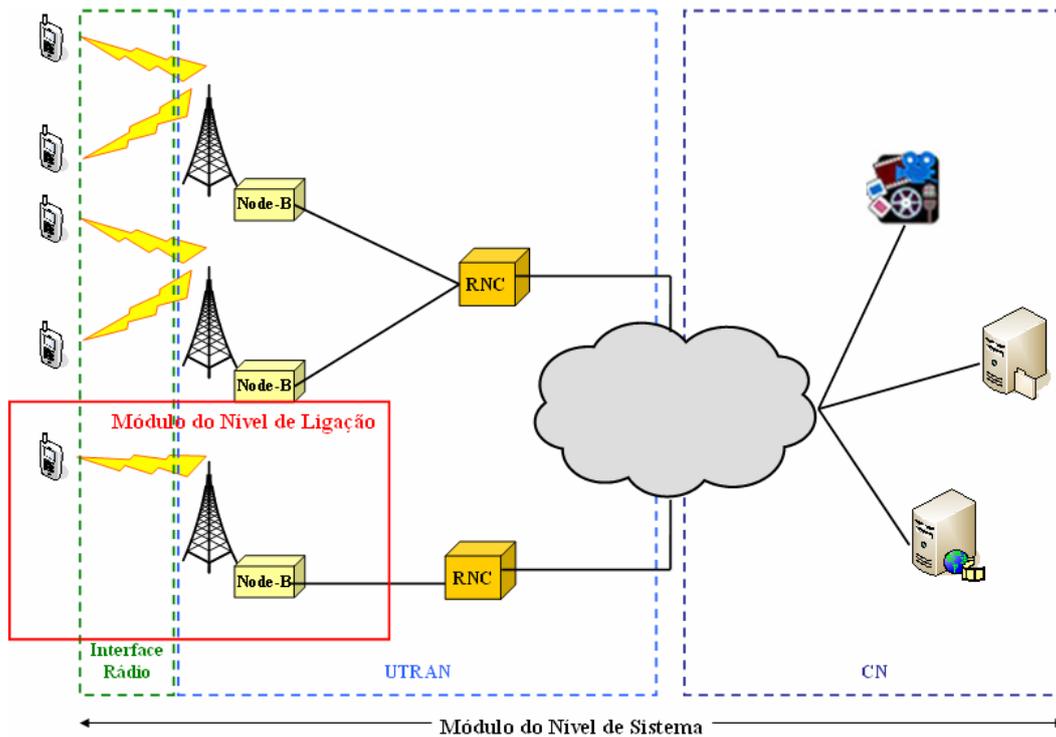


Figura 4.1: Esquema do Simulador RNS [42].

Seria preferível fazer uma única abordagem, isto é, incluir tudo desde o sinal transmitido até à estrutura multi-celular da rede, contudo a complexidade de tal simulador seria muito exigente no que diz respeito à resolução requerida do simulador e aos tempos de simulação e como tal foi necessário separar a ferramenta de simulação num simulador ao nível da ligação e noutro ao nível do sistema, como foi mencionado anteriormente.

Uma vez que a simulação se encontra dividida em duas partes distintas, torna-se necessário definir um método de ligação entre os dois módulos. Assim, convencionou-se que a informação obtida no simulador do nível de ligação é inserida no simulador do nível de sistema através da utilização de uma interface de actualização de dados que descreve o desempenho ao nível do BER/BLER correspondente a uma determinada relação sinal ruído mais interferência (SNR) estimada no terminal ou estação de base. Na Figura 4.2 é apresentado um esquema do modo como os dois simuladores (simuladores do nível de ligação e do nível de sistema) interagem entre si.

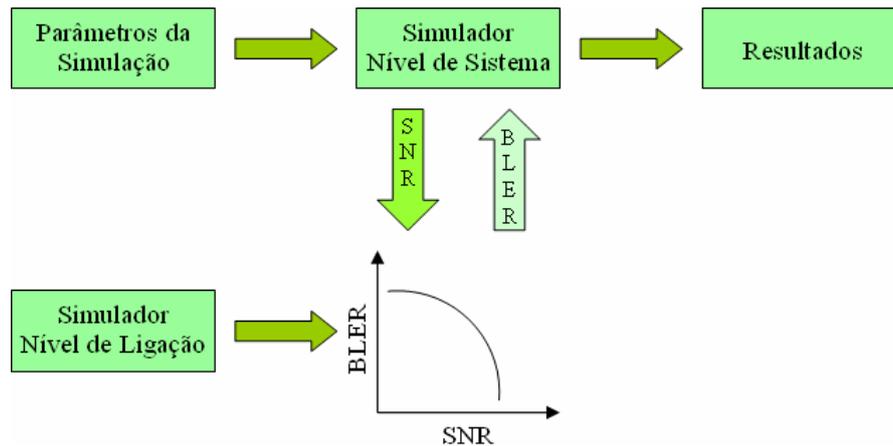


Figura 4.2: Interação entre os simuladores do nível de ligação e do nível de sistema.

As secções apresentadas a seguir visam descrever os módulos/simuladores do nível de ligação e do nível de sistema desenvolvidos no âmbito dos projectos B-BONE e C-MOBILE, e utilizados para a implementação dos novos ambientes de simulação propostos neste trabalho e consequentemente para a obtenção dos resultados apresentados no Capítulo 5.

4.2.1 MÓDULO DO NÍVEL DE LIGAÇÃO

O simulador UMTS ao nível da ligação foi desenvolvido no âmbito do Projecto B-BONE, de acordo com as especificações do 3GPP determinadas na *Release 6*, de modo a servir como referência para todas as simulações efectuadas ao nível da ligação e a servir como plataforma aos melhoramentos testados e quantificados. Deste modo, este simulador engloba todas as funcionalidades do MBMS e mais algumas melhorias.

As simulações ao nível da ligação estudam o efeito do canal rádio escolhido, por exemplo o *Vehicular A*, e das outras fontes de interferência no decodificador do turbo-código. Este módulo foi então desenvolvido para avaliar o desempenho da interface rádio.

De modo a permitir obter resultados de simulação válidos com tempos de simulação razoáveis, são utilizados métodos de Monte Carlo para estimar o BER e o BLER.

Neste módulo são fornecidas duas ligações de comunicação, nomeadamente a ligação descendente, do *Node-B* ao UE, e a ligação ascendente, do UE ao *Node-B*, contudo esta última ligação não será mencionada no âmbito deste trabalho uma vez que no serviço MBMS, no modo PtM, não se consideram retransmissões individuais.

O simulador ao nível da ligação é necessário para se conseguir criar um modelo de recepção no simulador de sistema que consiga prever o desempenho ao nível de erros na informação recebida (BER/BLER), tendo em conta a estimação do canal, entrelaçamento e descodificação.

Para um determinado número de utilizadores, modelo de canal e configuração da ligação, a simulação visa produzir uma curva relativa à taxa de erro de *bit* em função da relação SNR. Para cada valor de SNR, o percurso descendente (ou ascendente) da ligação é simulado até que se obtenha uma estimação fiável em termos de BLER na saída do detector.

A ferramenta escolhida para desenvolver o simulador do Nível de Ligação foi o MATLAB devido às suas reconhecidas capacidades de cálculo, às suas grandes potencialidades no âmbito da simulação e à facilidade de instalação deste *software*.

Nesta secção serão introduzidos os principais indicadores de desempenho da ligação, será feito um estudo analítico da ligação descendente e serão apresentados os parâmetros de simulação para o estudo do desempenho do canal S-CCPCH para o MBMS.

4.2.1.1 INDICADORES DE DESEMPENHO DA LIGAÇÃO

Nesta secção serão introduzidos os principais indicadores de desempenho da ligação, que serão bastante úteis na modelação do desempenho da ligação para o planeamento e dimensionamento da rede de acesso rádio [37]:

- **BLER:** O indicador BLER é definido como a taxa de erros de bloco calculada para os blocos de transporte. O bloco de transporte é considerado incorrecto se existir no mínimo um erro de *bit*.
- **BER:** O BER refere-se ao erro de *bit* da informação, isto é, para os *bits* do utilizador depois da descodificação.
- **Taxa de *Bit*, R :** A taxa de *bit* R , usada nas simulações do nível de ligação, refere-se aos *bits* de informação do utilizador.
- **E_b/N_o e Factor de Ortogonalidade α :** O E_b/N_o é definido como a razão entre a energia de *bit* e a densidade espectral do ruído, sendo dependente do ritmo do serviço utilizado, bem como do canal de propagação utilizado. Com o passar do

tempo, a expressão E_b/N_o tem adquirido outro significado. Isso deve-se ao facto de, no CDMA a interferência ser modelada como ruído, devido ao factor de espalhamento. Assim, o N_o pode ser substituído pelo I_o , que é a interferência mais a densidade de ruído. O indicador do desempenho é muitas vezes relacionado com algum alvo de qualidade (BLER).

Supondo que o sinal é recebido com uma potência constante p_{rx} , o E_b/N_o na ligação ascendente é calculado pela seguinte equação:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{p_{rx}/R}{I/W} = \frac{W}{R} \frac{p_{rx}}{I}$$

Equação 4.1: E_b/N_o na ligação ascendente.

onde I é a potência de interferência recebida, R é a taxa de *bit* do utilizador e W é a largura de banda.

Na ligação descendente o E_b/N_o é definido de maneira diferente, uma vez que os códigos ortogonais sincronizados reduzem a interferência da própria célula (ou células, no *soft handover*). Considerando a existência de apenas uma ligação entre um móvel e uma estação de base, o E_b/N_o é calculado através da equação:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{W}{R} \cdot \frac{p_{rx}}{I_{own} \cdot (1 - \alpha) + I_{oth} + P_N}$$

Equação 4.2: E_b/N_o na ligação descendente.

onde I_{own} é a potência total recebida das próprias células, I_{oth} é a potência total recebida das células adjacentes e P_N é a potência do ruído (térmico e equipamento).

O factor α é designado por factor de ortogonalidade, que depende das condições de multipercursos do canal de propagação. O factor de ortogonalidade define a proporção da interferência recebida da própria célula que não deverá ser considerada como tal, devido à utilização de códigos ortogonais. No caso dos códigos serem completamente ortogonais e de não existirem multipercursos, a interferência das próprias células é cancelada e o $\alpha = 1$. Se pelo contrário, existem dois percursos de propagação igualmente fortes, então apenas metade da

interferência é cancelada do ponto de vista do receptor e $\alpha = 0.5$ nesse instante. O E_b/N_o e o α devem sempre ser mantidos juntos, uma vez que ao se calcular a capacidade da ligação descendente estes são os parâmetros de entrada que modelam o desempenho do nível de ligação.

- **E_c/I_{or} :** É a relação entre a energia transmitida por *chip* num canal escolhido e a densidade espectral da potência total transmitida na estação de base. Convém notar que isto é apenas a fracção da potência total transmitida usada pela estação de base neste canal particular. O E_c/I_{or} é sempre usado juntamente com o factor de geometria (ver Equação 4.5).
- **Factor de Geometria G :** O factor de geometria (G), usado apenas na ligação descendente, é definido como a razão entre a potência recebida da própria célula e a potência recebida das células adjacentes mais o ruído térmico, isto é,

$$G = \frac{I_{own}}{I_{oth} + P_N}$$

Equação 4.3: Factor de Geometria.

O factor de geometria reflecte a distância do terminal à estação de base. Uma gama típica é de -6dB a 20dB, onde -6dB corresponde à fronteira da célula. O G é usualmente um parâmetro de entrada nas simulações do nível de ligação na ligação descendente.

4.2.1.2 ESTUDO ANALÍTICO DA LIGAÇÃO DESCENDENTE

As simulações do Nível de Ligação, na ligação descendente, são realizadas usando o esquema de simulação ilustrado na Figura 4.3. A Figura 4.3 mostra esquematicamente como o canal CPICH (*Common Pilot Channel*) e os N canais interferentes (tipicamente $N=10, \dots, 20$) são multiplexados, pela soma dos *chips*, juntamente com o sinal transmitido da estação de base.

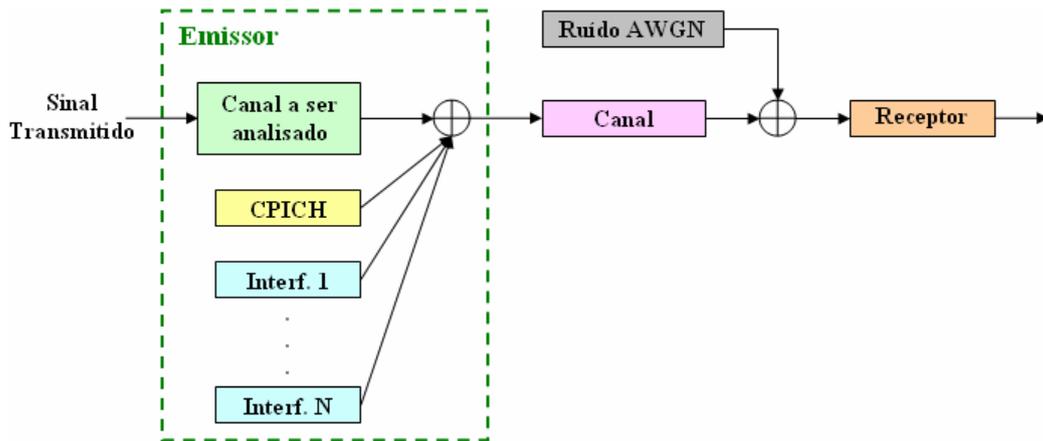


Figura 4.3: Esquema de simulação na ligação descendente [23].

O emissor gera o canal físico de acordo com os parâmetros dos canais físicos e de transporte, efectua o espalhamento e ajusta a potência de transmissão de acordo com os comandos do controlo de potência recebidos. Na ligação descendente, a interferência da própria célula com o sinal analisado deve ser incluída na simulação. Isso deve-se ao facto da interferência da própria célula se propagar através do mesmo canal de propagação com o sinal e por isso, a distribuição da interferência total varia em função da distância à estação de base. Uma diferença da ligação ascendente é que o UE utiliza o CPICH na estimação do canal e este também precisa de ser modelado. Nas simulações, cerca de 10% da potência transmitida total da estação de base pertence ao canal CPICH. O sinal transmitido é o parâmetro de entrada do canal (canal de propagação), que pode ser: *Vehicular A* e *Pedestrian B*. Depois do canal, o ruído AWGN, que simula a interferência das outras células e o ruído térmico, é adicionado ao sinal. O sinal resultante é o parâmetro de entrada do receptor, que efectua o processo contrário ao do emissor, ou seja, o despalhamento do sinal e a descodificação dos *bits* de informação de acordo com os parâmetros dos canais físicos e de transporte.

Nas simulações da ligação descendente, a potência transmitida do canal analisado p_{tx} , a potência total transmitida da estação de base I_{own} e as estatísticas BER/BLER são gravadas durante as simulações.

Através da definição do factor de geometria da Equação 4.3, a Equação 4.2 pode ser reescrita do seguinte modo:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{W}{R} \cdot \frac{p_{tx}}{I_{own}} \cdot \frac{1}{(1-\alpha) + \frac{1}{G}}$$

Equação 4.4: Factor de Geometria.

A potência recebida da própria célula na Equação 4.2 pode ser substituída pelas potências transmitidas, uma vez que o ganho do canal é 1. A Equação 4.2 apresenta duas variáveis desconhecidas, α e E_b/N_o , que podem ser conhecidas através do ajuste de curvas (*curve fitting*) ou através do cálculo de um factor de ortogonalidade fixo, baseado no perfil do canal de multipercursos e da estimação do E_b/N_o , baseado nas simulações. Optou-se por se utilizar o segundo método, por isso apenas foi estimado o E_b/N_o , através das simulações. Através da definição do factor de geometria da Equação 4.3, a Equação 4.4 pode ser reescrita do seguinte modo:

$$\frac{E_c}{I_{or}} = \frac{E_b}{N_o} \cdot \frac{R}{W} \cdot \left[(1-\alpha) + \frac{1}{G} \right]$$

Equação 4.5: E_c/I_{or} .

4.2.1.3 DESEMPENHO DO CANAL S-CCPCH PARA O MBMS

Um dos factores chave numa transmissão *multicast* é a gestão de recursos rádio, ou seja, o uso de todos os recursos rádio de forma eficiente, o que leva a optar pelo uso de um canal comum, uma vez que muitos UEs podem aceder simultaneamente à mesma informação. Contudo, isto também depende do número de utilizadores que pertençam ao grupo *multicast*, do tipo de serviço fornecido e a QoS que possa ser garantida por este. A palavra “comum” significa que uma potência suficiente deve ser atribuída a um canal físico para o serviço MBMS, de modo a cobrir toda a área de uma célula.

Para o transporte de dados multimédia num canal rádio comum, existe uma correspondência entre o serviço e os canais lógicos, que por sua vez são mapeados no canal de transporte FACH. O canal físico, adoptado pelo 3GPP, para o transporte do MBMS, é o S-CCPCH, sendo usado para transportar o canal FACH e PCH (*Paging Channel*).

Tipicamente, cerca de 20% da potência transmitida é atribuída a canais de sinalização tais como o CPICH, P-SCH (*Primary Synchronization Channel*), S-SCH (*Secondary Synchronization Channel*) e P-CCPCH. O resto da potência necessita de ser partilhada pela voz, dados e outros serviços tais como o MBMS.

Para tornar o MBMS económica e eficientemente viável para o sistema UMTS, o consumo da potência tem que ser reduzido. Existem vários factores que tornam o consumo de potência do MBMS elevado, comparativamente com os serviços *unicast*, tais como o facto de não existir um controlo de potência rápido e por isso ser necessária uma potência extra para compensar as flutuações de potência recebida, fazendo com que deste modo se aumente a potência transmitida.

A potência a ser atribuída a cada canal tem que ser tal que, a maioria dos utilizadores na fronteira da célula sejam servidos. Atribuindo uma potência excessiva, é dispendioso em termos de eficiência e de interferência, e atribuindo uma potência insuficiente, em áreas significativas da célula, faz com que os utilizadores MBMS experimentem um BLER elevado, que levará a uma redução da cobertura.

4.2.1.4 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

Para avaliar o desempenho do canal S-CCPCH e a potência a ser atribuída a cada canal, utilizou-se o módulo do Nível de Ligação. Os parâmetros utilizados neste módulo encontram-se apresentados na Tabela 4.1:

Parâmetros	Valor
Formato do <i>slot</i> do S-CCPCH	10 (64kbps) 12 (128kbps) 14 (256kbps) 11 (para os resultados do <i>VehicularA30</i>)
Tamanho do bloco de transporte e número de blocos de transporte por TTI (<i>Transmission Time Interval</i>)	Variável de acordo com o ritmo binário e com o TTI
CRC	16 bits
Intervalo de Transmissão (TTI)	20ms e 80ms
CPICH E_c/I_{or}	-10dB (10%)
P-SCH E_c/I_{or}	-15dB (3%)
S-SCH E_c/I_{or}	-15dB (3%)
E_c/I_{or} Transmitido	Variável
OCNS (<i>Orthogonal Channel Noise Simulator</i>)	Usado para que o E_c/I_{or} transmitido total seja de 0dB (100%)
Factor de Geometria	0dB e -3dB
Estimação do Canal	Ligada
Controlo de Potência	Desligado
Taxa de erro de <i>bit</i> (BER)	1%
Canal de Propagação	<i>Pedestrian B</i> , 3km/h <i>Vehicular A</i> , 3km/h e 30km/h

Tabela 4.1: Parâmetros de simulação usados no nível de ligação.

O desempenho do nível de ligação do canal FACH/S-CCPCH é obtido para diferentes factores de geometria (G_x) e é obtido em termos de BLER versus E_c/I_{or} , para um factor de geometria escolhido e fixo durante a simulação. Isto identifica a fracção de potência que tem de ser atribuída a um canal PtM MBMS para um determinado BLER no receptor com um dado G_x , de modo a que o utilizador em piores condições não experimente uma BLER pior do que a de referência.

Os resultados são apresentados em termos de E_c/I_{or} [dB], representando a fracção de potência transmitida na célula para garantir um determinado desempenho BLER indicado no eixo vertical.

Exemplos da conversão do E_c/I_{or} [dB] em fracção de potência na célula [%] podem ser visualizados na Tabela 4.2:

E_c/I_{or}	%Tx	E_c/I_{or}	%Tx	E_c/I_{or}	%Tx
0.0	100.0%	-5.5	28.2%	-11.0	7.9%
-0.5	89.1%	-6.0	25.1%	-12.0	6.3%
-1.0	79.4%	-6.5	22.4%	-13.0	5.0%
-1.5	70.8%	-7.0	20.0%	-14.0	4.0%
-2.0	63.1%	-7.5	17.8%	-15.0	3.2%
-2.5	56.2%	-8.0	15.8%	-16.0	2.5%
-3.0	50.1%	-8.5	14.1%	-17.0	2.0%
-3.5	44.7%	-9.0	12.6%	-18.0	1.6%
-4.0	39.8%	-9.5	11.2%	-19.0	1.3%
-4.5	35.5%	-10.0	10.0%	-20.0	1.0%
-5.0	31.6%				

Tabela 4.2: Conversão do E_c/I_{or} [dB] em fracção de potência transmitida na célula[%].

4.2.2 MÓDULO DO NÍVEL DE SISTEMA

O módulo do Nível de Sistema, desenvolvido no âmbito dos Projectos B-BONE e C-MOBILE, teve como principal objectivo avaliar o comportamento da rede, desde o terminal móvel até ao RNC, quando em presença de múltiplos utilizadores. Neste simulador, para cada caso específico a analisar, foi feita a integração dos resultados obtidos ao nível da ligação, tendo em consideração que os efeitos introduzidos pela interface rádio devem ser incorporados.

O simulador ao Nível de Sistema, implementado em JAVA, é baseado num gerador de eventos DES (*Discrete Event Simulator*), onde é simulada uma sequência de eventos, considerando apenas o tempo que eles são iniciados e não esperando que o tempo entre eventos termine. Estes eventos incluem, entre outros, o processamento de pacotes (transmissão, recepção, etc), mobilidade, algoritmos de gestão dos recursos rádio, etc. O processo de simulação é apresentado na Figura 4.4:

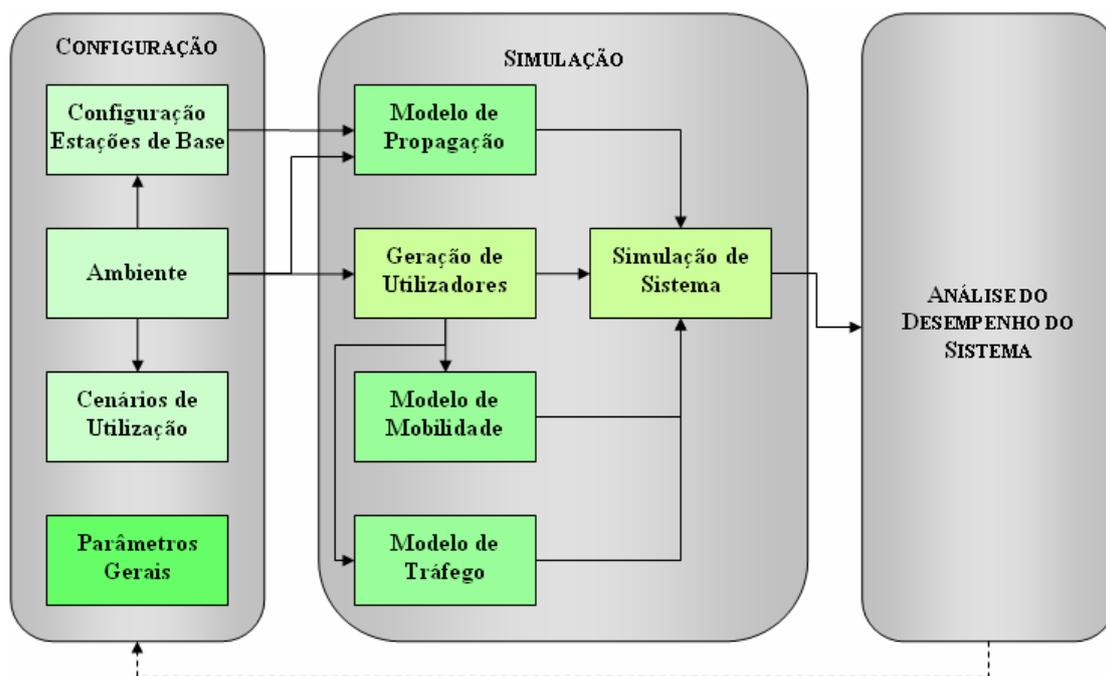


Figura 4.4: Processo de simulação do Nível de Sistema [38].

O processo de simulação do Nível de Sistema consiste em três fases sucessivas:

- **Configuração:** Nesta fase é efectuado todo o dimensionamento e parametrização inicial do sistema, incluindo, entre outros, a escolha e definição do ambiente a analisar, a localização das estações de base e a definição do cenário de utilização. Além destes dados, existe também um conjunto de parâmetros gerais que configuram todo o sistema de simulação.
- **Simulação:** Esta fase é o núcleo da ferramenta de simulação, sendo, do ponto de vista computacional, a fase de maior complexidade. Nesta fase é onde se encontram os modelos de simulação, nomeadamente os modelos de propagação, de mobilidade e de tráfego, que constituem a base da simulação. A predição de cobertura é efectuada com base num modelo de propagação (ver Anexo B) e depende directamente do ambiente de simulação e da configuração das estações de base. A geração de utilizadores tem como principal objectivo a distribuição dos utilizadores na topologia, de acordo com o modelo de mobilidade e de fonte de tráfego especificada. O principal módulo desta fase é denominado por Simulação de Sistema. É neste módulo que é efectuado todo o processamento que permite analisar o desempenho da rede. A utilização deste módulo implica a execução dos módulos anteriores, servindo estes como uma fase de pré-processamento da simulação.

- **Análise do Desempenho do Sistema:** A análise dos resultados, obtidos através da simulação, poderá ser feita de uma forma global ou parcial, de acordo com o processo de planeamento. Todo o processo de simulação é iterativo de forma a ajustar e calibrar determinados parâmetros de configuração do sistema, voltando-se assim à fase de configuração.

A ferramenta utilizada para desenvolver o simulador ao Nível do Sistema foi o JAVA, devido ao facto desta ser uma tecnologia multi-plataforma e independente de qualquer plataforma.

Nesta secção será apresentada a arquitectura deste módulo, os seus elementos lógicos, a gestão dos recursos rádio, canal UMTS, gerador de tráfego, mobilidade e os ambientes de simulação.

4.2.2.1 ELEMENTOS LÓGICOS DO MÓDULO DO NÍVEL DE SISTEMA

Nesta secção são descritos, de forma sucinta, os elementos do módulo desenvolvido (Subsistema RNS), nomeadamente:

- **RNC:** O RNC é o elemento lógico central da rede UTRAN, que possui e controla os recursos rádio no seu domínio. Neste módulo é considerado um modelo simples do RNC, contendo apenas os algoritmos de Gestão de Recursos Rádio (RRM), que serão apresentados na secção 4.2.2.2.
- **Node-B:** A estação de base (*Node-B*) converte o fluxo de dados entre as interfaces I_{ub} e U_u e também participa na gestão de recursos rádio. Neste módulo, as tarefas associadas à estação de base são:
 - Interface para o UE (U_u) e para o RNC (I_{ub} simplificada);
 - Conversão de informação \rightarrow transmissão U_u ;
 - Algoritmos RRM para o HSDPA;
 - Medição da qualidade da ligação;
 - Uso de FDD e TDD;
 - Outros melhoramentos, tais como as antenas adaptativas e os sistemas de múltiplas antenas (MIMO).

- **UE:** Este elemento serve de interface entre o utilizador e o *Node-B*, sendo também responsável pelo processamento do sinal rádio. Algumas das funções do UE são:
 - Controlo de Potência;
 - Gestão da Mobilidade;
 - *Handover*;
 - Espalhamento e Modulação, Processamento de Rádio Frequências (RF);
 - Negociação da Portadora.

4.2.2.2 GESTÃO DE RECURSOS RÁDIO

A Gestão de Recursos Rádio (RRM) consiste num conjunto de algoritmos que permitem assegurar o controlo dos recursos rádio do sistema. Os seus principais objectivos são assegurar a QoS e a cobertura com uma capacidade mínima que por sua vez, tire o máximo partido dos recursos disponíveis. Os procedimentos da gestão de recursos rádio serão descritos, de forma sucinta, a seguir:

- **Controlo de Potência:** Tem como função manter os níveis da interferência mínimos na interface rádio e fornecer a QoS requerida;
- **Controlo de *Handover*:** Lida com a mobilidade do UE, quando este se desloca de uma célula para outra;
- ***Packet Scheduling*:** Lida com todo o tráfego não real, decide quando é que a transmissão de um pacote é iniciado e escolhe o formato de transporte a ser utilizado;
- **Controlo de Carga:** Gere as situações em que a carga do sistema excede o limiar definido;
- **Controlo de Admissão:** Verifica se a activação de uma nova ligação poderá ser efectuada sem colocar em causa os requisitos impostos pelos serviços suportados pelas restantes ligações;

- **Codificação e Modulação Adaptativa (AMC):** A potência transmitida é mantida constante e o formato de codificação/modulação é escolhido dependendo das condições rádio;
- **HARQ:** Permite a retransmissão rápida de informação recebida de forma incorrecta.

Neste trabalho o procedimento da gestão de recursos rádio considerado mais relevante é o Controlo de *Handover*.

4.2.2.3 CANAL UMTS

O modelo do canal UMTS considera três tipos de perdas:

- Perdas no Percurso de Propagação;
- Desvanecimento Rápido (multipercurso);
- Desvanecimento Lento (*Shadowing*);

Cada parte é independente das outras e os parâmetros do modelo dependem do ambiente.

As Perdas no Percurso de Propagação encontram-se descritas no Anexo B, onde são apresentados os modelos de propagação considerados. Este modelo deverá ser definido de acordo com o tipo de ambiente escolhido, tendo como alvo o planeamento da rede. As previsões e estimações aplicadas nesta secção são baseadas no projecto COST (*European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research*) Action 231, mais precisamente em abordagens teóricas e empíricas, que foram obtidas através de campanhas de mediações em várias cidades Europeias [39].

O Desvanecimento Rápido (multipercurso) considera os modelos do canal de propagação segundo o 3GPP. Estas perdas são causadas pela chegada do sinal ao receptor através de múltiplos percursos.

O Desvanecimento Lento (*Shadowing*) são as perdas que surgem devido à existência de grandes obstáculos tais como edifícios e a entrada e saída de UEs em zonas de sombra.

4.2.2.4 GERADOR DE TRÁFEGO

Para que a utilização dos recursos rádio seja caracterizada de uma forma mais realista, torna-se necessário recorrer a modelos de tráfego que simulem os diferentes serviços. Neste trabalho apenas foi considerado o modelo de ritmo binário constante CBR (*Constant Bit Rate*).

Segundo este modelo, os pacotes são gerados com um ritmo de transmissão constante e são enviados para o RNC, que por sua vez os envia para todos os *Node-Bs* que têm UEs a seu cargo. Aqui são colocados numa lista de espera até serem transmitidos através do canal de transporte FACH, para todos os UEs.

4.2.2.5 MOBILIDADE

O comportamento do movimento dos utilizadores de um sistema de comunicações móveis condiciona todos os aspectos da simulação e consequentemente o desempenho do sistema. Este facto leva à necessidade da implementação de modelos que traduzam o comportamento dos utilizadores de uma forma realista.

Na definição do modelo de mobilidade, tem que se ter em consideração o comportamento dos utilizadores e relacionar com o respectivo ambiente escolhido. No âmbito deste trabalho apenas serão utilizadas três classes de mobilidade definidas, nomeadamente:

- **Pedestre (*Pedestrian*):** O utilizador desloca-se a pé, a uma velocidade baixa (3km/h), com um movimento bastante aleatório (alterações de direcção com frequência);
- **Veículo a baixa velocidade (*Vehicular 3km/h*):** Móvel transportado por um veículo que se desloca a uma baixa velocidade (3km/h), tipicamente em ambientes de congestionamento rodoviário;
- **Veículo a média velocidade (*Vehicular 30km/h*):** Corresponde a uma velocidade de deslocação normal para um ambiente urbano ou suburbano.

Esta escolha deve-se essencialmente aos requisitos estipulados para o serviço MBMS, nomeadamente o facto de ser um serviço para um grande número de pessoas, entre outros.

Neste trabalho o modelo de mobilidade considerado foi o modelo aleatório de mobilidade *Random Waypoint*.

4.2.2.6 AMBIENTES DE SIMULAÇÃO

O ambiente de simulação é composto pelo conjunto de informação que caracteriza o espaço geográfico onde decorre a simulação e onde estão integrados os vários utilizadores do sistema e os vários serviços.

O ambiente é um importante componente na simulação, porque além de referenciar geograficamente o cenário de utilização, é fundamental para a estimativa correcta da cobertura rádio.

Neste trabalho são consideradas três topologias de simulação possíveis:

- Topologia Macrocelular;
- Topologia Real;
- Topologia da Estrutura Hierárquica de Células (com Antenas Distribuídas).

Ao longo deste trabalho, o Cenário Macrocelular será considerado o cenário de referência, no sentido em que este servirá de termo de comparação tanto com o Cenário Real como com o Cenário HCS (com antenas distribuídas).

A seguir serão apresentados, de forma mais pormenorizada, os cenários de simulação considerados neste estudo em particular.

4.2.2.6.1 TOPOLOGIA MACROCELULAR

A topologia Macrocelular considerada tem uma área de $3100 \times 3564 \text{m}^2$, e é constituída por 18 estações de base tri-sectoriais, com um espaçamento entre elas de 1000m. A Figura 4.5 ilustra o cenário Macrocelular considerado nas simulações.

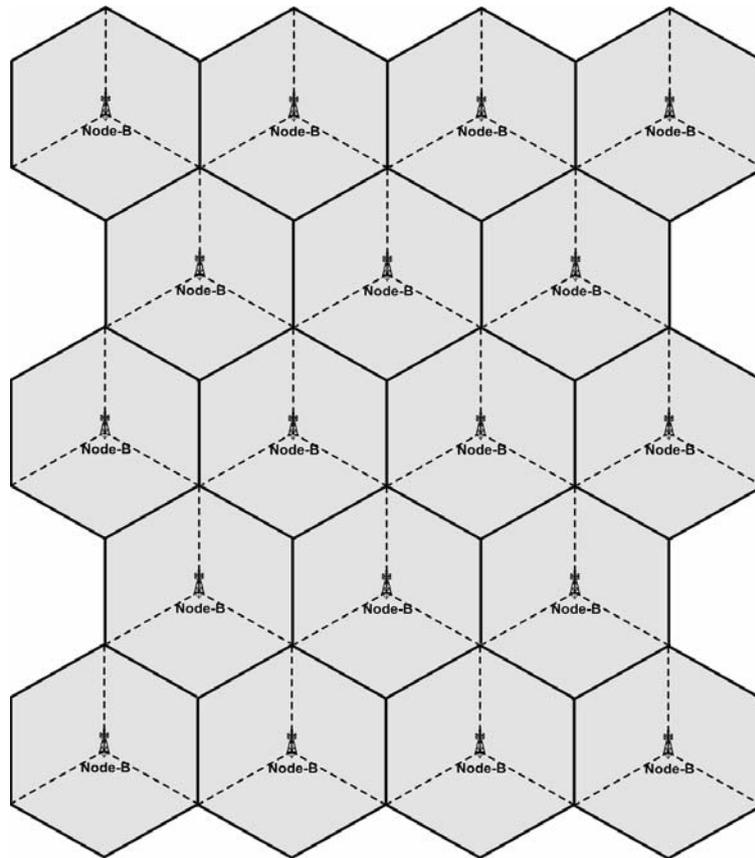


Figura 4.5: Topologia Macrocelular.

A Tabela 4.3 apresenta alguns dos parâmetros considerados no cenário utilizado:

Parâmetros	Valores
Disposição Celular	Hexagonal
Sectorização	Sim, 3 sectores/célula
Distância entre as antenas das estações de base	1000m
Potência máxima de transmissão da estação de base (sector)	43dBm
Perdas no Cabo	3dB
Modelo de Propagação (ver Anexo B)	<i>Okumura-Hata</i>
Factor de Ortogonalidade	0.4
Canal de Propagação	<i>Pedestrian B</i> , 3km/h <i>Vehicular A</i> , 3km/h e 30km/h
Tipo de Célula	FACH
Ritmo Binário	64kbps, 128kbps, 256kbps
TTI	40ms, 80ms
Número de UEs	300, 900, 1000
Tempo de Simulação	600s, 1000s, 1200s

Tabela 4.3: Parâmetros de simulação da Topologia Macrocelular.

Nesta topologia considera-se que a mobilidade é feita de forma aleatória. Inicialmente os utilizadores são uniformemente distribuídos pelas diferentes estações de base, com sentido aleatório e velocidade inicial igual ao perfil adoptado. Por exemplo, considerando 10 estações de base tri-sectoriais, e por isso 30 células, e um número de utilizadores igual a 150, a distribuição será de 15 utilizadores por estação de base e por sua vez de 5 utilizadores por célula. O destino de cada utilizador será aleatório e quando este atinge o destino pretendido, é gerado outro aleatoriamente.

Relativamente ao modelo de propagação, neste cenário será considerado o modelo *Okumura-Hata* (ver Anexo B).

4.2.2.6.2 TOPOLOGIA REAL

A topologia Real, implementada no âmbito deste trabalho, é representada pelo campus universitário situado na área urbana de Lisboa, onde se situa o ISCTE, no sentido de se obterem resultados mais realistas. Esta topologia será utilizada para representar a mobilidade e o efeito da propagação. Este ambiente, apresentado na Figura 4.6, compreende uma região de $2600 \times 2080 \text{m}^2$, perfazendo um total de 5.408km^2 . Nessa figura também é tida em consideração a localização das 22 estações de base existentes nessa mesma área. No Anexo G é possível visualizar a fotografia aérea da área em estudo.



Figura 4.6: Topologia Real.

Na Figura 4.6 os blocos azuis representam os edifícios, as linhas brancas representam as estradas e os pontos pretos são as estações de base.

A figura que se segue apresenta a fotografia aérea da área em estudo.



Figura 4.7: Fotografia aérea da área em estudo.

A Tabela 4.4 apresenta alguns dos parâmetros considerados no cenário utilizado:

Parâmetros	Valores
Disposição Celular	Modelo de Mobilidade
Sectorização	Sim, 3 sectores/célula
Distância entre as antenas das estações de base	Variável
Potência máxima de transmissão da estação de base (sector)	43dBm
Perdas no Cabo	3dB
Modelo de Propagação (ver Anexo B)	<i>Walfisch-Ikegami</i>
Factor de Ortogonalidade	Variável com a distância à estação de base
Canal de Propagação	<i>Pedestrian B</i> , 3km/h <i>Vehicular A</i> , 3km/h e 30km/h
Tipo de Célula	FACH
Ritmo Binário	64kbps, 128kbps, 256kbps
TTI	40ms, 80ms
Número de UEs	300, 900, 1000
Tempo de Simulação	600s, 1000s

Tabela 4.4: Parâmetros de simulação da Topologia Real.

Tal como na topologia Macrocelular, nesta topologia também se considera que a mobilidade é feita de forma aleatória.

As perdas de propagação, nesta topologia, baseiam-se no conhecimento topográfico da área em questão assim como da informação das alturas dos edifícios existentes nessa mesma área. O modelo de perdas de propagação aplicado é baseado no modelo de *Walfisch-Ikegami* (ver Anexo B).

4.2.2.6.3 TOPOLOGIA DA ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE CÉLULAS

Esta topologia, implementada no âmbito deste trabalho, tem a mesma área que a topologia Macrocelular, ou seja, tem uma área de $3100 \times 3564 \text{m}^2$, é constituída por 18 estações de base tri-sectoriais, com um espaçamento entre elas de 1000m, e possui ainda algumas antenas distribuídas. Nesta topologia serão estudadas duas situações diferentes, que diferem no número de antenas distribuídas existentes, o que implica que a distância

entre elas também será diferente. Numa situação estudar-se-à a topologia HCS com uma distância entre DAs de 250m e na outra situação essa distância será apenas de 125m. A Figura 4.8 ilustra a topologia HCS com antenas distribuídas, com uma distância entre DAs de 250m. Como foi mencionado anteriormente, a mesma topologia com uma distância entre DAs de 125m possuirá o dobro das DAs e por esse motivo esse caso não será ilustrado numa nova figura como a aqui ilustrada.

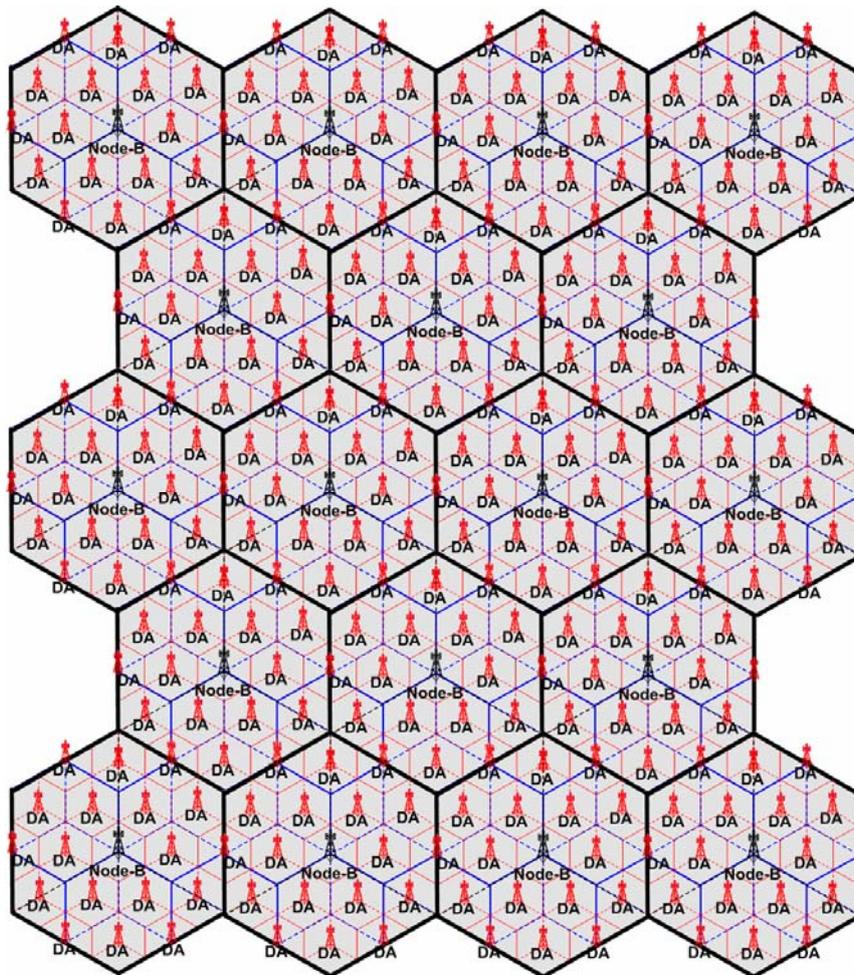


Figura 4.8: Topologia HCS com Antenas Distribuídas (250m entre DAs).

Como se pode verificar, a localização das DAs foi obtida através de duas divisões sucessivas da célula de raio $R/2$. No outro caso (125m entre DAs), foi feita mais uma divisão da célula relativamente à situação anterior.

A Tabela 4.5 apresenta alguns dos parâmetros considerados no cenário utilizado:

Parâmetros	Valores
Disposição Celular	Hexagonal
Sectorização	Sim, 3 sectores/célula
Distância entre as antenas das estações de base	250m, 125m
Potência máxima de transmissão da estação de base (sector)	22dBm (250m entre DAs) 11.4dBm (125m entre DAs)
Perdas no Cabo	3dB
Modelo de Propagação (ver Anexo B)	<i>Okumura-Hata</i>
Factor de Ortogonalidade	0.4
Canal de Propagação	<i>Pedestrian B</i> , 3km/h <i>Vehicle A</i> , 3km/h e 30km/h
Tipo de Célula	FACH
Ritmo Binário	128kbps (1x1), 256kbps (2x2), 384kbps (3x3) e 512kbps (4x4)
TTI	20ms
Número de UEs	300, 900
Tempo de Simulação	600s, 1200s

Tabela 4.5: Parâmetros de simulação da topologia de Antenas Distribuídas.

Nesta topologia assumiu-se que a potência máxima de transmissão da estação de base é de 20W (43dBm). Com base no factor de atenuação da potência de transmissão do sistema celular $\beta = 3.5$ [42], a potência máxima de transmissão das antenas distribuídas é de cerca de 22dBm (250m entre DAs) e de 11.4dBm (125m entre DAs), pois:

$$(D_1/D_2)^\beta = (D_a/D_2)^{3.5} = (1/4)^{3.5} = 1/128$$

$$\frac{20W}{128} \Rightarrow -8dBW \Rightarrow 22dBm$$

Equação 4.6: Potência máxima de transmissão das antenas distribuídas (250m entre DAs).

$$(D_1/D_2)^\beta = (D_a/D_2)^{3.5} = (1/8)^{3.5} = 1/1448.15$$

$$\frac{20W}{1448.15} \Rightarrow -18.6dBW \Rightarrow 11.4dBm$$

Equação 4.7: Potência máxima de transmissão das antenas distribuídas (125m entre DAs).

Nesta topologia também se considera que a mobilidade é feita de forma aleatória. Inicialmente os utilizadores são uniformemente distribuídos pelas diferentes estações de base, com sentido aleatório e velocidade inicial igual ao perfil adoptado. O destino de cada utilizador será aleatório e quando este atinge o destino pretendido, é gerado outro aleatoriamente.

O modelo de perdas de propagação aplicado é baseado no modelo de *Okumura-Hata* (ver Anexo B), tal como a topologia Macrocelular.

Capítulo 5

ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 INTRODUÇÃO

A utilidade de uma ferramenta de simulação está relacionada com a fase de análise de resultados, uma vez que após uma correcta visualização e aferição dos resultados finais, será possível retirar conclusões sobre o desempenho do sistema e até do próprio simulador. A análise de resultados é então efectuada com base na informação recolhida ao longo das simulações efectuadas e tendo por base todas as considerações mencionadas nos capítulos anteriores.

Este capítulo tem como objectivo a apresentação e a discussão dos resultados obtidos através da ferramenta de simulação, definida no Capítulo 4, e das técnicas explicadas nos Capítulos 2 e 3.

O processo de desenvolvimento dos diferentes módulos, no caso da Topologia Real, teve por base os seguintes objectivos propostos:

- Análise do Factor de Geometria;
- Análise do desempenho do canal S-CCPCH para o MBMS e da potência transmitida pelo *Node-B*;
- Análise da cobertura e *throughput* tendo em conta os seguintes parâmetros:
 - Factor de Ortogonalidade;
 - Canal de Propagação;
 - Número de UEs;
 - Ritmo Binário;
 - Macro diversidade.

Relativamente à Topologia de Estrutura Hierárquica de Células (ou Topologia HCS) os objectivos propostos são:

- Análise do desempenho do canal S-CCPCH para o MBMS e da potência transmitida pelo *Node-B*;
- Análise da cobertura e *throughput* tendo em conta os seguintes parâmetros:
 - Distância entre Antenas Distribuídas (Número de DAs);
 - Canal de Propagação (Velocidade e Ritmo Binário).

Para qualquer um dos resultados em análise será apresentado um gráfico, no qual se poderá observar o comportamento do parâmetro estudado.

5.2 ANÁLISE DE RESULTADOS DA TOPOLOGIA REAL

O objectivo principal desta secção é apresentar a análise de todos os resultados obtidos através das simulações efectuadas, que incidiram sobre a Topologia Macrocelular e Topologia Real, descritas anteriormente e cujos parâmetros de simulação foram apresentados no Capítulo 4.

Esta secção encontra-se subdividida em três partes distintas. Numa primeira parte serão apresentados os resultados obtidos do módulo do nível de sistema, para o factor de geometria. Seguidamente serão apresentados os resultados da análise do desempenho do canal S-CCPCH para o MBMS, provenientes do módulo do nível de ligação. Por fim serão apresentados os resultados relativos à cobertura e *throughput*, consoante a variação de diversos parâmetros.

5.2.1 ANÁLISE DO FACTOR DE GEOMETRIA

O factor de geometria é o factor chave na determinação da potência de transmissão requerida e por sua vez, na estimação da cobertura para os ambientes descritos no Capítulo 4. Este é dado pela relação entre a interferência da própria célula experimentada pelo utilizador e a interferência vinda das células adjacentes mais o ruído branco gaussiano. Quando o utilizador se encontra localizado na fronteira da célula é esperado um factor de geometria baixo, o que significa que a interferência recebida pelas células adjacentes é maior do que a interferência experimentada na própria célula,

sendo necessário mais potência para manter a cobertura desejada e a qualidade de serviço mínima requerida.

A Figura 5.1 mostra a função de distribuição cumulativa, também designada por CDF (*Cumulative Distribution Function*), do factor de geometria, obtido para os ambientes Macrocelular e Real. Essas simulações foram feitas colocando na topologia simulada, vários utilizadores de forma aleatória, em que estes se movimentavam também de forma aleatória e considerando $R_b = 128kbps$. Para cada um dos utilizadores foi calculado o factor de geometria das diferentes posições em que eles se encontravam, com base nos modelos de propagação definidos em [45] e referidos na Tabela 4.3 e Tabela 4.4 para os cenários Macrocelular e Real, respectivamente.

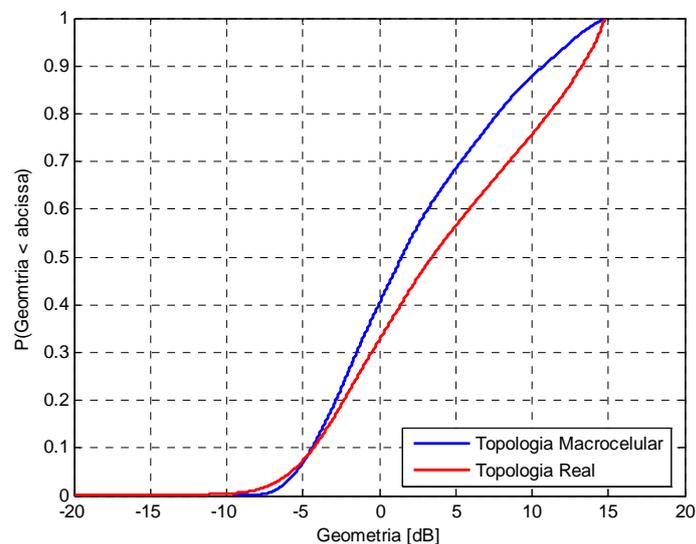


Figura 5.1: Distribuição Cumulativa da Geometria nos ambientes Macrocelular e Real.

A Figura 5.2 apresenta apenas a gama de valores mais relevantes da função de distribuição cumulativa do factor de geometria, presentes na Figura 5.1.

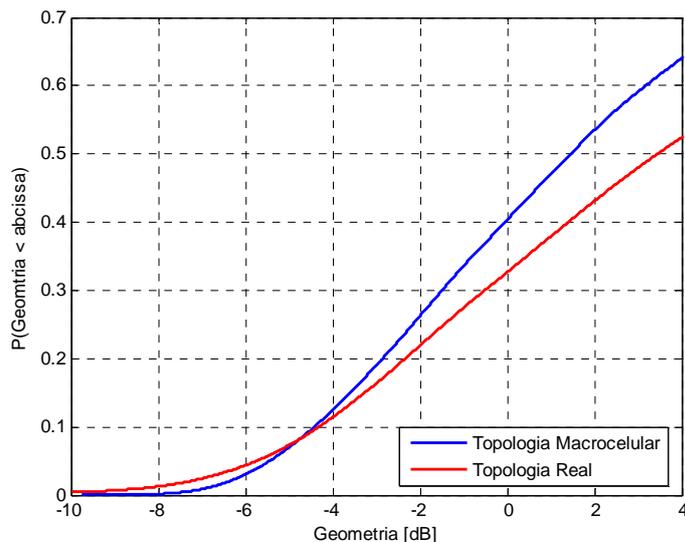


Figura 5.2: Distribuição Cumulativa da Geometria nos ambientes Macrocelular e Real (gama de valores mais relevantes).

Analisando a Figura 5.2, verifica-se que para o ambiente Macrocelular cerca de 95% dos utilizadores experimentam um factor de geometria de cerca de -5.4dB ou melhor e que 80% dos utilizadores experimenta um factor de geometria de -3dB ou melhor. No caso do ambiente Real pode-se observar que cerca de 95% dos utilizadores tem um factor de geometria de -6dB ou melhor e que cerca de 80% dos utilizadores experimenta um factor de geometria de cerca de -2.5dB ou melhor.

O cenário Macrocelular é um ambiente mais favorável para valores de geometria menores e o cenário Real é melhor que o cenário Macrocelular para valores de geometria maiores. A topologia Macrocelular tem as estações de base localizadas uniformemente na área, enquanto que na topologia Real estas estão distribuídas de forma não-uniforme, resultando assim numa maior interferência inter-celular. Contudo, o número de estações de base por unidade de área é o dobro no cenário Real.

5.2.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO DO S-CCPCH PARA O MBMS

Para se avaliar o desempenho do canal FACH/S-CCPCH usado pelo MBMS, de forma a determinar a potência a ser atribuída a cada canal, utilizou-se o módulo do nível de ligação, como já foi mencionado na secção 4.2.1.3.

O desempenho do nível de ligação do canal FACH/S-CCPCH é obtido em termos de BLER vs E_c / I_{or} , para um factor de geometria escolhido (neste caso -3dB ou 0dB) e fixo durante toda a simulação. Isto identifica a fracção de potência que tem que ser atribuída a um canal PtM MBMS, para uma determinada BLER no receptor dado um factor de geometria, de modo a que esse utilizador com esse factor de geometria (interferência) não experimente uma BLER pior do que a de referência.

Os resultados são apresentados em termos de E_c / I_{or} [dB], representando a fracção de potência transmitida na célula para garantir um determinado desempenho BLER indicado no eixo vertical. As simulações foram efectuadas para vários modelos de canal descritos no Anexo C.

As figuras apresentadas nesta secção (Figura 5.3, Figura 5.4 e Figura 5.5) representam a fracção de potência (E_c / I_{or}) que tem que ser atribuída a um canal S-CCPCH de modo a garantir uma BLER de 1% no receptor considerando diferentes factores de geometria (-3dB e 0dB), diferentes valores de TTI (20ms, 40ms e 80ms) e diferentes ritmos binários (64kbps, 128kbps e 256kbps). Os resultados apresentados nesta secção foram obtidos sem diversidade na transmissão.

A Figura 5.3 apresenta os resultados obtidos para o modelo de canal *Pedestrian B* com uma velocidade de 3km/h.

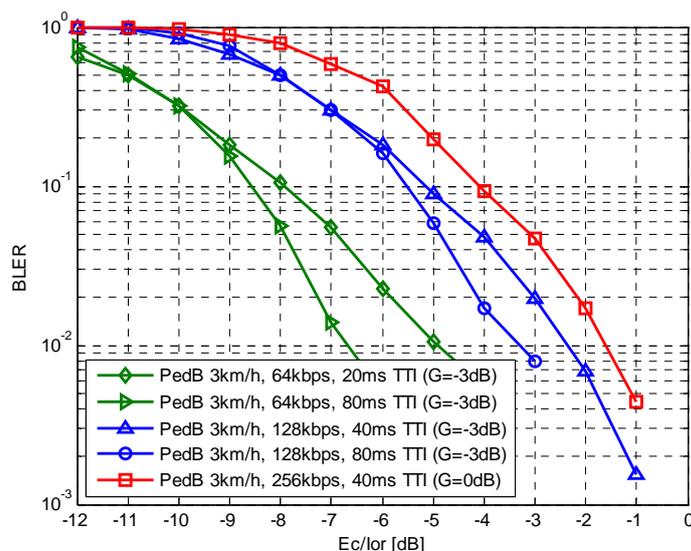


Figura 5.3: BLER vs E_c/I_{or} – *Pedestrian B* (3km/h).

Através da análise da Figura 5.3 constata-se que os resultados obtidos para a mesma geometria exigem uma maior fracção de potência transmitida à medida que o ritmo binário aumenta. No caso de 256kbps foi necessário aumentar a geometria para 0dB para que a fracção da potência transmitida fosse inferior a -1dB (cerca de 80%).

A Figura 5.4 apresenta os resultados obtidos para o modelo *Vehicular A* com uma velocidade de 3km/h.

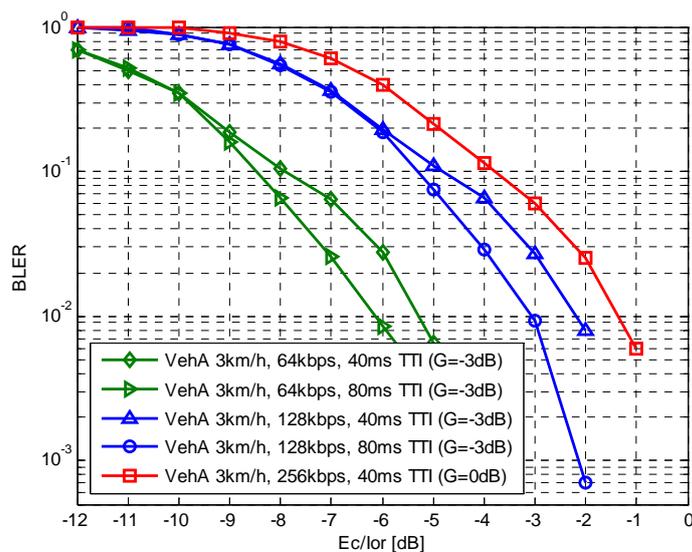


Figura 5.4: BLER vs E_c/I_{or} – Vehicular A (3km/h).

Para o ritmo binário mais exigente, isto é para 256kbps, o factor de geometria considerado foi também de 0dB, correspondendo a uma menor cobertura (60% para o cenário macrocelular). Os resultados para o canal *Pedestrian B* (3km/h) demonstram ser ligeiramente superiores aos resultados, para a mesma velocidade, obtidos para o canal *Vehicular A*.

Para o nível de sistema, o valor de referência extraído da simulação do nível da ligação é para um BLER alvo de 1% (10^{-2}), como já foi mencionado anteriormente, daí a necessidade de reduzir a área de cobertura, de modo a satisfazer este requisito dentro dos limites ao nível de potência disponível na célula. Para os restantes ritmos binários foi considerado um factor de geometria de -3dB (80% de cobertura no ambiente macrocelular).

Através da Figura 5.4 é possível observar um ganho na ordem dos 0.7dB por cada aumento no TTI, mantendo o mesmo ritmo binário. Para um ritmo binário de 64kbps é necessário um E_c / I_{or} de cerca de -6dB para atingir um BLER de 1%, sendo necessário

o dobro desse valor ($E_c/I_{or} = -3dB$) para o ritmo binário de 128kbps. Para $R_b = 256kbps$ é necessário um valor de E_c/I_{or} igual a -1.25dB (75% da potência) para conseguir um BLER de 1% numa área de cobertura máxima de 60%.

Na Figura 5.5 é apresentado o efeito do aumento da velocidade no desempenho do canal, para o caso *Vehicular A*. Note-se que, para o ritmo binário de 256kbps, os resultados foram obtidos para factores de geometria de 0dB e -3dB, correspondendo o último a uma área de maior cobertura.

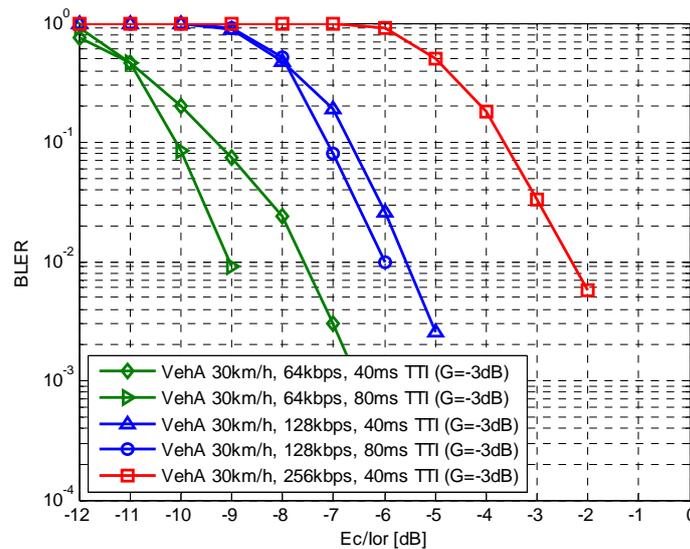


Figura 5.5: BLER vs E_c/I_{or} – Vehicular A (30km/h).

Na periferia da célula é obtido um melhor desempenho para velocidades maiores, enquanto que perto da estação de base o melhor desempenho é obtido para velocidades inferiores. Este comportamento é explicado pelo facto de, para terminais móveis a maiores velocidades, o entrelaçador e a codificação de canal garantirem maiores ganhos de codificação e diversidade temporal [44].

Analisando a Figura 5.5 verifica-se que os resultados obtidos para os diferentes ritmo binários a 30km/h, considerando o maior valor de TTI apresentado, demonstram um ganho na ordem dos 3dB, quando comparados com os resultados similares para 3km/h, apresentados na Figura 5.4. Também é possível constatar que o ritmo binário de 256kbps para um factor de geometria de -3dB e um BLER máximo de 1% é conseguido com um valor de E_c/I_{or} igual a -2.25dB, correspondendo a um menor requisito de potência, mesmo considerando uma maior área de cobertura.

Analisando as figuras apresentadas nesta secção, verifica-se que à medida que o ritmo binário aumenta, o E_c / I_{or} também aumenta e portanto são requeridos mais recursos para suportar o canal PtM MBMS e vice-versa, com o intuito de manter diferentes coberturas de rádio.

O maior problema na transmissão de serviços através do canal comum S-CCPCH coloca-se essencialmente para elevadas coberturas (periferia da célula), visto ser necessária uma elevada fracção da potência da célula (E_c / I_{or}) para serviços em tempo real com um BLER alvo de 1%. Este problema torna-se mais evidente quanto maior for o ritmo binário considerado.

5.2.3 ANÁLISE DA COBERTURA E *THROUGHPUT*

Os resultados presentes nesta secção (cobertura e *throughput*) são referentes a um serviço com um BLER de 1%, para ambos os cenários em estudo.

Quando um pacote é recebido pelo UE, a respectiva SIR (*Signal Interference Ratio*) estimada é comparada com a SIR de referência pré-estabelecida, para uma QoS desejável do serviço MBMS considerado. Os UEs cuja média das SIRs de 5 pacotes consecutivos recebidos esteja acima da SIR de referência são considerados com cobertura, caso contrário são considerados sem cobertura.

A SIR de referência obtém-se através do módulo do Nível de Ligação, de acordo com uma BLER de referência (1%), e como foi mencionado anteriormente será tomada como referência para a simulação ao Nível de Sistema. A SIR de referência é obtida através da seguinte fórmula:

$$SIR_{Ref} = \frac{E_c}{I_{or}} \cdot \frac{1}{(1 - \alpha) + \frac{1}{G}}$$

Equação 5.1: SIR de referência.

onde E_c / I_{or} e G são a fracção de potência transmitida atribuída ao canal S-CCPCH e o factor de geometria, respectivamente, de modo a garantir a BLER de referência. O α representa o factor de ortogonalidade e é dado pela seguinte equação:

$$\alpha = \frac{1}{1 + 2,9 \cdot d_{km}}$$

Equação 5.2: Factor de Ortogonalidade.

onde d é a distância entre o utilizador e a estação de base em km. Por exemplo, os utilizadores na fronteira da célula, considerando o cenário Macrocelular e a distância de 500m, experimentam um factor de ortogonalidade (α) igual a 0.4. Por outro lado, os utilizadores perto da estação de base têm um $\alpha \approx 1$, uma vez que a interferência da própria célula é completamente suprimida pelo uso de códigos ortogonais sincronizados.

Os resultados das simulações efectuadas serão apresentados nas secções que se seguem e tendo em conta a variação de diversos parâmetros tais como o factor de ortogonalidade, canal de propagação, número de utilizadores, ritmo binário e macro diversidade.

5.2.3.1 FACTOR DE ORTOGONALIDADE

Nesta secção serão apresentados os resultados, em termos de cobertura e *throughput*, obtidos para duas situações distintas:

- Com um factor de ortogonalidade fixo e com o valor de 0.4;
- Com um factor de ortogonalidade variável $\alpha = \frac{1}{1 + 2,9 \cdot d_{km}}$ dependendo da distância entre o UE e o Node-B.

Todos os resultados presentes nesta secção têm em consideração o canal *Vehicular A* 3km/h (VehA3), $R_b = 64kbps$ e $TTI = 80ms$.

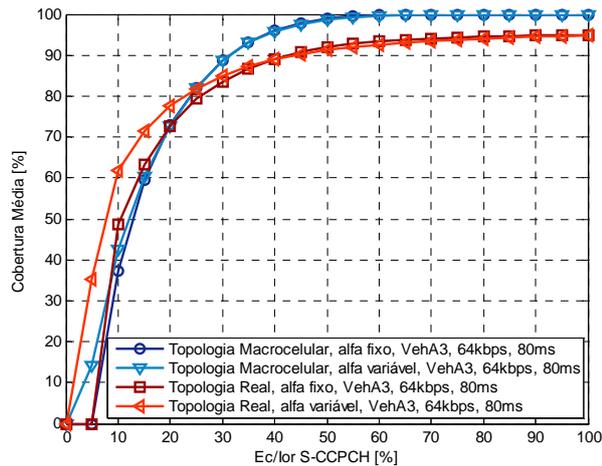


Figura 5.6: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do factor de ortogonalidade).

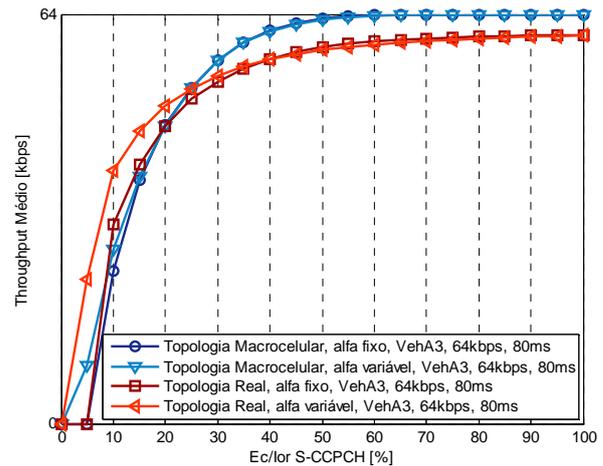


Figura 5.7: Throughput Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do factor de ortogonalidade).

Tal como seria de esperar, na topologia Macrocelular, onde as BSs estão uniformemente localizadas, a diferença entre o factor de ortogonalidade fixo (α) e variável com a distância ($\alpha(d)$) não é substancial, excepto para baixas potências de transmissão, onde a distância entre o UE e a BS é pequena. Na topologia Real, existe uma distribuição não-uniforme das BSs e consequentemente a distância entre o UE e a BS varia substancialmente entre diferentes células. Como resultado disso, o efeito do factor de ortogonalidade fixo (α) e variável com a distância ($\alpha(d)$) é mais notório do que na topologia Macrocelular e portanto a cobertura e o *throughput* diferem mais dependendo da utilização do factor de ortogonalidade fixo ou variável, na topologia Real.

5.2.3.2 CANAL DE PROPAGAÇÃO

Nesta secção são apresentados alguns resultados do módulo do Nível de Sistema, obtidos para os modelos de canal multipercurso *Vehicular A* e *Pedestrian B*, para $R_b = 64\text{kbps}$ e considerando $TTI = 80\text{ms}$.

Na Figura 5.8 está ilustrada a cobertura média vs E_c/I_{or} para dois modelos de canal multipercurso referenciados no 3GPP, nomeadamente o *Vehicular A* (3km/h e 30km/h) e o *Pedestrian B* (3km/h). Na Figura 5.9 é apresentado o *throughput* médio para os mesmos canais e para ambas as topologias em estudo nesta secção.

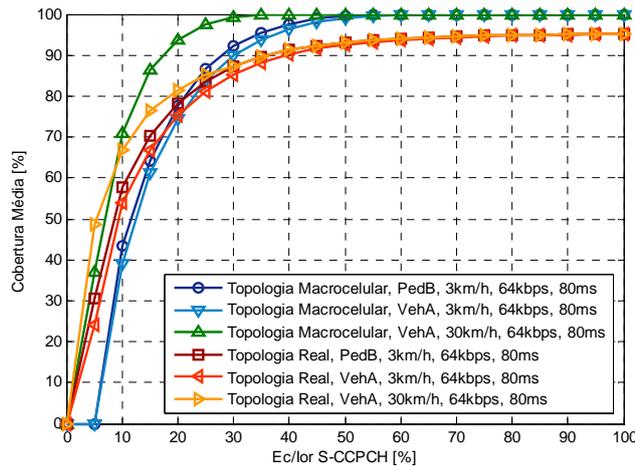


Figura 5.8: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (64kbps, variação do canal de propagação).

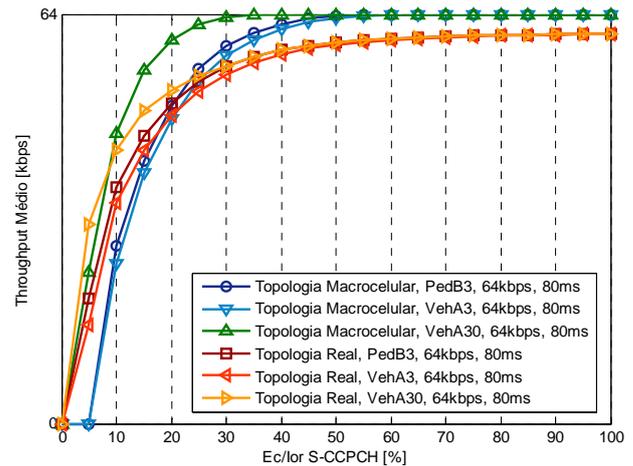


Figura 5.9: Throughput Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (64kbps, variação do canal de propagação).

Como podemos ver, através da Figura 5.8, os resultados para a topologia Real são bastante diferentes dos resultados obtidos para a topologia Macrocelular. Para pequenos valores de potência de transmissão, a topologia Real apresenta melhores resultados que a topologia Macrocelular, contudo para valores maiores de potência de transmissão a topologia Macrocelular apresenta melhores resultados face à topologia Real. Isso deve-se ao facto de que no ambiente Real as BSs estão distribuídas de forma não-uniforme, ao passo que no ambiente Macrocelular estas estão uniformemente distribuídas, podendo aproveitar da melhor maneira o aumento da potência transmitida.

Pode-se ainda constatar que para a BLER de 1%, para a Topologia Real e para uma cobertura média de cerca de 95%, a fracção necessária de potência transmitida é cerca de 65% da potência total disponível na célula e para uma cobertura de 80% a fracção mínima deverá ser de cerca de 24%, para o caso do *Vehicular A* (3km/h) e de 65% e 18% para o *Vehicular A* (30km/h) respectivamente. Considerando o *Pedestrian B* (3km/h), para uma cobertura de cerca de 95% a fracção necessária de potência transmitida é cerca de 63% da potência total disponível na célula e para uma cobertura de 80% a fracção mínima deverá ser de 21%. De notar que neste caso não foi utilizado nenhum mecanismo de macro diversidade.

Através da Figura 5.9, pode-se verificar que o *throughput* máximo de 64kbps não é alcançável para serviços *multicast/broadcast* no ambiente Real, devido às áreas com baixa cobertura nas quais ocorrem taxas de BLER acima de 1%. Contudo o mesmo não

acontece com o ambiente Macrocelular, onde o *throughput* de 64kbps pode ser realizável com pelo menos 70% da potência total disponível na célula.

5.2.3.3 NÚMERO DE UES

Nesta secção é apresentada a cobertura média (ver Figura 5.10) e o *throughput* médio (ver Figura 5.11) obtidos para diferentes números de UEs (300 e 1000) e considerando ainda o modelo de canal *Vehicular A* 3km/h, com $R_b = 64kbps$, $TTI = 80ms$ e sem a utilização de nenhum esquema de macro diversidade.

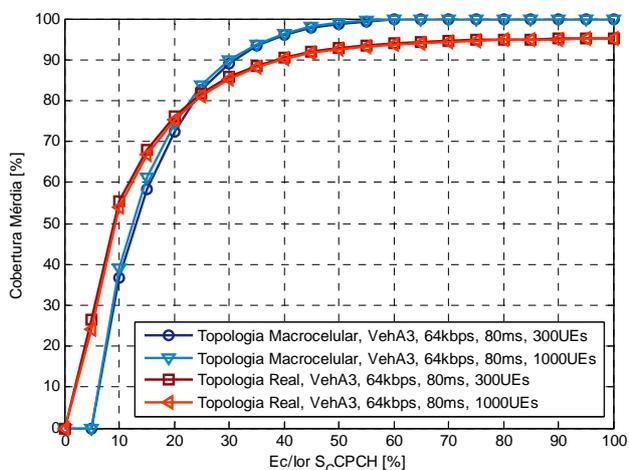


Figura 5.10: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do número de UEs).

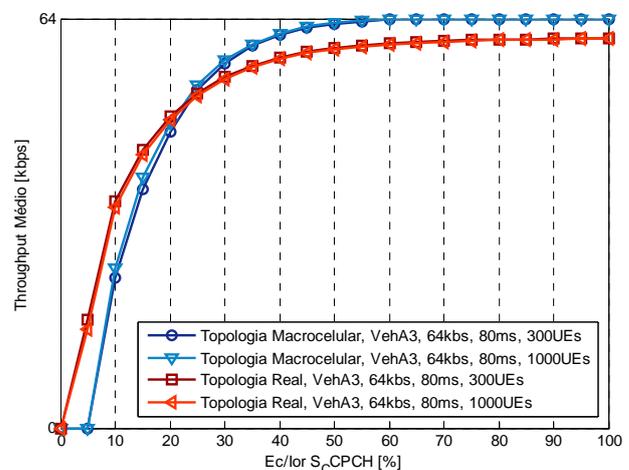


Figura 5.11: Throughput Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do número de UEs).

Como se pode constatar, através da Figura 5.10 e da Figura 5.11, não existe diferença, em termos de desempenho, entre a presença de 300 ou de 1000 utilizadores, independentemente da topologia, para este serviço *broadcast*, transmitindo-se a informação através do canal físico comum S-CCPCH.

5.2.3.4 RESULTADOS POR CÉLULA

Esta secção tem por objectivo apresentar os resultados obtidos por célula, referentes à Topologia Real, *Vehicular A*, com $R_b = 64kbps$ e sem a utilização de qualquer esquema de macro diversidade.

Na Figura 5.12 está ilustrada a cobertura média total vs E_c/I_{or} para a topologia Macrocelular e Real e a cobertura média obtida em cada célula apenas para a Topologia Real.

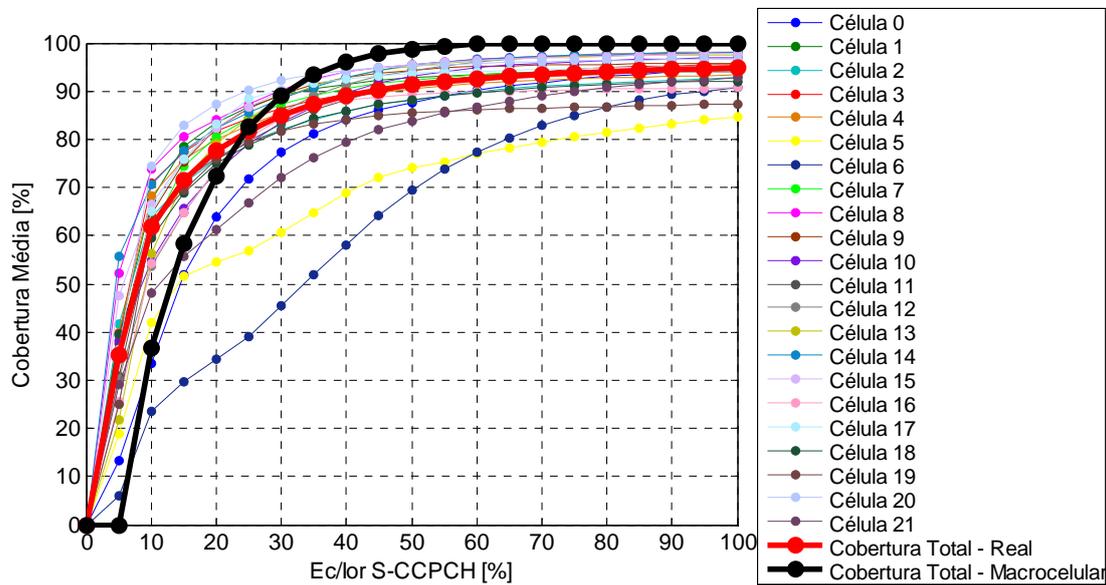


Figura 5.12: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (64kbps, VehA3, resultados por célula).

A cobertura média para cada célula altera uma vez que existe uma distribuição não-uniforme de estações de base, na zona urbana de Lisboa, que se está a analisar (Topologia Real). O modelo de perdas de propagação considerado foi o Modelo *Walfisch-Ikegami* (ver Anexo B). Este modelo distingue situações com linha de vista (LOS) e sem linha de vista (NLOS – *Non Line-of-Sight*). As previsões das perdas de propagação baseiam-se nos conhecimentos topográficos da região em estudo, assim como na informação das alturas dos edifícios existentes nessa mesma zona, informação essa que altera de célula para célula, resultando daí uma cobertura média diferente para cada célula.

Como se pode constatar através da Figura 5.12, o pior resultado foi obtido para a célula 6, uma vez que a estação de base dessa célula está muito próxima de outras estações de base de outras células e assim a interferência que causam umas nas outras é maior e consequentemente a cobertura média diminui.

5.2.3.5 RITMO BINÁRIO

Nesta secção os resultados da cobertura média e do *throughput* médio são apresentados em duas sub-secções cada uma respeitante a um canal de propagação diferente, nomeadamente *Pedestrian B* 3km/h e *Vehicular A* 30km/h e havendo no total 300 UEs. No Anexo E é possível observar os mesmos resultados, mas para o canal de propagação *Vehicular A* 3km/h.

5.2.3.5.1 PEDESTRIAN B 3KM/H

As figuras que se seguem (Figura 5.13 e Figura 5.14) apresentam a cobertura média e o *throughput* médio respectivamente, para a topologia Macrocelular e Real, para o canal *Pedestrian B* 3km/h e sem recorrerem a qualquer mecanismo de macro diversidade.

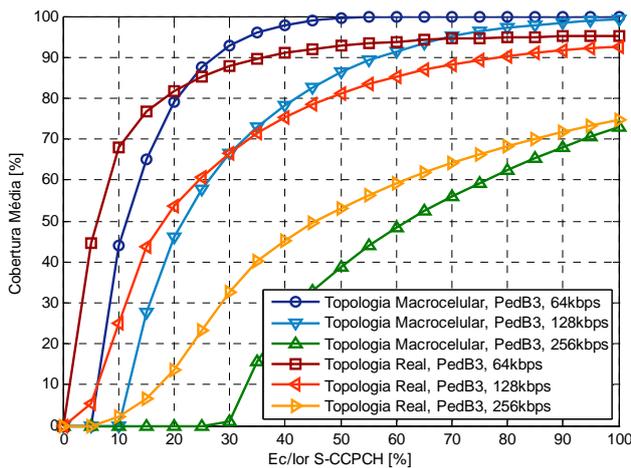


Figura 5.13: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB3, variação do ritmo binário).

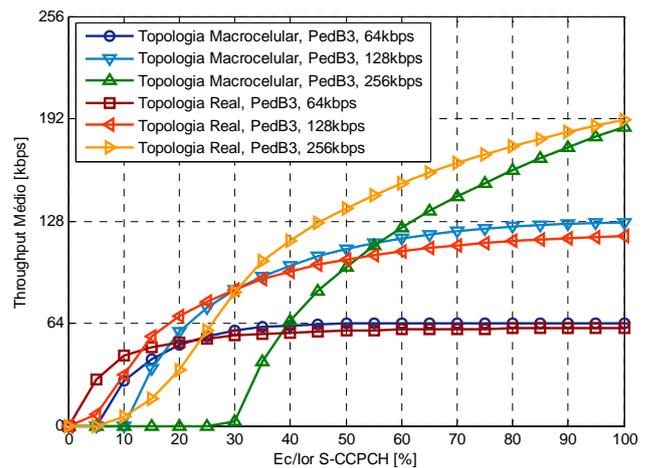


Figura 5.14: Throughput Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB3, variação do ritmo binário).

Através da Figura 5.13 verifica-se que, para a Topologia Real, os ritmos binários de 128kbps e de 256kbps não são possíveis de garantir para uma cobertura de cerca de 95% devido à elevada potência necessária. Contudo o mesmo não sucede com a Topologia Macrocelular, onde apenas o ritmo binário de 256kbps não é possível de garantir para uma cobertura de cerca de 95%, pelo mesmo motivo.

A Figura 5.14 mostra que, para a topologia Macrocelular, o *throughput* médio de 64kbps e de 128kbps podem ser alcançáveis. Soluções mais avançadas, tais como a macro diversidade (MDC – *Macro Diversity Combining*), são necessárias para ritmos

binários mais altos, como é o caso de 256kbps. Para a topologia Real a combinação de macro diversidade (MDC) é necessária para 64kbps, 128kbps e 256kbps.

5.2.3.5.2 VEHICULAR A 30KM/H

A cobertura média e o *throughput* médio são apresentados na Figura 5.15 e Figura 5.16 respectivamente, obtidos para a topologia Macrocelular e Real, para o *Vehicular A* 30km/h e sem recorrerem a qualquer tipo de mecanismo de macro diversidade.

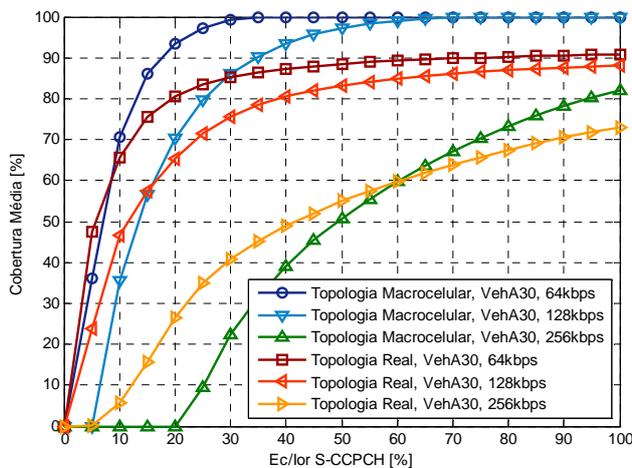


Figura 5.15: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do ritmo binário).

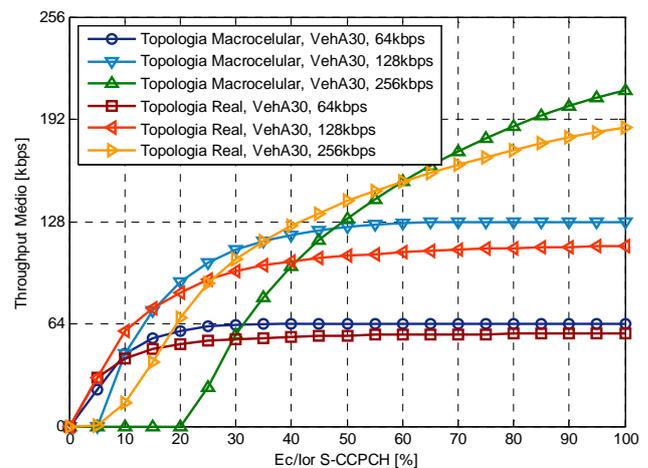


Figura 5.16: *Throughput* Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA3, variação do ritmo binário).

Através da Figura 5.15 verifica-se que, para a Topologia Real, os ritmos binários de 128kbps e de 256kbps não são possíveis de garantir para uma cobertura de cerca de 95% devido à elevada potência necessária. Contudo o mesmo não sucede com a Topologia Macrocelular, onde apenas o ritmo binário de 256kbps não é possível de garantir para uma cobertura de cerca de 95%, pelo mesmo motivo.

A Figura 5.16 mostra que, para a Topologia Macrocelular, os *throughput* médios de 64kbps e de 128kbps podem ser alcançáveis sem restrições de cobertura. Soluções mais avançadas, tais como a macro diversidade (MDC), são necessárias para ritmos binários mais altos, como é o caso de 256kbps. Para a Topologia Real a combinação de macro diversidade (MDC) é necessária para 64kbps, 128kbps e 256kbps.

Através da Figura 5.15 e da Figura 5.16 constata-se que os resultados obtidos são melhores que os resultados obtidos para o *Pedestrian B* 3km/h (ver secção 5.2.3.5.1).

5.2.3.6 MACRO DIVERSIDADE

Tal como aconteceu na secção 5.2.3.5, relativa ao ritmo binário, os resultados da cobertura média e do *throughput* médio são apresentados em duas sub-secções, cada uma respeitante a um canal de propagação diferente, nomeadamente *Pedestrian B* 3km/h e *Vehicular A* 30km/h, contudo nesta secção assume-se a utilização de mecanismos de macro diversidade. No Anexo E é possível observar os mesmos resultados, mas para o canal de propagação *Vehicular A* 3km/h.

5.2.3.6.1 PEDESTRIAN B 3KM/H

A cobertura média e o *throughput* médio vs E_c/I_{or} são apresentados na Figura 5.17 e Figura 5.18 respectivamente, obtidos para a topologia Macrocelular e Real, para o canal *Pedestrian B* 3km/h, recorrendo a mecanismos de macro diversidade.

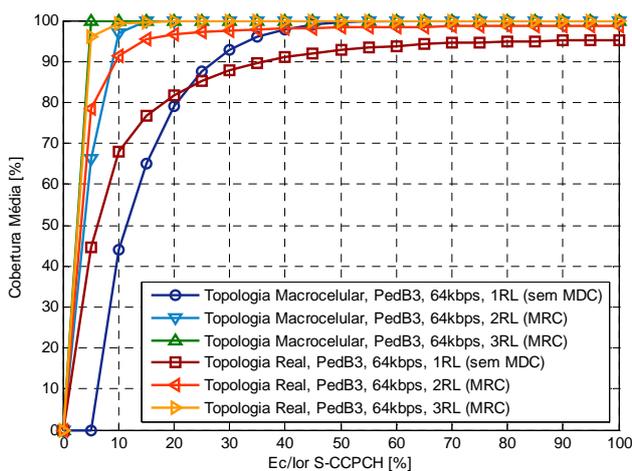


Figura 5.17: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB3, 64kbps, macro diversidade).

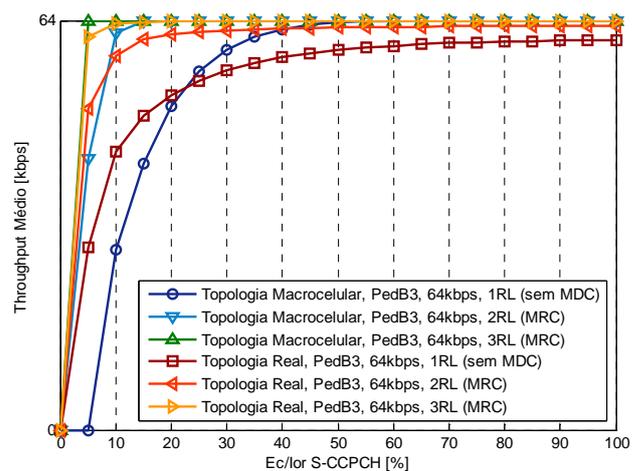


Figura 5.18: *Throughput* Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB3, 64kbps, macro diversidade).

Na Figura 5.17, para a Topologia Real, para uma cobertura de 95%, a fracção de potência necessária é de cerca de 12% quando se consideram duas ligações rádio simultâneas. Considerando três ligações rádio simultâneas, para o mecanismo MRC, a fracção de potência necessária diminui para 5%.

Na Figura 5.18 pode-se verificar que, para a Topologia Real, a fracção de potência de transmissão necessária para se atingir o *throughput* máximo de 64kbps não é tão

elevada com a utilização de duas ligações rádio simultâneas. Com a utilização de três ligações rádio (3RL) o *throughput* de 64kbps pode ser facilmente alcançável.

5.2.3.6.2 VEHICULAR A 30KM/H

A cobertura média e o *throughput* médio são apresentados na Figura 5.19 e Figura 5.20 respectivamente, obtidos para a topologia Macrocelular e Real, para o canal *Vehicular* A 30km/h, recorrendo a mecanismos de macro diversidade.

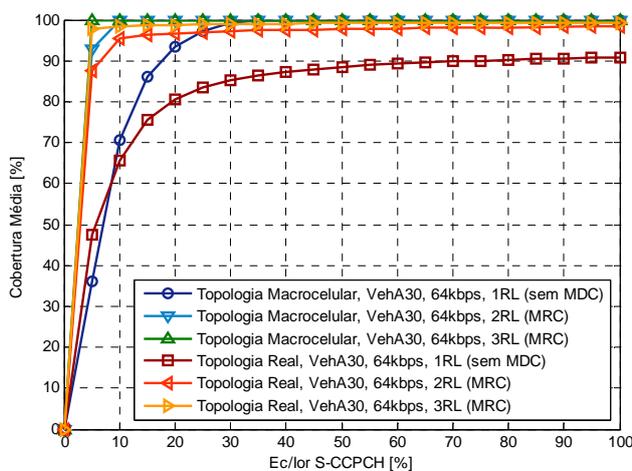


Figura 5.19: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA30, 64kbps, macro diversidade).

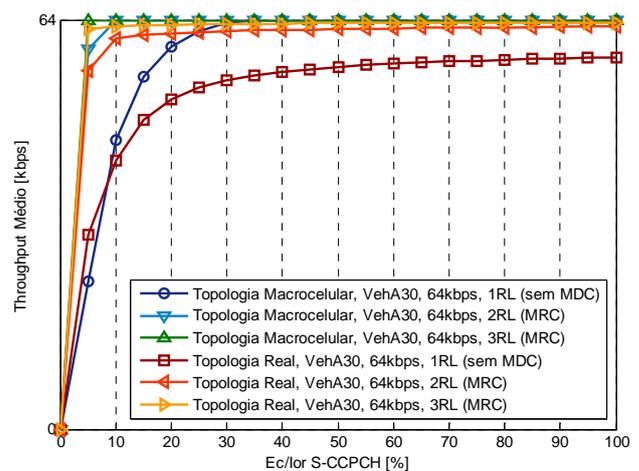


Figura 5.20: *Throughput* Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA30, 64kbps, macro diversidade).

Na Figura 5.19, para a Topologia Real, para uma cobertura de 95%, a fracção de potência necessária é de cerca de 8% quando se consideram duas ligações rádio simultâneas. Considerando três ligações rádio simultâneas, para o mecanismo MRC, a fracção de potência necessária diminui para 4%.

Na Figura 5.20 pode-se verificar que, para a topologia Real, a fracção de potência de transmissão necessária para se atingir o *throughput* máximo de 64kbps não é tão elevada com a utilização de duas ligações rádio simultâneas. Com a utilização de três ligações rádio (3RL) o *throughput* de 64kbps pode ser facilmente alcançável.

Através de ambas as figuras (Figura 5.19 e Figura 5.20) constata-se que os resultados obtidos são melhores que os resultados obtidos para o *Pedestrian* B 3km/h (ver secção 5.2.3.6.1).

5.3 ANÁLISE DE RESULTADOS DA TOPOLOGIA HCS

Esta secção visa apresentar a análise dos resultados obtidos, através das simulações efectuadas, e que incidiram sobre a Topologia Macrocelular e Topologia HCS (ou Estrutura Hierárquica de Células com Antenas Distribuídas), descritas anteriormente e cujos parâmetros de simulação estão presentes no Capítulo 4.

Nesta secção, tal como sucedeu na secção 5.2, primeiro serão apresentados os resultados obtidos, do módulo do nível de sistema, para o factor de geometria e seguidamente serão apresentados os resultados relativos à cobertura e *throughput*, consoante diversos parâmetros. Serão apresentados os resultados da análise do desempenho do canal S-CCPCH apenas com MIMO para o MBMS, provenientes do módulo do nível de ligação visto estes resultados não serem iguais aos presentes na secção 5.2.2 (sem MIMO).

5.3.1 ANÁLISE DO FACTOR DE GEOMETRIA

O factor de geometria é o factor chave na determinação da potência de transmissão requerida e por sua vez, na estimação da cobertura para os ambientes descritos no Capítulo 4.

O desempenho da ligação do canal FACH/S-CCPCH é obtido em termos de BLER versus E_c/I_{or} , para um factor de geometria (G) escolhido e fixo durante a simulação. Isto identifica a fracção de potência que tem de ser atribuída a um canal PtM MBMS para uma determinada BLER no receptor com um dado G , de modo a que o utilizador nessas condições não experimente uma BLER pior do que a de referência.

Os resultados presentes nesta secção são apresentados em termos de E_c/I_{or} [dB], definido na secção 4.2.1.1, representando a fracção de potência transmitida na célula para garantir um determinado desempenho BLER indicado no eixo vertical.

A função de distribuição cumulativa (CDF) da geometria continua a ser obtida através da distribuição uniforme e aleatória de um elevado número de UEs num ambiente móvel com o cálculo do factor de geometria em cada localização, utilizando os modelos de propagação referidos no Anexo B. Utilizando esta abordagem e através de simulações, o factor de geometria foi obtido para ambos os ambientes estudados nesta secção.

A Figura 5.21 apresenta a distribuição cumulativa do factor de geometria, obtido para os ambientes Macrocelular e HCS. Essas simulações foram feitas colocando na topologia simulada, vários utilizadores de forma aleatória, em que estes se movimentavam também de forma aleatória e considerando $R_b = 128kbps$. A distribuição cumulativa dos valores de geometria é obtida espalhando uniformemente um elevado número de terminais móveis na topologia e calculando-se em diversas localizações o factor de geometria com base nos modelos de propagação definidos em [45] e referidos na Tabela 4.3 e Tabela 4.5 para os cenários Macrocelular e HCS respectivamente.

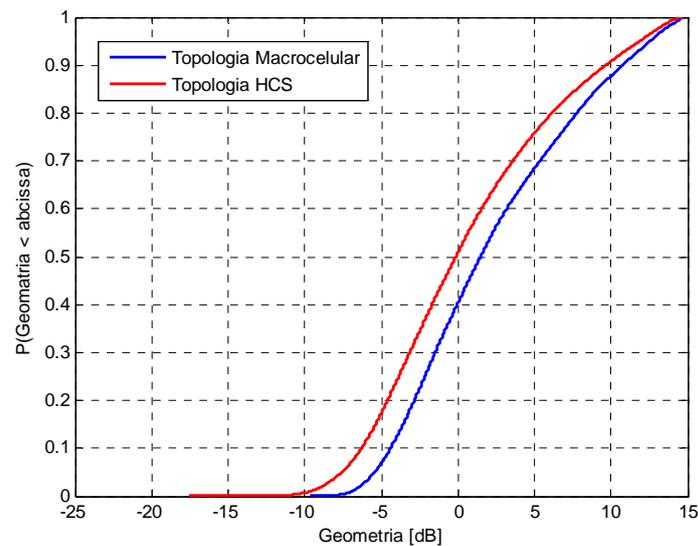


Figura 5.21: Distribuição Cumulativa da Geometria nos ambientes Macrocelular e HCS.

Analisando a Figura 5.21 é possível concluir que o cenário Macrocelular é um ambiente mais favorável visto serem obtidos melhores valores de distribuição de geometria para este ambiente. A topologia HCS com antenas distribuídas apresenta piores resultados uma vez que possui mais células, visto terem sido feitas duas divisões de cada célula da topologia macrocelular, e conseqüentemente a interferência será maior nesta topologia.

A Figura 5.22 apresenta a gama de valores mais relevantes da função de distribuição cumulativa do factor de geometria, presentes na Figura 5.21.

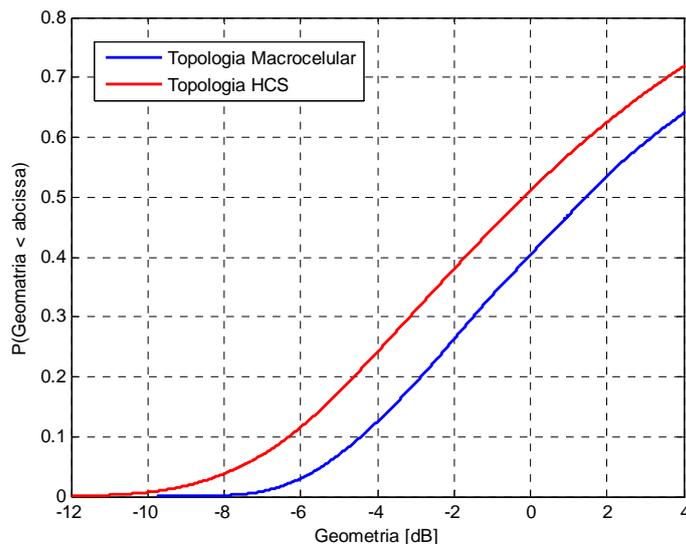


Figura 5.22: Distribuição Cumulativa da Geometria nos ambientes Macrocelular e HCS (gama de valores mais relevantes).

Observando a gama de valores de geometria mais relevantes na Figura 5.22, verifica-se que para o ambiente Macrocelular cerca de 95% dos utilizadores experimentam um factor de geometria de cerca de -6dB ou melhor e que 80% dos utilizadores experimenta um factor de geometria de -3dB ou melhor. Estes valores estão obviamente de acordo com os apresentados anteriormente para o ambiente Macrocelular neste capítulo.

No caso do ambiente HCS pode-se observar que cerca de 95% dos utilizadores tem um factor de geometria de -8dB ou melhor e que cerca de 80% dos utilizadores experimenta um factor de geometria de cerca de -4.5dB ou melhor.

A Figura 5.23 apresenta o ganho no factor de geometria no caso correspondente ao ambiente HCS, para um máximo de 3 ligações simultâneas (uso de macro diversidade), embora sejam estudadas até 4 ligações simultâneas. O caso das 4 ligações simultâneas não se encontra presente nessa figura devido a uma questão técnica (falta de memória) da ferramenta utilizada para a elaboração da referida figura.

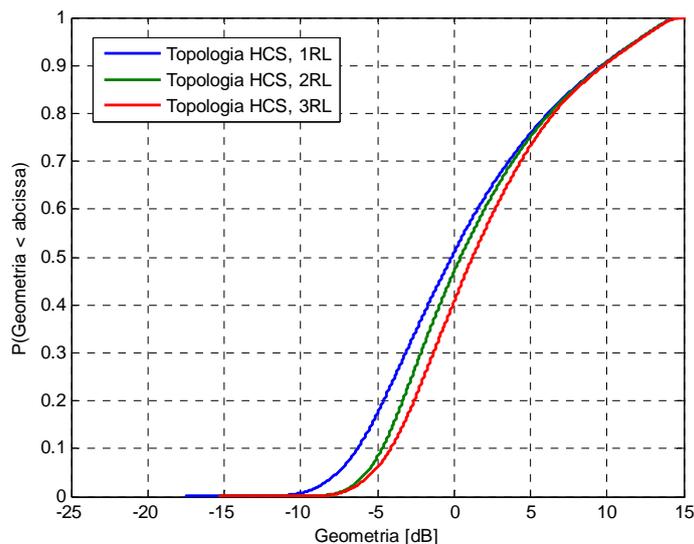


Figura 5.23: Distribuição Cumulativa da Geometria na Topologia HCS com 1, 2 e 3RL.

Observando a Figura 5.23 pode-se ver que para duas ligações simultâneas (2RL), 95% experimentam uma geometria de aproximadamente -6dB ou superior e o ganho de uma terceira ligação é de cerca de 0.5dB em relação à segunda ligação. Para 4RL seria de esperar um ganho pequeno relativamente ao caso das 3 ligações simultâneas.

A ideia básica de uma transmissão multicelular é que, ao invés de se tentar evitar a interferência das células vizinhas, no caso em que o terminal móvel se encontra na periferia da própria célula, as diferentes células sejam utilizadas para transmitir a mesma informação ao utilizador, não só reduzindo a interferência inter-celular como também os requisitos ao nível de potência de transmissão para garantir a qualidade do serviço [51].

Se forem consideradas 2, 3 ou 4RL, o factor de geometria irá ser melhorado. No caso do terminal apenas comunicar através de uma ligação (1RL) e for aplicado o *handover*, o terminal na periferia da célula poderá nem sempre receber a informação da ligação mais forte. O terminal apenas vai transitar para a melhor célula quando a potência recebida por esta exceder a potência recebida da célula onde se encontra por uma dada margem. Quando se consideram 2 ou mais ligações simultâneas, os terminais na periferia da célula vão sempre receber o sinal da célula mais forte, além do facto de poderem combinar múltiplas ligações e evitar a interferência destas. Deste modo, o valor do factor de geometria irá ser tanto melhor, quanto mais ligações simultâneas se utilizarem.

5.3.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO DO S-CCPCH COM MIMO PARA O MBMS

Nesta secção é apresentado o desempenho do nível de ligação do canal S-CCPCH, obtido em termos de BLER vs E_c / I_{or} , para um factor de geometria escolhido (neste caso -3dB ou 0dB) e fixo durante toda a simulação, para a modulação QPSK e para a transmissão de conteúdos multimédia. Isto identifica a fracção de potência que tem que ser atribuída a um canal PtM MBMS, para um determinado BLER no receptor com um factor de geometria, de modo a que o utilizador em piores condições não experimente uma BLER pior do que a de referência. Para se avaliar o desempenho do canal FACH/S-CCPCH para o MBMS e a potência a ser atribuída a cada canal, utilizou-se o módulo do nível de ligação, como já foi mencionado na secção 4.2.1.3.

Os resultados são apresentados em termos de E_c / I_{or} [dB], representando a fracção de potência transmitida na célula para garantir um determinado desempenho BLER indicado no eixo vertical. As simulações foram efectuadas para vários modelos de canal descritos no Anexo C.

A Figura 5.24 apresenta a relação entre a fracção de potência da célula transmitida no canal S-CCPCH e o BLER da ligação quando transmitindo a 128, 256, 384 e 512kbps, utilizando SISO 1x1, MIMO 2x2, MIMO 3x3 e MIMO 4x4 respectivamente e um código de espalhamento SF (*Spreading Factor*) de 16 para um factor de geometria de -3dB, para os canais *Pedestrian B* (3km/h) e *Vehicular A* (3km/h e 30km/h).

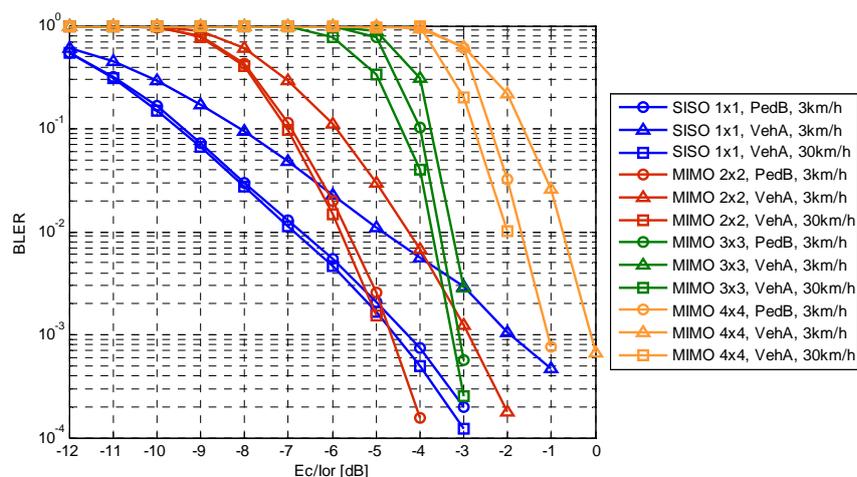


Figura 5.24: BLER vs E_c / I_{or} - PedB (3km/h) e VehA (3km/h e 30km/h).

Para o ritmo binário mais exigente, isto é para 512kbps, o factor de geometria considerado foi de 0dB, correspondendo a uma menor cobertura (60% para o cenário macrocelular). Para o nível de sistema, o valor de referência extraído ao nível da ligação é para um BLER alvo de 1% (10^{-2}), como já foi mencionado anteriormente, daí a necessidade de reduzir a área de cobertura, de modo a satisfazer este requisito dentro dos limites ao nível de potência disponível na célula. Para os restantes ritmos binários foi considerado um factor de geometria de -3dB (80% de cobertura no ambiente macrocelular).

Através da Figura 5.24 é possível observar que, para o *Pedestrian B* (3km/h), para um ritmo binário de 128kbps é necessário um E_c / I_{or} de cerca de -6.75dB para atingir um BLER de 1%, sendo necessário -5.7dB para o ritmo binário de 256kbps, -3.55dB para 384kbps e -1.8dB para o ritmo binário de 512kbps. Quanto ao *Vehicular A* (3km/h) o valor de E_c / I_{or} necessário para se atingir um BLER de 1%, para um ritmo binário de 128, 256, 384 e 512kbps é de -4.85, -4.25, -3.25 e -0.8dB respectivamente. Para o *Vehicular A* (30km/h), o E_c / I_{or} necessário para se atingir um BLER de 1% é de cerca de -6.8, -5.8, -3.75 e -2dB para os ritmos binários de 128, 256, 384 e 512kbps respectivamente.

O maior problema na transmissão de serviços através do canal comum S-CCPCH coloca-se essencialmente para maiores coberturas (periferia da célula), visto ser necessária uma elevada fracção da potência da célula (E_c / I_{or}) para serviços com uma BLER alvo de 1%. Este problema torna-se mais evidente quanto maior for o ritmo binário considerado.

5.3.3 ANÁLISE DA COBERTURA E *THROUGHPUT*

A fracção de potência necessária para atingir uma BLER de 1% é obtida a partir do resultado da simulação do Nível da Ligação. O factor de geometria utilizado para obter esse resultado pode ser utilizado para estimar a cobertura pretendida (Figura 5.21), quando essa fracção de potência é transmitida. Ao Nível do Sistema o BLER (baseado na SNR recebida) é calculado por cada terminal. Os resultados presentes nesta secção são relativos à percentagem de terminais na zona de cobertura (BLER média inferior a

1%) e ao *throughput* médio de acordo com a variação do E_c / I_{or} transmitido, para as Topologias Macrocelular e HCS.

Quando um pacote é recebido pelo UE, a respectiva SIR estimada é comparada com a SIR de referência pré-estabelecida, para uma QoS desejável, para o serviço MBMS considerado. Os UEs cuja média das SIRs de cinco pacotes consecutivos recebidos esteja acima da SIR de referência são considerados com cobertura, caso contrário são considerados sem cobertura.

Os resultados das simulações efectuadas serão apresentados nas secções que se seguem, tendo em conta a variação de diversos parâmetros tais como a distância entre DAs (250m ou 125m), o canal de propagação, velocidade e ritmo binário.

5.3.3.1 DISTÂNCIA ENTRE DAs

Nesta secção são estudadas duas situações diferentes, que diferem no número de antenas distribuídas existentes, o que implica que a distância entre elas também será diferente. Numa situação estudar-se-à a cobertura média e o *throughput* médio da topologia HCS com uma distância entre DAs de 250m e na outra situação essa distância será apenas de 125m. Os resultados presentes nesta secção foram obtidos tendo em consideração o canal *Vehicular A* (3km/h). Para o canal *Pedestrian B* (3km/h) e *Vehicular A* (30km/h) os resultados encontram-se presentes no Anexo F.

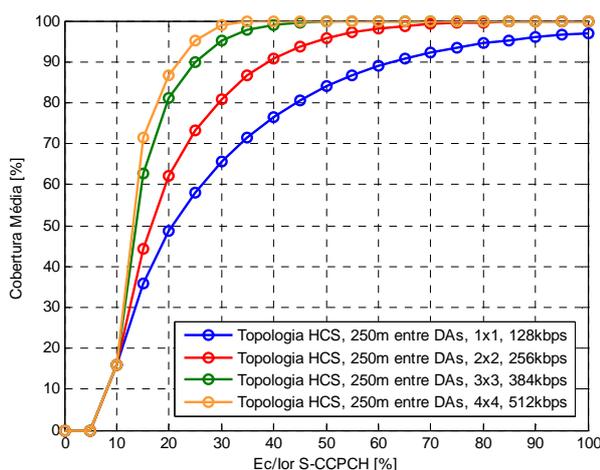


Figura 5.25: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 3km/h, 250m entre DAs).

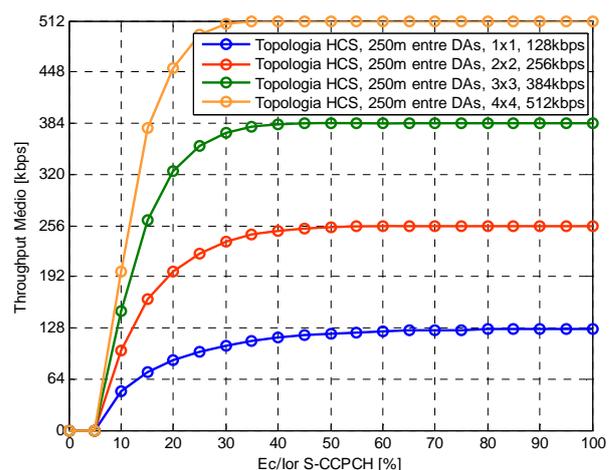


Figura 5.26: *Throughput* Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 3km/h, 250m entre DAs).

Pela análise da Figura 5.25, tendo como referência uma cobertura de 95%, obtém-se uma fração de potência necessária de cerca de 25% para o ritmo binário de 512kbps (MIMO 4x4), 30% para o ritmo binário de 384kbps (MIMO 3x3) e 48% para o ritmo binário de 256kbps (MIMO 2x2). Para o ritmo binário de 128kbps (SISO 1x1) foi estimado praticamente a totalidade da potência disponível (85%) para satisfazer a cobertura de referência 95%.

Recorrendo à Figura 5.26 constata-se que o *throughput* médio de 128, 256, 384 e 512kbps podem ser alcançáveis, no entanto tendo em conta que cerca de 20% da potência disponível em cada célula está reservada para canais de controlo e sinalização, a garantia de *throughput* de 128kbps para a cobertura referida não é muito favorável, e sugere-se o recurso a técnicas de macro diversidade já usadas nos restantes ritmos binários mais elevados.

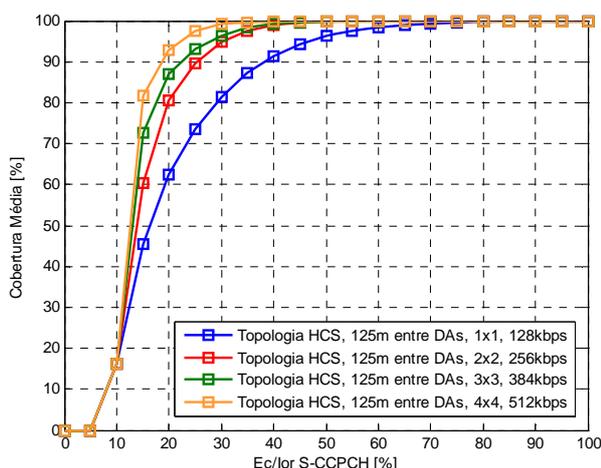


Figura 5.27: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 3km/h, 125m entre DAs).

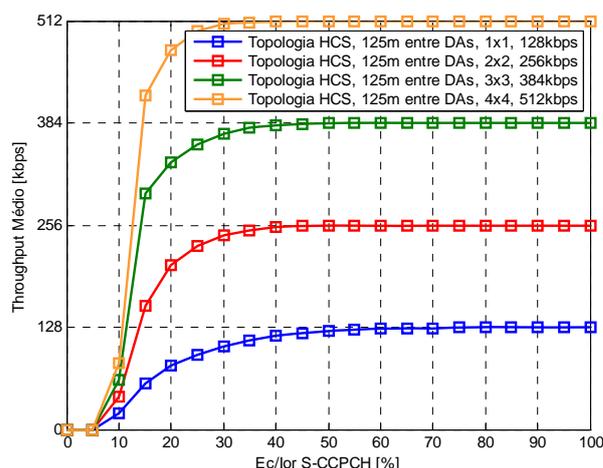


Figura 5.28: *Throughput* Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 3km/h, 125m entre DAs).

Tal como seria de esperar, a cobertura média relativamente à distância entre os DAs (250m ou 125m) é melhor quando a distância entre os DAs é menor (e consequentemente maior é o número de DAs), e como a potência de transmissão nesse caso também é substancialmente menor não existe tanta interferência.

A Figura 5.27 mostra os ganhos na cobertura do sistema conseguidos com uma distância entre DAs de 125m. Comparando os resultados presentes na Figura 5.26 e na Figura 5.27 constata-se que, para uma cobertura de referência de cerca de 95% dos utilizadores, verifica-se uma redução na potência de transmissão total na ordem dos 2% para MIMO 3x3 e 4x4, 16.5% para MIMO 2x2 e 37.5% para SISO 1x1. Como se pode

constatar, quanto menor é a distância entre DAs melhores serão os resultados obtidos, no entanto essa melhoria é tanto menor quanto maior é o número de ligações simultâneas utilizadas.

Relativamente à Figura 5.28, verifica-se que débitos binários máximos de 128kbps são conseguidos com cerca de 100% e 60% da potência de transmissão com 250m e 125m entre DAs respectivamente. Cerca de 70% e 42.5%, 45% e 40%, e 37% e 35% da potência é necessário para garantir os 256, 384 e 512kbps (para MIMO 2x2, 3x3 e 4x4 respectivamente) com 250m e 125m entre DAs respectivamente.

Na Tabela 5.1 está apresentada a informação mais detalhada acerca dos requisitos em termos de fracção da potência transmitida, para os vários casos estudados nesta secção (SISO 1x1, MIMO 2x2, 3x3 e 4x4), tendo como referência uma cobertura na ordem dos 95% dos utilizadores.

Nº antenas/Ritmo Binário	250m entre DAs	125m entre DAs
SISO 1x1 / 128kbps	-0.7dB 85%	-3.23dB 47.5%
MIMO 2x2 / 256kbps	-3.19dB 48%	-5.01dB 31.5%
MIMO 3x3 / 384kbps	-5.23dB 30%	-5.53dB 28%
MIMO 4x4 / 512kbps	-6.02dB 25%	-6.38dB 23%

Tabela 5.1: VehA 3km/h com cobertura de 95% e 1% BLER (E_c/I_{or}).

Através da Tabela 5.1 pode-se constatar que o suporte de serviços MBMS a ritmos binários inferiores a 512kbps é mais viável se for considerada uma distância entre DAs de 125m, isto é, se forem considerados mais DAs no sistema.

O SISO 1x1 (128kbps), no caso em que se tem 250m entre os DAs, requer cerca de 85% da potência disponível na célula, o que torna a transmissão de serviços a este ritmo impraticável, se considerarmos que outros serviços serão transmitidos simultaneamente.

O SISO 1x1 e MIMO 2x2, aplicado neste modelo de canal, mostraram uma redução média ao nível dos requisitos de potência transmitida na ordem de 37.5% e 16.5%, respectivamente, considerando a utilização de 250m e 125m de distância entre as DAs.

Para o MIMO 3x3 a redução média é de cerca de 2% e para o MIMO 4x4 é de cerca de 2%.

5.3.3.2 CANAL DE PROPAGAÇÃO

Nesta secção os resultados da cobertura média e do *throughput* médio são apresentados em três sub-secções cada uma respeitante a um canal de propagação diferente, nomeadamente *Pedestrian B* 3km/h, *Vehicular A* 30km/h. Para a obtenção desses resultados assumiu-se sempre uma distância entre DAs de 250m. No Anexo F é possível observar os mesmos resultados, para o canal *Vehicular A* 3km/h e para uma distância entre DAs de 125m.

5.3.3.2.1 PEDESTRIAN B 3KM/H

Nas próximas figuras são apresentados os resultados obtidos para o *Pedestrian B* 3km/h, assumindo uma distância entre DAs de 250m.

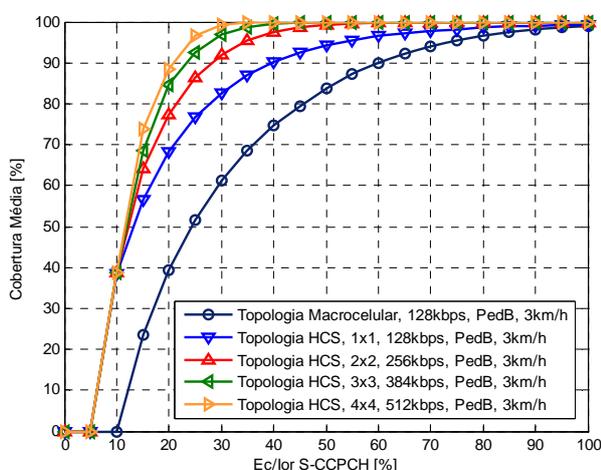


Figura 5.29: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB 3km/h, 250m entre DAs).

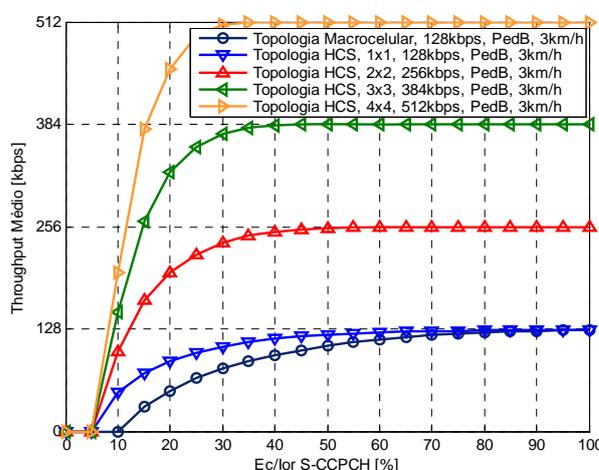


Figura 5.30: *Throughput* Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB 3km/h, 250m entre DAs).

Através da Figura 5.29 pode-se constatar que os resultados obtidos para a Topologia HCS com antenas distribuidas são melhores que os obtidos para a Topologia Macrocelular.

Pode-se verificar que para um BLER de 1%, para a Topologia HCS e uma cobertura de 95%, a fracção de potência de transmissão necessária é de cerca de 54% (1x1), 34% (2x2), 28% (3x3) e 23%(4x4) da potência total disponível na célula e para uma cobertra

de 80% a fracção mínima deverá ser de cerca 28% (1x1), 21.5% (2x2), 18.5% (3x3) e 17% (4x4). Para a Topologia Macrocelular e considerando uma cobertura de cerca de 95% a fracção de potência de transmissão necessária é de cerca de 71% da potência total disponível na célula e para uma cobertura de 80% a fracção mínima é de cerca de 46%.

Através da Figura 5.30 é possível constatar que os elevados ritmos binários podem ser realizáveis para serviços *multicast/broadcast* na Topologia HCS (1x1, 2x2, 3x3 e 4x4), contudo o mesmo não acontece com o ambiente Macrocelular.

5.3.3.2 VEHICULAR A 30KM/H

Nas próximas figuras são apresentados os resultados obtidos para o *Vehicular A* 30km/h, assumindo uma distância entre DAs de 250m.

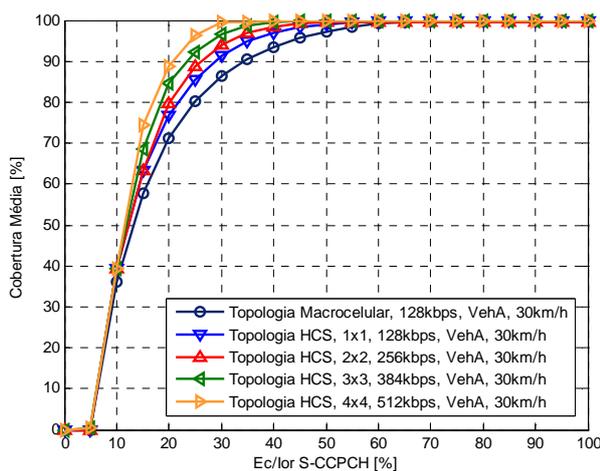


Figura 5.31: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 30km/h, 250m entre DAs).

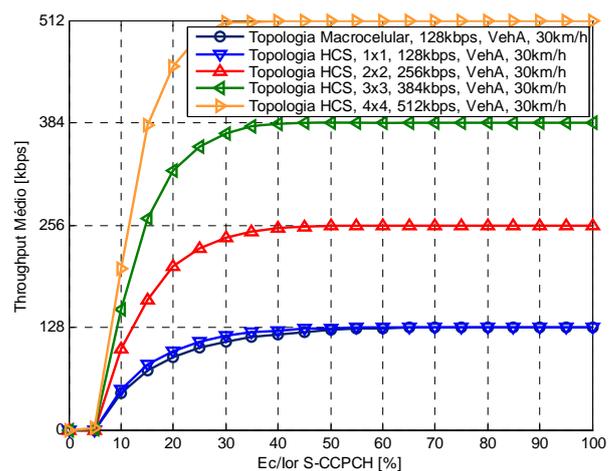


Figura 5.32: *Throughput* Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 30km/h, 250m entre DAs).

Através dos resultados presentes na Figura 5.31 constata-se que, para uma cobertura de referência de cerca de 95% dos utilizadores, verifica-se uma redução na potência de transmissão total na ordem dos 2% para MIMO 3x3 e 4x4, 5% para MIMO 2x2, 15% para SISO 1x1 e 35% para a Topologia Macrocelular.

Relativamente à Figura 5.32, verifica-se que débitos binários máximos de 128kbps são conseguidos com cerca de 55% e 60% da potência de transmissão no caso da topologia Macrocelular e HCS com SISO 1x1 respectivamente. Cerca de 50%, 43% e 35% da

potência é necessário para garantir os 256, 384 e 512kbps (para a Topologia HCS MIMO 2x2, 3x3 e 4x4 respectivamente).

Quanto ao efeito do aumento da velocidade no desempenho do canal *Vehicular A*, continua-se a constatar que é obtido um melhor desempenho para velocidades superiores (30km/h) do que para velocidades inferiores (3km/h).

Capítulo 6

CONCLUSÕES

6.1 TRABALHO DESENVOLVIDO

O novo serviço MBMS visa o uso eficiente de recursos rádio, ou seja, através da transmissão da informação utilizando um canal comum. O problema é que este serviço se destina a aplicações multimédia de ritmos de transmissão elevados e, para cobrir a totalidade da célula é necessária uma elevada potência de transmissão. Para além disso, cerca de 20% da potência transmitida é atribuída a canais de sinalização restando apenas 80% da potência para os serviços de voz, dados e outros serviços tais como o MBMS. Assim o consumo de potência é um dos parâmetros chave do desempenho inerentes ao serviço MBMS. A potência transmitida para o MBMS deve ser tal que a maioria dos utilizadores localizados na fronteira da célula sejam servidos.

A principal motivação deste trabalho foi o desenvolvimento e a análise de uma nova topologia juntamente com a tecnologia MIMO, com o intuito de reduzir a potência transmitida sem que isso afectasse a cobertura e o serviço recebido pelos UEs. O trabalho apresentado foi desenvolvido no sentido de responder directamente aos objectivos propostos inicialmente.

Foi demonstrado que os canais MBMS de alto débito binário, requerem uma elevada potência de transmissão de modo a satisfazer a qualidade dos serviços para uma área de cobertura adequada. Estes requisitos ao nível da potência podem ser reduzidos através da utilização de várias técnicas, nomeadamente, os esquemas de diversidade no canal comum S-CCPCH e de tecnologias MIMO. A diversidade pode ser na forma temporal e/ou espacial, como a macro diversidade. A macro diversidade existe nas redes celulares quando a mesma informação MBMS é fornecida, com um certo grau de sincronismo, nas células adjacentes. Contudo, de modo a se tirar partido desta forma de diversidade é necessário um mecanismo para combinar os sinais das várias ligações, o que pode ser

efectuado através de técnicas sobejamente conhecidas como a combinação por selecção do melhor (SC) ou combinação de razão máxima (MRC). O terminal deve optar por efectuar MRC sempre que possível e o SC caso contrário, pois o MRC fornece o melhor desempenho, sendo mais restrito o seu uso face ao aumento dos atrasos dos sinais provenientes de diferentes células.

O MIMO é uma forma de transmissão sem fio que utiliza mais de uma antena para a entrada e saída de dados do transmissor/receptor. Esse tipo de tecnologia permite transmitir através de múltiplas sequências de dados de informação em cada canal, aumentando de forma considerável a velocidade de transmissão. O conceito inerente aos sistemas MIMO passa então por combinar os sinais emitidos e recebidos de uma determinada forma de modo a que seja possível melhorar o desempenho do sistema. Esta melhoria de desempenho reflecte-se na maximização dos ritmos de transmissão associados, possibilidade de implementação de serviços mais atractivos e melhoria da qualidade de serviço oferecida ao cliente final. Além de aumentar o desempenho da transmissão, a utilização de múltiplas antenas também ajuda a melhorar a estabilidade da transmissão, uma vez que as antenas adicionais também podem entrar em acção quando há algum tipo de interferência ou instabilidade. A tecnologia MIMO demonstra ser uma evolução natural das tecnologias sem fio, já que há uma crescente demanda de serviços multimédia e um esforço constante para aumentar a velocidade de taxas de transmissão sem fio.

Este trabalho veio dar um contributo à investigação de métodos/técnicas para tornar o MBMS economicamente viável sob o ponto de vista da eficiência da cobertura e da potência de transmissão.

6.2 RESULTADOS

No âmbito do trabalho desenvolvido, a análise dos resultados apresentados baseou-se, essencialmente, na avaliação da área de cobertura e *throughput* conseguidos, de acordo com uma determinada fracção de potência transmitida para o serviço MBMS.

Esta análise foi efectuada com o auxílio de um simulador dinâmico de sistema, constituído pelo módulo do nível de ligação e o módulo do nível de sistema. O primeiro módulo permitiu estudar o efeito do canal de rádio escolhido e as fontes de interferência no receptor. O módulo ao nível de sistema permitiu avaliar a capacidade do sistema pela

utilização de um determinado serviço e da sua relação SNR/BLER determinada pelas simulações ao nível da ligação. Os cenários escolhidos para este estudo foram o Cenário Real, o Cenário da Estrutura Hierárquica de Células e o Cenário Macrocelular, sendo que o último deles foi considerado o cenário de referência ao longo de todos os estudos efectuados neste trabalho.

Inicialmente foi analisado o desempenho do canal S-CCPCH para diferentes ritmos binários e canais de propagação, com o objectivo de prever a potência transmitida pela estação de base para os vários serviços e canais de propagação. Dessa análise verificou-se que a combinação de sinais por macro diversidade, ou através da tecnologia MIMO, permite um substancial ganho ao nível do sinal recebido, o que corresponde directamente a uma redução significativa da potência de transmissão necessária para garantir a mesma qualidade de serviço.

O maior problema na transmissão de serviços através do canal comum S-CCPCH coloca-se essencialmente para maiores coberturas (periferia da célula), visto ser necessária uma elevada fracção da potência da célula (E_c / I_{or}) para serviços com um BLER alvo de 1%. Este problema torna-se mais evidente quanto maior for o ritmo binário considerado.

Depois de analisada a potência para os cenários considerados, foi efectuado um estudo, com base na comparação entre a Topologia Real e a Macrocelular, que resultou, entre outros, na escolha da melhor técnica de macro diversidade. Para além disso também se avaliou o desempenho da Topologia Real face à variação do número de UEs, do ritmo binário, do factor de ortogonalidade, do canal de propagação e velocidade, entre outros. Pela análise dos resultados e tendo em conta que cerca de 20% da potência disponível em cada célula está reservada para canais de controlo e sinalização, a utilização do ritmo binário de 128kbps para a cobertura referida não é muito favorável, a não ser através do recurso a técnicas de macro diversidade. A utilização das técnicas de macro diversidade permite um aumento da cobertura e uma melhoria significativa do *throughput* recebido pelos UEs, mantendo constante a qualidade. Verificou-se também a vantagem de se optar pela técnica MRC ao invés da técnica SC em termos de cobertura e *throughput*, resultante da melhoria da SIR recebida pelos UEs calculada pela soma das potências das ligações rádio recebidas simultaneamente. Quanto ao efeito do aumento da velocidade no desempenho do canal *Vehicular A*, pode-se constatar que na periferia da célula é obtido um melhor desempenho para velocidades superiores,

enquanto que perto da estação de base as velocidades inferiores obtêm melhores desempenhos. A razão deve-se ao facto do aumento da velocidade dos UEs provocar um decréscimo do tempo de permanência dos UEs em situações de desvanecimento lento ou zonas de sombra.

Por fim, a Topologia da Estrutura Hierárquica de Células foi comparada com a Topologia Macrocelular, tendo em conta a variação do ritmo binário, do canal de propagação e velocidade, recorrendo à tecnologia MIMO. A ideia básica de uma transmissão multicelular é que, ao invés de se tentar evitar a interferência das células vizinhas no caso em que o terminal móvel se encontra na periferia da própria célula, as diferentes células sejam utilizadas para transmitir a mesma informação ao utilizador, não só reduzindo a interferência inter-celular como também os requisitos ao nível de potência de transmissão para garantir a qualidade do serviço. Com o aumento do número de antenas distribuídas a dimensão da área de cobertura de cada antena distribuída diminui e assim, a potência de transmissão também pode ser reduzida. Os resultados desta análise demonstram que os elevados ritmos binários podem ser suportados pela Topologia HCS, especialmente na fronteira das células. A utilização desta topologia aumenta assim a capacidade do sistema, diminuindo a potência de transmissão, reduzindo a dependência no controlo centralizado e oferecendo uma distribuição quase uniforme da capacidade ao longo de toda a área. Esta última característica é muito importante para os serviços de *broadcast/multicast*.

Com este estudo conclui-se que o MIMO/Topologia HCS são tecnologias fundamentais na comunicação digital moderna, disponibilizando ganhos significativos de capacidade não só para os serviços *unicast*, mas também para os serviços *broadcast/multicast*.

6.3 TRABALHO FUTURO

No desenvolvimento deste trabalho foram vários os temas referidos que deveriam ser alvo de estudo futuro.

De forma a tornar o estudo da Estrutura Hierárquica de Células mais realista, deve-se introduzir esta tecnologia na Topologia Real, analisada neste trabalho.

Na Topologia da Estrutura Hierárquica de Células assumiu-se que as antenas distribuídas estavam ligadas às estações de base através de fibras ópticas ou cabo. A

base de qualquer tecnologia de comunicações móveis é a sua interface rádio, pois será o suporte à comunicação e mobilidade dos respectivos utilizadores. Assim uma proposta de trabalho futuro passa por substituir as ligações de fibra óptica/cabo entre as antenas distribuídas e as estações de base por uma interface rádio WCDMA ou WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

A introdução de um serviço com um ritmo binário variável também deve ser ponderado, com o objectivo de tornar o estudo mais realista.

Uma outra proposta de trabalho futuro para aumentar a capacidade do WCDMA passa por incluir o HSDPA, que maximiza a transmissão de dados e a capacidade, minimizando a latência. O desempenho de aplicações é mais rápido, existindo uma maior variedade de aplicações, mesmo em condições de elevado tráfego.

REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP TR 21.902 V6.0.0 (2003-09): “Evolution of 3GPP System”, Release 6, www.3gpp.org.
- [2] Documento interno do projecto B-BONE, Simão Torres, “All-IP and MBMS Network Issues”, 16/08/2004.
- [3] <http://ave.dee.isep.ipp.pt/~e990912/projectos.htm> .
- [4] http://www.decno.de/slides/sys2000/Vortraege_2903/2G03.pdf .
- [5] http://www.ituaj.jp/english/06_ic/rural/cellular/files/chap02-1.pdf .
- [6] “Mobile Broadcast/Multicast Service (MBMS) – White Paper”, MediaLab, TeliaSonera, Finlândia, 08/2004.
- [7] 3GPP TS 22.146: “Multimedia Broadcast/Multicast Services (MBMS) Stage 1”, Release 6, www.3gpp.org.
- [8] 3GPP TS 22.246: “Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) user services, Stage I”, Release 6, www.3gpp.org.
- [9] 3GPP TS 43.246: “Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in GERAN, Stage 2”, Release 6, www.3gpp.org.
- [10] 3GPP TS 23.246: “Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) Architecture and functional description”, Release 6, www.3gpp.org.
- [11] <http://internetng.dit.upm.es/ponencias-jing/2003/3rd%20Generation%20Mobile%20Services-Luis%20Galindo.pdf> .
- [12] Nokia, “MBMS-000018: Potencial UTRAN Transport Channels for MBMS”, 3GPP MBMS Workshop, London, Reino Unido, 2002.
- [13] 3GPP TS 25.346 V6.4.0: “Introduction of Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN)”, 2005, www.3gpp.org.
- [14] 3GPP TS 26.346 “Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) Protocols and codecs”, Release 6, www.3gpp.org

-
- [15] 3GPP TS 29.846: “Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) CN1 procedure description”, Release 6, www.3gpp.org.
- [16] 3GPP TS 22.146 V6.6.0: “Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS), Stage 1”, 2004, www.3gpp.org.
- [17] 3GPP TS 22.946 V1.0.0: “Broadcast Multicast Services”, 2001, www.3gpp.org.
- [18] Ralf Tönjes, “Is 3G MBMS Suitable for Video?”, Universidade de Ciências Aplicadas, Osnabrück, Alemanha.
- [19] 3GPP TS 23.846: V6.1.0: “Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS); Stage 2”, 2002, www.3gpp.org.
- [20] Documento interno do projecto B-BONE, Manuel Dinis, “B-BONE state-of-the-art technologies”, 24/07/2004.
- [21] 3GPP TR 22.105: “Technical Specification Group Radio Services and System Aspects; Services and Service Capabilities”, www.3gpp.org.
- [22] Documento interno do projecto B-BONE, Manuel Dinis e Pedro Capão, “Requirements and Spectrum Allocation for Broadcast and Multicast over Cellular Networks”, WP1_PTIN_D_11a14, 07/2004.
- [23] Proakis, J., “Digital Communications”, 4 ed., McGraw Hill, 2000.
- [24] Documento interno do projecto B-BONE, Américo Correia, “Final results with Combined Enhancements of the Air Interface”, 12/2005.
- [25] <http://wireless.iop.org/articles/feature/4/11/2/1> .
- [26] Enciclopédia Digital ISP (*Internet Service Providers*) Webopedia, 2005, <http://isp.webopedia.com/TERM/M/MIMO.html> .
- [27] David Gesbert, Mansoor Shafi, Da-shan Shiu, Peter J. Smith e Ayman Naguib, “From Theory to Practice: An Overview of MIMO Space-Time Coded Wireless Systems”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 21, No.3, Abril de 2003.
- [28] <http://www.ece.utexas.edu/~rheath/research/mimo/>
- [29] A. J. Viterbi, “CDMA: Principles of Spread Spectrum Communications”. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1995.

-
- [30] T. S. Rappaport, “Wireless Communications Principles and Practice”. New York: Prentice Hall, Inc, 2 ed., 2002.
- [31] L. Hanzo, L.-L. Yang, E.-L. Kuan, and K. Yen, “Single- and Multi-carrier DS-CDMA”, John Wiley and IEEE Press, 2003.
- [32] D. Gesbert, M. Shafi, and et. al, “From theory to practice: An overview of MIMO space-time coded wireless systems”, *IEEE J. on Select. Areas in Commun.*, vol. 21, pp. 281–302, Abril 2003.
- [33] A. Goldsmith, S. A. Jafar, N. Jindal, and S. Vishwanath, “Capacity limits of MIMO channels”, *IEEE J. on Select. Areas in Commun.*, vol. 21, pp. 684–702, Junho 2003.
- [34] H. Zhuang, L. Dai, L. Xiao, and Y. Yao, “Spectral efficiency of distributed antenna system with random antenna layout”, *Elec. Letters*, vol. 39, pp. 495–496, Março 2003.
- [35] X. Wang and H. V. Poor, “Wireless Communication Systems - Advanced Techniques for Signal Reception”, Prentice Hall, 2003.
- [36] Özgür Oyman, Aragyaswami Paulraj, “Power-Bandwidth Tradeoff in Linear MIMO Interference Relay Networks”, Universidade de Stanford, 28 de Setembro de 2005.
- [37] Documento interno do Projecto B-BONE, Américo Correia, Filipe Leitão, *et al.*, “Deliverable D2.1: Specification of the Simulation Environment”, 2005.
- [38] Laiho, J., Wacker, A., NovoSad, T., “Radio Network Planning and Optimisation for UMTS”, John Wiley et Sons, pág. 57-73, 2002.
- [39] Documento interno do Projecto C-MOBILE, Alexandra Boal, Américo Correia, “Real Topology”, 26/07/2006.
- [40] Cost Action 231, “In Digital Mobile Radio towards Future Generation Systems”, pág. 134-139, 1999.
- [41] 3GPP TS 25.212 V6.2.0: “Multiplexing and Channel Coding (FDD)”, 2004, www.3gpp.org.
- [42] 3GPP TS 25.213 V3.2.0: “Spreading and Modulation (FDD)”, 2000, www.3gpp.org.

- [43] Documento interno do Projecto B-BONE, Filipe Cabral Pinto, “Final Report on Broadcasting and Cellular System Requirements and Content Adaptation”, Novembro 2005.
- [44] H. Holma, A. Toskala, 2004 3rd Edition “WCDMA for UMTS”, Wiley.
- [45] 3GPP TR 25.996 V6.1: “Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) Simulations”, Setembro 2003, www.3gpp.org.
- [46] 3GPP TS 25.101 V6.5.0: “User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)”, www.3gpp.org.
- [47] 3GPP TR 101 112 V3.2.0: “Selection procedures for the choice of radio transmissions of the UMTS (UMTS 30.03 v3.2.0)”, Abril 2004, www.3gpp.org.
- [48] 3GPP 25.211 V6.3.0: “Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)”, Dezembro 2004, www.3gpp.org.
- [49] 3GPP TR 25.889 V6.0.0: “Feasibility Study considering the viable deployment of UTRA in additional and diverse spectrum arrangements” (Release 6), www.3gpp.org.
- [50] Silva, J. et all, “MIMO Based Radio Resource Management for MBMS”, WPC Journal.
- [51] 3GPP TR 25.814 V0.1.0: “Physical Layer Aspects for Evolved UTRA (Release 7)”, Junho 2005, www.3gpp.org.

Anexo A

CANAIS DA UTRAN

A.1 INTRODUÇÃO

A comunicação realizada através da interface rádio da UTRAN utiliza três tipos de canais como se pode ver através da Figura A.1:

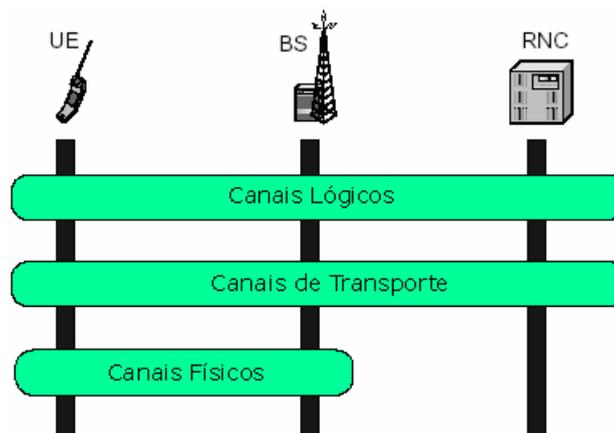


Figura A.1: Representação dos canais da UTRAN [3].

Os canais lógicos são mapeados nos canais de transporte, que por sua vez são utilizados para transportar diferentes fluxos de informação e os canais físicos compõem a existência física da interface Uu . A conversão dos canais lógicos para os canais de transporte acontece na camada MAC que é a subcamada mais baixa da Camada de Ligação de Dados [4].

Neste anexo serão brevemente descritos os canais lógicos, de transporte e físicos, mencionando-se as suas características mais importantes.

A.2 CANAIS LÓGICOS

A subcamada MAC provê serviço de transferência de dados em canais lógicos. Esta camada é responsável por mapear canais lógicos em canais de transporte.

Um conjunto de tipos de canais lógicos é definido para diferentes serviços de transmissão de dados oferecidos pela subcamada MAC. Cada tipo de canal lógico é definido pelo tipo de informação a ser transferida. Os canais lógicos são divididos em dois tipos:

- Canais de controlo para transferência de informações do plano de controlo;
- Canais de tráfego para transferência de informações do plano do utilizador.

A seguir são apresentados vários canais lógicos:

- **BCCH** (*Broadcast Control Channel*): Canal utilizado no DL para *broadcast* de informações de controle do sistema;
- **PCCH** (*Paging Control Channel*): Canal de DL utilizado para a transferência de informações de *paging* utilizadas quando a rede não reconhece a posição na célula de uma estação móvel ou a estação de base está na célula no modo de ligação activo;
- **DCCH** (*Dedicated Control Channel*): Canal bidireccional ponto a ponto que transmite informações de controle dedicadas entre a estação móvel e a rede;
- **CCCH** (*Common Control Channel*): Canal de controlo comum bidireccional ponto a ponto;
- **DTCH** (*Dedicated Traffic Channel*): Canal ponto a ponto, dedicado a uma estação móvel para transferência de informações sobre o utilizador. Pode existir tanto no DL como no UL;
- **CTCH** (*Common Traffic Channel*): Canal unidireccional que permite a transferência de informações de utilizador para um ou mais terminais.

A.3 CANAIS DE TRANSPORTE

Toda a informação gerada no sistema, quer seja de sinalização ou de dados do utilizador, é enviada através de canais de transporte que serão depois mapeados em diferentes canais físicos [41]. Os canais de transporte permitem assegurar a multiplexagem de serviços com diferentes débitos binários num único canal físico. Existem dois tipos de canais de transporte:

- Canais Dedicados;
- Canais Comuns.

Os canais dedicados são utilizados apenas por um utilizador da célula. Os canais comuns são destinados a todos os móveis numa determinada célula e são associados a canais físicos de desempenho limitado.

A seguir encontram-se apresentados os canais de transporte:

- **DCH** (*Dedicated Channel*): Canal de transporte dedicado, usado tanto no DL como no UL. Ele conduz toda a informação proveniente das camadas superiores à Camada Física. O DCH é transmitido sobre toda a célula ou apenas sobre uma parte dela, usando antenas adaptativas. Este canal é ainda caracterizado por suportar SHO, controle de potência rápido e alteração rápida do ritmo de transmissão (cada 10ms);
- **BCH** (*Broadcast Channel*): Canal de transporte, utilizado no DL, destinado à transmissão de informações específicas e essenciais à comunicação. Sem a sua prévia decodificação, um terminal não se pode registar no sistema. Para facilitar a sua recepção, este canal é transmitido com potência relativamente alta a uma taxa de transmissão baixa e fixa;
- **FACH** (*Forward Access Channel*): Canal que é utilizado para enviar informação de controle para um móvel quando se conhece a célula de localização, por exemplo, na resposta a um pedido de acesso. Poderá haver mais do que um canal deste tipo activo na célula. Pode ser utilizado para a transmissão de dados por pacotes. Trata-se, entretanto, de um canal de baixo desempenho (baixa taxa de transmissão, que não suporta *handover*, não suporta controle rápido de

potência e requer identificação de destinatários de mensagens dentro da banda, por ser um canal comum);

- **PCH** (*Paging Channel*): Canal de transporte utilizado no DL e que é sempre transmitido para toda a célula. Canal utilizado quando se desconhece a localização do móvel. Transporta informação de controle;
- **RACH** (*Random Access Channel*): Este canal é utilizado no sentido ascendente e transporta informação de controle do móvel para a rede. Pode também ser utilizado para a transmissão de pequenos volumes de dados em comunicação por pacotes. Este canal necessita estar disponível em toda a área de cobertura da célula;
- **CPCH** (*Common Packet Channel*): Este canal é uma extensão ao RACH, e servirá para transportar pacotes de dados do utilizador para a rede. Embora utilize procedimentos de acesso aleatórios, tem um mecanismo de controle de potência rápido, o que melhora o seu desempenho;
- **DSCH** (*Downlink Shared Channel*): Como o próprio nome indica, este é um canal utilizado no sentido descendente, que pode transportar informação de controle e/ou de dados e poderá ser partilhado por vários utilizadores.

A.4 CANAIS FÍSICOS

Um canal físico corresponde a uma frequência de portadora específica, uma codificação e, no caso do UL, uma fase relativa (0 ou $\pi/2$). Os canais físicos são definidos entre a estação de base e o equipamento móvel e podem ser:

- Canais Comuns;
- Canais Dedicados.

Os canais comuns podem ser utilizados por um ou mais móveis na célula para enviar informação de controlo ou de dados. Os canais dedicados são utilizados apenas por um móvel e poderão ser de controlo ou de dados. A definição e características dos canais dedicados diferem entre os dois sentidos da ligação.

A seguir encontram-se descritos os canais físicos:

- **P-CCPCH** (*Primary Common Control Physical Channel*): Este canal transporta o canal lógico BCH e ambas as direcções. Todos os móveis dentro de uma célula podem desmodular este canal;
- **S-CCPCH** (*Secondary Common Control Physical Channel*): Este canal transporta os canais de transporte PCH e FACH, existindo pelo menos um canal deste tipo numa célula. A existência de mais canais depende da coexistência ou não dos canais PCH e FACH no mesmo canal SCCPCH. Tem um ritmo baixo devido à baixa potência empregue na sua transmissão;
- **PRACH** (*Physical Random Access Channel*): Como o nome indica, este canal transporta informação relacionada com o procedimento de acesso aleatório à rede. Também é utilizado para transportar o RACH;
- **DPDCH** (*Dedicated Physical Data Channel*): Canal dedicado para a comunicação entre uma estação de base e um UE, que é usado para o transporte de dados e informação do canal de transporte DCH
- **DPCCH** (*Dedicated Physical Control Channel*): Canal dedicado para a comunicação entre uma estação de base e um UE, que transporta informação de controlo e informação do canal de transporte DCH;
- **PDSCH** (*Physical Downlink Shared Channel*): Canal que é utilizado para transportar o canal de transporte DSCH;
- **PCPCH** (*Physical Common Packet Channel*): Canal que é utilizado para transportar o canal de transporte CPCH;
- **SCH** (*Synchronization Channel*): Canal de sincronização, usado para efeitos de busca de célula. É formado por um canal primário e um secundário;
- **CPICH** (*Common Pilot Channel*): Canal que está associado à estimação de canal por parte do receptor, para efeitos de recepção coerente e transmite uma única sequência de símbolos pré-definida;
- **AICH** (*Acquisition Indicator Channel*): Canal de indicação de aquisição que é usado para transporte dos indicadores de aquisição de canal, associados ao algoritmo *slotted Aloha*;

- **PICH** (*Paging Indication Channel*): Canal utilizado para transmitir indicadores de *page*. Este canal está sempre associado a um canal S-CCPCH no qual um PCH é mapeado;
- **CSICH** (*CPCH Status Indication Channel*);
- **CD/CA-ICH** (*Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel*): No processo de acesso ao canal é necessário um indicador de sucesso e um de colisão, devido ao algoritmo de contenção associado ao *slotted Aloha*.

Anexo B

PERDAS DE PROPAGAÇÃO

B.1 INTRODUÇÃO

A ferramenta de simulação utilizada no módulo do Nível de Sistema contempla dois modelos com características e aplicabilidades diferentes, dependendo do tipo de ambientes em estudo, nomeadamente o Modelo *Okumura – Hata* utilizado nos ambientes Macrocelular e de Estrutura Hierárquica de Células e o Modelo *Walfish – Ikegami* utilizado no ambiente Real.

B.2 MODELO *OKUMURA – HATA*

O modelo de propagação adoptado para a estimação das perdas de propagação nos ambientes urbano Macrocelular e de Antenas Distribuidas é o modelo COST 231 – HATA [39]. O modelo COST 231 – HATA é uma extensão ao modelo originalmente apresentado pelo modelo *Hata* para frequências até 2GHz. Para calcular as estimativas de perdas de propagação através deste modelo é necessário considerar quatro parâmetros: a frequência f , a distância d entre a estação de base e o móvel, a altura da antena da estação de base h_{Base} e a altura da antena do móvel $h_{Móvel}$. Assim, segundo este modelo, a expressão para a atenuação L_b , para um meio urbano é dada por:

$$L_b = 46.3 + 33.9 \log(f_{[MHz]}) - 13.82 \log(h_{Base[m]}) - a(h_{Móvel[m]}) \\ + (44.9 - 6.55 \log(h_{Base[m]})) \log(d_{[km]}) + C_m$$

Equação B.1: Atenuação para um meio urbano [39].

onde $a(h_{Móvel})$ tem a seguinte expressão:

$$a(h_{Móvel}) = (1.1 \log(f_{[MHz]}) - 0.7) h_{Móvel[m]} - (1.56 \log(f_{[MHz]}) - 0.8)$$

Equação B.2: $a(h_{Móvel})$ [39].

e $C_m = 3dB$, uma vez que é considerado como cenário um centro metropolitano. A aplicabilidade do modelo está restrita às seguintes gamas de valores:

Parâmetros	Valores
Frequência f	1500 a 2000MHz
h_{Base}	30 a 200m
$h_{Móvel}$	1 a 10m
Distância d	1 a 20km

Tabela B.1: Restrições do Modelo COST 231 – *Hata* [39].

B.3 MODELO *WALFISCH - IKEGAMI*

O modelo adoptado para a estimação de atenuação no ambiente Real é o Modelo COST 231 – *Walfisch - Ikegami* [39]. Este modelo permite uma melhor estimativa das perdas de trajecto, pois considera mais informação para descrever o meio urbano envolvente, nomeadamente a altura dos edifícios h_{Roof} , a largura das ruas w , a separação dos edifícios b e a orientação da estrada no que diz respeito ao trajecto de rádio directo φ (é o ângulo de orientação da estrada).

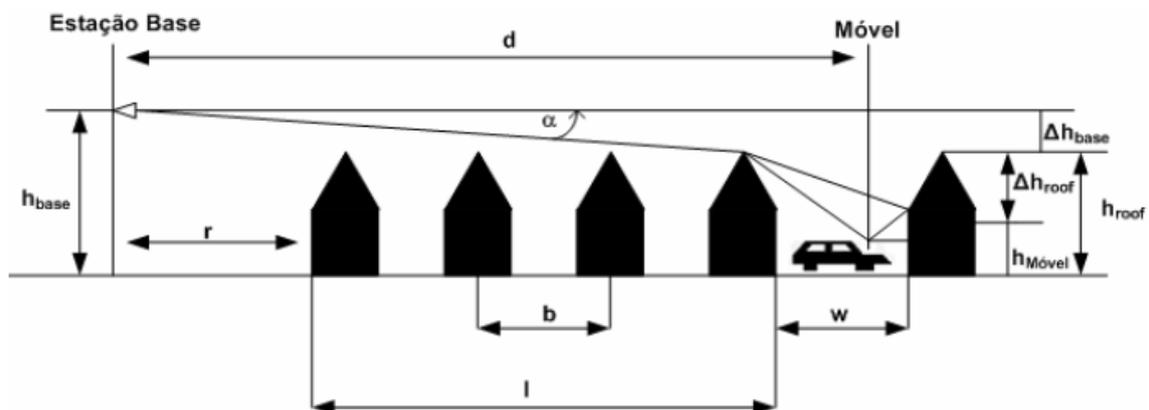


Figura B.1: Definição dos parâmetros do modelo *Walfisch-Ikegami* [39].

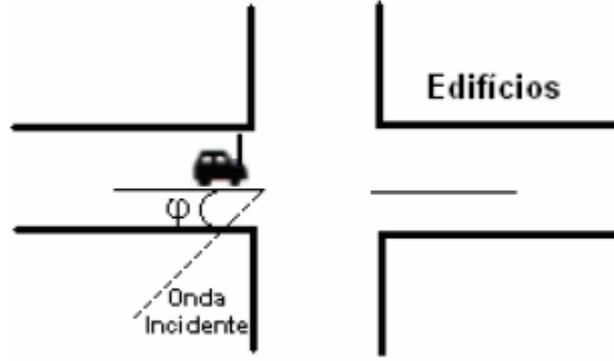


Figura B.2: Definição do ângulo de orientação da estrada (φ) [39].

Este modelo distingue duas situações nomeadamente a existência, ou não, de linha de vista entre o terminal e a estação de base. Neste simulador consideraram-se as duas situações.

Na situação LOS é aplicada uma fórmula simples de perda de propagação diferente da usada para perdas em espaço livre. Para obter esta expressão, o projecto COST 231 baseou-se principalmente em medições efectuadas na cidade de Estocolmo.

$$L_b = 42.6 + 26 \log(d_{[km]}) + 20 \log(f_{[MHz]})$$

Equação B.3: Perda de propagação em situação LOS [39].

em que f é a frequência e d é a distância entre o móvel e a estação de base, onde $d \geq 20m$.

Considerando a situação NLOS, a obtenção da expressão correcta a usar é mais complexa que a situação LOS, pois as perdas de transmissão para estes casos resultam na composição de três termos: perdas em espaço livre L_0 , perda de difracção em múltiplas superfícies L_{msd} , perda de difracção telhado-rua e perda de dispersão representadas por L_{rts} . A expressão é a seguinte:

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd} & \text{para } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_0 & \text{para } L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases}$$

Equação B.4: Perda de propagação em situação NLOS [39].

Sendo a atenuação em espaço livre dada pela expressão:

$$L_0 = 32.4 + 20 \log(d_{[km]}) + 20 \log(f_{[MHz]})$$

Equação B.5: Atenuação em espaço livre [39].

e a atenuação, em [dB], devido ao percurso entre o topo do telhado dos edifícios e o terminal móvel é dada por:

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log(w_{[m]}) + 10 \log(f_{[MHz]}) + 20 \log(\Delta h_{Movel[m]}) + L_{ori}$$

Equação B.6: Atenuação devido ao percurso entre o topo do telhado dos edifícios e o terminal móvel [39].

Sendo:

$$\Delta h_{Movel} = h_{Roof} - h_{Movel}$$

Equação B.7: Diferença entre a altura dos edifícios e a altura do móvel [39].

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354 \cdot \varphi_{[deg]} & \text{para } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi_{[deg]} - 35) & \text{para } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi_{[deg]} - 55) & \text{para } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases}$$

Equação B.8: Atenuação devido à orientação do raio directo com o eixo da rua [39].

em que h_{Movel} representa a altura do móvel e h_{Roof} a altura dos edifícios. A atenuação, em [dB], devido à propagação sobre o topo dos edifícios é dada por:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \cdot \log(d_{[km]}) + k_f \cdot \log(f_{[MHz]}) - 9 \cdot \log(b_{[m]})$$

Equação B.9: Perda de difracção em múltiplas superfícies [39].

onde b representa a separação entre os edifícios e assumindo que:

$$\Delta h_{Base} = h_{Base} - h_{Roof}$$

Equação B.10: Diferença entre a altura da antena do móvel e a altura dos edifícios [39].

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \log(1 + \Delta h_{Base[m]}) & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 0 & \text{para } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases}$$

Equação B.11: Atenuação suplementar devido à posição da estação de base relativamente ao topo dos edifícios [39].

$$k_a = \begin{cases} 54 & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 54 - 0.8 \cdot \Delta h_{Base[m]} & \text{para } d \geq 0.5\text{km e para } h_{Base} \leq h_{Roof} \\ 54 - 0.8 \cdot \Delta h_{Base[m]} \cdot \frac{d_{[km]}}{0.5} & \text{para } d < 0.5\text{km e para } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases}$$

Equação B.12: Factor de correcção da atenuação devido à posição da antena da estação de base [39].

$$k_d = \begin{cases} 18 & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 18 - 15 \cdot \frac{\Delta h_{Base}}{h_{Roof}} & \text{para } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases}$$

Equação B.13: Factor de correcção da distância devido à posição da antena da estação de base [39].

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0.7 \cdot \left(\frac{f_{[MHz]}}{925} - 1 \right) & \text{para cidades médias e zonas suburbanas} \\ -4 + 1.5 \cdot \left(\frac{f_{[MHz]}}{925} - 1 \right) & \text{para centros metropolitanos} \end{cases}$$

Equação B.14: Factor de correcção da frequência devido ao tipo de ambiente [39].

O termo k_a representa o aumento das perdas de trajecto para as antenas da estação de base situadas abaixo do nível do telhado dos edificios adjacentes. Os termos k_d e k_f controlam a dependência das perdas de difracção em múltiplas superficies relativamente à distância e à frequência de rádio, respectivamente.

Tal como o modelo COST 231 – *Hata*, acima abordado, este modelo não pode ser aplicado em todas as situações, tendo então as seguintes restrições:

Parâmetros	Valores
Frequência f	800 a 2000MHz
h_{Base}	4 a 50m
$h_{Móvel}$	1 a 3m
Distância com LOS	0.02 a 5km

Tabela B.2: Restrições do Modelo COST 231 - *Walfisch-Ikegami* [39].

Anexo C

CANAIS DE PROPAGAÇÃO ITU

C.1 INTRODUÇÃO

Nas especificações do 3GPP [46] os testes de desempenho da ligação rádio entre o terminal móvel e a estação de base podem ser definidos segundo um ambiente de propagação “estático” ou um ambiente de propagação multi-percurso. A diferença entre ambos reside no facto de, no ambiente “estático” não existirem multipercursos nem desvanecimento do sinal, sendo o ruído AWGN adicionado ao sinal antes de entrar no receptor.

A Tabela C.1 mostra as condições de propagação para os diversos ambientes de desvanecimento multi-percurso estudados no âmbito desta tese, de acordo com as normas ITU. Todos os multipercursos têm o espectro de *Doppler* clássico. O desvanecimento rápido do sinal é dado pela distribuição de atenuação *Rayleigh*.

<i>Pedestrian B</i>		<i>Vehicular A</i>	
Atraso Relativo [ns]	Potência Média Relativa [dB]	Atraso Relativo [ns]	Potência Média Relativa [dB]
0	0	0	0
200	-0.9	310	-1
800	-4.9	710	-9
1200	-8	1090	-10
2300	-7.8	1730	-15
3700	-23.9	2510	-20

Tabela C.1: Modelos de canal multi-percurso ITU [46].

Para cada um dos casos, a resposta impulsional do canal está baseada num modelo de linha de atraso. Esse modelo é caracterizado pelo número de réplicas, o tempo de atraso do sinal relativo à primeira réplica, a potência média relativa à primeira réplica e o espectro de *Doppler* de cada réplica [47].

Para os diferentes canais de propagação, considerou-se os seguintes valores para o factor de ortogonalidade (α) calculados através da potência média relativa de cada um dos multipercursos (ver Tabela C.2).

Canal de Propagação	Factor de Ortogonalidade (α)
<i>Pedestrian B</i>	0.4
<i>Vehicular A</i>	0.5

Tabela C.2: Factor de ortogonalidade para os diferentes canais de propagação [45].

Anexo D

ESTRUTURA DO CANAL S-CCPCH

D.1 INTRODUÇÃO

O canal físico S-CCPCH é utilizado para transportar o FACH e o PCH. Existem dois tipos de canal S-CCPCH: os que incluem o TFCI (*Transport Format Combination Indicator*) e os que não incluem o TFCI. A rede de acesso rádio decide se um TFCI deve ser transmitido, sendo obrigatório que todos os terminais suportem o uso do TFCI.

A estrutura da trama do canal físico S-CCPCH é apresentada na Figura D.1 [48]:

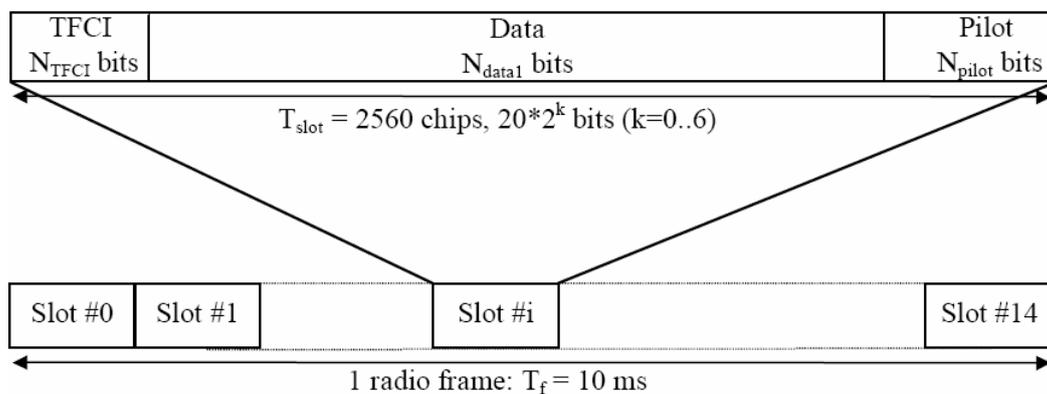


Figura D.1: Estrutura da trama do canal físico S-CCPCH [48].

O parâmetro k , na Figura D.1, determina o número total de *bits* por *slot* do S-CCPCH, encontrando-se relacionado com o factor de espalhamento (SF) do canal físico pela seguinte fórmula:

$$SF = 256/2^k$$

Equação D.1: Factor de espalhamento.

onde k varia de 256 a 4.

O canal S-CCPCH possui vários formatos de *slot*, suportando várias quantidades de informação. Os formatos disponíveis pode ser visualizados na Tabela D.1:

Formato do slot	R_b do canal [kbps]	R_s do canal [ksp/s]	SF	Bits/Frame	Bits/Slot	$N_{inf.1}$	N_{piloto}	N_{TFCI}
0	30	15	256	300	20	20	0	0
1	30	15	256	300	20	12	8	0
2	30	15	256	300	20	18	0	2
3	30	15	256	300	20	10	8	2
4	60	30	128	600	40	40	0	0
5	60	30	128	600	40	32	8	0
6	60	30	128	600	40	38	0	2
7	60	30	128	600	40	30	8	2
8	120	60	64	1200	80	72	0	8*
9	120	60	64	1200	80	64	8	8*
10	240	120	32	2400	160	152	0	8*
11	240	120	32	2400	160	144	8	8*
12	480	240	16	4800	320	312	0	8*
13	480	240	16	4800	320	296	16	8*
14	960	480	8	9600	640	632	0	8*
15	960	480	8	9600	640	616	16	8*
16	1920	960	4	19200	1280	1272	0	8*
17	1920	960	4	19200	1280	1256	16	8*

Tabela D.1: Campos do canal S-CCPCH [48].

O FACH e o PCH podem ser mapeados no mesmo ou em separados canais S-CCPCH. Se o FACH e o PCH forem mapeados no mesmo S-CCPCH, podem ser mapeados na mesma trama.

A principal diferença entre o CCPCH e o DPCH no percurso descendente é que o CCPCH não tem controlo rápido de potência.

* Se os *bits* do TFCI não são usados, então a transmissão descontínua (DTX – *Discontinuous Transmission*) deve ser usada no campo TFCI.

A principal diferença entre o CCPCH primário e o secundário (S-CCPCH) é que o canal de transporte mapeado no CCPCH primário (BCH) só pode ter uma combinação de formato de transporte fixa, enquanto o S-CCPCH suporta múltiplas combinações de formato de transporte usando o TFCL.

O conjunto de ritmos binários possíveis para o S-CCPCH é o mesmo que para o DPCH no percurso descendente. A Tabela D.2 apresenta os ritmos binários no utilizador para o canal S-CCPCH, considerando a modulação QPSK e um ritmo de codificação igual a $\frac{1}{2}$.

SF	R_s do canal [ksp/s] $=W/SF$	R_b do canal [kbp/s] $=R_s*2$	S-CCPCH gama de R_b do canal [kbp/s] S-CCPCH <i>overhead</i>	R_b máximo no utilizador com ritmo de codificação $-\frac{1}{2}$ [kbp/s] $=R_b/2$
256	15	30	10 – 20	5 – 10
128	30	60	30 – 40	15 – 20
64	60	120	64 – 72	32 – 36
32	120	240	144 – 152	72 – 76
16	240	480	296 – 312	148 – 156
8	480	960	616 – 632	308 – 316
4	960	1920	1256 – 1272	628 – 636

Tabela D.2: Ritmos binários no percurso descendente.

Anexo E

RESULTADOS DE SIMULAÇÕES DA TOPOLOGIA REAL

E.1 INTRODUÇÃO

Este anexo apresenta os resultados obtidos para o canal *Vehicular A* 3km/h, segundo o mesmo enquadramento seguido no Capítulo 5, secções 5.2.3.5 e 5.2.3.6.

E.2 ANÁLISE DA COBERTURA E *THROUGHPUT*

Os resultados presentes nesta secção (cobertura e *throughput*) são referentes a um serviço com um BLER de 1%, para ambos os cenários em estudo.

E.2.1 RITMO BINÁRIO PARA *VEHICULAR A 3KM/H*

Nesta secção são apresentados os resultados da cobertura média e do *throughput* médio respeitantes ao canal de propagação *Vehicular A* 3km/h, havendo no total 300 UEs e sem se recorrer a qualquer mecanismo de macro diversidade.

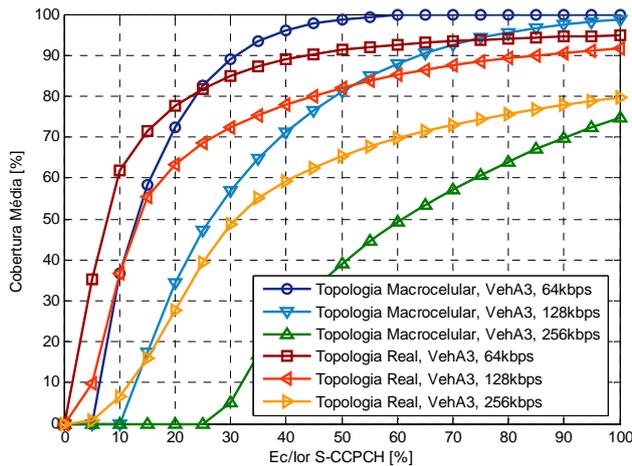


Figura E.1: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH
(VehA3, variação do ritmo binário).

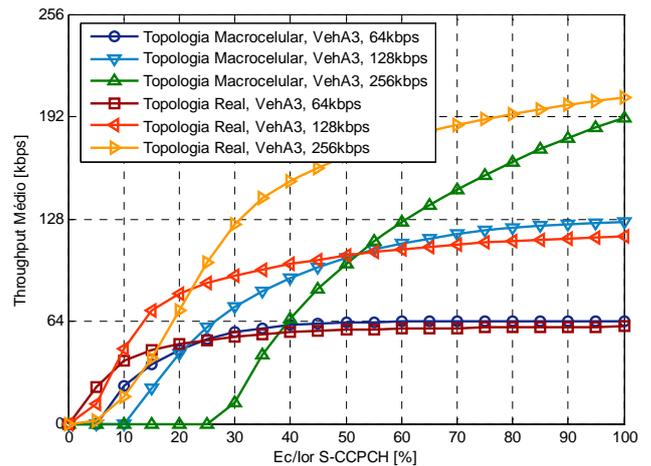


Figura E.2: Throughput Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH
(VehA3, variação do ritmo binário).

E.2.1 MACRO DIVERSIDADE PARA VEHICULAR A 3KM/H

Na Figura E.3 está representada a cobertura média para o canal *Vehicular A* 3km/h, com um ritmo binário de 64kbps, para ambas as topologias Macrocelular e Real e considerando 1, 2 e 3 ligações rádio e na Figura E.4 está representado o *throughput* médio para as mesmas condições.

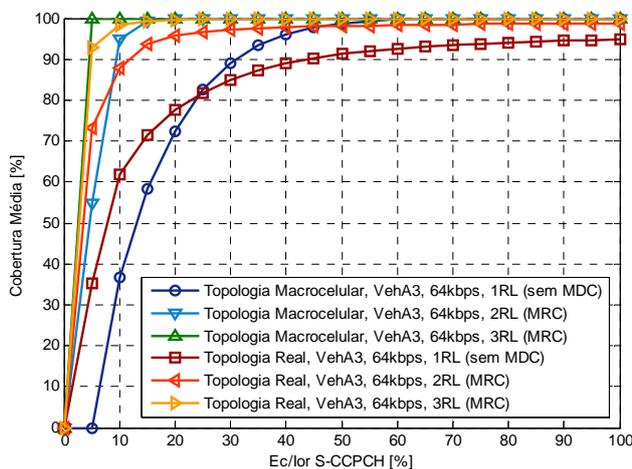


Figura E.3: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH
(VehA3, 64kbps, macro diversidade).

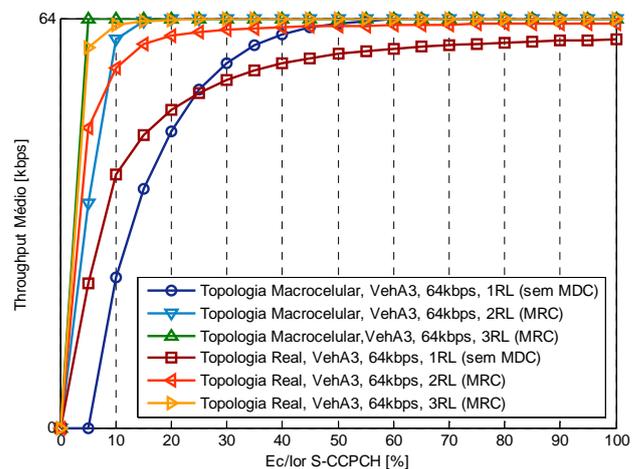


Figura E.4: Throughput Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH
(VehA3, 64kbps, macro diversidade).

Anexo F

RESULTADOS DE SIMULAÇÕES DA TOPOLOGIA HCS

F.1 INTRODUÇÃO

Este anexo apresenta os resultados obtidos para os canais *Pedestrian B* 3km/h e *Vehicular A* 30km/h, segundo o mesmo raciocínio seguido na secção 5.3.3 do Capítulo 5, para o canal *Vehicular A* 3km/h.

F.2 ANÁLISE DA COBERTURA E *THROUGHPUT*

Os resultados presentes nesta secção (cobertura e *throughput*) são referentes a um serviço com um BLER de 1%. Esta secção tem por base as configurações seguidas na secção 5.3.3 do Capítulo 5, nomeadamente no que diz respeito à distância entre DAs e ao canal de propagação para a distância de 125m entre os DAs.

F.2.1 DISTÂNCIA ENTRE DAs E CANAL DE PROPAGAÇÃO

Nesta secção são apresentados os resultados relativos a dois canais de propagação diferentes, nomeadamente *Pedestrian B* 3km/h e *Vehicular A* 30km/h.

F.2.1.1 PEDESTRIAN B 3KM/H

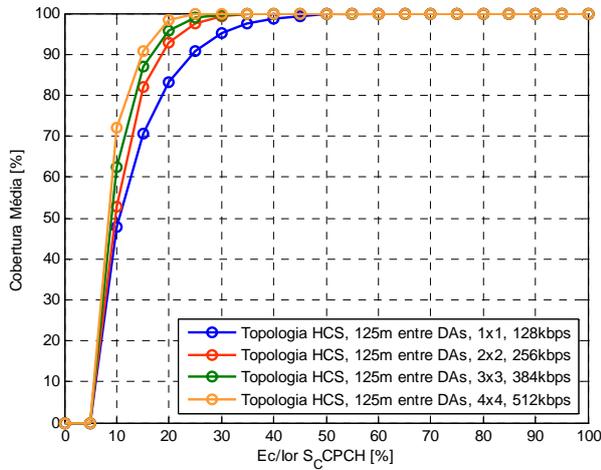


Figura F.1: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB 3km/h, 125m entre DAs).

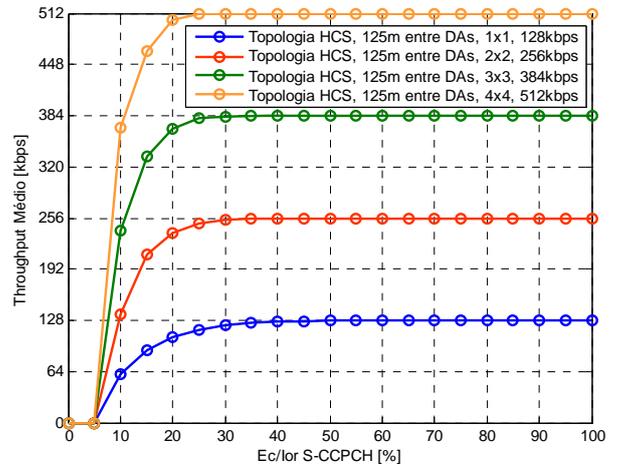


Figura F.2: Throughput Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (PedB 3km/h, 125m entre DAs).

F.2.1.2 VEHICULAR A 30KM/H

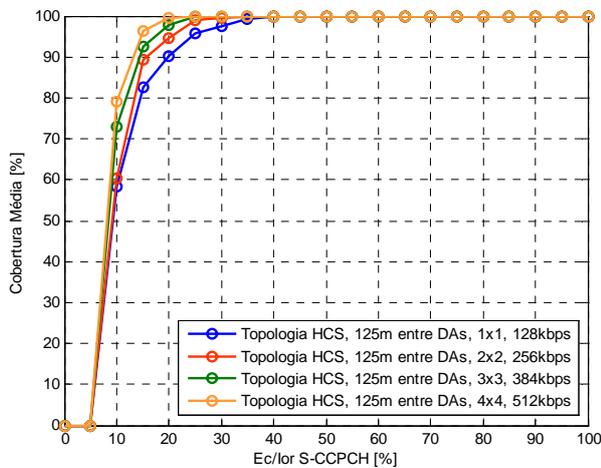


Figura F.3: Cobertura Média vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 30km/h, 125m entre DAs).

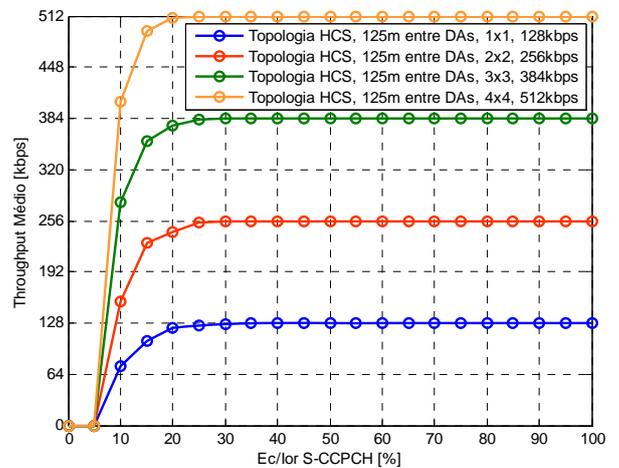


Figura F.4: Throughput Médio vs E_c/I_{or} S-CCPCH (VehA 30km/h, 125m entre DAs).

Anexo G

E-UMTS (*ENHANCED-UMTS*) NA BANDA DOS 2500-2690MHZ

G.1 INTRODUÇÃO

A análise de vários cenários de arranjo de espectro para a distribuição da nova banda dos 2500-2690MHz de acordo com a ITU-R, inclui sete casos diferentes, porém resta saber se um único cenário ou vários deveriam coexistir no futuro.

Neste anexo será investigada a viabilidade do uso do modo FDD do E-UMTS com a tecnologia MIMO para transportar o MBMS e disponibilizar aos vários operadores existentes na banda actual, uma extensão da capacidade assimétrica, sem impacto nos arranjos de frequência existentes.

O objectivo deste anexo é o de escolher e estudar o(s) cenário(s) que disponibilizam os serviços MBMS, com base no modo UTRA FDD e com a tecnologia MIMO, na banda dos 2500-2690MHz, usando os canais *Vehicle A* e *Pedestrian B*.

O MBMS é um serviço unidireccional PtM para entrega de serviços multimédia de elevado ritmo binário, para um grande número de utilizadores móveis. Existem dois modos de operação: *multicast* e *broadcast*.

Os sistemas MIMO oferecem ganhos de diversidade e de multiplexagem e representam um modo económico para aumentar a capacidade do utilizador em vários ambientes. Para se atingirem elevadas taxas de dados em ligações sem fio, a utilização de múltiplas antenas no transmissor e no receptor é uma alternativa que não requer nenhuma largura de banda extra. Esta tecnologia tem o potencial de “tratar” a demanda por serviços sem fio, em particular o MBMS.

No UMTS existem dois modos de interface complementares, para ambientes de rede terrestres: UTRA FDD para áreas de acesso alargado e UTRA TDD para áreas de acesso local de grande densidade de utilizadores.

O modo FDD aplica-se a:

- Ambientes macro e microcelulares (suburbanos e urbanos);
- Acesso simétrico;
- Elevada mobilidade até 384kbps.

Este anexo descreve os aspectos de propagação para a banda dos 2.5GHz, apresenta os cenários propostos para a distribuição dessa banda e descreve o modelo de interferência nos sistemas FDD. Por fim serão mostrados os resultados obtidos, incluindo uma discussão desses e uma breve conclusão dos assuntos discutidos ao longo do anexo.

G.2 ASPECTOS DE PROPAGAÇÃO PARA A BANDA DOS 2.5GHZ

Não existem diferenças significativas entre os mecanismos físicos básicos da propagação rádio de 2.5GHz, comparados com 2GHz. Para fazer o escalamento de uma função contínua na frequência, todos os efeitos como a perda do trajecto, as perdas de difracção, as perdas de penetração de edifícios/paredes, serão escalados como uma função contínua na frequência. As suposições básicas do modelo, relativas à propagação rádio desenvolvidas para a banda dos 2GHz, serão reutilizadas sem haver perda de precisão [38,44]. Comparativamente aos 2GHz, o PL (*Path Loss*) para a banda dos 2.5GHz será maior. Se o modelo *Walfisch-Ikegami* ainda for válido em torno dos 2.5GHz, pode-se calcular o PL adicional do termo dependente da frequência neste modelo, $B \cdot \log_{10}(f)$, onde $B = 33.9$ (é esperado que este valor seja maior para 2.5GHz):

$$\Delta PL = B \cdot \log_{10}(2.5/2.1) = 2.57 \text{ dB}$$

Equação G.1: Variação da perda do trajecto.

As perdas de cabo adicionais para o sinal de 2.5GHz, relativo a um sinal ao redor de 2GHz, ocorrerão nos *Node-B* locais. Estes são tipicamente da ordem de 1...3dB/100m, consoante o tipo e o tamanho do cabo. Para cabos de comprimento até 20m as perdas de cabo adicionais em 2.5GHz estarão na ordem dos 0.3...0.6dB. Estes são os valores usados nos cálculos referidos posteriormente [49].

G.3 CENÁRIOS PROPOSTOS

A análise do uso do UTRA FDD do E-UMTS, para transportar serviços digitais de *broadcast/multicast* usando o MIMO contribuirá para a disseminação de vários resultados do Projecto B-BONE.

Na Tabela G.1 são mostrados os sete cenários possíveis [49]:

Banda Futura				
MHz	2500			2690
Partição	A	B	C	D
Cenário 1	FDD UL (interior)	TDD		FDD DL (interior)
Cenário 2	FDD UL (interior)	FDD DL (exterior)		FDD DL (interior)
Cenário 3	FDD UL (interior)	TDD	FDD DL (exterior)	FDD DL (interior)
Cenário 4	FDD DL (exterior)		TDD	
Cenário 5	TDD		FDD DL (exterior)	
Cenário 6	TDD			
Cenário 7	FDD DL (exterior)			

Tabela G.1: Cenários do plano de espectro para a distribuição na banda dos 2500-2690MHz de acordo com a ITU-R [49].

Neste estudo teve-se em consideração os cenários 2 e 7 uma vez que estes são os únicos cenários que têm em conta o UTRA FDD e porque são os melhores cenários para demonstrar o desempenho do modo FDD.

De seguida estão descritas, de forma sucinta, as principais características dos cenários que vão ser estudados:

- **Cenário 2:** Neste cenário o UTRA FDD é proposto para operar de um modo “intercalado”: as portadoras UTRA FDD UL localizadas na partição A são emparelhadas com as portadoras de DL que estão localizadas na partição D, enquanto que as portadoras FDD nas partições “B+C” assume-se que são emparelhadas com as portadoras FDD UL localizadas dentro da Banda I. Assim existem dois arranjos de frequência distintos para o FDD, dentro da banda dos 2.5GHz, que se designam por “FDD interno” (A+D) ou “FDD externo” (B+C) [49]. Com este cenário podem-se fazer as seguintes observações:
 - Provisão da extensão da capacidade DL para os operadores da Banda I, já existentes;
 - Do ponto de vista do projecto e *roaming* do UE, seria benéfico se as partições A/B+C/D da banda dos 2.5GHz pudessem ser tornadas como base fixa e global se possível;
 - A implementação do UE e do *Node-B*, de acordo com o cenário 2, não requer o desenvolvimento de nenhum conceito de implementação novo;
 - A perda de propagação em 2.5GHz é maior e por essa razão o tamanho das células será menor, com as actuais classes de potência do UE.

Uma portadora de 10MHz que faz a separação entre as bandas “FDD UL interno” e “FDD DL externo” é desejável para alcançar os níveis de protecção de interferência presentes.

- **Cenário 7:** Este cenário visa apoiar a utilização optimizada da banda dos 2500-2690MHz com o objectivo de obter uma melhoria da capacidade para a operação do UTRA na Banda I [49]. Com este cenário podem-se fazer as seguintes observações:
 - A introdução de cada portadora DL adicional de 2.5GHz acrescenta a mesma capacidade DL como uma portadora da banda presente;

- A introdução de cada portadora DL adicional de 2.5GHz aumenta a assimetria do *throughput* alcançável do sistema;
- Parece não haver necessidade de potência que compense a PL de 3dB na portadora de 2.5GHz por razões de cobertura, como existe uma ampla margem para a cobertura DL disponível;
- Enquanto a assimetria do *throughput* for bastante elevada, o UL pode transportar o tráfego adicional para apoiar a portadora de 2.5GHz, sem efeitos adversos no tamanho/cobertura da célula;
- Ganhos significativos da capacidade podem ser efectivamente ganhos através da introdução de portadoras adicionais em 2.5GHz. A máxima relação de assimetria de capacidade realizável é essencialmente limitada pela quantidade de espectro disponível para a operação DL;
- A utilização do VDT (*Variable Duplex Technology*) é um elemento tecnológico essencial na disponibilização desta solução.

G.4 MODELO DE INTERFERÊNCIA FDD

Neste estudo teve-se em consideração o Modelo COST 231 – *Walfish-Ikegami*, apresentado no Anexo B. Como já foi mencionado previamente, este modelo faz a distinção entre as situações LOS e NLOS.

Existem dois cenários críticos de interferência do WCDMA. Um ocorre quando o UE do operador 1 se está a aproximar do *Node-B* do operador 2, situado na extremidade da célula do operador 1, e está a bloquear o *Node-B* uma vez que está a transmitir com toda a potência. O segundo acontece quando o *Node-B* do operador 2 está a transmitir com uma potência elevada, bloqueando assim tudo ao redor do UE do operador 1, numa determinada área, provocando zonas sem cobertura devido à potência excessiva. Pode ser identificada a influência de canais adjacentes uns nos outros como o ACLR (*Adjacent Channel Leakage power Ratio*), dependente do ACS (*Adjacent Channel Selectivity*) e do ACIR (*Adjacent Channel Interference Ratio*). Assumindo os valores de 33dB e 45dB para o ACS e ACIR respectivamente, a função C entre as portadoras pode ser calculada da seguinte forma:

$$C = -10\log(10^{-33/10} + 10^{-45/10})dB = 32.7dB$$

Equação G.2: ACLR entre as portadoras.

Assumindo que para a ligação ascendente, a margem de interferência é de 4dB, e sabendo que:

$$M_i = \frac{I}{P_N}$$

Equação G.3: Margem de interferência.

então $I = 2.5P_N$. Para a ligação ascendente, o nível de ruído é de $P_N = -103.1dBm$, logo $I = -99dBm$. Para a ligação descendente a margem de interferência é de 10dB, logo $P_N = -100.1dBm$ e $I = -90dBm$.

A potência de recepção é dada por:

$$P_r = P_t - L_{total} - C$$

Equação G.4: Potência de recepção.

Na ligação ascendente, para o UE estar em cobertura tem que se verificar $P_t \leq 24dBm$, caso contrário está numa “zona morta”. A potência de recepção na BS, para o UL deve ser $P_r \leq -99dBm$, caso contrário existem zonas com bloqueio.

Para a ligação descendente com MIMO e considerando o canal *Vehicular A*, considera-se $P_t \leq 40dBm$ (BS está a transmitir 50% de 20W) e considerando também a existência de macro diversidade assume-se $P_t \leq 34.77dBm$ (BS está a transmitir 15% de 20W). Para o canal *Pedestrian B* considera-se $P_t \leq 35.4dBm$ (BS está a transmitir 27% de 20W) e tendo em conta a macro diversidade assume-se $P_t \leq 32dBm$ (BS está a transmitir 10% de 20W) [50]. As zonas onde esta condição não ocorrer são “zonas mortas” (*dead zones*). A potência de recepção deve ser $P_r \leq -90dBm$, caso contrário está-se perante uma zona de bloqueio.

Neste estudo considerou-se $R_b = 256kbps$.

G.5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste estudo teve-se por base o campus universitário na área urbana de Lisboa ($2600 \times 2080m^2$), representado na figura que se segue:



Figura G.1: Fotografia aérea da área em estudo.

Na área em estudo considerou-se a existência de vinte e duas estações de base de dois operadores móveis portugueses, que operam em canais adjacentes dentro da mesma área.

Nos gráficos apresentados nesta secção, as zonas a amarelo dizem respeito às zonas com bloqueio e as zonas a castanho representam as “zonas mortas”, ou zonas sem cobertura. Normalmente as zonas de bloqueio ocorrem quando os UEs (operador 1) estão perto dos locais de transmissão do *Node-B* (operador 2), no qual as potências transmitidas podem bloquear a ligação do UE.

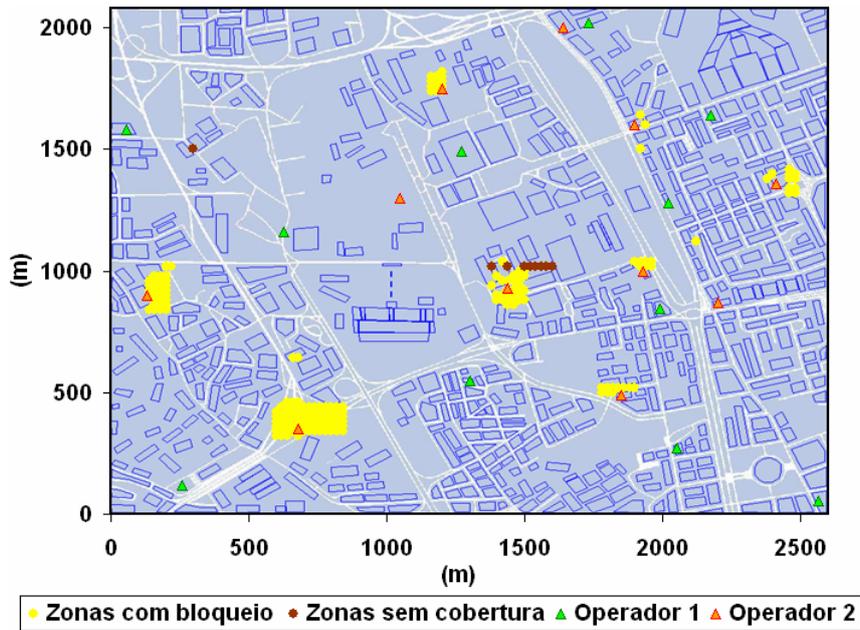


Figura G.2: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 1, *Vehicular A (DL)*.

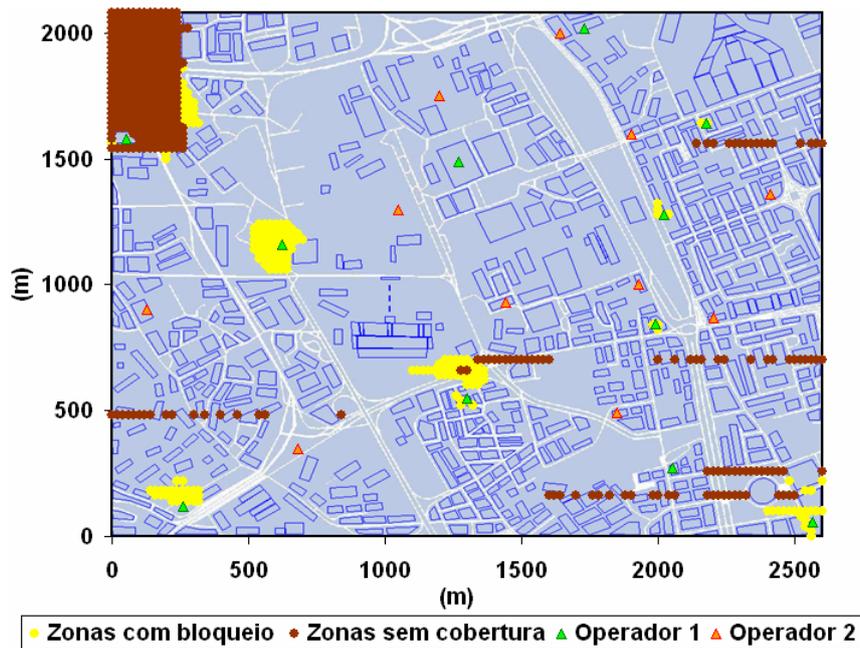


Figura G.3: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 2, *Vehicular A (DL)*.

Comparando os resultados obtidos para o operador 1 e operador 2 constata-se que as zonas com bloqueio e sem cobertura aumentam para o operador 2 face ao operador 1.

Os gráficos abaixo apresentados têm em consideração a existência de macro diversidade. O objectivo da macro diversidade é melhorar o desempenho rádio através

da transmissão da mesma informação por vários percursos distintos de/para o terminal móvel.

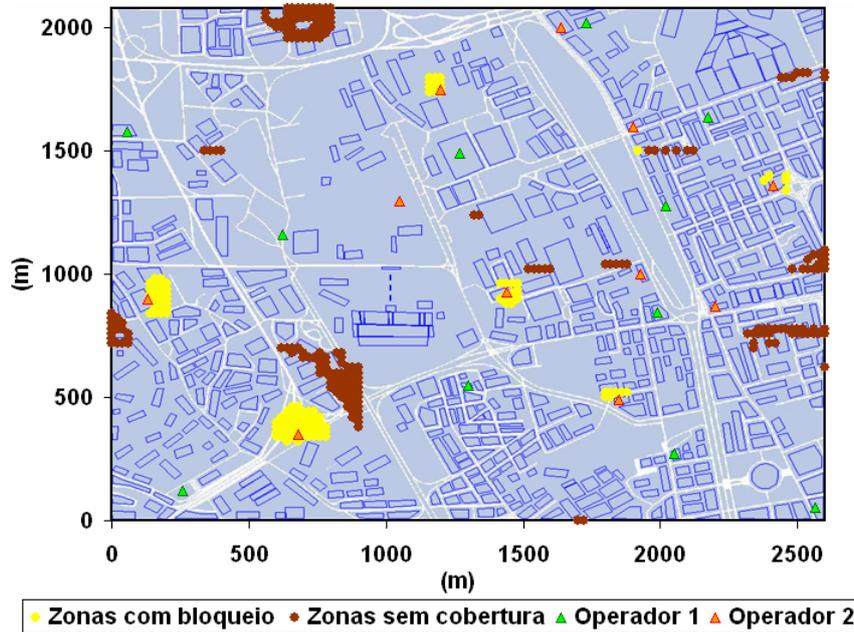


Figura G.4: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 1, *Vehicular A (DL)*, considerando macro diversidade.

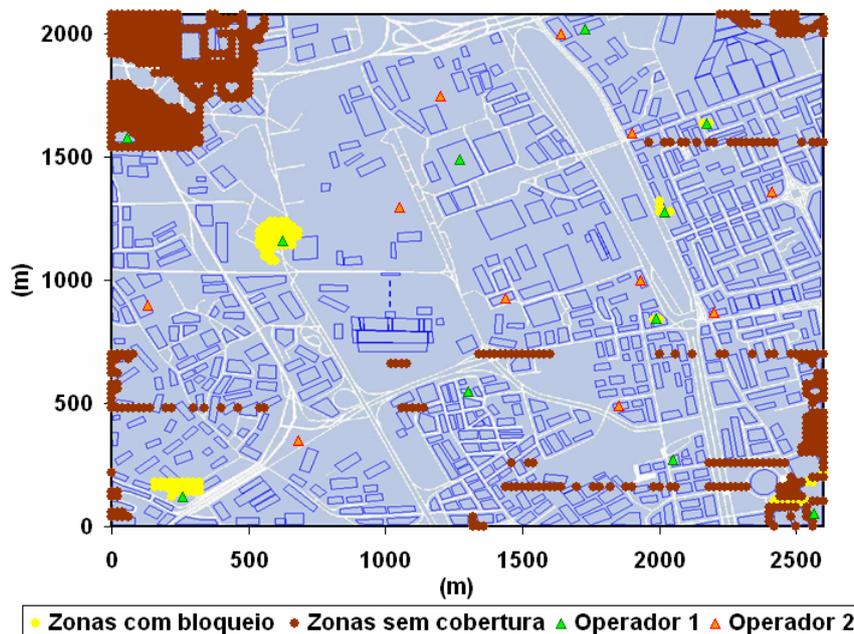


Figura G.5: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 2, *Vehicular A (DL)*, considerando macro diversidade.

Considerando a existência de macro diversidade a potência de transmissão é menor e como tal as zonas com bloqueio diminuem, no entanto as zonas sem cobertura aumentam ligeiramente.

Os gráficos a seguir apresentados são referentes ao canal *Pedestrian B*.

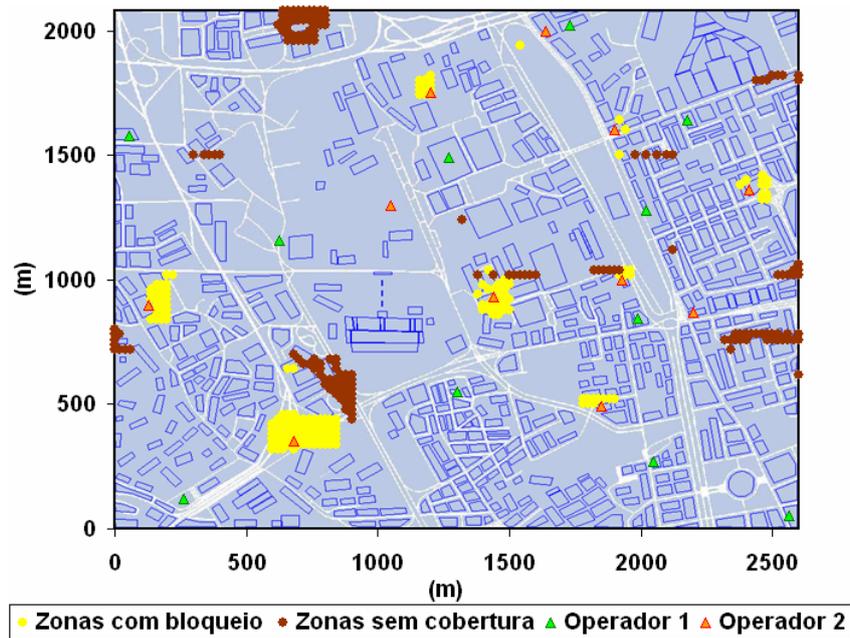


Figura G.6: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 1, *Pedestrian B* (DL).

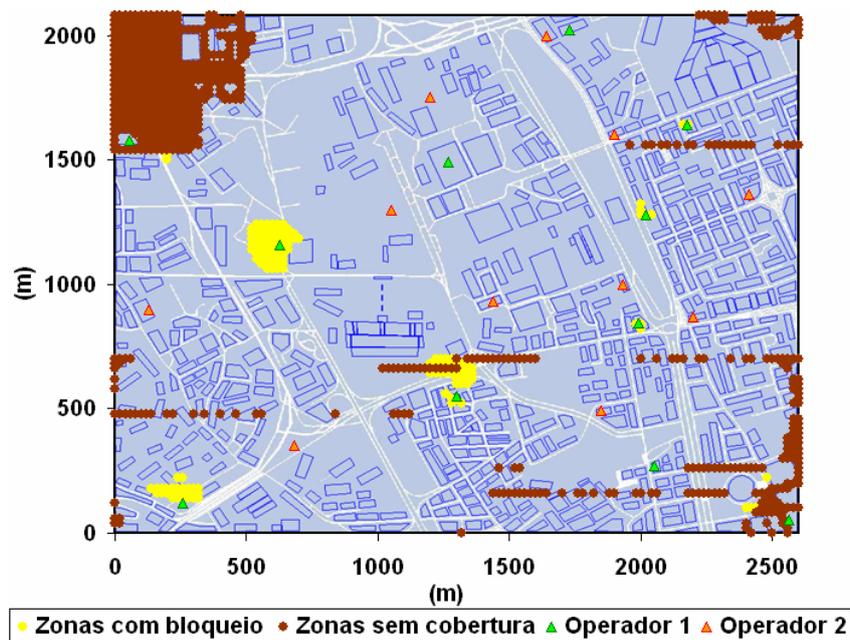


Figura G.7: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 2, *Pedestrian B* (DL).

Os gráficos apresentados a seguir dizem respeito ao canal *Pedestrian B*, considerando macro diversidade.

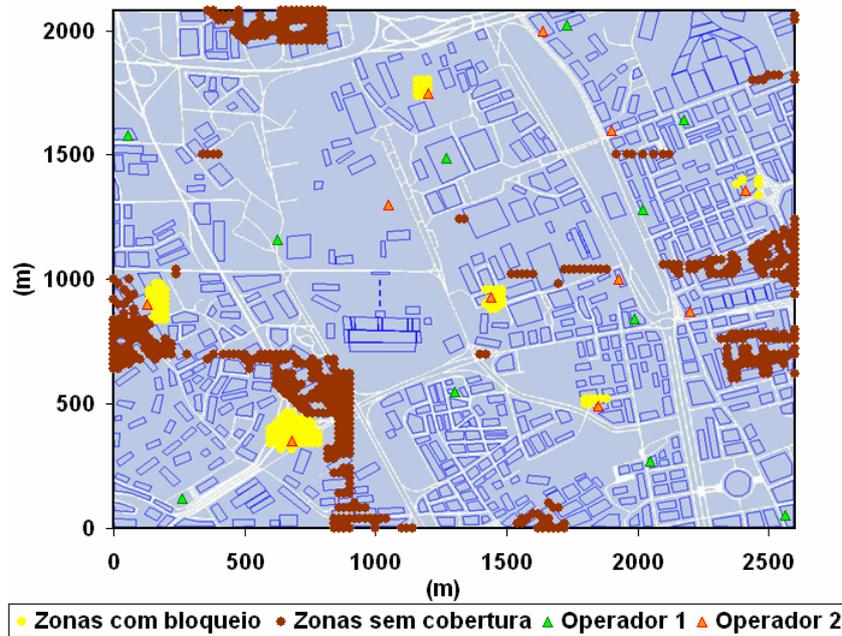


Figura G.8: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 1, *Pedestrian B* (DL), considerando macro diversidade.

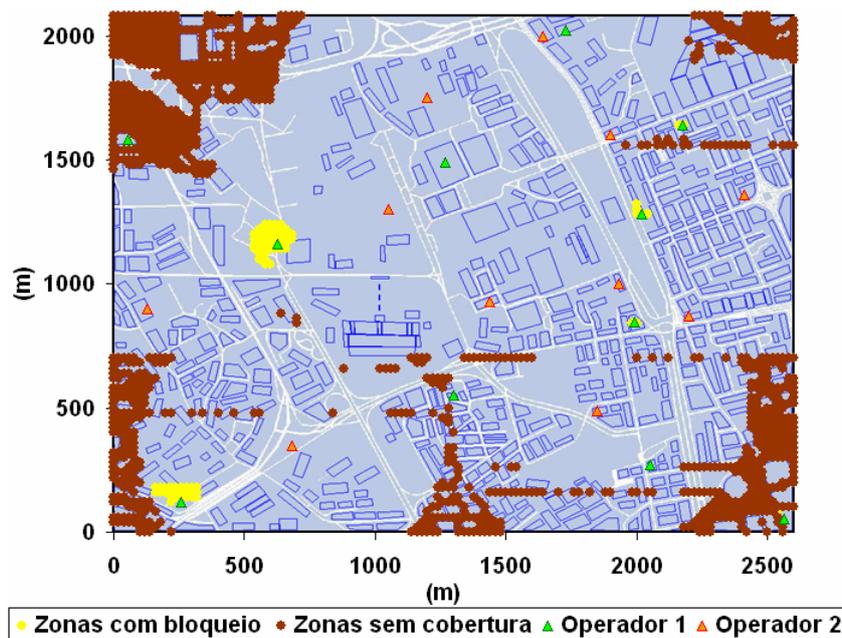


Figura G.9: Zonas com bloqueio e sem cobertura para o operador 2, *Pedestrian B* (DL), considerando macro diversidade.

Para os canais *Vehicular A* e *Pedestrian B* as zonas com bloqueio são idênticas, porém as zonas sem cobertura são maiores no caso do *Pedestrian B* uma vez que a potência de transmissão é menor.

O canal *Vehicular A* é mais apropriado para ambientes macrocelulares e o canal *Pedestrian B* para ambientes microcelulares, onde as estações de base estão mais perto

umas das outras do que no ambiente macrocelular. Em ambientes microcelulares as zonas sem cobertura, ou “zonas mortas”, não são um problema.

Os sistemas MIMO têm uma grande capacidade uma vez que permitem a redução da potência de transmissão para a mesma QoS, logo podem disponibilizar mais serviços MBMS simultâneos.