UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Impacto das Interferências Intra- e Inter-Celulares na Capacidade em UMTS-FDD

Hugo Esteves, nº 49352, AE de Telecomunicações
Mário Pereira, nº 49424, AE de Telecomunicações

LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES
Relatório de Trabalho Final de Curso
057/2005/L

Prof. Orientador: Luís M. Correia

Junho de 2006

Agradecimentos

A todos os que acreditam em mim. Em primeiro lugar aos meus pais, avós e tios pela dedicação e paciência, pelo amor e carinho, pela oportunidade e condições que me foram proporcionadas e que me permitiram chegar até aqui. Agradeço a educação que me foi transmitida e o admirável e incansável esforço feito na preparação do meu futuro.

À minha irmã Ana pelo bom-humor, companhia e diversão de cada dia que me faz desejar estar sempre na sua companhia. À minha prima Neuza pelos sorrisos que me arranca.

À Joana, pela grandiosidade do seu amor, apoio e compreensão em todos os momentos.

A todos os meus amigos pelo apoio, nos bons e maus momentos, pela entreajuda e altruísmo demonstrados, determinantes para se olhar para o lado positivo da vida.

Ao Mário por ter sido o melhor colega de trabalho final de curso que poderia desejar, pela amizade, paciência, dedicação e optimismo.

Ao João Cardeiro e Daniel Sebastião e aos meus colegas do RF2, Pedro e Diana, pela ajuda prestada sem qualquer hesitação e pelas experiências partilhadas. Aos membros do GROW pelas opiniões e reflexões construtivas acerca do trabalho.

Aos engenheiros da Vodafone, Carlos Caseiro, Pedro Lourenço e Marco Serrazina, pela disponibilidade e apoio demonstrado ao longo do trabalho.

Um agradecimento muito especial ao Prof. Luís M. Correia por ter tido a coragem de acreditar em nós, pela dedicação, pelo vasto conhecimento partilhado e pelo profissionalismo que enriqueceu, sem dúvida, a minha vida académica.

O meu muito obrigado, a todos.

Hugo Esteves

Gostaria de agradecer em primeiro lugar ao Prof. Luís M. Correia por todo o apoio, orientação e conhecimento dado ao longo da realização deste trabalho. Ao GROW pela oportunidade da partilha de ideias e pelos comentários que permitiram melhorar este trabalho.

À Vodafone, em especial aos engenheiros Carlos Caseiro, Pedro Lourenço e Marco Serrazina, pelos dados e apoio fornecidos ao longo do ano.

Ao Hugo por ter aceite fazer comigo este trabalho, por todo o apoio dado, amizade e motivação contagiante. Ao João Cardeiro e ao Daniel Sebastião por todos os esclarecimentos dados. Ao Pedro e à Diana por me aturarem no RF2 e pela sua sempre disponibilidade para ajudar.

Aos amigos do CTPL por se mostrarem sempre interessados na evolução do trabalho e pela força extra que me deram.

À minha família, pais, irmã e avó que, sempre presentes, acreditaram em mim e me deram a confiança necessária para conseguir realizar os meus sonhos e que sem eles não tinha conseguido ser a pessoa que sou hoje. À minha Ti Judite por todo o carinho e dedicação que teve comigo ao longo da sua vida. Ao meu tio Joca que, embora longe, sempre acreditou nas minhas capacidades. À minha namorada, Filipa, por ter estado sempre presente e que nas alturas críticas do trabalho me deu a força necessária para erguer a cabeça e lutar até ao fim pelos meus objectivos. Às minhas afilhadas e afilhado pela inspiração dada.

E a todos aqueles que, embora não constem desta lista, sempre me apoiaram e ajudaram na realização deste projecto.

Muito obrigado a todos, sem o vosso apoio não teria conseguido.

Mário Pereira

Resumo

O objectivo deste trabalho é fazer um estudo do impacto da interferência numa rede celular UMTS, no modo FDD.

Para a obtenção dos resultados foi usado um simulador já existente. É constituído por duas parte: uma delas desenvolvida em *MapBasic*, designada *UMTS_Simul*, que cria uma rede UMTS, e outra desenvolvida em C++, denominada *Net_opt*, responsável pelos cálculos do dimensionamento da rede. Esta é criada a partir da localização das estações base e da área onde são colocadas. Nesta rede são gerados vários utilizadores aleatoriamente usando uma aplicação para o efeito, designada *SIM*, também desenvolvida em C++. Cada utilizador gerado está associado a um dos oito serviços disponíveis (voz, vídeo-telefonia, vídeo-*streaming*, *e-mail*, serviços de localização, MMS, *download* de ficheiros e navegação na Internet) originando uma distribuição geográfica não uniforme do tráfego. O utilizador destas aplicações pode alterar alguns dos parâmetros da rede usada, como por exemplo o serviço de referência.

Implementou-se no *software Net_opt* os modelos adequados ao cálculo da interferência intra- e inter-celular na rede. Este cálculo é feito após todo o dimensionamento da rede, sendo os resultados da interferência processados estatisticamente, e posteriormente analisados.

Foram feitas várias simulações, com uma rede UMTS para a cidade de Lisboa, co-localizada com uma rede GSM, variando vários parâmetros da rede de forma a se poder ver qual o impacto que essas condicionantes têm na interferência, e por conseguinte, no sistema. Os parâmetros alterados foram o serviço e o cenário de referência dos utilizadores, o número de portadoras disponíveis no sistema e a percentagem de utilização dos serviços. Também se introduziu, para se aproximar o simulador o mais possível à realidade, o efeito do desvanecimento lento no cálculo da interferência, tendo também esta sido analisada em duas zonas distintas da cidade.

As principais conclusões retiradas deste trabalho são que a razão entre interferências inter- e intra-celulares, *i*, é sempre inferior ao valor 0.65, habitualmente usado para planeamento celular. Verifica-se também que no sentido ascendente da ligação este parâmetro é superior àquele que se verifica no sentido descendente, sendo 0.39 e 0.22 respectivamente. Com a introdução de desvanecimento lento, *i* aumenta, chegando a 0.46 no sentido ascendente. Por outro lado, com a introdução de portadoras no sistema este diminui.

A margem de interferência é sempre inferior a 3 dB, habitualmente usada para o dimensionamento da rede, sendo 1.3 dB e 0.7 dB, para o sentido ascendente e descendente respectivamente, para o cenário pedestre e serviço 128 kb/s. Devem existir margens de interferência diferentes consoante a zona da cidade, havendo uma diferença entre elas de 0.6 dB.

Com as margens obtidas, o raio das células é optimizado, havendo um aumento de 100 m (correspondendo a uma área de 0.5 km^2) para uma zona de baixa densidade de utilizadores, e de 70 m para uma zona de alta densidade, num cenário pedestre e serviço 128 kb/s. Em percentagem verifica-se que o maior aumento ocorre quando o cenário de referência é interior, aproximadamente 13 %.

Palavras-chave

UMTS, WCDMA, FDD, Interferência, Capacidade

Abstract

The goal of this work is to study the interference impact on a UMTS cellular network, in the FDD mode.

An already existing simulator is used, including two parts: one written in MapBasic, called *UMTS_Simul*, which creates the UMTS network, and another one, developed in C++, called *Net_Opt*, responsible for network dimensioning. This network is created with information about the base stations location and the area where they are located. In this network, users are generated randomly using a specific application, called *SIM*, which was also developed in C++. Each user is associated to one of eight available services (voice, video-telephony, video-streaming, e-mail, location-based services, MMS, file download and web browsing) originating a non-uniform traffic geographic distribution. The user of these applications is allowed to change some the network parameters, like the reference service and scenario.

Suitable models to calculate both intra- and inter-cellular interference on the network were implemented on *Net_opt*. This calculation is done after network dimensioning, being the interference results statistically processed and subsequently analysed.

Many simulations were made, using a network for the city of Lisbon, co-located with the GSM one, changing several network parameters, in order to analyse the impact on interference and on the system. The changed parameters were the reference service and scenario, the number of carriers available in the system and the service usage percentage. Slow fading was also introduced on the interference calculation and the interference on two different zones in the city was also analysed.

The main conclusions of this work are that the ratio between inter- and intra-cellular interference, *i*, is always less than 0.65, which is usually used for cellular planning. It is also seen that the value of this parameter is higher in uplink than in downlink, it being 0.39 and 0.22 respectively. However, due to the introduction of slow fading, *i* increases, reaching 0.46 in uplink. On the other hand, by increasing the number of available carriers in the system, *i* decreases.

The interference margin is always less than 3 dB, a value that is commonly used for network dimensioning, reaching 1.3 dB and 0.7, for downlink and uplink respectively, for a pedestrian scenario and a 128 kbps service. Another conclusion is that there is a different interference margin according to the zone in the city, 0.6 dB being the difference between them.

With the obtained margins, the cell radius is optimised, increasing by 100 m (corresponding to a 0.5 km^2 area) in a low user density zone, and a 70 m in a high user density zone, for a pedestrian scenario and a 128 kbps. In percentage, it is seen that the biggest raise occurs when the reference scenario is the indoor one, approximately 13%.

Keywords

UMTS, WCDMA, FDD, Interference, Capacity

Índice

Agradecimentos iii
Resumo v
Palavras-chave v
Abstract vi
Keywords vi
Índice vii
Lista de Figuras ix
Lista de Tabelas xi
Lista de Siglas xv
Lista de Símbolos xvii
1 - Introdução 1
2 - Características Gerais do UMTS 3
2.1 - Serviços e Aplicações 3
2.2 - Interface Rádio 4
2.3 - Arquitectura da Rede 7
2.4 - Aspectos do Planeamento 8
3 - Interferência em UMTS 11
3.1 - Cenários de Interferência 11
3.2 - Interferência Intra-Celular 14
3.3 - Interferência Inter-Celular 15
3.4 - Descrição dos Modelos Utilizados 17
3.4.1 - Interferência Intra-Celular 17
3.4.2 - Interferência Inter-Celular 18
4 - Descrição do Simulador 21
4.1 - Estrutura Geral do Simulador 21
4.2 - Módulo do Cálculo da Interferência 22
4.2.1 - Descrição Geral 22
4.2.2 - Algoritmo 23
4.2.3 - Entrada e Saída 25
4.3 - Aferição 27
5 - Análise dos Resultados 31
5.1 - Ambiente de Referência 31
5.2 - Variação do Serviço de Referência 33
5.3 - Variação do Cenário de Referência 35
5.4 - Variação do Número Máximo de Portadoras 37
5.5 - Variação da Percentagem de Utilização dos Serviços 40
5.6 - Interferência em Diferentes Zonas de Lisboa 42
5.7 - Introdução de Desvanecimento Lento 44

5.8 - Resultados para a Capacidade 46

6 - Conclusões 49

Anexo A - Modelo de Propagação COST 231-Walfisch-Ikegami A.1

Anexo B - Diagrama de Radiação da Antena B.1

Anexo C - Dados Geográficos C.1

Anexo D - Descrição da Versão Anterior do Simulador D.1

Anexo E - Fluxogramas E.1

Anexo F - Expressões e Valores Utilizados no Balanço de Potência F.1

Anexo G - Percentagens Utilizadas para os Diferentes Serviços G.1

Anexo H - Resultados do Ambiente de Referência H.1

Anexo I - Resultados da Variação do Serviço de Referência I.1

Anexo J - Resultados da Variação do Cenário de Referência J.1

Anexo K - Resultados da Variação do Número de Portadoras K.1

Anexo L - Resultados da Variação das Percentagens de Utilização dos Serviços L.1

Anexo M - Resultados para as Diferentes Zonas de Lisboa M.1

Anexo N - Resultados da Introdução de Desvanecimento Lento N.1

Referências Ref.1

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Processo de codificação da informação (retirado de [HoTo04]). 5
Figura 2.2 – Ciclos usados para controlo de potência (retirado de [HALS05]). 6
Figura 2.3 – Arquitectura da rede UMTS (retirado de [Corr05]). 8
Figura 3.1 – Tipos de Interferência em FDD (retirado de [Chen03]). 11
Figura 3.2 – Tipos de Interferência em TDD (retirado de [HoTo04]). 12
Figura 3.3 – Interferência entre FDD e TDD (retirado de [HoTo04]). 13
Figura 3.4 – Efeitos do *soft handover* na interferência no sentido descendente (retirado de [Chen03]). 14
Figura 4.1 – Esquema do simulador 21
Figura 4.2 – Fluxograma geral do algoritmo do cálculo da interferência no sistema. 22
Figura 4.3 – Esquema do teste da interferência intra-celular. 28
Figura 4.4 – Esquema do teste da interferência inter-celular. 29
Figura 4.5 –Aferição do número de simulações. 29
Figura 5.1 – Factor de carga em DL vs. serviço de referência. 33
Figura 5.2 – ΔM vs. serviço de referência. 34
Figura 5.3 – $\bar{i}$ vs. serviço de referência. 34
Figura 5.4 – $\bar{i}$ vs. cenário de referência. 35
Figura 5.5 – Interferência intra e inter-celular em UL vs cenário de referência 36
Figura 5.6 – Factor de carga em UL vs. cenário de referência. 36
Figura 5.7 – ΔM vs. cenário de referência. 37
Figura 5.8 – $\bar{i}$ vs. nº de portadoras. 38
Figura 5.9 – Factor de carga em UL vs. número máximo de portadoras. 38
Figura 5.10 – ΔM vs nº máximo de portadoras. 39
Figura 5.11 – $\bar{i}$ vs. 4 portadoras. 39
Figura 5.12 – $\bar{i}$ vs. percentagem de serviços utilizados. 40
Figura 5.13 – Factor de carga em DL vs. percentagem de serviços. 41
Figura 5.14 – ΔM vs. percentagem de serviços. 41
Figura 5.15 – Criação das zonas de alta e baixa densidade em Lisboa. 42
Figura 5.16 – Comparação da margem de interferência nas duas zonas. 43
Figura 5.17 – Comparação das margens antiga e actual na Zona de Alta Densidade. 44
Figura 5.18 – Comparação das margens de interferência antiga e actual na Zona de Baixa Densidade. 44
Figura 5.19 – $\bar{i}$ vs. desvanecimento lento. 45
Figura 5.20 – Factor de carga em DL vs. desvanecimento lento. 45
Figura 5.21 – ΔM vs. desvanecimento lento. 46
Figura 5.22 – Percentagem de aumento do raio nominal nos vários cenários de referência aplicando novas margens de interferência, no serviço de referência 128 kb/s. 47

Figura A.1 – Representação dos parâmetros de entrada no modelo COST 231-Walfisch-Ikegami (retirado de [Corr05]). A.1
Figura B.1 – Diagrama de radiação da antena. B.1
Figura B.2 – Diagrama de radiação da antena com os 3 sectores. B.1
Figura C.1 – Mapa de Lisboa utilizado com a divisão das várias freguesias. C.1
Figura C.2 – Mapa de Lisboa com as vias principais. C.1
Figura C.3 – Mapa das EBs cedido pela Vodafone. C.2

Figura C.4 – Mapa de Lisboa com os utilizadores gerados. C.2
Figura C.5 – Mapa com os tipos de terrenos considerados. C.3
Figura D.1 – Algoritmo de geração de utilizadores (retirado de [FCXV03]). D.3
Figura D.2 – Mapa de Lisboa com 9000 utilizadores gerados. D.4
Figura D.3 – Mapa de Lisboa com 9000 utilizadores gerados e com a rede inserida. D.5
Figura D.4 – Menu de apresentação dos resultados da simulação. D.6
Figura E.1 – Fluxograma do algoritmo do cálculo da interferência intra-celular em DL. E.1
Figura E.2 – Fluxograma do algoritmo do cálculo da interferência intra-celular em UL. E.2
Figura E.3 – Fluxograma do algoritmo do cálculo da interferência inter-celular em DL. E.3
Figura E.4 – Fluxograma do algoritmo do cálculo da interferência inter-celular em UL. E.4
Figura I.1 – Factor de carga em UL vs. serviço de referência. I.1
Figura I.2 – Interferência em DL vs. serviço de referência. I.1
Figura I.3 – Interferência em UL vs. serviço de referência. I.1
Figura J.1 – Interferência Intra- e Inter-celular em DL vs cenário de referência. J.1
Figura J.2 – Factor de carga em DL vs cenário de referência. J.1
Figura K.1 – Interferência intra e inter-celular em UL vs. número máximo de portadoras. K.1
Figura K.2 – Interferência intra e inter-celular em DL vs. número máximo de portadoras. K.1
Figura K.3 – Factor de carga em DL vs. número máximo de portadoras. K.1
Figura K.4 – Interferência intra e inter-celular em UL vs. portadora. K.2
Figura K.5 – Interferência intra e inter-celular em DL vs. portadora. K.2
Figura K.6 – Factor de carga em DL vs. número máximo de portadoras. K.2
Figura K.7 – Factor de carga em UL vs. número máximo de portadoras. K.3
Figura L.1 – Interferência intra e inter-celular em UL vs. percentagem de serviços utilizados. L.1
Figura L.2 – Interferência intra e inter-celular em DL vs. percentagem de serviços utilizados. L.1
Figura L.3 – Factor de carga em UL vs. percentagem de serviços utilizados. L.1
Figura M.1 – Densidade de TMs em cada freguesia de Lisboa. M.2
Figura N.1 – Interferência em UL vs. desvanecimento lento. N.1
Figura N.2 – Interferência em DL vs. desvanecimento lento. N.1
Figura N.3 – Factor de carga em UL vs. desvanecimento lento. N.1

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Classes de tráfego e suas características (retirado de [Corr05]). 4
Tabela 2.2 – Uso e funcionalidades dos códigos (retirado de [HoTo04]). 5
Tabela 5.1 – Frequências atribuídas para as 4 portadoras na simulação. 31
Tabela 5.2 – Correspondência entre serviços e débitos binários (retirado de [Card05]). 32
Tabela 5.3 – Interferência e *i* médio para ambiente de referência. 32
Tabela 5.4 – Factores de carga e ΔM para ambiente de referência. 32
Tabela 5.5 – Número de utilizadores por número máximo de portadoras. 37
Tabela 5.6 – Densidades de TMs e de EBs nas duas zonas. 43
Tabela 5.7 – Valores do raio nominal resultantes da variação da margem de interferência, para diferentes serviços e cenários de referência. 46

Tabela D.1 – Tipos de terreno considerados pelo gerador (retirado de [FCXV03]). D.1
Tabela F.1 – Valores para alguns parâmetros rádio. F.1
Tabela F.2 – Valores para as margens de desvanecimento, penetração em interiores e ganho de soft/softer *handover*, para vários cenários de utilização. F.2
Tabela F.3 – E_b / N_0 para os diferentes serviços (adaptado de [RFHL03]). F.3
Tabela G.1 – Percentagem de utilização média dos diferentes serviços segundo projecto MOMENTUM. G.1
Tabela G.2 – Percentagem de utilização média dos diferentes serviços na hora de maior utilização do serviço de voz G.1
Tabela G.3 – Percentagem de utilização média dos diferentes serviços numa na hora de maior utilização do serviço de dados. G.1
Tabela H.1 – Margem de interferência média actual e antiga global para ambiente de referência. H.1
Tabela H.2 – Margem de interferência média actual em cada portadora e desvio padrão para ambiente de referência. H.1
Tabela H.3 – Margem de interferência média antiga em cada portadora e desvio padrão para ambiente de referência. H.1
Tabela H.4 – Factor de carga médio actual e antigo global para ambiente de referência. H.1
Tabela H.5 – Factor de carga médio actual em cada portadora e desvio padrão para ambiente de referência. H.1
Tabela H.6 – Factor de carga médio antigo em cada portadora e desvio padrão para ambiente de referência. H.1
Tabela H.7 – Interferências intra e inter-celulares médias global para ambiente de referência. H.2
Tabela H.8 – Interferência intra-celular média em cada portadora para ambiente de referência. H.2
Tabela H.9 – Interferência inter-celular média em cada portadora para ambiente de referência. H.2
Tabela H.10 – $\bar{i}$ actual global para ambiente de referência. H.2
Tabela H.11 – $\bar{i}$ actual em cada portadora para ambiente de referência. H.2
Tabela H.12 – Parâmetros da rede para ambiente de referência. H.2
Tabela I.1 – Margem de interferência média global actual vs. serviço de referência. I.2
Tabela I.2 – Margem de interferência média global antiga vs. serviço de referência. I.2
Tabela I.3 – Margem de interferência média actual em cada portadora vs. serviço de referência. I.2

Tabela I.4 – Margem de interferência média antiga em cada portadora vs. serviço de referência. I.2
Tabela I.5 – Factor de carga médio global actual vs. serviço de referência. I.2
Tabela I.6 – Factor de carga médio global antigo vs. serviço de referência. I.3
Tabela I.7 – Factor de carga médio actual em cada portadora vs. serviço de referência. I.3
Tabela I.8 – Factor de carga médio antigo em cada portadora vs. serviço de referência. I.3
Tabela I.9 – Interferência intra-celular média global vs. serviço de referência. I.3
Tabela I.10 – Interferência inter-celular média global vs. serviço de referência. I.3
Tabela I.11 – Interferência intra-celular média em cada portadora vs. serviço de referência. I.4
Tabela I.12 – Interferência inter-celular média em cada portadora vs. serviço de referência. I.4
Tabela I.13 – $\bar{i}$ médio global vs. serviço de referência. I.4
Tabela I.14 – $\bar{i}$ médio em cada portadora vs. serviço de referência. I.4
Tabela I.15 – Parâmetros da rede vs. serviço de referência. I.5
Tabela J.1 – Margem actual média global vs. cenário de referência. J.1
Tabela J.2 – Margem antiga média global vs. cenário de referência. J.1
Tabela J.3 – Margem de interferência média actual em cada portadora e desvio padrão vs. cenário de referência. J.2
Tabela J.4 – Margem de interferência média antiga em cada portadora e desvio padrão vs. cenário de referência. J.2
Tabela J.5 – Factor de carga médio actual global vs. cenário de referência. J.2
Tabela J.6 – Factor de carga médio antigo global vs. cenário de referência. J.2
Tabela J.7 – Factor de carga médio actual em cada portadora vs. cenário de referência. J.2
Tabela J.8 – Factor de carga médio antigo em cada portadora e desvio padrão vs. cenário de referência. J.3
Tabela J.9 – Interferência inter-celular global vs. cenário de referência. J.3
Tabela J.10 – Interferência intra-celular global vs. cenário de referência. J.3
Tabela J.11 – Interferência inter-celular em cada portadora vs. cenário de referência. J.3
Tabela J.12 – Interferência intra-celular em cada portadora vs. cenário de referência. J.3
Tabela J.13 – $\bar{i}$ global por cenário de referência vs. cenário de referência. J.4
Tabela J.14 – $\bar{i}$ médio em cada portadora vs. cenário de referência. J.4
Tabela J.15 – Parâmetros da rede vs. cenário de referência. J.4
Tabela K.1 – Margem média actual global vs. número máximo de portadoras. K.3
Tabela K.2 – Margem média antiga global vs. número máximo de portadoras. K.3
Tabela K.3 – Margem de interferência média actual em cada portadora e desvio padrão vs. número máximo de portadoras. K.3
Tabela K.4 – Margem de interferência média antiga em cada portadora e desvio padrão vs. número máximo de portadoras. K.4
Tabela K.5 – Factor de carga médio actual global vs. número máximo de portadoras. K.4
Tabela K.6 – Factor de carga médio antigo global vs. número máximo de portadoras. K.4
Tabela K.7 – Factor de carga médio actual em cada portadora vs. número máximo de portadoras. K.4
Tabela K.8 – Factor de carga médio antigo em cada portadora e desvio padrão vs. número máximo de portadoras. K.5
Tabela K.9 – Interferência inter-celular global vs. número máximo de portadoras. K.5
Tabela K.10 – Interferência intra-celular global vs. número máximo de portadoras. K.5
Tabela K.11 – Interferência inter-celular em cada portadora vs. número máximo de portadoras. K.5

Tabela K.12 – Interferência intra-celular em cada portadora vs. número máximo de portadoras. K.6
Tabela K.13 – $\bar{i}$ global por número máximo de portadoras vs. número máximo de portadoras. K.6
Tabela K.14 – $\bar{i}$ médio em cada portadora vs. número máximo de portadoras. K.6
Tabela K.15 – Parâmetros da rede vs. número máximo de portadoras. K.7
Tabela L.1 – Margem actual média global vs. percentagem de serviços utilizados. L.2
Tabela L.2 – Margem antiga média global vs. percentagem de serviços utilizados. L.2
Tabela L.3 – Margem de interferência média actual em cada portadora e desvio padrão vs. percentagem de serviços utilizados. L.2
Tabela L.4 – Margem de interferência média antiga em cada portadora e desvio padrão vs. percentagem de serviços utilizados. L.2
Tabela L.5 – Factor de carga médio actual global vs. percentagem de serviços utilizados. L.2
Tabela L.6 – Factor de carga médio antigo global vs. percentagem de serviços utilizados. L.3
Tabela L.7 – Factor de carga médio actual em cada portadora vs. percentagem de serviços utilizados. L.3
Tabela L.8 – Factor de carga médio antigo em cada portadora e desvio padrão vs. percentagem de serviços utilizados. L.3
Tabela L.9 – Interferência inter-celular global vs. percentagem de serviços utilizados. L.3
Tabela L.10 – Interferência intra-celular global vs. percentagem de serviços utilizados. L.3
Tabela L.11 – Interferência inter-celular em cada portadora vs. percentagem de serviços utilizados. L.4
Tabela L.12 – Interferência intra-celular em cada portadora vs. percentagem de serviços utilizados. L.4
Tabela L.13 – $\bar{i}$ global por cenário de referência vs. percentagem de serviços utilizados. ...L.4
Tabela L.14 – $\bar{i}$ médio em cada portadora vs. percentagem de serviços utilizados. L.4
Tabela L.15 – Parâmetros da rede vs. percentagem de serviços utilizados. L.5
Tabela M.1 – Densidade média de TMs nas freguesias de Lisboa M.1
Tabela M.2 – Margem de interferência média actual e desvio padrão nas duas zonas. M.2
Tabela M.3 – Factor de carga médio actual e desvio padrão nas duas zonas. M.2
Tabela M.4 – Margem de interferência actual em cada portadora nas duas zonas, em DL. M.3
Tabela M.5 – Margem de interferência actual em cada portadora nas duas zonas, em UL. M.3
Tabela M.6 – Factor de carga actual em cada portadora nas duas zonas, em DL. M.3
Tabela M.7 – Factor de carga actual em cada portadora nas duas zonas, em UL. M.3
Tabela M.8 – Margem de interferência média antiga e desvio padrão nas duas zonas. M.3
Tabela M.9 – Factor de carga média antigo e desvio padrão nas duas zonas. M.3
Tabela M.10 – Margem de interferência antiga em cada portadora nas duas zonas, em DL. M.3
Tabela M.11 – Margem de interferência antiga em cada portadora nas duas zonas, em UL. M.4
Tabela M.12 – Factor de carga antigo em cada portadora nas duas zonas, em DL. M.4
Tabela M.13 – Factor de carga antigo em cada portadora nas duas zonas, em UL. M.4
Tabela N.1 – Margem de interferência média global actual vs. desvanecimento lento. N.2
Tabela N.2 – Margem de interferência média global antiga vs. desvanecimento lento. N.2

Tabela N.3 – Margem de interferência média actual em cada portadora vs. desvanecimento lento. N.2
Tabela N.4 – Margem de interferência média antiga em cada portadora vs. desvanecimento lento. N.2
Tabela N.5 – Factor de carga médio global actual vs. desvanecimento lento..... N.2
Tabela N.6 – Factor de carga médio global antigo vs. desvanecimento lento. N.3
Tabela N.7 – Factor de carga médio actual em cada portadora vs. desvanecimento lento. ... N.3
Tabela N.8 – Factor de carga médio antigo em cada portadora vs. desvanecimento lento.... N.3
Tabela N.9 – Interferência intra-celular média global vs. desvanecimento lento. N.3
Tabela N.10 – Interferência inter-celular média global vs. desvanecimento lento. N.3
Tabela N.11 – Interferência intra-celular média em cada portadora vs. desvanecimento lento. N.4
Tabela N.12 – Interferência inter-celular média em cada portadora vs. desvanecimento lento. N.4
Tabela N.13 – $\bar{i}$ médio global vs. desvanecimento lento. N.4
Tabela N.14 – $\bar{i}$ médio em cada portadora vs. desvanecimento lento. N.4
Tabela N.15 – Parâmetros da rede vs. desvanecimento lento. N.5

Lista de Siglas

3G	3ª Geração
3GPP	*3rd Generation Partnership Project*
BER	*Bit Error Ratio*
BHCA	*Busy Hour Call Attempt*
BHD	*Busy Hour Data*
BHV	*Busy Hour Voice*
BLER	*Block Error Ratio*
BoD	*Bandwith on Demand*
BS	*Base Station*
CDMA	*Code Division Multiple Access*
CN	*Core Network*
CS	*Circuit Switching*
DCA	*Dynamic Channel Allocation*
DL	*Downlink*
DS-CDMA	*Direct-Sequence Code Division Multiple Access*
EB	Estação Base
FDD	*Frequency Division Duplex*
FDMA	*Frequency Division Multiple Access*
FER	*Frame Error Ratio*
GGSN	*Gateway GPRS Support Node*
GMSC	*Gateway MSC*
GPRS	*General Packet Radio Service*
GRS-1980	*Geodetic Reference System*
GSM	*Global System for Mobile communication*
HLR	*Home Location Register*
HSDPA	*High Speed Downlink Packet Access*
HSUPA	*High Speed Uplink Packet Access*
IP	*Internet Protocol*
ISDN	*Integrated Services Digital Network*
ME	*Mobile Equipment*
MMS	*Multimedia Messaging Service*
MSC	*Mobile Services Switching Centre*
OVSF	*Orthogonal Variable Spreading Factor*
PS	*Packet Switching*
PSTN	*Public Switched Telephone Network*
QoS	*Quality of Service*
RNC	*Radio Network Controller*
RNS	*Radio Network Subsystem*
SF	*Spreading Factor*
SGSN	*Serving GPRS Support Node*
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIR	*Signal-to-Interference Ratio*
SMS	*Short Message Service*
TDD	*Time Division Duplex*
TDMA	*Time Division Multiple Access*
TM	Terminal Móvel
UE	*User Equipment*
UL	*Uplink*

UMTS	*Universal Mobile Telecommunications System*
USIM	*UMTS Subscriber Identity Module*
UTM	*Universal Transverse Mercator*
UTRAN	*UMTS Terrestrial Radio Access Network*
VLR	*Visitor Location Register*
VoIP	*Voice over IP*
ZAD	Zona de Alta Densidade de TMs
ZBD	Zona de Baixa Densidade de TMs
WCDMA	*Wideband Code Division Multiple Access*

Lista de Símbolos

α	Factor de ortogonalidade dos códigos em DL
α_j	Factor de ortogonalidade dos códigos em DL do utilizador *j*
$\overline{\eta}$	Factor de carga médio
η_{DL}	Factor de carga em DL
η_g	Factor de actividade do serviço *g*
η_{UL}	Factor de carga em UL
ν	Factor de actividade do utilizador
ν_j	Factor de actividade do utilizador *j*
Δf	Largura de banda do sinal
ΔL	Atenuação devido ao desvanecimento lento
Δ_M	Diferença entre $M_{Ant.}$ e $M_{Act.}$
σ	Desvio padrão
$\sigma_{log\text{-}normal}$	Desvio padrão da distribuição estatística log-normal
σ_s	Desvio padrão do desvanecimento lento
ψ	Ângulo de orientação das ruas
λ_{BHCA}	Número médio de chamadas na hora de ponta
a	Factor de decaimento médio da potência com a distância
d	Distância entre emissor e receptor
dim_{pixel}	Dimensão do pixel em metros
dim_x	Dimensão horizontal grelha em número de pixeis
E_b	Energia de bit
$EIRP$	Potência efectiva radiada isotropicamente
f	Frequência
F	Factor de ruído
G	Número total de serviços
G_e	Ganho da antena de emissão
G_P	Ganho de processamento
G_r	Ganho da antena de recepção
G_{SH}	Ganho de *soft/softer handover*
h_b	Altura da EB
H_B	Altura dos edifícios
h_m	Altura do TM
$\overline{i}$	*i* médio
i	Quociente entre as interferências inter- e interferência intra-celular
i_j	Quociente entre as interferências inter- e interferência intra-celular no utilizador j
$\overline{I}$	Interferência média
I_{Inter}^{DL}	Interferência inter-celular em DL
I_{Inter}^{UL}	Interferência inter-celular em UL
I_{Intra}^{DL}	Interferência intra-celular em DL

I_{Intra}^{UL}	Interferência intra-celular em UL
k_a	Factor relativo ao aumento das perdas devido à EB estar abaixo do telhado
k_d	Factor relativo à dependência das perdas de difracção multilâmina com a distância
k_f	Factor relativo à dependência das perdas de difracção multilâmina com a frequência
L_0	Atenuação de espaço livre
L_{bsh}	Atenuação relativa da altura da EB
L_{cu}	Perdas nos cabos/utilizador
$L_{EB \to TM}$	Atenuação de percurso entre EB e o TM
$L_{EB \to TM_i}$	Atenuação de percurso entre EB e o TM_i
L_{int}	Atenuação de penetração em ambiente interior
L_{ori}	Atenuação devido à mudança de orientação do raio
L_p	Atenuação de propagação
L_{pj}	Atenuação de propagação para o utilizador *j*
L_{pTotal}	Atenuação de propagação com margem de desvanecimento lento
L_{tm}	Atenuação provocada pelas difracções e reflexões nos telhados e nas ruas até ao TM
L_{tt}	Atenuação devido às multilâminas
$\overline{M}$	Margem de interferência média
$M_{Act.}$	Margem de interferência calculada com os valores resultantes das interferências intra- e inter-celulares
$M_{Ant.}$	Margem de interferência calculada considerando *i*=0.65
M_{FF}	Margem de desvanecimento rápido
M_I	Margem de interferência
$M_{I_{DL}}$	Margem de interferência em DL
$M_{I_{UL}}$	Margem de interferência em UL
M_{SF}	Margem de desvanecimento lento
N_0	Densidade espectral de ruído
N	Potência de ruído
N_{EB}	Número de EB interferentes
$N_{j,g}$	Número de TMs a utilizar o serviço *g* na célula da EB *j*
$N_{k,g}$	Número de utilizadores com um serviço *g* na célula interferente *k*
n_{pixel}	Número do pixel que o utilizador está associado
N_u	Número de utilizadores na célula
Pb	Probabilidade de bloqueio
Pd	Probabilidade de atraso
$P_{EB \to TM}$	Potência transmitida da EB para o TM
$P_{EB \leftarrow TM}$	Potência recebida pela EB do TM
P_r	Potência de recepção da antena
$P_{R\,min}$	Potência recepção mínima

P_t	Potência de transmissão aos terminais do emissor
$P_{Total,EB}$	Potência total emitida pela EB
P_{Tx}	Potência de transmissão
Puc	Probabilidade de utilizadores não cobertos
r	Distância entre a EB e o TM
R_b	Ritmo binário
R_{bj}	Ritmo binário do utilizador *j*
R_c	Ritmo de *chip*
$r_{j,n}$	Distância do TM *n* à EB da célula *j*
$r_{k,n}$	Distância do TM *n* à EB da célula *k*
w_B	Separação entre edifícios
w_s	Largura das ruas
x_1	Coordenada horizontal do primeiro pixel da grelha BHCA
y_1	Coordenada vertical do primeiro pixel da grelha BHCA

1 - Introdução

As telecomunicações são actualmente indispensáveis ao mundo. As comunicações móveis são agora uma realidade para qualquer pessoa, tornando possível a comunicação em qualquer ponto do mundo. Hoje em dia, os sistemas de **T**erceira **G**eração (3G) de comunicações móveis já são muito utilizados, e vão sendo disponibilizados cada vez mais serviços e melhorada a qualidade dos serviços já existentes, oferecendo-se assim melhores condições aos utilizadores.

No início das comunicações móveis, estas usavam tecnologia analógica. Com o evoluir do tempo e com a passagem de sistemas analógicos para digitais, surge a segunda geração de comunicações móveis. O sistema implementado na Europa e que foi principal responsável pelo grande sucesso das comunicação móveis foi o ***G**lobal **S**ystem for **M**obile Communications* (GSM), usando a tecnologia ***T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess* (TDMA). Este sistema permitiu o aparecimento de novos serviços para além do serviço de voz, com a introdução da tecnologia ***G**eneral **P**acket **R**adio **S**ervice* (GPRS) [HALS05]. Com o aumento da procura de novos serviços de dados que exigem um maior ritmo de transmissão, surge na Europa e Japão o ***U**niversal **M**obile **T**elecommunication **S**ystem* (UMTS), um sistema de 3G, que devido a ter uma maior largura de banda disponível, oferece uma melhor qualidade para os serviços tornando-os mais competitivos e apelativos para o consumidor final [HALS05].

Com o UMTS é alargado o número de possíveis serviços, sendo implementado na sua interface rádio uma nova tecnologia de suporte, completamente diferente da utilizada no GSM, o ***W**ideband **C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess* (WCDMA) [HoTo04]. O WCDMA suporta dois modos de operação, o ***T**ime **D**ivision **D**uplex* (TDD) e o ***F**requency **D**ivision **D**uplex* (FDD).

Em UMTS a operar no modo FDD só existe interferência entre o **T**erminal **M**óvel (TM) e a **E**stação **B**ase (EB) e entre a EB e o TM, não sendo possível a interferência entre duas, ou mais, EBs ou TMs diferentes, pelo facto de se usarem bandas distintas para os dois sentidos de ligações. Em UMTS existem dois tipos de interferências, a intra- e a inter-celular. A interferência intra-celular é a interferência gerada numa célula, sentida e causada tanto pelos TMs ou pela EB dessa célula, enquanto que a interferência inter-celular é originada e sentida ou por TMs ou por EBs, em células adjacentes em relação à célula em questão.

A motivação deste trabalho é o estudo das interferências intra- e inter-celulares no UMTS a operar no modo FDD, e analisar qual o seu impacto na capacidade do sistema. Como em todos os sistemas de comunicações móveis até hoje desenvolvidos existem interferências, e nos futuros estas continuarão a existir, torna-se importante um estudo mais aprofundado sobre o tema. Apesar do UMTS estar já implementado em várias partes do mundo, não existem muitos estudos e conclusões sobre o impacto das interferências nele existentes, pelo que este trabalho poderá ser importante para uma melhor análise desse fenómeno. As interferências encontram-se directamente ligadas ao planeamento de um rede de comunicações móveis, sendo que actualmente se utiliza para UMTS um valor de 0.65 para a razão entre as interferências inter- e a intra-celular, e assume-se uma margem de interferência de 3 dB para o balanço de potência. Com a realização deste trabalho é averiguada a validade destes valores e analisada a sua influência no sistema. O cálculo das interferências num sistema é muito difícil de se efectuar analiticamente, pelo que se recorreu ao uso de simuladores.

Foi utilizado um simulador espacial já existente [Card05], onde foram acrescentados os modelos de cálculo de cada interferência. Os modelos utilizados são diferentes consoante o tipo de interferência e o sentido de ligação, pelo que as interferências são calculadas separadamente. Utilizou-se também um gerador de utilizadores já existente [CaSe04], que

gera distribuições de tráfego não uniformes, onde cada utilizador tem as suas próprias características e que, portanto, tenta aproximar-se o mais possível da realidade.

Com base num ambiente de referência foram, realizadas várias simulações variando as características de uma rede de UMTS para a cidade de Lisboa, co-localizada com uma rede GSM, tais como o serviço e o cenário de referência do utilizador, o número máximo de portadoras utilizadas e a percentagem de utilização dos vários serviços. Analisou-se também o impacto resultante da inclusão de desvanecimento lento e a divisão da cidade em duas zonas distintas no cálculo da interferência.

Embora este trabalho tenha incidido apenas na cidade de Lisboa, o simulador e o gerador de utilizadores podem funcionar para qualquer outra localização pretendida, bastando para tal que exista a informação necessária dessas localizações.

No capítulo 2 faz-se uma breve introdução do sistema em estudo, o UMTS, analisando as suas principais características. Apresentam-se as aplicações e serviços possíveis no UMTS, explica-se o modo de funcionamento da tecnologia de acesso múltiplo que está por detrás do sistema, o WCDMA, enuncia-se a actual arquitectura da rede UMTS, concluindo-se com a referência a aspectos gerais do planeamento da rede.

No capítulo 3 apresenta-se, de um modo mais detalhado, o problema da interferência em UMTS. Apresentam-se os diversos cenários de interferência no sistema nos modos FDD e TDD, assim como entre estes dois. Posteriormente, explica-se mais aprofundadamente as interferências intra- e inter-celulares no modo FDD e os modelos que foram utilizados para o cálculo destas no trabalho.

No capítulo 4 descreve-se com maior detalhe o simulador espacial utilizado. São identificados e descritos os módulos que o compõem, com maior ênfase ao novo módulo introduzido, para cálculo das interferências. São apresentados os dados de entrada e de saída do simulador. É também explicado com detalhe o algoritmo usado para o cálculo das interferências.

No capítulo 5 é introduzido o ambiente de referência e os pressupostos utilizados nas simulações efectuadas, a partir dos quais se modificam alguns dos parâmetros da rede para uma melhor análise do impacto das interferências no sistema em estudo.Neste capítulo são também apresentados os resultados obtidos para cada caso estudado, bem como a sua análise critica.

As principais contribuições deste trabalho são o desenvolvimento de um simulador de uma rede UMTS, onde através da modificação de alguns parâmetros da rede são efectuados os cálculos das interferências intra- e inter-celulares, permitindo uma análise do impacto das interferências na capacidade do sistema. Através dessa análise, permite-se que seja feito um melhor planeamento da rede, verificando-se qual a melhor configuração a implementar para a obtenção de um melhor desempenho desta. Outro aspecto importante realizado neste trabalho é a verificação da existência de duas zonas, com densidades de utilizadores e estações base diferentes, onde se obtêm interferências distintas e que poderá permitir que, no futuro, os valores habitualmente considerados no dimensionamento de uma rede sejam diferentes para cada zona, e assim sendo aproveitar ao máximo a capacidade do UMTS.

2 - Características Gerais do UMTS

Apresentam-se neste capítulo os conceitos básicos do UMTS, introduzindo a tecnologia em questão deste trabalho. Assim, os conceitos seguintes passam pelos serviços e aplicações possíveis no UMTS, pela sua arquitectura de rede, pela tecnologia de suporte (o WCDMA) usada na interface rádio, assim como os aspectos fundamentais de planeamento da rede dando destaque à interferência e capacidade do sistema em estudo.

2.1 - Serviços e Aplicações

A rede UMTS está desenhada, desde o princípio, para permitir, de um modo flexível, a distribuição de qualquer tipo de serviço. Em adição a essa flexibilidade, a solução rádio adoptada pelo UMTS, o WCDMA, introduziu novas capacidades, permitindo assim novos serviços. Entre as características introduzidas destacam-se [HoTo04]:

- taxas altas de transmissão, até 2 Mb/s, segundo o ***3***rd ***G****eneration* ***P****artnership* ***P****roject* (3GPP) *Release* '99, e superior a 10 Mb/s segundo o 3GPP *Release* 5 (na prática, inicialmente até 384 kb/s e superior a 2Mb/s com a *Release* 5);
- diferenciação de qualidade de serviço para uma alta eficiência na distribuição de serviços;
- capacidade para lidar simultaneamente com voz e dados;
- integração e interacção com a rede GSM/GPRS já existente.

Verifica-se presentemente um desenvolvimento das redes *all-IP* onde todos os serviços serão oferecidos por redes de comutação por pacotes (***P****acket* ***S****witch* – PS). O GSM utiliza principalmente serviços comutados por circuitos (***C****ircuit* ***S****witch* – CS), como a voz. Com as especificações 3GPP *Release* '99 e juntamente com acréscimos na rede, novos serviços baseados em PS foram possíveis, embora não houvesse alteração na comutação na voz, ainda por CS. Agora, nas especificações da 3GPP Release 5 e 6, todos os serviços podem ser suportados por redes PS, passando também a voz para o domínio IP (VoIP), simplificando a manutenção da rede assim como a criação de novos serviços.

Existem parâmetros específicos do serviço e parâmetros específicos da comunicação para a caracterização dos serviços disponibilizados. Como exemplo de parâmetros do serviço tem-se o tipo de informação, a direccionalidade da ligação, simetria e dependência temporal, entre outros. Nos parâmetros de comunicação, destacam-se o protocolo de comunicação, de atraso, o modo de comutação e a taxa de erros. Estes parâmetros servem para classificar os diferentes serviços em diferentes classes.

O UMTS introduz um conceito relativamente simples de qualidade de serviço (QoS) que consiste na criação de quatro classes de tráfego, na especificação de atributos de QoS para definir as características de tráfego dessas mesmas classes, e também na definição de prioridades para os diferentes tipos de serviços. As quatro classes principais e respectivas características são:

- classe *conversational* – é caracterizada pelo baixo atraso na comunicação (dado pela percepção humana) e na simetria do tráfego gerado na ligação entre o sentido ascendente (***Up****link* – UL) e descendente (***D****own****l****ink* – DL);
- classe *streaming* – requer largura de banda constante tal como a classe anterior embora tolere algumas variações no atraso; esta tolerância não é prejudicial para o utilizador final pois é ocultada pelo *buffer* na recepção. Os limites na variação do atraso são impostos pela aplicação do utilizador final. O tráfego gerado dentro desta classe é destinada a um destinatário humano e é, por natureza, um transporte fortemente assimétrico e por conseguinte maiores atrasos podem ser toleráveis, contrariamente ao que acontece na classe *conversational*;
- classe *interactive* – descreve o esquema clássico de comunicação de dados, sendo caracterizada por um tempo padrão de resposta ao pedido do utilizador final, que espera

receber a informação pedida dentro de um certo tempo. Dentro desta classe o tráfego é fortemente assimétrico e assim o serviço é mais tolerante a atrasos. No entanto, o conteúdo dos pacotes devem ser transferidos com uma baixa taxa de erros.

- classe *background* – outro esquema clássico de comunicação de dados que assume que o destinatário do serviço não espera receber os dados dentro de um certo tempo, podendo a espera chegar a alguns minutos. Estes tipos de serviço são menos exigentes em relação à QoS, suportando maiores atrasos e apresentando grande assimetria na ligação, sendo utilizada para transferir grandes quantidades de informação, que contudo deve apresentar baixas taxas de erros.

Na Tabela 2.1 apresentam-se as diferentes classes com as suas respectivas características tal como alguns exemplos de serviços. A diferenciação em quatro classes é feita segundo as especificações do 3GPP.

Tabela 2.1 - Classes de tráfego e suas características (retirado de [Corr05]).

Classe de Serviço	***Conversational***	***Streaming***	***Interactive***	***Background***
Tempo-real	Sim	Sim	Não	Não
Simétrico	Sim	Não	Não	Não
Comutação	CS	CS/PS	PS	PS
Ritmo garantido	Sim	Sim	Não	Não
Buffer	Não	Sim	Sim	Sim
Atraso	Mínimo e Fixo	Mínimo e Variável	Moderado e Variável	Grande e Variável
Exemplo	Voz, VoIP, vídeo-conferência	*Vídeo-clip*	*Web-browsing*	*E-mail* e *download* de ficheiros

2.2 - Interface Rádio

A tecnologia de acesso múltiplo na interface rádio usada no UMTS é o WCDMA. Tal como no tradicional CDMA, o espalhamento espectral é a técnica de suporte para o WCDMA apresentando um controlo de canal e de sinalização diferente, maior largura de banda e um conjunto de evoluções futuras que cumprem os requisitos dos sistemas da terceira geração (3G) [HALS05].

De seguida destacam-se os principais aspectos da tecnologia WCDMA [HoTo04]:

- é uma tecnologia de banda larga baseada em ***D**irect **S**equence **C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess* (DS-CDMA), onde os bits são "espalhados" na banda perfazendo aproximadamente 4.4 MHz de largura de banda por portadora, separadas por 5 MHz usando um *chip rate* de 3.84 Mc/s;
- suporta elevados ritmos binários por utilizador, podendo estes ritmos variar de modo a poder obter ***B**andwidth **o**n **D**emand* (BoD), conseguindo assim oferecer melhor qualidade de serviço ao utilizador, embora o ritmo binário apenas se mantenha constante durante cada trama de 10 ms;
- suporta dois modos de operação: o FDD onde portadoras com 4.4 MHz de largura de banda são usadas em UL e em DL, e o TDD onde apenas uma portadora é usada e partilhada no tempo em UL e em DL;
- foi desenhado para funcionar plenamente com a rede GSM existente, possibilitando assim *handovers* entre as duas tecnologias.

Existem estudos de novas técnicas com vista ao melhoramento da interface rádio do WCDMA, no modo FDD, em ambos os sentidos da comunicação, tendo em vista as futuras exigências dos utilizadores e a crescente oferta de serviços. Em DL, o ***H**igh **S**peed **D**ownlink*

***P**acket **A**ccess* (HSDPA) foi introduzido com o intuito de se poder melhorar o desempenho do sistema na transmissão de dados ao utilizador, reduzir os atrasos nas ligações e atingir valores máximos de débito binário mais elevados na transmissão de dados (até 14.4 Mb/s). Além deste melhoramente do modo FDD, outro também está a ser estudado, agora em UL, iniciado no 3GPP *Release* 6, designado ***H**igh **S**peed **U**plink **P**acket **A**ccess* (HSUPA). Esta tecnologia tem como principais objectivos o aumento da capacidade de transmissão de dados da célula e aumentar a cobertura para ritmos binários elevados. Isto é conseguido melhorando o desempenho dos canais de transporte dedicados de UL.

Em relação ao espectro usado no UMTS [HALS05], no modo FDD encontra-se entre as frequências 1920 e 1980 MHz, em UL, e entre as frequências 2110 e 2170 MHz, em DL. No modo TDD o espectro na banda de 1900 a 1920 MHz e na banda de 2010 a 2025 MHz está destinada tanto para UL como para DL.

O WCDMA usa dois códigos na codificação da informação de uma dada fonte, com diferentes propósitos, que introduzem algumas características importantes, como a ortogonalidade e autocorrelação. São eles os *channelisation codes* e *scrambling codes*. As suas principais características e funcionalidades estão sucintamente descritas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Uso e funcionalidades dos códigos (retirado de [HoTo04]).

	Channelisation Code	***Scrambling Code***
Uso em UL	Separação dos canais de dados e de controlo de um terminal	Separação de terminais
Uso em DL	Separação de utilizadores	Separação de células/sectores
Número de códigos	Nº de códigos com um *scrambling code* = *spreading factor*	UL: milhões DL: 512
Spreading	Sim, aumenta a largura de banda	Não, não afecta a transmissão

A informação transmitida por uma única fonte é separada pelo uso do *Channelisation Code*, originando o espalhamento e consequentemente o aumento do ritmo binário e o aumento da largura de banda. O processo de codificação da informação transmitida é ilustrado na Figura 2.1.

Em adição ao espalhamento da informação, o *Scrambling Code* fará a separação de TMs ou de EBs na comunicação. Este processo não altera a largura de banda do sinal e apenas torna os sinais separáveis das diferentes fontes. O *Scrambling*, parte do processo de codificação, também não altera o ritmo de símbolo visto que o *chip rate* já é atingindo no espalhamento, por meio do *Channelisation Code*.

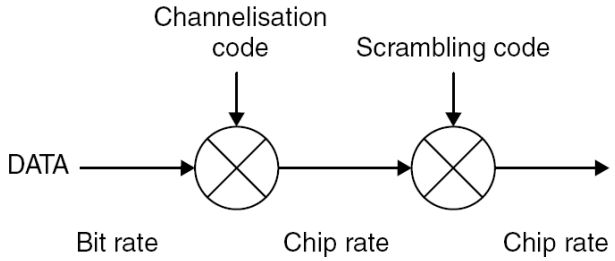


Figura 2.1 – Processo de codificação da informação (retirado de [HoTo04]).

Os *Channelisation Codes* são baseados na técnica ***O**rthogonal **V**ariable **S**preading **F**actor* (OVSF), a qual possibilita que o factor de espalhamento (*Spreading Factor* - SF*)* varie

mantendo a ortogonalidade entre os diferentes códigos de espalhamento de diferentes comprimentos.

No entanto, existem certas restrições no uso de *Channelisation Codes* na transmissão de uma fonte. Um determinado canal pode usar um determinado código da árvore se nenhum outro canal, usando a mesma árvore de códigos, usa um código presente no ramo inferior, ou seja, usando um código com um factor de espalhamento superior. A definição para a mesma árvore de códigos significa que usando um *Scrambling Code* no topo da árvore de códigos OVSF permite que diferentes EBs ou diferentes TMs possam usar as suas árvores de códigos totalmente independentemente uns dos outros [HoTo04].

A organização de canais usada no WCDMA compreende vários tipos de canais [HoTo04]:

- canais lógicos – descrevem o tipo de informação a ser transmitida, normalmente associados a funções de controlo ou de tráfego;
- canais de rádio – associados a portadoras de frequência e obtêm-se por divisão da banda do espectro, sendo nesta categoria que se inserem os canais ascendentes e descendentes, referidos anteriormente;
- canais físicos – transportam através da interface rádio qualquer tipo de informação do sistema dependendo do sentido da comunicação.

Pode-se ainda distinguir os canais consoante o conteúdo da informação que transportam, como os Canais de Tráfego que contêm a informação dos utilizadores (voz, dados, multimédia e outros), e os Canais de Controlo que contêm a informação necessária ao sistema (sinais de sinalização, informação, sincronização e outros). Existem também Canais de Transporte que fazem a interface entre o ***U**ser **E**quipment* (UE) e o ***R**adio **N**etwork **C**ontroller* (RNC).

Como o WCDMA é limitado pela interferência, um controlo de potência eficiente é necessário para o bom desempenho do sistema. As principais razões da utilização deste mecanismo são a diminuição do efeito perto-longe[1], a optimização da capacidade controlando a interferência e maximizar a duração da bateria do TM. Existem os mecanismos de controlo de potência designados por *open loop* e *fast closed loop*, incluindo este último o *inner loop* e o *outer loop* (como descrito em [Chen03], [HALS05]), ilustrados na Figura 2.2.

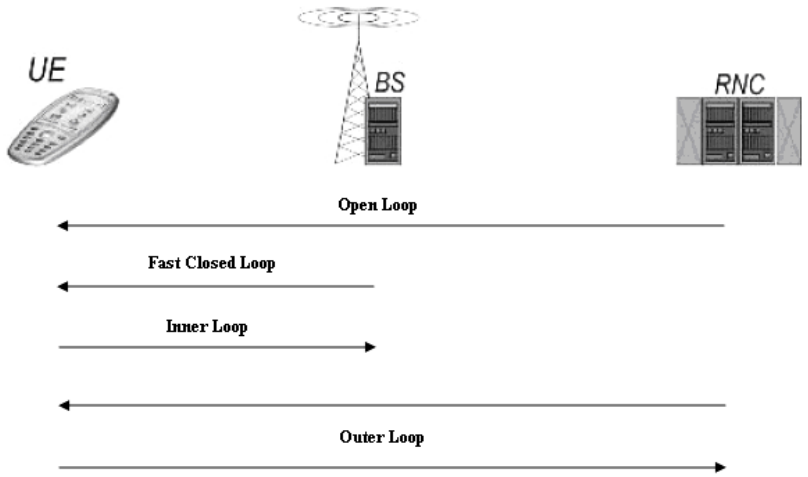


Figura 2.2 – Ciclos usados para controlo de potência (retirado de [HALS05]).

[1] Efeito que se traduz na recepção, por parte da EB, de um sinal com mais potência de um TM que se encontra mais próximo desta o que acaba por ocultar os sinais provenientes dos TMs que se encontram mais afastados dessa mesma EB.

O *open loop* consiste em estimar, por parte do RNC, no início da ligação, a atenuação de percurso de modo a estabelecer um nível de potência adequado, para o TM, à comunicação.

O *fast closed* loop (que inclui o *inner loop* e o *outer loop*) é responsável por controlar a potência transmitida pelo TM ou pela EB de modo a compensar o desvanecimento do canal rádio, sendo este ciclo designado por *inner loop* (efectuado a 1.5 kHz). O *fast closed loop* também é responsável pela comparação entre a ***S**ignal-to-**I**nterference **R**atio* (SIR) recebida e a SIR mínima necessária, estabelecida no *outer loop*, pelo RNC. O *outer loop* é efectuado entre o RNC e a EB, influenciando indirectamente o TM. É responsável pelo ajuste do valor de SIR mínimo necessário, na EB, devido às necessidades da ligação rádio e com vista à obtenção de uma qualidade constante. Esta qualidade está geralmente relacionada com o ***F**rame **E**rror **R**atio* (FER), o ***B**it **E**rror **R**atio* (BER) ou o ***B**lock **E**rror **R**atio* (BLER).

2.3 - Arquitectura da Rede

Os elementos da rede da tecnologia UMTS estão agrupados em três grupos principais. São eles a ***U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess **N**etwork* (UTRAN), encarregando-se das funcionalidades relacionadas com a parte de rádio, a ***C**ore **N**etwork* (CN), que é responsável pela comutação e encaminhamento das chamadas e pelas ligações de dados a redes externas (tais como PSTN, ISDN ou Internet) e o UE que serve de interface entre o utilizador e a interface rádio. Um esquema simplificado da arquitectura da rede está representado na Figura 2.3. O UE e a UTRAN consistem em protocolos completamente diferentes do GSM, de modo a suportar as necessidades da tecnologia rádio usada, o WCDMA. Por outro lado, o CN é adoptado do GSM.

O UE é constituído pelo ***M**obile **E**quipment* (ME), habitualmente conhecido por TM, sendo usado para a comunicação via rádio, e pelo ***U**MTS **S**ubscriber **I**dentity **M**odule* (USIM), responsável pelo armazenamento da identificação do utilizador e pela execução de algoritmos de autenticação necessários no terminal.

A UTRAN pode ser constituída por vários ***R**adio **N**etwork **S**ubsystems* (RNSs), os quais contêm: o RNC, que detém e controla os recursos rádio no seu domínio de acção, e pelo *Node B*, também designado por EB, responsável pela conversão do fluxo de dados entre o UE e a RNC e assegurando também o controlo dos recursos rádio.

A CN é constituída por:

- ***H**ome **L**ocation **R**egister* (HLR) – base de dados que contém os perfis de serviço e verifica a identidade de um utilizador;
- ***M**obile **S**ervices **S**witching **C**entre (MSC)* – responsável pela comutação das ligações que são efectuadas em CS;
- ***V**isitor **L**ocation **R**egister* (VLR) – base de dados temporária que contém uma cópia dos perfis de serviço dos UE visitantes actuais, bem como informação mais precisa da localização do UE no sistema;
- ***G**ateway **MSC*** (GMSC) – participa na administração de mobilidade, na administração de comunicação e nas conexões com redes externas de CS, passando todas as conexões CS pelo GMSC;
- ***S**erving **G**PRS **S**upport **N**ode* (SGSN) – tem funções semelhantes ao MSC/VLR mas essencialmente para serviços de PS;
- ***G**ateway **G**PRS **S**upport **N**ode* (GGSN) – tem uma função muito idêntica ao GMSC mas para serviços de PS.

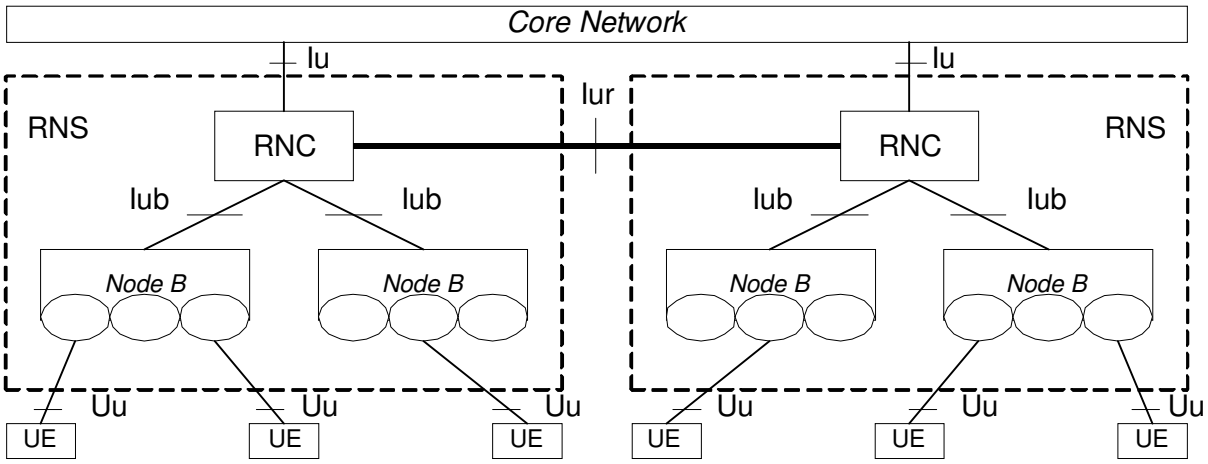


Figura 2.3 – Arquitectura da rede UMTS (retirado de [Corr05]).

A rede UMTS é composta, além dos elementos lógicos, por interfaces que os interligam. As interfaces são:

- Interface Cu – interface eléctrica entre o USIM e o ME;
- Interface Uu – interface de rádio WCDMA por onde o UE acede à parte fixa do sistema, sendo por isso talvez a mais importante interface aberta da rede;
- Interface Iu – responsável pela ligação entre a UTRAN e a CN, permitindo aos operadores a aquisição de elementos de UTRAN e de CN de diferentes fabricantes;
- Interface Iur – apresenta-se como a grande inovação em relação ao GSM pois permite *soft handover* entre RNCs de diferentes RNSs (e não usando apenas a CN como no GSM) e de diferentes fabricantes, complementando assim as funcionalidades da Iu;
- Interface Iub – responsável pela ligação entre *Node B* e o RNC.

Há dois mecanismos principais que são preponderantes na eficiência do UMTS. Estes mecanismos são o rápido e muito eficiente controlo de potência e o *soft/softer handover*. O *Node B* e o RNC são os principais responsáveis por estes dois mecanismos implementados, tendo o UE também um papel importante.

Como já foi referido, a grande inovação apresentada pela interface Iur foi a capacidade de se efectuar, em UMTS, *handovers* ao nível do RNC e não apenas ao nível da CN, como se faz em GSM. Neste caso, os *handovers* são designados por *soft handovers* devido à passagem da ligação de uma EB para outra, mantendo-se a ligação momentaneamente nas duas. Este processo envolve dois canais da interface ar, um para cada EB (podendo ser estendido a mais EBs). Os sinais provenientes do TM são enviados para o nível superior, o RNC, para ser combinado. Durante *soft handover*, duas ligações para controlo de potência entre a EB e o TM são estabelecidas. No entanto, existe outro tipo de *handover*, o *softer handover*, que ocorre quando o TM se encontra nas áreas comuns de cobertura de dois sectores adjacentes numa célula de uma EB. Neste caso a comunicação também se estabelece via dois canais concorrentes da interface ar, um por cada sector. Os dois sinais que chegam à EB são posteriormente combinados na EB. Outra diferença em relação ao *soft handover*, é que apenas é necessária uma conexão de controlo de potência estar activa por cada ligação entre EB e TM.

2.4 - Aspectos do Planeamento

A velocidade do utilizador, o comportamento do canal multipercurso, ritmos binários e o tipo de serviço são ainda mais preponderantes no UMTS do que nas tecnologias de segunda geração, como o GSM, que usam ***T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess* (TDMA)/***F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess* (FDMA). A grande diferença entre o planeamento de um sistema TDMA/FDMA e WCDMA é o facto de ser fundamental a estimação da interferência na fase

de estimação da cobertura. No WCDMA, a sensibilidade da EB depende do número de utilizadores e do ritmo binário quer na célula em questão quer nas células vizinhas. É também relevante o facto de, nas redes 3G, a carga do sistema em DL poder ser superior à carga em UL.

O dimensionamento precisa de cumprir os requisitos do operador em termos de capacidade, cobertura e QoS. O número de utilizadores, o tipo de serviço a que estes acedem e o ritmo binário afectam directamente a capacidade por meio de uma variação da interferência gerada no sistema. Para servir o utilizador com determinada QoS, é necessário que exista um compromisso entre o número de códigos usados na célula e a qualidade pretendida, já que quanto mais códigos estiverem a ser utilizados, maior é a interferência devido à perda da ortogonalidade entre estes. Este fenómeno é o principal problema da utilização de códigos no acesso múltiplo dos utilizadores pois, em condições reais, haverá inevitavelmente perda da ortogonalidade.

Para a contabilização do impacto que a interferência tem na cobertura de uma EB, define-se uma margem de interferência, para limitar o valor máximo do ruído, que depende do factor de carga do sistema (η). Quanto maior é a carga permitida no sistema, maior será a margem de interferência necessária, diminuindo a área de cobertura e influenciando a capacidade. A margem de interferência, quer em UL, quer em DL, é dada por

$$M_{I_{UL,DL}} = -10 \times \log\left(1 - \eta_{UL,DL}\right) \quad \text{[dB]} \tag{2.1}$$

onde η_{UL} e η_{DL} são, respectivamente, o factor de carga de UL (2.2) e de DL (2.3). É necessário fazer distinção entre os dois devido ao facto do tráfego ser maioritariamente assimétrico e de as ligações não se efectuarem da mesma maneira [HoTo04].

$$\eta_{UL} = (1+i) \times \sum_{j=1}^{N_u} \frac{1}{1 + \dfrac{R_c}{(E_b/N_0)_j \times R_{bj} \times \nu_j}} \tag{2.2}$$

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^{N_u} \nu_j \times \frac{(E_b/N_0)_j}{R_c/R_{bj}} \times \left[\left(1-\alpha_j\right) + i_j\right] \tag{2.3}$$

onde:

- N_u é o número de utilizadores na célula;
- i representa o quociente entre as interferências inter- e intra-celulares;
- i_j corresponde ao parâmetro i no utilizador j;
- E_b é a energia de bit;
- N_0 é a densidade espectral de ruído;
- R_c = 3.84 Mc/s é o ritmo de *chip* usado no WCDMA;
- R_{bj} é o ritmo binário do utilizador j;
- ν_j é o factor de actividade do utilizador j;
- α_j é o factor de ortogonalidade dos códigos em DL do utilizador j;

Verifica-se que (2.2) e (2.3) diferem no factor de ortogonalidade devido à diferença na atribuição dos códigos. Este factor contabiliza a influência da propagação multipercurso na ortogonalidade dos códigos. Ambas as equações dependem do serviço através da relação E_b / N_0 e da relação entre os ritmos da ligação e de codificação.

Em UMTS, os utilizadores partilham a potência de transmissão (P_{Tx}) da EB, dada por (2.4), e estando esta limitada a um máximo, poderá ser a EB a limitar a capacidade/cobertura

$$P_{Tx} = \frac{N_0 \times R_c}{1-\overline{\eta_{DL}}} \times \sum_{j=1}^{N_u} \nu_j \times \frac{\left(E_b / N_0\right)_j}{R_C / R_{bj}} \times L_{pj} \tag{2.4}$$

onde L_{pj} é a atenuação de propagação para o utilizador *j*.

Outro factor limitativo do sistema é ao nível do acesso múltiplo. Essa limitação é imposta pelo número de códigos máximo disponível na célula, Tabela 2.2, sendo que este número varia com o número de utilizadores cobertos num determinado instante e também com o débito do serviço pretendido por estes: quanto maior o número de TMs na célula e quanto maior o débito do serviço requerido, menor é o número de códigos disponíveis nessa célula.

3 - Interferência em UMTS

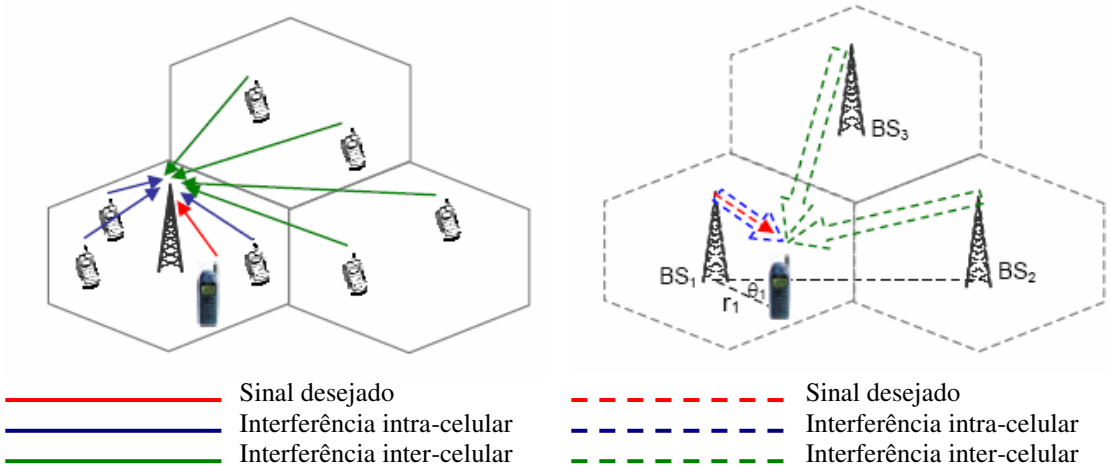
Neste capítulo pretende-se mostrar os diversos cenários onde ocorre interferência, as interferências intra- e inter-celulares, bem como trabalhos desenvolvidos nesta área que apresentam modelos para o cálculo destas.

3.1 - Cenários de Interferência

Os sistemas WCDMA são limitados pela interferência pelo que o estudo da interferência é um procedimento fundamental na análise do UMTS. Em UMTS existe interferência nos modos FDD, TDD e em FDD-TDD (na frequência de 1920 MHz). A interferência intra-celular é a interferência gerada numa célula, sentida e causada tanto pelos TMs ou pela EB dessa célula, enquanto que a interferência inter-celular é originada e sentida ou por TMs ou por EBs, em células adjacentes em relação à célula em questão.

No modo FDD as interferências podem ser causadas pelos TMs nas EBs (UL), e pelas EBs nos TMs (DL) [Chen03], como se ilustra na Figura 3.1. Os cenários possíveis no modo FDD são os seguintes:

- EB→EB: no modo FDD do UMTS não existe interferência entre EBs vistos serem utilizadas frequências diferentes quer para UL como para DL;
- TM→TM: este caso é idêntico ao anterior, sendo virtualmente impossível ocorrer este tipo de interferência já que as bandas de UL e de DL estão separadas de 130 MHz[2], além do facto de se empregar um código único em cada TM que o identifica para a comunicação com a EB;
- TM→EB: neste caso, ilustrado na Figura 3.1 a), a interferência, que está muito relacionada com a distribuição da carga, é causada quer por TMs dentro da célula (interferência intra-celular), quer por TMs servidos por EBs de células adjacentes (interferência inter-celular);
- EB→TM: neste caso, ilustrado na Figura 3.1 b), a EB pode causar interferência num TM, servido por esta, devido à perda parcial da ortogonalidade entre os códigos usados entre os utilizadores da mesma célula, devendo-se este facto ao efeito multipercurso (interferência intra-celular). No entanto, a potência dos sinais das EBs de células adjacentes recebidas no TM também gera interferência neste (interferência inter-celular).



a) Interferência em UL b) Interferência em DL

Figura 3.1 – Tipos de Interferência em FDD (retirado de [Chen03]).

[2] Valor corresponde à separação entre o limite superior da banda de UL e o limite inferior da banda de DL; se se considerar a separação entre a frequência central da banda de UL e de DL, o valor é de 190 MHz.

Uma outra origem de interferência prende-se com o uso de várias portadoras, denominada de interferência de canal adjacente [HoTo04]. Sistemas que disponham de grandes bandas de guarda para separar as frequências adjacentes não são possíveis, devido ao grande desperdício de espectro que isso representaria, não sendo o WCDMA excepção. A interferência de canal adjacente é causada por transmissores não ideais e por filtragem imperfeita na recepção. Porém, esta interferência é limitada pelo desempenho do TM: em UL a principal fonte é a amplificação não linear da potência, e em DL a interferência é originada pela selectividade do receptor. Para evitar tal interferência é preciso empregar no sistema máscaras espectrais eficazes na emissão e receptores com alta selectividade no lado da recepção, tendo isto um grande impacto nas EBs e nos TMs, quer a nível de implementação quer a nível económico.

No modo TDD, ao contrário de FDD, dado que tanto em UL e DL a mesma frequência é partilhada, os sinais provenientes das duas direcções de transmissão podem interferir entre eles. Para evitar essa interferência entre sinais de UL e DL as EBs necessitam estar sincronizadas. A interferência existirá também se a divisão entre UL e DL for diferente em células adjacentes, mesmo quando as EBs estão sincronizadas. Os diversos tipos de interferência, ilustrados na Figura 3.2, são as seguintes [HoTo04]:

- TM→TM: ocorre este tipo de interferência quando MS_2 na Figura 3.2 estiver a transmitir e MS_1 estiver, simultaneamente, a receber na mesma frequência (ou adjacente) em células adjacentes. Este tipo de interferência é estatística, pois os locais dos TMs não podem ser controlados, sendo por isso impossível evitar esta interferência com planeamento da rede;
- EB→EB: este tipo de interferência ocorre quando BS1 na Figura 3.2 está a transmitir e BS_2 está a receber na mesma frequência (ou adjacente) em células adjacentes. Esta interferência depende fortemente da atenuação de percurso entre as duas EBs e portanto pode ser controlada com planeamento da rede;
- TM→EB: a interferência entre um TM e uma EB é igual tanto em TDD como em FDD;
- EB→TM: também neste caso a interferência ocorre de um modo semelhante à ocorrida no modo FDD.

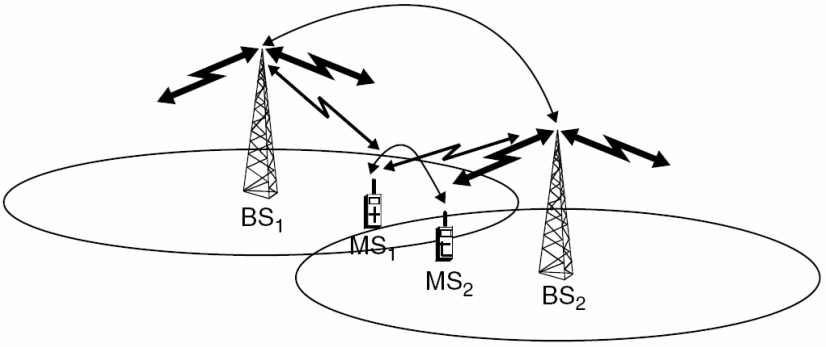


Figura 3.2 – Tipos de Interferência em TDD (retirado de [HoTo04]).

Apesar de ter menos relevância do que as referidas anteriormente, poderá também existir interferência entre os modos FDD e TDD na frequência de 1920 MHz, como representado na Figura 3.3 onde a 1ª banda TDD entre 1900 e 1920 MHz é adjacente à banda de UL de FDD entre 1920 e 1980 MHz. Neste caso, os vários cenários de interferência são [HoTo04]:

- EB em TDD→EB em FDD: do ponto de vista do desdobramento da rede, a co-localização de EBs a funcionar simultaneamente em FDD e TDD parece ser uma alternativa interessante, no entanto, existem problemas devido à proximidade das bandas de frequência. Os requisitos para a filtragem apropriada para a aplicação desta ideia não são considerados como uma solução viável comercial e tecnicamente, olhando à tecnologia actualmente disponível;

- TM em TDD→EB em FDD: este tipo de interferência é semelhante à interferência sentida entre um TM e uma EB em FDD na frequência adjacente. Há no entanto algumas diferenças, tais como, em FDD existe sempre interferência no DL enquanto em TDD-FDD tal interferência não existe visto não haver banda TDD adjacente à banda de DL em FDD;
- TM em FDD→EB em TDD: um TM a operar na banda 1920-1980 MHz pode interferir com uma EB em TDD a operar na banda de 1900-1920 MHz, devido às bandas de TDD e de FDD/UL serem adjacentes;
- TM em FDD→TM em TDD: um TM em FDD operando em 1920-1980 MHz pode interferir na recepção num TM em TDD a operar na banda de 1900-1920 MHz, já que um TM em TDD pode receber na banda adjacente àquela em que um TM em FDD transmite.

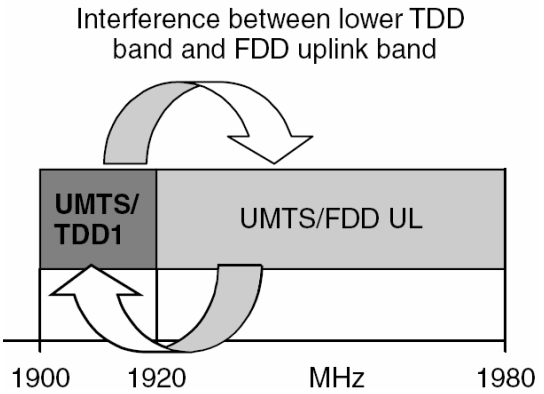


Figura 3.3 – Interferência entre FDD e TDD (retirado de [HoTo04]).

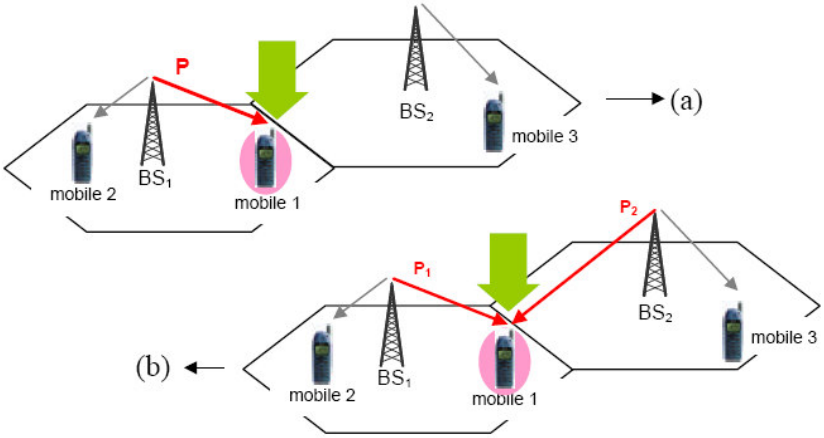
Este trabalho incide apenas no modo FDD, visto ser o único modo a funcionar no sistema actualmente implementado, pelo que a partir de agora o estudo da interferência será sempre neste modo.

O mecanismo de *handover* tem como principais objectivos assegurar a ligação do TM à EB que fornece um melhor sinal para garantir a QoS pretendida, minimizando a interferência no sistema. No entanto, o *soft/softer handover* tem efeitos negativos na interferência em DL [Chen03]. Considera-se uma situação de *soft handover* na Figura 3.4. Num TM (*mobile* 1, Figura 3.4 a)) que não se encontre numa situação de *handover*, apenas um canal com potência P é estabelecido para a comunicação com a EB que lhe dá cobertura. Por outro lado, um TM (*mobile* 1, Figura 3.4 b)) que se encontre numa situação de *handover* irá comunicar com duas EBs simultaneamente, usando dois canais em DL para suportar *soft handover*. Sejam P_1 e P_2 as potências associadas aos canais de BS_1 e BS_2 respectivamente. Assim P_1 actua como interferência intra-celular no TM 2 (*mobil*e 2) e a como inter-celular no TM 3 (*mobile* 3) e P_2 actua como interferência intra-celular no TM 3 e como inter-celular no TM 2.

Comparando os dois casos, verifica-se que o TM 1 (*mobile* 1) contribui com P para a interferência total em DL na situação sem *soft handover* enquanto que numa situação de *soft handover*, este TM contribui com a soma de P_1 e P_2. Este acréscimo da interferência devido ao TM 1 tem influência em todos os outros TMs activos no sistema, tendo estes que ajustar a sua potência devido às alterações na interferência no sistema. Isto, por sua vez, também altera a interferência total recebida pelo TM 1, resultando na alteração de P ou de P_1 e P_2. Este ciclo repete-se até o sistema atingir um novo equilíbrio, tendo para isso o controlo de potência um papel determinante.

O *softer handover* origina os mesmos problemas que o *soft handover* embora ocorra quando o TM se desloca entre dois sectores de uma mesma célula. No entanto, quando o TM sofre, em simultâneo, *soft* e *softer handover*, a interferência gerada causará ainda mais problemas.

Quanto ao *hard handover*, os problemas de interferência causados por este mecanismo não apresentam um grande impacto na rede. Quando um TM se vê obrigado a efectuar um *hard handover*, passando a usar outra portadora, causará interferência nos utilizadores que usam a mesma portadora ou uma portadora adjacente.



(a) – Situação sem handover (b) – Situação com handover

Figura 3.4 – Efeitos do *soft handover* na interferência no sentido descendente (retirado de [Chen03]).

3.2 - Interferência Intra-Celular

Na Figura 3.1a), a interferência intra-celular em UL deve-se à chegada de vários sinais dos vários TMs à EB da mesma célula. Com um controlo de potência perfeito, a potência destes sinais que chegam à EB será igual, sendo assim a distribuição da carga no sistema o principal factor para este tipo de interferência. Em DL, ilustrada na Figura 3.1b), esta interferência tem origem na EB que serve o TM em questão. A principal causa é a perda de ortogonalidade entre os códigos dos utilizadores devido ao efeito multipercurso.

Existem inúmeros trabalhos nesta área e de seguida referem-se alguns deles. Em [Chen03], encontra-se uma descrição da interferência intra-celular, assim como um modelo para o cálculo desta, em DL. Este modelo contabiliza a potência total de transmissão da EB, o factor de ortogonalidade bem como a atenuação entre a EB e o TM. Utiliza uma distribuição gaussiana para descrever a atenuação devido ao desvanecimento lento mas não considera multi-serviços.

Em [Nigl02], e também no DL, utiliza-se um método para o cálculo da interferência intra-celular considerando a potência total de transmissão da EB, a potência recebida pelo TM, a ortogonalidade entre códigos, a atenuação de percurso e o desvanecimento lento, entre a EB e o TM. No entanto este modelo não considera multi-serviço e usa uma distribuição uniforme dos utilizadores no sistema.

Em [MäSt03] calcula-se a interferência intra-celular em UL tendo em conta as potências dos TMs e o número de utilizadores. Neste trabalho é considerado um controlo de potência perfeito e que se conhece à partida a interferência inter-celular, e após manipulações algébricas, é apresentado um modelo para o cálculo da interferência intra-celular dependendo da inter-celular, do número de utilizadores, do tipo de serviço (ritmo de transmissão) e da E_b/N_0 objectivo. Pelos mesmos autores, em [MäSt04a], apresenta-se novamente um algoritmo analítico para o cálculo da interferência intra-celular, dependente da interferência inter-celular. No entanto, este baseia-se no cálculo da carga gerada entre as células no sistema para se calcular a interferência inter-celular, e a partir desta, calcula-se então a intra-celular.

Em [SKYM03], apresenta-se um modelo de cálculo da interferência intra-celular em DL, para casos de *hard handover*. É tido em conta a potência total transmitida da EB para os TMs da célula, o factor de ortogonalidade e também a atenuação de propagação, sendo

também utilizada uma distribuição log-normal para o desvanecimento lento. Para *soft handover* o modelo é o mesmo mas tem em conta os TMs da célula adjacente que se encontram na região de *handover*.

Em [EGMV05] faz-se a comparação de capacidade entre dois modelos para WCDMA em DL, em que cada um apresenta um modelo para o cálculo da interferência. São usados como parâmetros as potências das EBs para a comunicação com os TMs e os factores de actividade, mas de um modo diferente em cada modelo.

Em [NaSh03], onde é feito um estudo à capacidade e ao tráfego para UMTS utilizando multi-serviços, é descrito um modelo para o cálculo da interferência intra-celular em UL. Considera-se o factor de carga do utilizador, contabilizando também os utilizadores em *soft handover*. No entanto, para o cálculo desta, é necessário saber o valor da interferência total (soma da interferência intra-celular com a inter-celular e outros ruídos recebidos pelo utilizador). É também descrito um modelo para o cálculo da interferência intra-celular em DL (aqui parte integrante da interferência total), que contabiliza a potência média total recebida pelo TM, a atenuação de percurso, a perda de ortogonalidade entre códigos e também a potência do canal de sincronismo, mas não considera desvanecimento lento.

Em [OJDL00] é analisada a capacidade do WCDMA em UL como função do factor *i* (razão entre as interferências inter- e intra-celulares) e é apresentado um modelo para o cálculo da interferência intra-celular em UL que contabiliza a potência dos utilizadores na EB, as perdas de transmissão, o número de utilizadores, a sua distância à EB, o factor de actividade de voz e a largura de banda do sistema. No entanto não considera multi-serviço.

Em [LeGM99] é utilizado um modelo para cálculo da interferência intra-celular em UL, utilizando apenas a distância do TM à EB, a potência do TM, a atenuação de propagação e uma constante dependendo das antenas utilizadas quer nos TMs quer nas EBs. Neste modelo considera-se que todas as células do sistema apresentam a mesma carga, ou seja, que em cada célula existe um número fixo de utilizadores e não é considerado qualquer tipo de desvanecimento.

Em [Nguy05] é apresentado um modelo para o cálculo da densidade de interferência intra-celular, para um sistema com uma determinada largura de banda, em UL, que tem em conta a potência recebida na EB, o número de utilizadores e o factor de actividade de serviço. Este modelo considera que os utilizadores são distribuídos uniformemente e assume um controlo de potência perfeito.

Em [ZhLi00] é apresentado um modelo para o cálculo da interferência intra-celular em UL, com vista à obtenção do número máximo de utilizadores, em cada classe de serviço, no sistema. Para o cálculo desta são considerados o serviço e o número de utilizadores a usarem esse mesmo serviço. No entanto, é considerado um controlo de potência perfeito e não são contabilizados os efeitos do desvanecimento lento.

3.3 - Interferência Inter-Celular

A interferência inter-celular, em UL, apresentada na Figura 3.1a), deve-se às mesmas razões que na intra-celular, embora as fontes de interferência neste caso sejam os TMs servidos por células adjacentes àquela em que se encontra a EB em questão. Em DL, ilustrada na Figura 3.1b), esta interferência é causada pelas potências recebidas pelo TM das EBs adjacentes daquela que o serve. É devido a este caso que um bom controlo de potência é fundamental para a eficiência do sistema. Outra questão relevante para o acentuar do impacto deste tipo de interferência no sistema prende-se com a sincronização das EBs. No modo FDD as EBs não se encontram sincronizadas, o que prejudica a recepção do sinal proveniente da EB desejada.

Do mesmo modo que foi feito para a interferência intra-celular, de seguida apresentam-se alguns trabalhos que estudam a interferência inter-celular. Em algumas referências encontra-se a interferência inter-celular calculada como uma aproximação,

multiplicando o número de utilizadores numa célula pela interferência média oferecida por esta, que é o mesmo que dizer que qualquer utilizador dentro da célula origina a mesma interferência, independentemente da sua localização. Como exemplo deste tipo de aproximação, é introduzido, em [Parv04], um modelo de cálculo da actual interferência inter-celular, em UL, além de um modelo que também é apresentado em [AHNM01] para o cálculo da interferência média. Porém, este cálculo é indicado para uma análise da interferência em tempo real, o que sugere o uso de um simulador temporal. Na referência [AHNM01], o modelo apresentado contabiliza o número de utilizadores, a atenuação de percurso, o desvanecimento lento, dado por uma distribuição log-normal, e a área da célula, onde os utilizadores são dispostos uniformemente e onde apenas se considera um serviço.

Em [Nguy05] foi feita uma análise da densidade de interferência inter-celular do sistema, em UL, para um sistema com uma determinada largura de banda. O modelo de cálculo assume um perfeito controlo de potência, implicando que a potência recebida pela EB de cada um dos TMs seja igual. São contabilizados para efeitos de cálculo o número de utilizadores, a potência do sinal recebido e o factor de actividade, todos eles referentes a um determinado serviço, além da distribuição dos utilizadores. No entanto, este modelo calcula a interferência inter-celular média por célula, em toda a sua área. Neste modelo é necessário o uso de uma eficiente distribuição de utilizadores na célula. Este modelo introduz a possibilidade da análise da interferência com multi-serviço, evoluído a partir de [AHNM01].

Em [Chen03] encontra-se uma descrição da interferência inter-celular e um modelo para o cálculo desta, em DL. Este modelo contabiliza a potência total de transmissão da EB e a atenuação entre a EB e o TM. Utiliza uma distribuição gaussiana para descrever a atenuação devido ao desvanecimento lento mas não considera multi-serviços. A distância é modelada tendo em conta o ângulo que o TM faz com a EB, ilustrado na Figura 3.1 b), sendo uma forma de traduzir a influência do diagrama de radiação da antena da EB na potência recebida pelo TM.

Também em DL, em [Nigl02], utiliza-se um modelo simples para o cálculo da interferência inter-celular considerando a potência total de transmissão da EB, a atenuação de percurso e o desvanecimento lento, entre a EB e o TM. No entanto, este modelo não considera multi-serviço e usa uma distribuição uniforme dos utilizadores no sistema.

Um algoritmo analítico para o cálculo da interferência inter-celular é apresentado em [MäSt04a], baseado no cálculo da carga gerada entre as células no sistema. Outro modelo que apresenta um modelo analítico para o cálculo da interferência encontra-se em [MäSt04b], que analisa a capacidade em DL, dependente do serviço e da potência recebida pelo TM. Outra abordagem analítica da questão da interferência pode-se encontrar em [FlSS97] embora aqui seja tratado o factor i, não sendo contabilizado o desvanecimento lento.

Um modelo estatístico da interferência inter-celular em DL é desenvolvido em [ChHo02] para a análise da performance dos sistemas CDMA.

Um outro modelo para o cálculo da interferência inter-celular, agora no sentido ascendente, encontra-se em [Wei02]. Aqui é contabilizada a atenuação de percurso, bem como o efeito do controlo de potência.

Em [YYZM03] é apresentado um modelo para o cálculo da interferência inter-celular em UL, onde se contabiliza a potência transmitida pelo TM, as distâncias entre os TMs e as EBs. Consideram-se os sinais com desvanecimento lento, com distribuição log-normal, e mutuamente independentes entre eles, e assume-se que os utilizadores estão uniformemente distribuídos na célula.

Em [LeGM99] é proposto um modelo para o cálculo da interferência inter-celular média em UL, tendo em conta apenas a posição dos TMs e sua potência, considerando que não existe desvanecimento e que em cada célula a carga do sistema está igualmente distribuída, ou seja, existe um número fixo de utilizadores por célula.

Em [WaAC03] é descrito um modelo estatístico para a interferência inter-celular em UL, onde intervêm as potências das EBs e as distâncias dos TMs a estas, a atenuação de propagação e onde o desvanecimento lento é descrito por uma distribuição log-normal e o desvanecimento multi-percurso por uma distribuição de Rayleigh. Neste estudo são considerados diversos serviços, cada um com uma probabilidade de uso, e os utilizadores, por cada classe de serviço, estão uniformemente distribuídos na área em estudo e têm o mesmo ritmo de transmissão.

Em [ZhLi00], inclui um modelo para o cálculo da interferência inter-celular em UL. Para o cálculo desta são considerados, para as células adjacentes, o serviço, o número de utilizadores a usarem esse mesmo serviço e a atenuação de percurso. É considerado um controlo de potência perfeito e não é tido em consideração o desvanecimento lento.

Além destes trabalhos sobre interferência inter-celular, existem outros que contabilizam a interferência global no sistema num sentido, independentemente de ser intra ou inter-celular. Em [HaHS99] encontra-se um modelo muito simples para cálculo da interferência total, quer inter-celular quer intra-celular, em UL, que contabiliza a potência transmitida pelo TM e a atenuação entre este e a EB, contabilizando também o desvanecimento lento e o efeito multipercurso. No entanto este modelo, devido à sua simplicidade, não contabiliza os cenários multi-seviço. A mesma abordagem é encontrada em [Rata02].

3.4 - Descrição dos Modelos Utilizados

Em todos os modelos analisados e descritos nas Secções 3.2 e 3.3, constata-se que existem muitas semelhanças no modo de cálculo da interferência, como por exemplo a potência de transmissão da EB, a potência recebida pelo TM ou pela EB, a atenuação de percurso, no uso do factor de ortogonalidade nos casos em DL e no uso do factor de actividade de um serviço nos casos em UL. As diferenças estão sobretudo relacionadas com os modelos de propagação utilizados e com a distribuição estatística usada para o desvanecimento lento, havendo também diferenças nos parâmetros considerados em cada modelo. Portanto, fez-se uma escolha de acordo com as condições do problema pedido no âmbito do trabalho de maneira a obter-se a melhor estimativa da interferência, tanto para a intra-celular como para a inter-celular. Como no âmbito deste trabalho o simulador usado é um simulador espacial, utilizam-se modelos que não contabilizam o desvanecimento rápido, já que não faz sentido simular os efeitos deste tipo de desvanecimento no tipo de simulador usado, o que não aconteceria se o simulador fosse temporal. Os modelos também assumem que existe um controlo de potência perfeito, ou seja, a potência recebida pela EB de cada TM, a efectuar um determinado serviço, tem o mesmo valor.

3.4.1 - Interferência Intra-Celular

Procurou-se encontrar um modelo que considerasse ambos os sentidos da comunicação. Tal não foi possível, pelo que se optou por fazer uma escolha de modelos diferentes para UL e para DL.

Em DL o factor mais importante para o cálculo da interferência é o factor de ortogonalidade dos códigos, pois quanto mais ortogonais forem os códigos menos interferência existirá. A interferência também apresenta dependência da potência transmitida pela EB e pelas distâncias entre esta e os TMs. O modelo que será usado para o cálculo da interferência intra-celular no sentido descendente, no TM *i*, vem dada por [SKYM03]:

$$I_{Intra,i}^{DL} = \left(P_{Total,EB} - P_{EB \to TM_i}\right) \times \alpha \times L_{EB \to TM_i} \quad [W] \tag{3.1}$$

onde,

$$P_{Total,EB} - P_{EB \to TM_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^{N_u} P_{EB \to TM_j} \tag{3.2}$$

traduz a potência total transmitida para outros TMs que não *i*, sendo $P_{Total,EB}$ a potência total transmitida pela EB para os TMs da célula em questão, $P_{EB \to TM_i}$ é a potência transmitida pela EB para o TM *i* onde se irá calcular a interferência e $P_{EB \to TM_j}$ é a potência transmitida para outro TM *j* dentro da célula, N_u é o número total de TMs dentro da célula, α corresponde ao factor de ortogonalidade, estando compreendido entre 0 (códigos completamente ortogonais) e 1 (ausência de ortogonalidade). $L_{EB \to TM_i}$ é a atenuação de percurso entre a EB e o TM_i.

Em UL os factores que mais influenciam a interferência são as potências transmitidas pelos TMs, bem como as distâncias dos TMs à EB. É utilizado o seguinte modelo para o cálculo da interferência causada por todos os utilizadores na EB da célula *j* [Nguy05]:

$$I_{Intra,j}^{UL} = \sum_{g=1}^{G} P_{EB_j \leftarrow TM} \times \eta_g \times N_{j,g} \quad [W] \tag{3.3}$$

sendo $P_{EB_j \leftarrow TM}$ a potência recebida pela EB *j* do TM, η_g é o factor de actividade do serviço *g* utilizado, $N_{j,g}$ é o número de TMs a utilizarem o serviço *g* na célula da EB *j* e *G* o número total de serviços.

3.4.2 - Interferência Inter-Celular

Do mesmo modo que para o cálculo da interferência intra-celular, utilizam-se modelos para o cálculo da interferência inter-celular que se enquadram no problema pedido e que se aproximam, o mais possível, da realidade. Serão apresentados modelos de cálculo quer para DL bem como para UL, provenientes também de diferentes fontes.

No cálculo da interferência em DL, os factores mais importantes são, as potências transmitidas pelas EBs para o TM e as distâncias entre eles. A fórmula que é utilizada para o cálculo da interferência inter-celular, num TM *i* utilizando um serviço *g* no sentido descendente é [Chen03]:

$$I_{Inter,i}^{DL} = \sum_{j=2}^{N_{EB}} P_{Total,EB_j} \times \alpha \times r_j^{-a} \times 10^{\frac{\Delta L_j}{10}} \quad [W] \tag{3.4}$$

onde P_{Total,EB_j} é a potência total transmitida pela EB *j*, N_{EB} é o número de EBs interferentes, r_j^{-a} corresponde à atenuação de percurso, *a* o factor de decaimento médio da potência com a distância (dependente do modelo de propagação) e ΔL_j representa a atenuação devido ao desvanecimento lento, seguindo uma distribuição estatística com média nula e um certo desvio padrão. Por último, r_j traduz a distância entre a EB interferente *j* e o TM.

No entanto foram efectuadas algumas alterações ao modelo original [Chen03]. Este modelo não contabilizava o factor de ortogonalidade dos códigos e, para se obter valores mais coerentes, adicionou-se este parâmetro representado por *α*. A ortogonalidade dos códigos na inter-celular será sempre inferior ao que é usado na interferência intra-celular, devido ao uso de diferentes códigos pelas EBs. Assim, optou-se por considerar que este valor é metade

daquele que é considerado para a intra-celular, traduzindo-se numa maior ortogonalidade. O modelo [Chen03] também apresenta r_j dependente da distância do TM à EB que o serve e do ângulo que existe entre o TM e a EB e essa EB de referência com a EB interferente, ilustrado na Figura 3.1 b). Neste trabalho, r_j representa uma distância entre a EB interferente e o TM que sente a interferência. A P_{Total,EB_j} neste trabalho também contabiliza os ganhos das antenas de recepção e emissão e r_j^{-a} corresponde à atenuação de propagação segundo o modelo descrito no Anexo A. O diagrama de radiação das antenas encontra-se descrito no Anexo B. Quanto ao desvanecimento lento, representado no modelo original por ΔL_j, é neste trabalho tratado como parte aleatória da atenuação de propagação, característica de cada utilizador, sendo, portanto, sentida neste parâmetro da ligação:

$$L_{pTotal} = L_p + \Delta L \tag{3.5}$$

O valor desta atenuação provocada pelo desvanecimento lento é gerado segundo uma distribuição log-normal, com média nula e desvio padrão a considerar, segundo a distribuição estatística aferida em [Vill04]

Para limitar N_{EB}, existem duas abordagens possíveis: pode-se considerar um ou dois anéis de células interferentes, quando estes estão bem definidos (o que geralmente não acontece nos centros urbanos pois apresentam uma estrutura irregular) ou pode definir-se uma distância a partir da qual se considera que mais nenhuma EB interfere neste, podendo esta ser uma estratégia ideal para centros urbanos. Esta última foi a abordagem usada.

No cálculo da interferência inter-celular em UL, os factores mais relevantes são a potência transmitida pelos TMs de células adjacentes e a distância dos TMs à EB onde se calcula a interferência. A expressão utilizada para calcular a interferência que os TMs de uma célula adjacente provocam na EB da célula *j*, no sentido ascendente, é dada por [Nguy05]:

$$I_{Inter,j}^{UL} = \sum_{k=1,k\neq j}^{N_{EB}} \sum_{g=1}^{G} P_{EB_j \leftarrow TM_k} \times \eta_g \times N_{k,g} \times e^{(\gamma \Delta L)^2} \times \sum_{n=1}^{N_{k,g}} \frac{r_{k,n}^{\ a}}{r_{j,n}^{\ a}} \quad [W] \tag{3.6}$$

onde $P_{EB_j \leftarrow TM_k}$ é a potência recebida pela EB *j* do TM que se encontra numa célula adjacente *k*, η_g é o factor de actividade do serviço *g*, $N_{k,g}$ é o número de utilizadores com um serviço *g* na célula interferente *k*, *G* o número total de serviços, N_{EB} é o número de células interferentes na EB em causa, $r_{k,n}$ e $r_{j,n}$ são, respectivamente, a distância do TM *n* com serviço *g* às EBs das células *k* e *j* respectivamente, $\gamma = \ln(10)/10$ é uma constante, ΔL representa a atenuação devido ao desvanecimento lento, *a* é o factor de decaimento médio da potência com a distância.

Em [Nguy05] o modelo tem em conta uma distribuição não uniforme de utilizadores através de uma função estatística com média nula e um certo desvio padrão, tendo também em consideração uma integração dessa função na área da célula. No entanto, este tipo de cálculo não se enquadra no âmbito deste trabalho, já que neste trabalho os utilizadores são gerados primeiramente numa rede urbana e só depois se efectua o cálculo da interferência. Assim, em vez do integral da função distribuição de utilizadores em toda a área da célula, é efectuado um somatório das distâncias de todos os utilizadores na célula às EBs, como apresentado em (3.6).

Na implementação do modelo foi necessário a substituição do factor $N_{k,g}$ por um somatório dos utilizadores, já que não se pode assumir que todos os utilizadores cobertos por um determinado sector e com o mesmo débito do serviço tenham o mesmo valor de atenuação associado ao desvanecimento lento, como assumido no modelo (3.6). Este fenómeno é

contabilizado na atenuação de propagação como apresentado em (3.5), por utilizador, e não com o factor exponencial do modelo $e^{(\gamma\Delta L)^2}$, e, novamente, tal como em DL, é usada uma distribuição normal, com média nula e desvio padrão a considerar, descrita e aferida em [Vill04].

Usou-se também a mesma estratégia que em DL para limitar N_{EB}. Definiu-se uma distância a partir da qual se considera que mais nenhum TM interfere nesta EB.

4 - Descrição do Simulador

Neste capítulo descreve-se o modo de funcionamento do simulador utilizado no trabalho, quais os parâmetros de entrada e de saída dos vários módulos, referenciando os já existentes em trabalhos anteriores e os introduzidos neste.

4.1 - Estrutura Geral do Simulador

O simulador usado neste trabalho é um simulador espacial, sendo composto por três módulos, Figura 4.1:

- Geração de utilizadores (*SIM*);
- Dimensionamento da rede (*UMTS_Simul* e *Net_opt*);
- Cálculo da interferência;

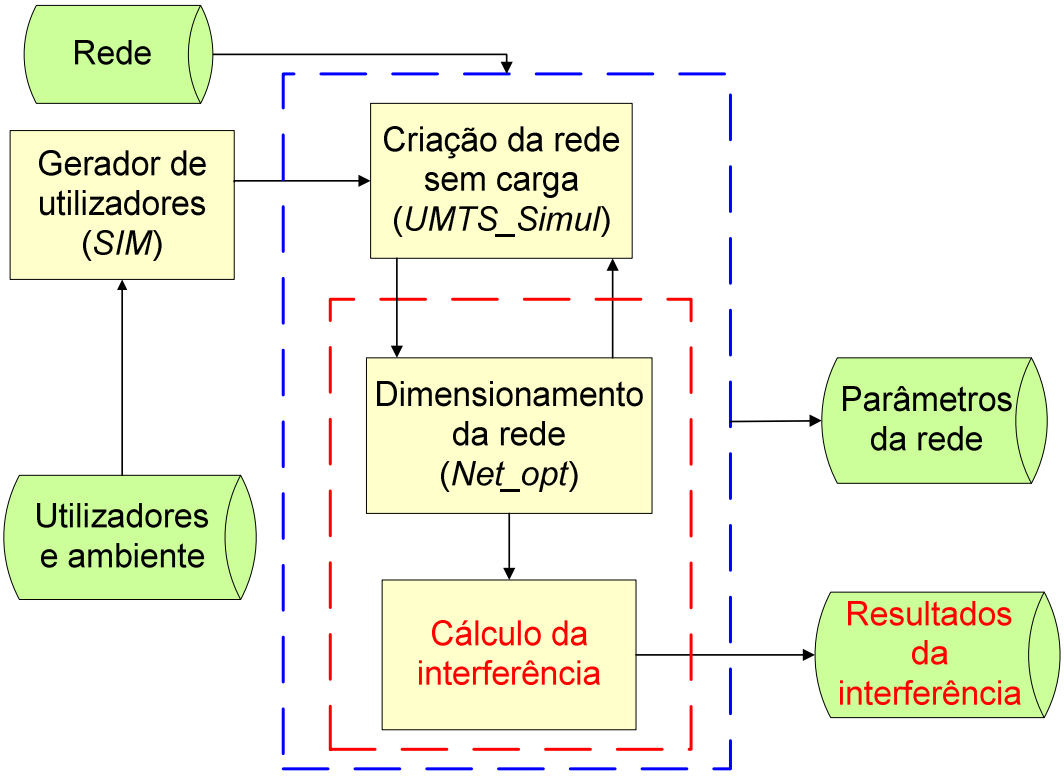


Figura 4.1 – Esquema do simulador.

No presente trabalho, cujo objectivo principal é o cálculo das interferências, são utilizados alguns módulos já desenvolvidos em trabalhos anteriores, nomeadamente os módulos de geração de utilizadores (*SIM*) e do dimensionamento da rede (*UMTS_Simul*), incluindo a criação da rede (*Net_opt*), desenvolvidos no trabalho final de curso [CaSe04] e melhorados na tese de mestrado [Card05].

O *SIM* encarrega-se de criar os utilizadores, através de parâmetros previamente definidos. Com base em informações de tráfego e do tipo de zonas na área em estudo, o gerador cria os utilizadores, atribuindo-lhe as suas características específicas. A área em estudo neste trabalho encontra-se ilustrada no Anexo C.

A informação resultante do gerador de utilizadores é recebida pelo *UMTS_Simul*, que juntamente com a informação dos parâmetros da rede, a cria e apresenta sobre a área em estudo.

Após esta estar criada, é executado o bloco *Net_opt* que, conjuntamente com alguns dados relativos à rede, faz a ligação dos utilizadores com as EBs, calcula a área de cobertura das EBs para a carga existente e os parâmetros relacionados com a rede. Estes dados servem para se analisar o desempenho da rede. No Anexo D encontra-se uma maior descrição dos três blocos fundamentais do simulador usado na realização deste trabalho.

Por fim, o módulo de cálculo de interferências, desenvolvida em C++, calcula as interferências intra- e inter-celulares existentes no sistema, comparando os valores obtidos para as novas margens de interferência com as margens de interferência habitualmente usadas, ou seja, uma margem que resulta do uso de um valor de 0.65 para o parâmetro *i*.

4.2 - Módulo do Cálculo da Interferência

4.2.1 - Descrição Geral

O módulo introduzido no simulador é o responsável pelo cálculo das interferências intra- e inter-celulares no sistema, assim como algum processamento estatístico dos valores que se obtêm desse cálculo, havendo separação entre os dois sentidos da ligação.

O módulo inicia o cálculo das interferências pela intra-celular, em DL e UL separadamente, sendo o passo seguinte o cálculo da interferência inter-celular, também diferenciando o sentido da ligação. Com os valores calculados das diferentes interferências, é obtido um novo valor para o *i* em ambos os sentidos, sendo também realizado algum processamento estatístico no decorrer do algoritmo. A estrutura geral é apresentada no seguinte fluxograma:

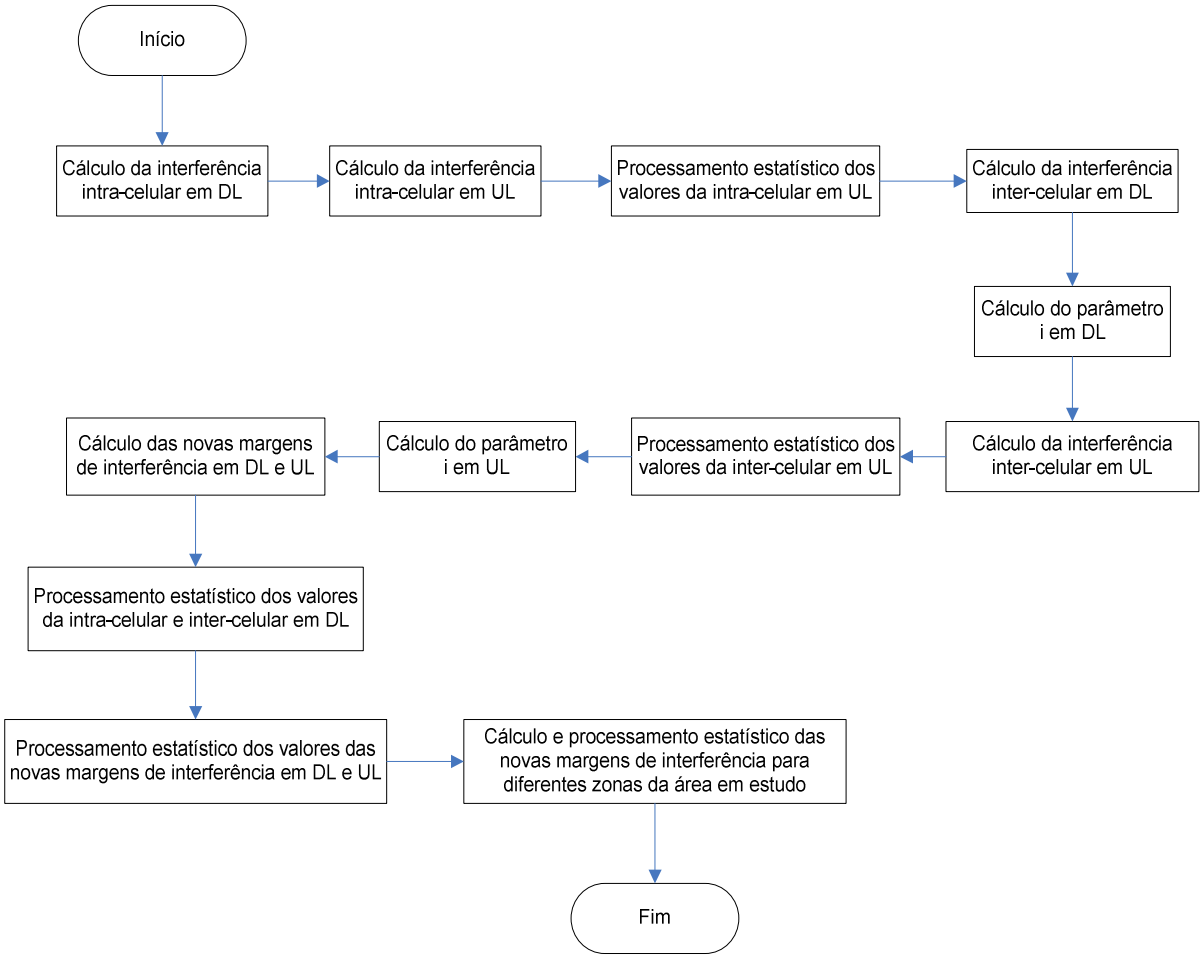


Figura 4.2 – Fluxograma geral do algoritmo do cálculo da interferência no sistema.

No Anexo E encontram-se os fluxogramas dos algoritmos principais do cálculo das interferências inter e intra-celular, em ambos os sentidos da ligação.

4.2.2 - Algoritmo

Começa-se por calcular a interferência intra-celular em DL. As EB são percorridas uma a uma e é calculada a potência transmitida para cada TM servido pela EB respectiva, aplicando-se então o modelo descrito em (3.1). O factor de ortogonalidade é gerado aleatoriamente seguindo uma distribuição uniforme e que toma valores consoante o cenário onde o TM está inserido ([0.05-0.20] para cenário interior, [0.40-0.60] para cenário pedestre e [0.60-0-80] para cenário veicular), sendo que no modelo usado, o valor 0 corresponde a códigos perfeitamente ortogonais. A atenuação entre TM e EB é calculada através do modelo COST 231-Walfish-Ikegami, Anexo A. Os valores e expressões usadas para todos os cálculos do balanço de potência encontram-se no Anexo F. Os valores das interferências serão posteriormente usados para o processamento estatístico destas. O fluxograma que implementa este algoritmo encontra-se na Figura E.1.

Calcula-se de seguida a interferência intra-celular em UL. Tal como para o DL, são percorridas todas as EB, sendo que agora por cada EB se começa por calcular a interferência total por serviço, visto que, existindo um controlo de potência perfeito, a interferência causada por utilizadores que estejam a usufruir o mesmo serviço, será igual. Para tal, calcula-se a potência recebida na EB proveniente dos TMs a efectuarem esse serviço, em que é tido em conta que a EB é capaz de compensar os desvanecimentos quer rápido e lento, devido ao controlo de potência ser perfeito. De acordo com o modelo descrito em (3.3), é tomado em consideração o factor de actividade de cada TM (0.5 para voz e de 1 para dados). No fim de examinados todos os serviços obtêm-se a interferência total existente na EB somando as interferências totais de cada serviço. Estes valores são usados, tal como em DL, para o processamento estatístico. O fluxograma que implementa este algoritmo encontra-se na Figura E.2.

Após o cálculo da interferência intra-celular, o algoritmo prossegue com o cálculo da interferência inter-celular, em DL. O método de cálculo começa por percorrer a lista dos TMs servidos, num determinado sector, para que se possa calcular a interferência provocada nestes. Em cada TM servido por um sector, é efectuado outro ciclo que percorre todas as EBs do sistema. Como se pode constatar, isto toma muito tempo de simulação mas, com vista a reduzir esse tempo, é imposta uma restrição à distância a que uma EB interferente pode estar localizada em relação à localização da EB à qual o TM em questão está ligado. Considera-se, assim, uma EB interferente se estiver a uma distância menor ou igual a quatro vezes o raio nominal considerado, segundo a direcção de ganho máximo do diagrama de radiação da antena. Assim, se o sector interferente for diferente daquele que serve o TM onde irá ser calculada a interferência, é verificada a distância máxima de cobertura da EB interferente, nas condições mais favoráveis, de modo a que se possa verificar se o TM está fora dessa zona de cobertura. Se isso não se verificar, existe potência suficiente a ser recebida no TM em causa da EB interferente. É então calculada a interferência nesse TM através do modelo descrito em (3.4). O valor da interferência causada pela EB interferente no TM é depois somado à interferência causada por outra EB após o seguimento do ciclo que percorre as EBs do sistema, mantendo o TM interferido. Tal como na intra-celular, os valores serão usados para o processamento estatístico da interferência inter-celular em DL. O algoritmo prossegue com o cálculo da interferência noutro TM e termina quando o cálculo em todos os utilizadores servidos no sistema tenha sido efectuado. O fluxograma que implementa este algoritmo encontra-se na Figura E.3.

Neste ponto do simulador é calculado o valor médio do parâmetro *i* em DL, por utilizador, com os valores resultantes do cálculo das interferências intra- e inter-celulares em DL.

O passo seguinte é o cálculo da interferência inter-celular em UL. O algoritmo começa com um ciclo que percorre os sectores de todas as EBs no sistema. Para um determinado sector é iniciado outro ciclo que percorre também todos os sectores existentes no sistema, diferentes do primeiro. É de salientar que este método requer muito tempo de simulação. Com o objectivo de reduzir um pouco esse tempo, considera-se, tal como no caso de DL, que as EBs dos sectores interferidos e interferentes têm que estar separadas no máximo de quatro vezes o raio nominal considerado. Se a posição da EB do sector interferente cumprir esse requisito, são percorridos todos os utilizadores por ele cobertos, calculando-se a interferência causada por cada um.

Nos cálculos desta interferência não se assume um controlo de potência perfeito já que a EB interferida não controla os utilizadores interferentes que estejam ligados a outra EB. No entanto, a potência de transmissão do TM interferente é aquela que garante a sensibilidade na EB que o serve.

É depois efectuado um teste à potência de transmissão do TM. Caso esteja dentro dos limites, a comunicação existe e procede-se ao cálculo da interferência causada pelo TM no sector interferido, aplicando-se o modelo descrito em (3.6). O ciclo prossegue com outro utilizador interferente, coberto pelo mesmo sector se ainda houver TMs cobertos por ele, ou noutro até que todos tenham sido contabilizados. O valor da interferência recebida num sector será então a soma das interferências causadas pelos utilizadores interferentes cobertos pelo sistema.

O algoritmo continua com o cálculo noutro sector mas antes são calculados diversos valores estatísticos da interferência no sector interferido anterior. O fluxograma que implementa este algoritmo encontra-se na Figura E.4.

Após o cálculo da interferência inter-celular em UL, é executada uma rotina para o cálculo do parâmetro *i* médio em UL, tal como no caso em DL, mas agora por sector. Após os cálculos das interferências, intra- e inter-celulares, é refeito o cálculo dos factores de carga com base em (2.2) e (2.3), respectivamente para o UL e para o DL, mas agora considerando os valores de *i* calculados pelo método atrás referido e não 0.65, como estava a ser considerado até então. Com os novos factores de carga, também são calculadas as novas margens de interferência seguindo a equação (2.1). Posteriormente é feito o processamento estatístico das margens de interferência, determinando também quais as zonas (freguesias de Lisboa) onde ocorrem os máximos e mínimos.

Após a conclusão do cálculo das margens de interferência é feito um estudo pormenorizado sobre diferentes zonas da área em estudo. Foram escolhidas duas zonas preferenciais: as freguesias que apresentam, em média, uma densidade de TMs inferior a um determinado valor de TMs/km^2 são incluídas numa Zona de Baixa Densidade, enquanto que as freguesias que apresentam uma densidade de TMs superior a um determinado limite são incluídas numa Zona de Alta Densidade. O cálculo dos valores das áreas das diversas freguesias, a contabilização do número de EBs e de TMs que aí nelas se encontram e a determinação da freguesia de cada EB é realizado através da ferramenta *MapInfo*, já que esta é apropriada para lidar com questões geográficas. Porém, os cálculos da densidade de TMs/km^2 e de EBs/km^2 já são efectuados no *Net_opt*, e portanto, em C++. Os parâmetros que têm relevância para este tipo de análise, o factor de carga e a margem de interferência, são obtidos pelas mesmas rotinas que calculam estes parâmetros para toda a rede, mas com a diferença de se ter que verificar a que freguesia pertence a EB que se está a analisar. Posteriormente, e tal como para o caso da rede completa, é feito o processamento estatístico para as margens de interferência e para os factores de carga.

4.2.3 - Entrada e Saída

O bloco do cálculo da interferência está integrado no bloco do dimensionamento da rede, *Net_opt*, e é executado, obviamente, após todo o cálculo do dimensionamento da rede. Assim, não existem dados de entrada novos, guardados em ficheiros, que sejam precisos nesta parte. Os únicos dados que são necessários são os parâmetros dimensionados da rede, guardados nas estruturas de dados das EBs, dos sectores e dos utilizadores. No entanto, são também usados alguns dados contidos nos ficheiros usados nos outros blocos, descritos no Anexo D, para, por exemplo, o balanço de potência onde é preciso o valor do E_b / N_0 da ligação. Além destes, os ficheiros seguintes são lidos na rotina que executa o cálculo da interferência em diferentes zonas da área em estudo: *bs_freg_area.dat*, *users_freg_area.dat* e *n_bs_freg.dat*. No Anexo D estes ficheiros de saída do bloco *UMTS_Simul* são apresentados com maior detalhe.

Quanto aos ficheiros de saída, depois do bloco de dimensionamento da rede e durante a execução do bloco do cálculo da interferência, são criados vários ficheiros.

Os seguintes ficheiros guardam os valores calculados dos vários tipos de interferência:

- *Intra_DL.out*: contém os valores da interferência intra-celular, em DL, em cada utilizador, na portadora ao qual está ligado, indicando também a EB e o sector que o serve;
- *Intra_UL.out*: contém os valores calculados para a interferência intra-celular, em UL, em cada sector, em cada portadora utilizada por este;
- *Inter_DL.out*: contém os valores a interferência inter-celular, em DL, em cada utilizador, na portadora ao qual está ligado, indicando também a EB e o sector que o serve;
- *Inter_UL.out*: contém os valores da interferência inter-celular em UL, em cada sector, em cada portadora utilizada por este;

Depois de se ter calculado a interferência em ambos os sentidos da ligação, calcula-se os valores do parâmetro *i*, guardando-os nos seguintes ficheiros:

- *i_medio_DL.out*: este ficheiro apenas contém os valores médios do parâmetro *i* do sistema, em DL, para todas as portadoras usadas;
- *i_medio_UL.out*: contém apenas os valores médios do parâmetro *i* do sistema, em UL, em todas as portadoras usadas;

Os seguintes ficheiros de saída do bloco do cálculo da interferência apresentam essencialmente parâmetros importantes na análise do impacto da interferência no sistema:

- *Eta_novo_DL.out*: este ficheiro contém os novos valores do factor de carga e da margem de interferência de cada sector do sistema, em DL, em cada portadora, usando como valor de *i* o valor calculado para os utilizadores cobertos pelo sector, e apresenta também os valores para os mesmos parâmetros mas considerando *i*=0.65.
- *Eta_novo_UL.out*: este ficheiro contém os novos valores do factor de carga e da margem de interferência de cada sector do sistema, em UL, em cada portadora, usando como valor de *i* o valor calculado para o sector, e apresenta também os valores para os mesmos parâmetros mas considerando *i*=0.65.
- *Zona1_Eta_novo_DL.out* – este ficheiro contém a mesma informação que o ficheiro *Eta_novo_DL.out* mas apenas para as EBs que se encontrem numa **Z**ona de **A**lta **D**ensidade (ZAD) de TMs na área em estudo;
- *Zona2_Eta_novo_DL.out* – este ficheiro contém a mesma informação que o ficheiro *Eta_novo_DL.out* mas apenas para as EBs que se encontrem numa **Z**ona de **B**aixa **D**ensidade (ZBD) de TMs na área em estudo;
- *Zona1_Eta_novo_UL.out* – este ficheiro contém a mesma informação que o ficheiro *Eta_novo_UL.out* mas apenas para as EBs que se encontrem numa ZAD de TMs na área em estudo;

- *Zona2_Eta_novo_UL.out* – este ficheiro contém a mesma informação que o ficheiro *Eta_novo_UL.out* mas apenas para as EBs que se encontrem numa ZBD de TMs na área em estudo;

Depois de se ter obtido os valores de todos os parâmetros desejados, é efectuado um processamento estatístico desses valores, sendo guardados nos seguintes ficheiros:

- *Intra_DL_stat.out* – este ficheiro é obtido pelo processamento dos dados de *Intra_DL.out* e contém os valores máximo, mínimo e médio da interferência intra-celular, em DL, de cada sector, em cada portadora usada, assim como o número de TMs cobertos e o número de TMs interferidos em cada sector, e no final é apresentado os valores máximo, mínimo e médio da interferência no sistema por utilizador e por sector, bem como o número total de utilizadores interferidos e o número de sectores interferentes na rede, em cada portadora;
- *Inter_DL_stat.out* – este ficheiro é obtido pelo processamento dos dados de *Inter_DL.out* e contém os valores máximo, mínimo e médio da interferência inter-celular, em DL, de cada sector, em cada portadora usada, assim como o número de TMs cobertos e o número de TMs interferidos em cada sector, e no final é apresentado os valores máximo, mínimo e médio da interferência no sistema por utilizador e por sector, bem como o número total de utilizadores interferidos e o número de sectores da rede, em cada portadora;
- *Intra_UL_stat.out* – este ficheiro é obtido pelo processamento dos dados de *Intra_UL.out* e contém os valores máximo, mínimo e médio da interferência intra-celular, em UL, verificada em cada portadora usada por cada sector, assim como o número de TMs interferentes em cada sector, e no final é apresentado os valores máximo, mínimo e médio da interferência no sistema por utilizador e por sector, bem como o número de sectores interferidos na rede, em cada portadora;
- *Inter_UL_stat.out* – este ficheiro é obtido pelo processamento dos dados de *Inter_UL.out* e contém os valores máximo, mínimo e médio da interferência inter-celular, em UL, verificada em cada portadora usada por cada sector, assim como o número de TMs interferentes em cada sector, e no final é apresentado os valores máximo, mínimo e médio da interferência no sistema por utilizador e por sector, bem como o número de sectores interferidos na rede, em cada portadora;
- *Eta_novo_DL_stat.out* – este ficheiro é obtido através da leitura e processamento dos dados gravados em *Eta_novo_DL.out* e contém os valores médio, máximo e mínimo da margem de interferência, em DL, calculada usando o novo valor do parâmetro i e i=0.65, o factor de carga médio do sistema, em DL, também considerando esses dois valores para o parâmetro i e a informação acerca da EB, e a freguesia correspondente, onde ocorrem os máximo e os mínimos da margem de interferência, sendo todos estes valores apresentados por portadora;
- *Eta_novo_UL_stat.out* – este ficheiro é obtido através da leitura e processamento dos dados gravados em *Eta_novo_UL.out* e contém os valores médio, máximo e mínimo da margem de interferência, em UL, calculada usando o novo valor do parâmetro i e i=0.65, o factor de carga médio do sistema, em UL, também considerando esses dois valores para o parâmetro i e a informação acerca da EB, e a freguesia correspondente, onde ocorrem os máximo e os mínimos da margem de interferência, sendo todos estes valores apresentados por portadora;
- *Zona1_Eta_novo_DL_stat.out* – este ficheiro contém os mesmo parâmetros do sistema que *Eta_novo_DL_stat.out*, embora a informação neste seja filtrada, contabilizando-se apenas as EBs pertencentes a uma ZAD de TMs, sendo guardado também o número de TMs e de EBs por unidade de área nessa zona;
- *Zona2_Eta_novo_DL_stat.out* – este ficheiro apresenta os mesmos parâmetros do sistema que *Eta_novo_DL_stat.out*, embora neste apenas se contabilize as EBs pertencentes a uma

ZBD de TMs, sendo guardado também o número de TMs e de EBs por unidade de área nessa zona;

- *Zona1_Eta_novo_UL_stat.out* – este ficheiro contém os mesmo parâmetros do sistema que *Eta_novo_UL_stat.out*, embora a informação neste seja filtrada, contabilizando-se apenas as EBs pertencentes a uma ZAD de TMs, sendo guardado também o número de TMs e de EBs por unidade de área nessa zona;
- *Zona2_Eta_novo_UL_stat.out* – este ficheiro apresenta os mesmos parâmetros do sistema que *Eta_novo_UL_stat.out*, embora neste apenas se contabilize as EBs pertencentes a uma ZBD de TMs, sendo guardado também o número de TMs e de EBs por unidade de área nessa zona;
- *EB_interf_Inter_DL.out* – este ficheiro apenas guarda a informação do número de EBs interferentes em cada TM, durante o cálculo da interferência inter-celular em DL.

Também é efectuado o cálculo da razão de TMs por unidade de área, neste caso km^2, para todas as freguesias, obtendo-se assim uma estimativa desse número para se poder definir duas áreas distintas no mapa em estudo, uma com grande densidade de TMs e outra com baixa densidade. Esses dados são guardados no ficheiro *Users_km_ratio.out*.

4.3 - Aferição

Para se comprovar o funcionamento correcto do simulador na parte dedicada ao cálculo das interferências foram realizados alguns testes tendo em vista a verificação do correcto funcionamento do módulo responsável pelo cálculo das interferências, tendo os outros módulos que o compõem já sido testados em trabalhos anteriores. Todos os testes foram realizados sem a presença do desvanecimento lento, pois iria introduzir uma componente aleatória aos resultados, tornando assim difícil a análise da relação da interferência com os parâmetros não aleatórios, tais como a distância, ganhos das antenas e os débitos dos serviços. O diagrama de radiação das antenas encontra-se descrito no Anexo B.

No que respeita à interferência intra-celular foram feitos testes para o DL e para UL. Em DL é de esperar que quanto mais afastado o TM estiver da EB, menor é a interferência provocada por esta. Para tal se comprovar, colocaram-se três TMs a efectuar o mesmo serviço na mesma portadora com a mesma mobilidade e o mesmo valor para o factor de ortogonalidade, ilustrado na Figura 4.3 por TM1, TM2 e TM3, calculando-se as interferências sentidas neles. De facto, os resultados obtidos confirmaram que o TM3 é o que sente menor interferência e o TM1 é o que sente maior interferência. Isto deve-se ao facto da atenuação de propagação aumentar com a distância, o que faz com que o TM mais afastado receba menos potência.

Também se testou a influência do diagrama de radiação da antena da EB na interferência intra-celular, em DL. Colocou-se o TM2 e o TM4 tal como se pode observar na Figura 4.3, ambos com as mesmas características, distância, débito, mobilidade, etc., mas com azimutes em relação à EB diferentes. Comprovou-se que o TM4 é menos interferido devido ao menor ganho de emissão que lhe está associado, ou seja, a potência recebida no TM4 é menor do que no TM2.

Em UL foi efectuado o mesmo teste com os mesmos TMs mas agora com o intuito de se verificar o correcto funcionamento do controlo de potência, ilustrado novamente na Figura 4.3 pelos TM1, TM2 e TM3. Portanto, se o controlo de potência estiver a funcionar correctamente, a interferência sentida na EB é igual para os três TMs. Os resultados obtidos confirmaram que a interferência provocada pelos TMs na EB era igual.

Além deste teste, em UL, foi também efectuado um outro onde se pretendia verificar que um TM a efectuar um serviço de dados interferiria mais do que um outro TM a efectuar voz, representados na Figura 4.3 por TM4 e TM5, respectivamente. Estes dois utilizadores

encontram-se a igual distância da EB e com um azimute que origina o mesmo ganho de recepção. Também se encontram a comunicar na mesma portadora e têm a mesma mobilidade. Os resultados obtidos confirmaram que a EB sente mais interferência do TM4. Isto deve-se ao facto do TM4 precisar de um nível de potência superior para se assegurar que o sinal recebido na EB esteja acima do valor da sensibilidade, dependente do débito.

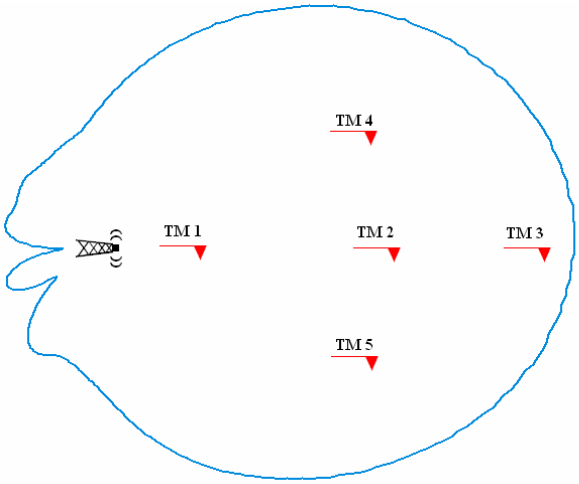


Figura 4.3 – Esquema do teste da interferência intra-celular.

Quanto à interferência inter-celular, os testes realizados incidiram na comprovação da dependência deste tipo de interferência com a distância e com o débito do serviço, cujo esquema está ilustrado na Figura 4.4.

Em DL, verificou-se que os TMs mais afastados da EB interferente são menos interferidos. Assim, o TM1 é o menos interferido e o TM3 é o mais interferido, pela EB2. É de realçar que todos os TMs têm as mesmas características excepto a sua posição. Tal como na intra-celular em DL, este caso justifica-se com a atenuação de propagação, cujo valor aumenta com o aumento da distância.

Ainda em DL, mas agora olhando ao efeito do diagrama de radiação da antena de emissão na interferência recebida, pode-se referir que não existe uma relação tão directa na inter-celular como acontece com a intra-celular. Se se colocar dois TMs, como ilustrado na Figura 4.4 pelos TM5 e TM7, com as mesmas características excepto o seu azimute em relação à EB2, o TM7, como já foi referido, precisará de um maior nível de potência para assegurar a sensibilidade em EB2, devido ao diagrama de radiação desta. Ao emitir maior potência, e assegurando que os dois TMs se encontram à mesma distância de EB1, seria de esperar que TM7 causasse maior interferência nesta mas, se se tomar em conta que o azimute de TM7 em relação a EB1 é superior a TM5, o ganho de recepção para a ligação de TM7 será menor, não sendo, assim, este que necessariamente interfere mais.

Depois, em UL, foi também testado o efeito da distância na interferência. Estando os TMs 4, 5 e 6 da Figura 4.4 a usufruírem de um serviço com o mesmo débito, o TM4 é o mais interferente, pois encontra-se a uma menor distância da estação base interferida EB1. Os TMs têm novamente as mesmas características excepto a sua posição. Além deste teste também se provou que os utilizadores que usufruem de serviços com débitos mais elevados são aqueles que interferem mais. No caso ilustrado na Figura 4.4 os terminais TM7 e 8 estão a comunicar com um débito diferente, TM7 com o serviço de voz e TM8 com serviço de dados com débito superior. Estes encontram-se à mesma distância da EB1, a interferida, e de EB2, a que os serve. De facto, nestas condições, TM7 interfere menos porque para comunicar com EB2 este precisa de menor potência de emissão, já que a sensibilidade é menor no caso da voz do que

para um serviço com um débito associado superior. Assim sendo, a potência que TM7 radia para EB1 será menor do que TM8, interferindo menos.

Impôs-se também uma potência de emissão igual para EB1 e para EB2, da Figura 4.4, e colocando o TM3 à mesma distância de EB1 que TM4 à EB2. Isto comprovou que a interferência que TM4 provoca em EB1 é igual à interferência que TM3 provoca em EB2.

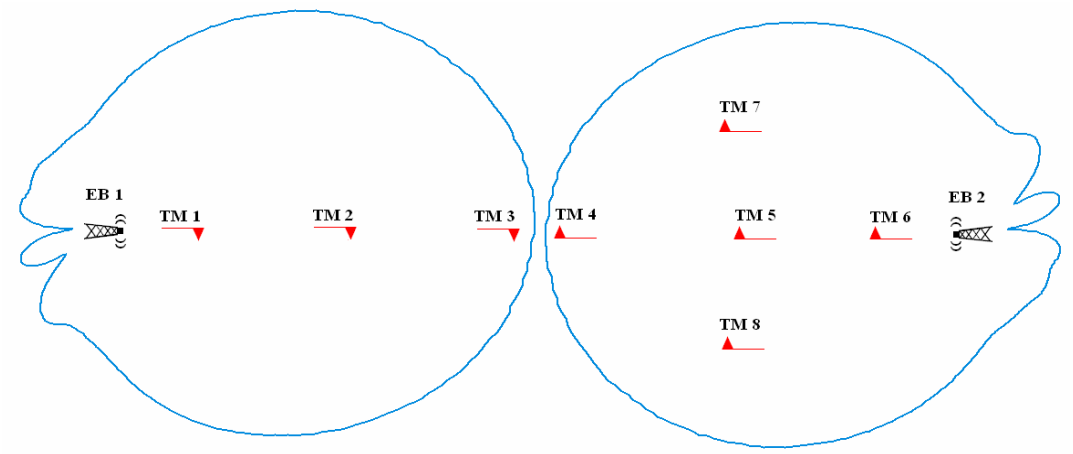


Figura 4.4 – Esquema do teste da interferência inter-celular.

Depois de todos estes testes para se comprovar a eficiência do simulador na parte do cálculo das diversas interferências, efectuaram-se várias simulações, agora com o simulador completo, para se determinar o número de simulações necessárias para se obter valores de interferência estatisticamente válidos. Para tal, foram efectuadas 15 simulações e o gráfico da Figura 4.5 representa o valor médio do parâmetro *i* em DL do sistema de todas as portadoras, para o ambiente referência descrito na Secção 5.1. Pode-se observar pelo gráfico que para 10 simulações o valor de *i* diminuiu ligeiramente, em relação a 5 simulações, mas com 15 simulações não houve alterações deste parâmetro, mantendo-se desvio padrão constante ao longo dos três casos, sendo o seu valor 0.08. Sendo assim, conclui-se que para 10 simulações já se obtêm valores estatisticamente relevantes.

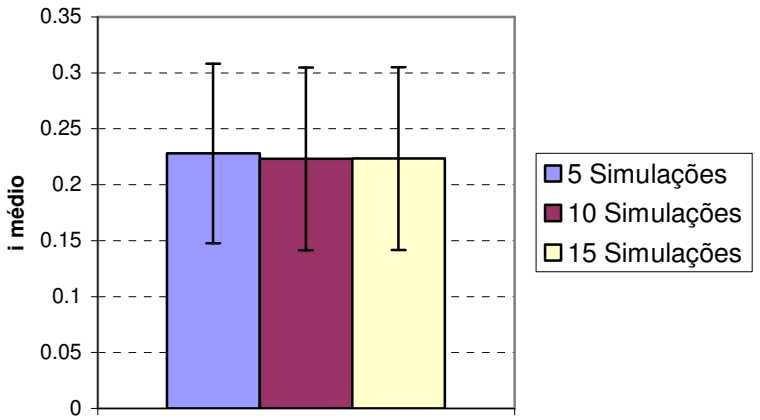


Figura 4.5 –Aferição do número de simulações.

Outro factor que pesa na decisão quanto ao número de simulações é o tempo de cada simulação, que ronda os 90 minutos num Pentium 4 com um processador de 3 GHz. Dado que é preciso testar vários casos para se determinar com eficiência qual o impacto da interferência no sistema, o tempo de simulação é um factor de peso nessa decisão.

À parte do cálculo da interferência, como este trabalho usa o simulador de uma rede UMTS desenvolvido no trabalho [CaSe04] e [Card05], é também lógico que o número de simulações necessário para se obter dados estatisticamente válidos neste trabalho seja um número próximo do que foi usado nesses trabalhos (10 simulações).

Olhando a estes três factores, chega-se à conclusão que 10 simulações são suficientes para que se consiga obter dados estatisticamente relevante, tendo sido este número usado neste trabalho.

5 - Análise dos Resultados

Foram efectuadas diversas simulações com o intuito de perceber qual o impacto da modificação de alguns parâmetros no cálculo das interferências e na capacidade do sistema. Começou-se por simular o comportamento da rede numa situação definida como referência, sendo então alterados, um por um, parâmetros em torno dessa situação e sendo feita a análise dos resultados para cada caso.

5.1 - Ambiente de Referência

É importante ter um ambiente de referência com a qual irão ser feitas as comparações aquando da modificação de alguns parâmetros. O ambiente de referência deve ser escolhido de maneira adequada e deve representar uma possível rede real. Através de informações obtidas da Vodafone, escolheram-se como referência os seguintes parâmetros:

- A potência máxima de emissão da EB é igual a 43 dBm. Dessa potência é necessário retirar cerca de 2 dB para controlo e sinalização da rede, e também descontar as perdas médias existentes nos cabos e conectores, cerca de 3 dB. Logo a potência que a EB tem para tráfego é de 38 dBm;
- O valor do *active set* utilizado é 3;
- O serviço de referência utilizado na rede é o de 128 kb/s para tráfego em PS, estando os utilizadores num cenário pedestre;
- As frequências atribuídas a cada uma das 4 portadoras encontram-se na Tabela 5.1;
- O factor de carga máximo em UL é 0.5;
- O factor de carga máximo em DL é 0.7;
- As percentagens utilizadas, relativas de cada serviço, correspondem às definidas no projecto MOMENTUM, Tabela G.1;
- As percentagens utilizadas na correspondência entre serviços e débitos são as definidas no projecto MOMENTUM, Tabela 5.2;
- O diagrama de radiação utilizado foi o mesmo em todos os sectores, Figura B.1. Como existe uma zona em que os sectores da mesma EB se intersectam, existe a possibilidade de existir *softer handover*, Figura B.2;
- O número de utilizadores gerados é de 9000 garantindo assim uma probabilidade de bloqueio inferior a 1%, sendo que no entanto o número de utilizadores obtido pelo *SIM*, não corresponde ao número de utilizadores realmente presente na cidade de Lisboa, sendo esse valor em média de 7145, Figura C.4. Isto deve-se ao facto de o gerador de utilizadores trabalhar com uma área superior à da cidade de Lisboa, e que o simulador irá apenas contabilizar aqueles que se encontrarem dentro da cidade;
- A rede utilizada foi a da Vodafone na cidade de Lisboa, Figura C.3.

Tabela 5.1 – Frequências atribuídas para as 4 portadoras na simulação.

Portadora	Frequência [MHz]	
	UL	DL
1	1 922.5	2 112.5
2	1 927.5	2 117.5
3	1 932.5	2 122.5
4	1 937.5	2 127.5

Tabela 5.2 – Correspondência entre serviços e débitos binários (retirado de [Card05]).

Serviço	**Débito [kb/s]**	**Utilização [%]**
Voz	12.2 (CS)	100
Vídeo telefonia	64.0 (CS)	100
Vídeo *streaming*	64.0 (PS)	50
	128.0 (PS)	50
E-mail	64.0 (PS)	99
	128.0 (PS)	1
Serviços de localização	64.0 (PS)	99
	128.0 (PS)	1
***M**ultimedia **M**essaging **S**ervice* (MMS)	64.0 (PS)	60
	128.0 (PS)	40
Download de ficheiros	64.0 (PS)	30
	128.0 (PS)	50
	384.0 (PS)	20
Navegação na Internet	64.0 (PS)	70
	128.0 (PS)	25
	384.0 (PS)	5

Com estes parâmetros foram realizadas várias simulações e obtiveram-se resultados para as interferências intra- e inter-celulares, bem como para os parâmetros da rede mais relevantes, tais como a capacidade e a margem de interferência associada, os factores *i* relativos às interferências, as probabilidades de bloqueio e de atraso, potências máximas e médias das EBs e os raios máximos e médios a elas associados. Apresentam-se alguns desses resultados nas Tabela 5.3 e Tabela 5.4 onde Act. corresponde a considerar os valores resultantes das interferências para o cálculo dos factores de carga e margem de interferência enquanto que Ant. corresponde ao uso de *i*=0.65.

Tabela 5.3 – Interferência e *i* médio para ambiente de referência.

Interferência [dBm]				*i* médio	
Inter-celular		Intra-celular			
UL	DL	UL	DL	UL	DL
-98.6	-83.7	-101.8	-75.6	0.391	0.223

Tabela 5.4 – Factores de carga e ΔM para ambiente de referência.

$\eta_{[\%]}$				$\Delta_M = M_{Ant.} - M_{Act.}\ [dB]$	
UL		DL		UL	DL
Act.	Ant.	Act.	Ant.	0.3	0.9
24.8	30.1	13.8	30.1		

Através da análise das tabelas Tabela 5.3 e Tabela 5.4 verifica-se que tanto em UL como em DL, o valor de *i* médio obtido é inferior ao habitualmente usado, 0.65. Ambos os valores das interferências estão acima dos valores das sensibilidades mínimas, salientando-se o facto de em DL as interferências serem superiores às de UL, o que é devido à potência emitida pelas EBs ser superior à emitida pelos TMs. Verifica-se que em UL a interferência inter-celular é superior à intra-celular o que se deve ao facto de, em média, o número de TMs interferentes contabilizados para o cálculo da interferência inter-celular ser superior (cerca 20

vezes) aos que interferem no cálculo da interferência intra-celular. No entanto se se tiver em conta apenas a interferência média por TM, a interferência intra-celular já é superior. Em DL, a interferência inter-celular já vem, em média, inferior à interferência intra-celular devido à existência de códigos diferentes para cada EB.

No que respeita aos factores de carga e através da análise dos *i* médios, quer em UL quer em DL, era de esperar que os novos factores de carga fossem inferiores aos calculados considerando o *i* igual a 0.65, e por conseguinte as novas margens de interferência sejam menores. Verifica-se que, comparando o UL com o DL, as maiores diferenças se encontram em DL o que se pode explicar devido ao facto de existirem mais TMs do que EBs. Ou seja, tendo em conta que o valor *i* habitualmente usado é igual a 0.65 quer em DL como em UL, e que enquanto para o cálculo do factor de carga em UL este valor é apenas considerado por EB, como se mostra na equação (2.2), em DL este valor é contabilizado por TM, como se mostra na equação (2.3). Logo, dado que o valor de *i* médio calculado em DL é menor do que em UL, implicará um maior impacto no cálculo dos novos factores de carga. E como consequência disso as diferenças entre as margens anteriormente calculadas e as margens novas serão, portanto, superiores em DL. No que respeita aos outros dados de desempenho da rede, nomeadamente os raios máximos e médios, as potências de emissão máximas, médias e mínimas das EB, as probabilidades de bloqueio e de atraso bem como outro tipo de informações relativas à situação de referência, podem ser consultados no Anexo H. Conclui-se, portanto que tanto o *i* como as margens de interferência calculadas são inferiores aos valores habitualmente usados, de 0.65 e de 3 dB respectivamente.

5.2 - Variação do Serviço de Referência

Tendo como referência a situação descrita na Secção 5.1, alterou-se um dos parâmetros da rede de modo a se poder verificar qual o impacto que este produz na interferência no sistema. A alteração do serviço de referência da rede tem impacto em dois principais aspectos: no raio nominal das células, pois quanto maior for o débito menor será a dimensão da área coberta pelos sectores (apesar da redução ser da ordem das dezenas de metros), e na atribuição do débito associado a um determinado serviço ao utilizador, pois este pode ver o seu débito ser reduzido sucessivamente até, no máximo, ao ritmo de referência, por questões de cobertura do sector que o serve. Assim, é provável que com um serviço de referência associado a um ritmo elevado, haja um maior número de TMs a usufruírem do serviço que pediram à rede, originando assim uma maior carga na rede. No entanto, por este facto, o raio efectivo das células tem tendência a diminuir de modo a dar cobertura, e serviços, aos TMs que requisitaram serviços de débito elevado, que por sua vez faz baixar o factor de carga. Logo, existem um balanço entre a carga no sistema e o raio de cobertura das células, o que se traduz na pouca diferença do factor de carga, em DL Figura 5.1 e em UL Figura I.1 com a variação do serviço de referência.

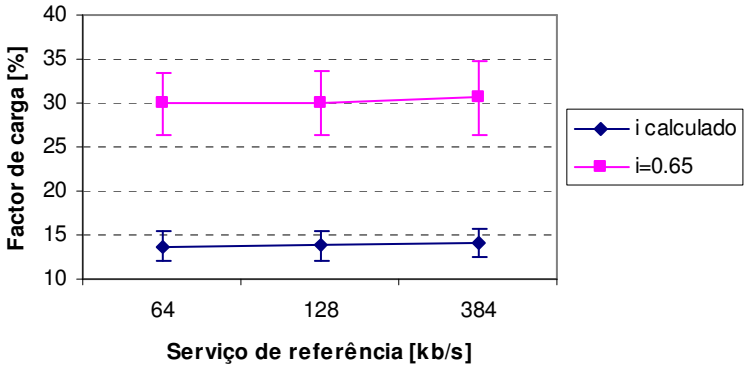


Figura 5.1 – Factor de carga em DL vs. serviço de referência.

Os novos factores de carga neste caso originam uma margem de interferência muito diferente daquela que é calculada assumindo o i=0.65, principalmente em DL, como se pode ver na Figura 5.2. Neste gráfico é apresentada a diferença entre a margem calculada com i=0.65 e a margem calculada usando o novo valor de i. Esta diferença é muito acentuada em DL devido ao facto de o valor do parâmetro i nesse sentido da ligação, ser muito mais distante de 0.65 do que em UL.

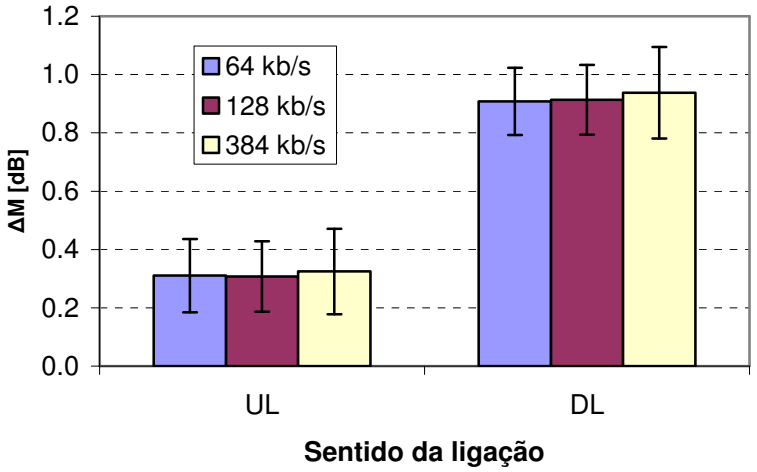


Figura 5.2 – ΔM vs. serviço de referência.

No entanto, como se pode verificar em Figura 5.1, a diferença entre o factor de carga calculado com o novo valor de i e aquele que é calculado com i = 0.65, em DL, é muito elevada, sendo este último sensivelmente o dobro. Para tal existe uma grande influência do novo valor de i, Figura 5.3. O valor do i em DL é muito inferior ao praticado (0.65), que é o reflexo da grande diferença entre as interferências intra- e inter-celulares neste sentido. O valor do novo i em UL é mais próximo de 0.65, dando origem ao valor do novo factor de carga em UL, Figura I.1, mais próximo do antigo do que no caso em DL.

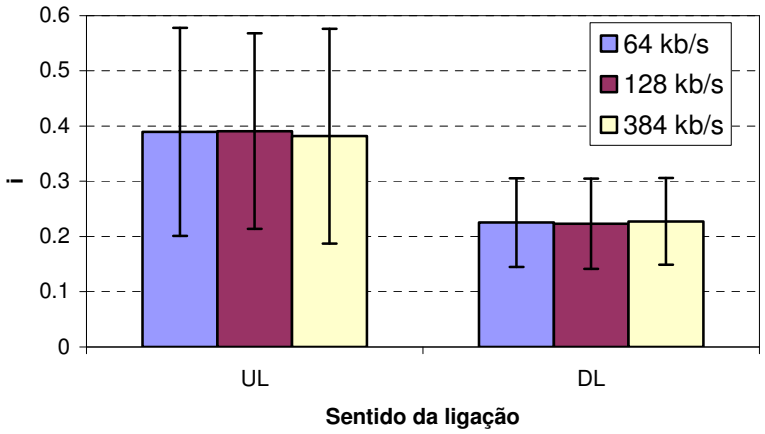


Figura 5.3 – $\bar{i}$ vs. serviço de referência.

Essa diferença entre as interferências inter- e intra-celulares, em DL, é visível na Figura I.2, onde se pode ver que a inter-celular é inferior à intra-celular. Ambas as interferências são sensivelmente constantes ao longo da variação do serviço de referência, tendo em conta os elevados valores do desvio padrão em ambas. Em UL, na Figura I.3, também se observa a pouca sensibilidade da interferência, quer intra- quer inter-celular, com a

variação do serviço de referência. Tal ocorre porque, apesar de os TMs precisarem de um maior nível de potência para comunicar com as EBs, interferindo assim mais, com o aumento do débito os raios das células diminuem o que faz com que exista menos interferentes na rede. O facto de a interferência inter-celular ser superior à intra-, em UL, apenas reflecte o facto de, em média, o número de TMs interferentes contabilizados para o cálculo da inter- ser superior (cerca de 20 vezes) aos contabilizados no cálculo da intra-celular.

Outros dados relativos a este caso de estudo encontram-se no Anexo I, como por exemplo as margens antigas e novas, os valores das interferências e o parâmetro *i*, tudo isto em cada portadora disponível no sistema.

Conclui-se que com a variação do serviço de referência do sistema, e não existindo diferenças substanciais nos parâmetros da rede, os resultados das interferências não sofrem alterações significativas.

5.3 - Variação do Cenário de Referência

Um dos parâmetros que se alterou relativamente ao ambiente de referência foi o cenário de referência. O cenário pode variar entre pedestre (ambiente de referência), veicular e interior. Olhando para os parâmetros da rede resultantes das simulações realizadas, Tabela J.15, a diferença mais significativa observada são valores dos raios efectivos, onde se pode ver que estes decrescem de pedestre para interior, o que era de esperar visto que para ambientes interiores se têm atenuações superiores aos outros cenários.

Interessa, então, comparar os valores obtidos para ambas as interferências, para o *i* médio, para as novas capacidades e margens de interferências relativas aos cenários de veicular e interior com os valores resultantes do ambiente de referência.

Começando por comparar os valores de $\bar{i}$, Figura 5.4, pode observar-se que em UL se verifica um decréscimo do valor de *i*, e que esse decréscimo não é verificado em DL. Uma das razões para o decréscimo em UL está relacionada com o facto já referido de os raios diminuírem, ou seja existirão menos utilizadores cobertos pelas EBs, havendo portanto menos utilizadores em EBs diferentes a interferir, provocando um decréscimo na interferência inter-celular média, Figura 5.5, enquanto que a interferência intra-celular se manteve constante devido ao funcionamento do controlo de potência perfeito.

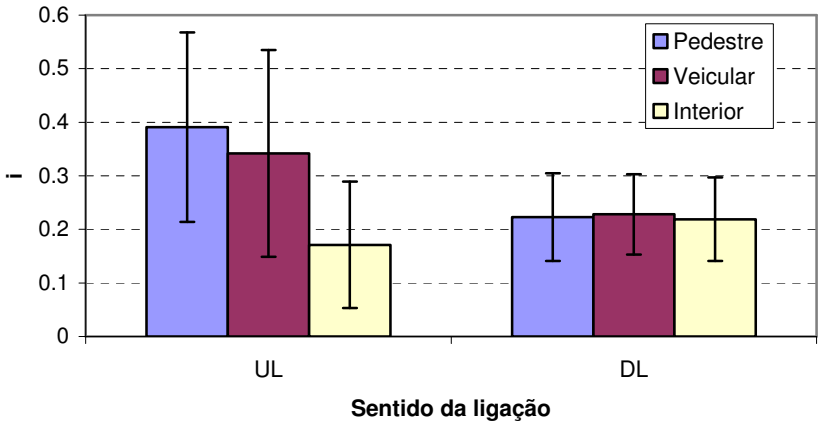


Figura 5.4 – $\bar{i}$ vs. cenário de referência.

Em DL já não são verificadas alterações significativas relativamente às interferências intra- e inter-celulares, Figura J.1, levando a que o *i* também não sofra grandes alterações.

No que respeita aos factores de carga, verifica-se que, em UL, os novos factores de carga diminuem à medida que os raios dos cenários de referência diminuem, Figura 5.6. Para

tal contribui o que já foi dito relativamente ao valor de $\bar{i}$ e das interferências intra- e inter-celulares. Em DL não são verificadas alterações significativas relativas aos factores de carga, Figura J.2, o que resulta de não haver alterações relevantes no *i* e nas interferências. Comparando os factores de carga obtidos com os factores de carga calculados para *i*=0.65, é notória a existência de uma maior diferença em DL, o que é explicado devido a existência de uma maior diferença no valor de *i* médio em DL relativamente ao habitualmente usado 0.65.

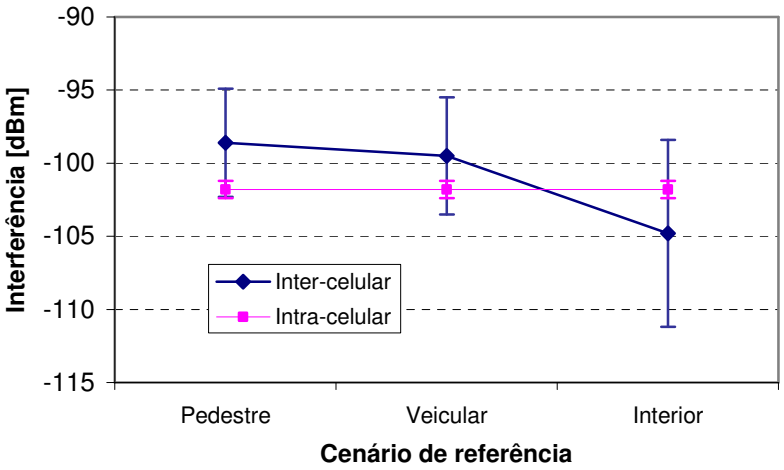


Figura 5.5 – Interferência intra e inter-celular em UL vs cenário de referência

As margens de interferência estão directamente relacionadas com os factores de carga pela equação (2.1) pelo que as conclusões são idênticas às do factor de carga. Na Figura 5.7 estão ilustradas as diferenças entre as margens antigas e as margens actuais. Em DL, não existe diferença entre os cenários, mas em UL é notória a diferença existente aquando da mudança de cenário de referência. A maior diferença, em UL, corresponde ao cenário interior enquanto que para o cenário pedestre (ambiente de referência) corresponde a menor diferença. Na Figura 5.7 também é notória a diferença existente entre DL e UL, ou seja, em DL existe uma maior diferença entre a margem antiga (considerando *i*=0.65) e a margem actual.

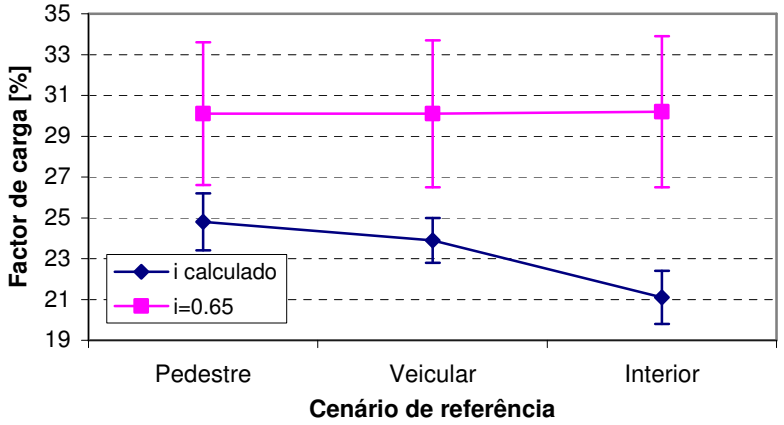


Figura 5.6 – Factor de carga em UL vs. cenário de referência.

Estes resultados, bem como outros, das simulações relativas à variação do cenário de referência encontram-se no Anexo J.

Conclui-se que com a variação do cenário de referência, onde a principal diferença nos parâmetros da rede são a diminuição do raio efectivo (diminuindo de pedestre para

interior), o *i* continua inferior aos 0.65, tendo inclusivé diminuído em UL, não se verificando alterações significativas em DL. Com a diminuição do *i* também os factores de cargas e as margens de interferência diminuem.

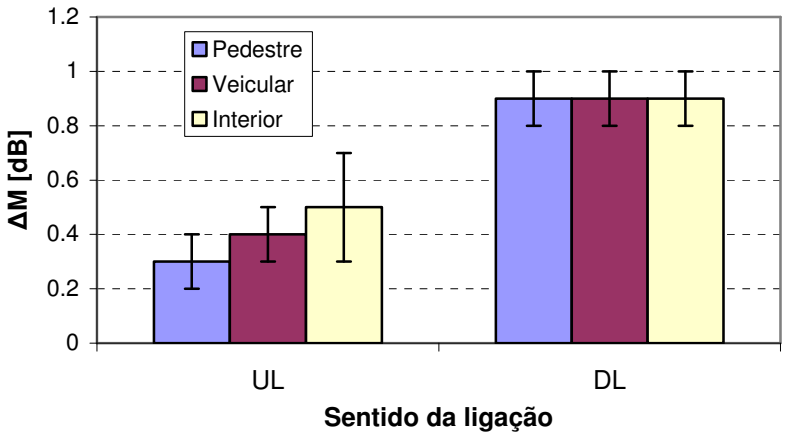


Figura 5.7 – ΔM vs. cenário de referência.

5.4 - Variação do Número Máximo de Portadoras

Outro dos parâmetros que se alterou relativamente ao ambiente de referência foi o número máximo de portadoras existentes no sistema. No ambiente de referência são utilizadas as quatro portadoras com as frequências indicadas na Tabela 5.1 sendo o número de utilizadores 7145. Com a diminuição do número de portadoras também se diminuiu o número de utilizadores de modo a manter uma probabilidade de bloqueio inferior a 1%, tal como na situação de referência. As probabilidades de bloqueio obtidas para cada caso estão juntamente com outros resultados no Anexo K. Na Tabela 5.5 encontram-se o número de utilizadores médio utilizados para cada número máximo de portadoras. As frequências utilizadas são as mesmas da situação de referência, Tabela 5.1.

Tabela 5.5 – Número de utilizadores por número máximo de portadoras.

Número máximo de portadoras	Número de utilizadores médio
1	1590
2	3971
3	5554
4	7145

As portadoras são acrescentadas por ordem crescente, ou seja, para o caso de se estar a testar 3 portadoras estas serão a primeira, segunda e terceira da Tabela 5.1.

Comparando os valores de $\bar{i}$ obtidos e apresentados na Figura 5.8, verifica-se que tanto em UL como em DL, os valores de *i* diminuem com o aumento de portadoras. Outra observação possível é que em UL os valores de *i* são superiores aos obtidos em DL. Tomando em consideração apenas uma portadora, é notório que o valor de *i*, nomeadamente em UL, é muito próximo dos 0.65 habitualmente usados. Em DL, também só para uma portadora, embora seja o maior valor de *i* observado, este continua a ser inferior aos 0.65.

Através da análise da Figura K.1, verifica-se que, em UL, a interferência intra-celular aumenta devido à introdução de mais utilizadores e a interferência inter-celular média não sofre alterações muito significativas, embora com a introdução de portadoras o desvio padrão desta aumente também devido ao aumento do número de utilizadores. Esta informação vem

confirmar o já referido em relação ao $\bar{i}$, ou seja, à medida que se introduz portadoras o *i* diminui. Verifica-se que a interferência inter-celular continua superior à intra-celular pela mesma razão, já descrita na situação de referência na Secção 5.1, de existirem mais TMs interferentes para o cálculo da inter-celular do que para o cálculo da intra. No entanto verifica-se uma aproximação das duas interferências à medida que se introduzem portadoras. No que respeita às interferências em DL, Figura K.2, verifica-se que são ambas muito semelhantes, não havendo alterações significativas quer para a interferência intra-celular como para a inter-celular. Observa-se no entanto um aumento do desvio padrão a elas associadas devido ao aumento do número de utilizadores, sendo esse desvio padrão maior no caso da interferência inter-celular. Assim sendo, com a ligeira tendência de diminuição da interferência inter-celular confirma-se o decréscimo do *i* tal como ilustrado na Figura 5.8.

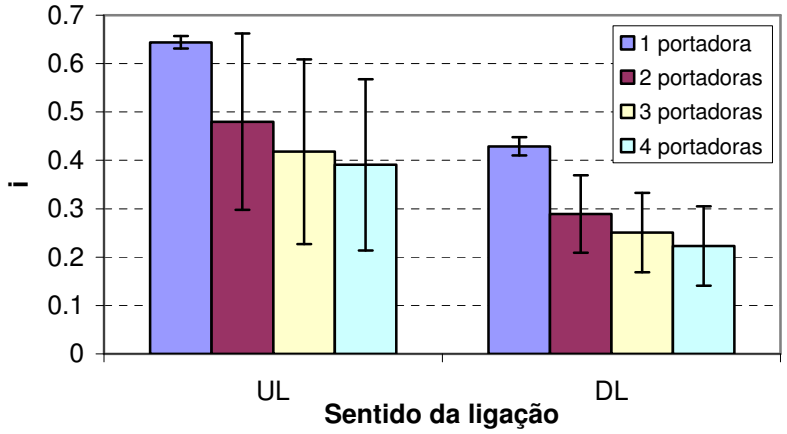


Figura 5.8 – $\bar{i}$ vs. número de portadoras.

Analisando os factores de carga, em UL, Figura 5.9, observa-se o aumento destes com a introdução de portadoras, que é, mais uma vez, devido ao aumento do número de utilizadores. Comparando o factor de actual com o factor de carga calculado com *i*=0.65 verifica-se que o factor de carga actual é sempre inferior, sendo que à medida que se aumenta o número de portadoras a diferença entre eles aumenta. Tal acontece devido ao facto de o valor de *i* decrescer como visto na Figura 5.8, ou seja, existe uma maior diferença com o *i* habitualmente usado. Em DL, Figura K.3, as conclusões a tirar são as mesmas do que para UL, ou seja, o factor de carga actual também é sempre inferior ao calculado com *i*=0.65 e a diferença entre eles também aumenta com o aumento de portadoras, sendo que no entanto em DL essa diferença é mais significativa devido ao facto de o $\bar{i}$ calculado em DL ser inferior ao do *i* médio calculado em UL, existindo portanto uma diferença maior entre o calculado em DL relativamente ao de 0.65 habitualmente utilizado.

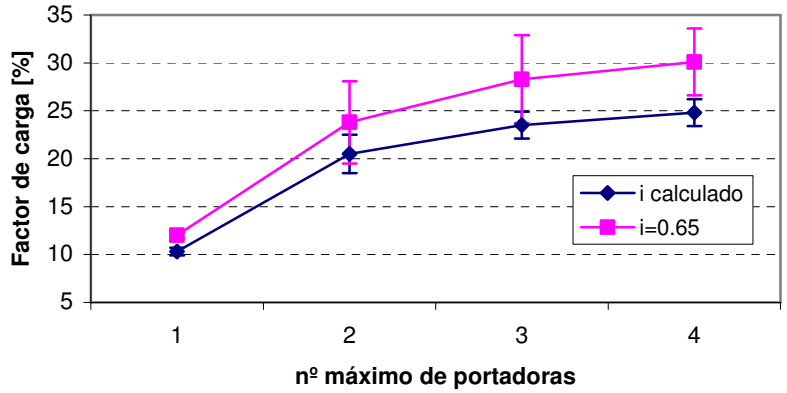


Figura 5.9 – Factor de carga em UL vs. número máximo de portadoras.

No que respeita à diferença entre a margem antiga e a margem actual, Figura 5.10, confirma-se o observado nos factores de carga, ou seja, um aumento de ΔM à medida que se introduzem portadoras, sendo que em DL a diferença é sempre superior que em UL. Foi feita também uma análise por portadora, ou seja, por exemplo com 4 portadoras analisou-se cada portadora individualmente. De seguida apresentam-se resultados para este caso, enquanto que para os outros casos os resultados se podem encontrar no Anexo K.

Observa-se na Figura 5.11 que o *i* diminui da primeira portadora para a quarta portadora, quer em UL como em DL. Em UL para a primeira portadora o valor calculado encontra-se muito próximo de 0.65.

Tomando em consideração as interferências por portadora, Figura K.4 e Figura K.5 em UL e em DL respectivamente, pode constatar-se que em DL ambas as interferências decrescem, com a inter-celular a decrescer com um maior declive, confirmando assim o decréscimo do *i* em DL. Este decréscimo está relacionado com o número de portadoras existentes por sector. A percentagem de sectores que utilizam 4 portadoras é inferior à dos que apenas usam 3 e assim sucessivamente, ou seja, existe um maior número de sectores com uma só portadora. Assim sendo, a probabilidade de haver sectores com um maior número de portadoras mais próximos uns dos outros diminui provocando que a interferência inter-celular decresça influenciando assim o *i*. Em UL, observa-se um decréscimo da inter-celular, pela mesma razão descrita em DL, mas não existe uma diferença significativa no que respeita à intra-celular, devido à existência do controlo potência, confirmando-se assim o decréscimo do *i* em UL.

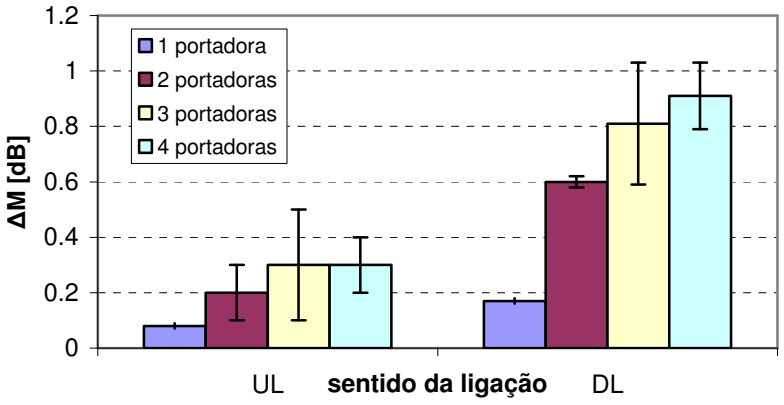


Figura 5.10 – ΔM vs número máximo de portadoras.

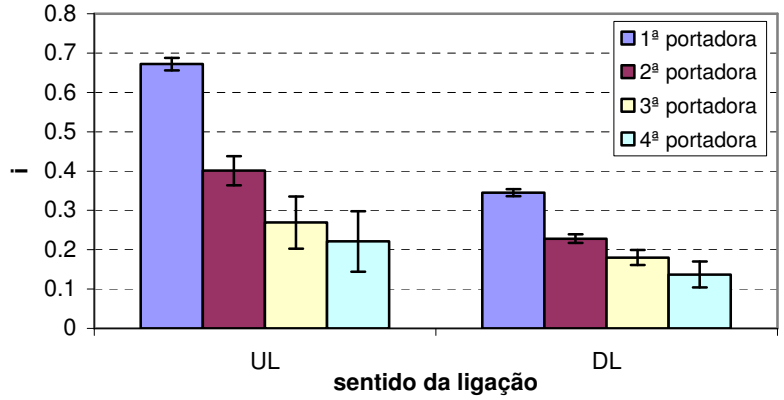


Figura 5.11 – $\bar{i}$ vs. 4 portadoras.

Para os factores de carga Figura K.6 e Figura K.7, em DL e UL respectivamente, observa-se que em DL este diminui e que para tal contribui o decréscimo de *i* e do número de utilizadores, pois para o cálculo do factor de carga em DL, equação (2.3), o *i* tem grande influência visto ser contabilizado por utilizador. Em UL pode observar-se um aumento do factor de carga embora o *i* venha diminuindo por portadora. O aumento deve-se ao facto de a atribuição de portadoras estar mais relacionada com o DL, pelo facto que neste sentido da ligação os débitos serem mais elevados (em UL é apenas utilizado um débito de 12.2 kb/s para voz e de 64 kb/s para dados), atingindo-se mais rapidamente o factor de carga limite, para uma portadora. Todos os resultados relativos à variação do número máximo de portadoras se encontram no Anexo K.

Conclui-se que com a diminuição de portadoras e consequentemente o número de utilizadores, de modo a se manterem as probabilidades verificadas no ambiente de referência, que o *i* diminui à medida que se introduz portadoras, estando em UL, apenas para uma portadora muito perto do valor habitualmente usado, 0.65. Também para uma portadora, mas em DL, obtêm-se o maior valor de *i*, mas este continua a ser inferior a 0.65. Embora o *i* decresça, os factores de carga e as margens de interferência aumentam com o acréscimo do número de portadoras, influenciados pelo aumento do número de utilizadores no sistema.

5.5 - Variação da Percentagem de Utilização dos Serviços

Outro dos parâmetros alterados relativamente ao ambiente de referência foi a percentagem de utilização dos serviços. No ambiente de referência são utilizadas as percentagens do projecto MOMENTUM, Tabela G.1, Com as novas percentagens utilizadas, fornecidas pela Vodafone, pretende-se observar as diferenças existentes entre o caso onde se dá maior ênfase à voz (***B**usy **H**our **V**oice*, BHV), Tabela G.2, e o caso onde os dados são maioritários (***B**usy **H**our **D**ata*, BHD), Tabela G.3. As percentagens do MOMENTUM e de BHD são muito semelhantes, sendo que em BHD os serviços de dados mais utilizados são os de *download* de ficheiros, de *e-mail* e de navegação de Internet enquanto que para o projecto MOMENTUM se dá mais ênfase aos serviços de vídeo telefonia e vídeo *streaming*. Olhando para os débitos utilizados em cada uma das percentagens verifica-se que os serviços de dados mais utilizados em BHD tem uma maior probabilidade de ser mais elevados, Tabela 5.2, relativamente aos utilizados em MOMENTUM.

Observando agora os resultados obtidos, para $\bar{i}$, Figura 5.12, pode constatar-se que os valores obtidos são muito semelhantes quer em UL como em DL, notando-se no entanto que para BHV o valor médio de *i* é inferior aos outros casos, e que para tal contribui o maior número de utilizadores a efectuar voz, que levará a um decréscimo dos valores médios das interferências intra- e inter-celulares, Figura L.1 e Figura L.2, em UL e DL respectivamente.

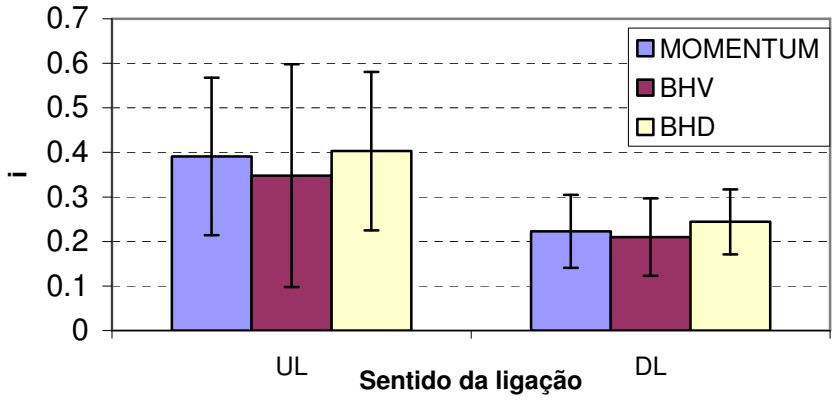


Figura 5.12 – $\bar{i}$ vs. percentagem de serviços utilizados.

Em relação ao *i* para BHD e MOMENTUM, verifica-se que o de BHD é ligeiramente superior pelo facto de a percentagem de voz utilizada em MOMENTUM ser superior (cerca de 4%). Nestas figuras observa-se que, relativamente à interferência inter-celular, as interferências para BHD e para MOMENTUM são muito idênticas, e que para BHV as interferências inter-celulares médias são mais baixas, mas no entanto têm um maior desvio padrão, o que se deve à maior utilização de utilizadores com o serviço de voz. Tomando agora em consideração a interferência intra-celular, não existem diferenças significativas entre as diversas percentagens de serviços, o que se explica devido à existência de um controlo de potência perfeito.

No que respeita aos factores de carga, Figura L.3 e Figura 5.13, quer em UL como em DL respectivamente, pode observar-se que para BHV se obtêm os factores de carga mais baixos. Entre os factores de carga relativos ao projecto MOMENTUM e os relativos à percentagem BHD, as diferenças existentes não são significativas. Estes factores de carga estão assim de acordo com os valores obtidos para o *i* e para as interferências. Da comparação com os factores de carga calculados com *i*=0.65 resulta que os factores de carga calculados com os novos valores de *i* são sempre inferiores, sendo que é em DL que essa diferença é mais acentuada, pelo facto do *i* ser menor em DL. No entanto, comparando individualmente cada caso de percentagem de serviços utilizados, a diferença entre os factores de carga actuais e os calculados com *i*=0.65 é praticamente constante como se pode observar através das Figura L.3 e Figura 5.13. Sendo as margens de interferência calculadas com base nos factores de carga, equação (2.1), as conclusões retiradas relativamente às margens são as mesmas das referidas para os factores de carga.

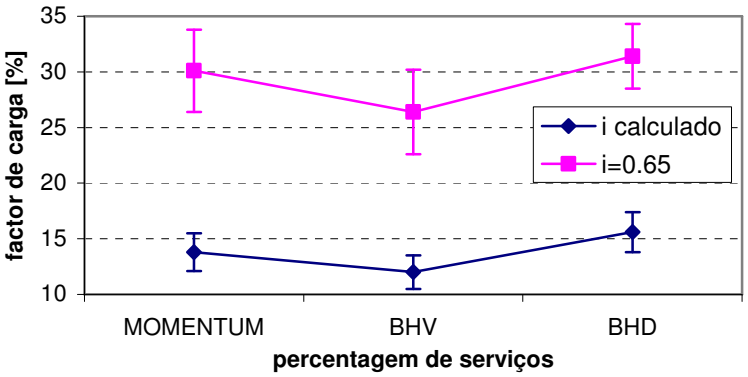


Figura 5.13 – Factor de carga em DL vs. percentagem de serviços.

Na Figura 5.14 apresenta-se a diferença existente entre a margem actual e a margem considerando *i*=0.65, com a confirmação de que em DL essa diferença é superior (cerca de 0.6 dB) à diferença em UL. Todos os resultados relativos à mudança de percentagem de serviços podem ser consultados no Anexo L

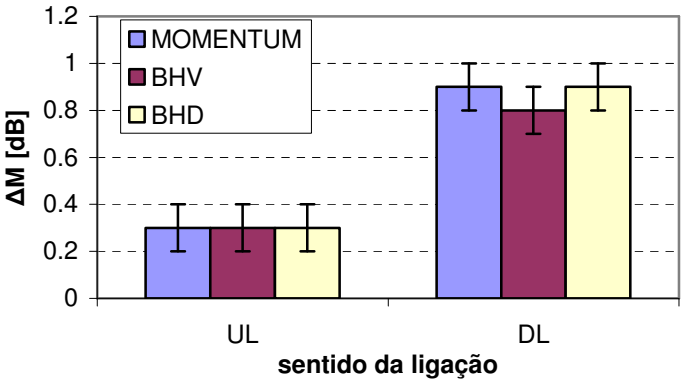


Figura 5.14 – ΔM vs. percentagem de serviços.

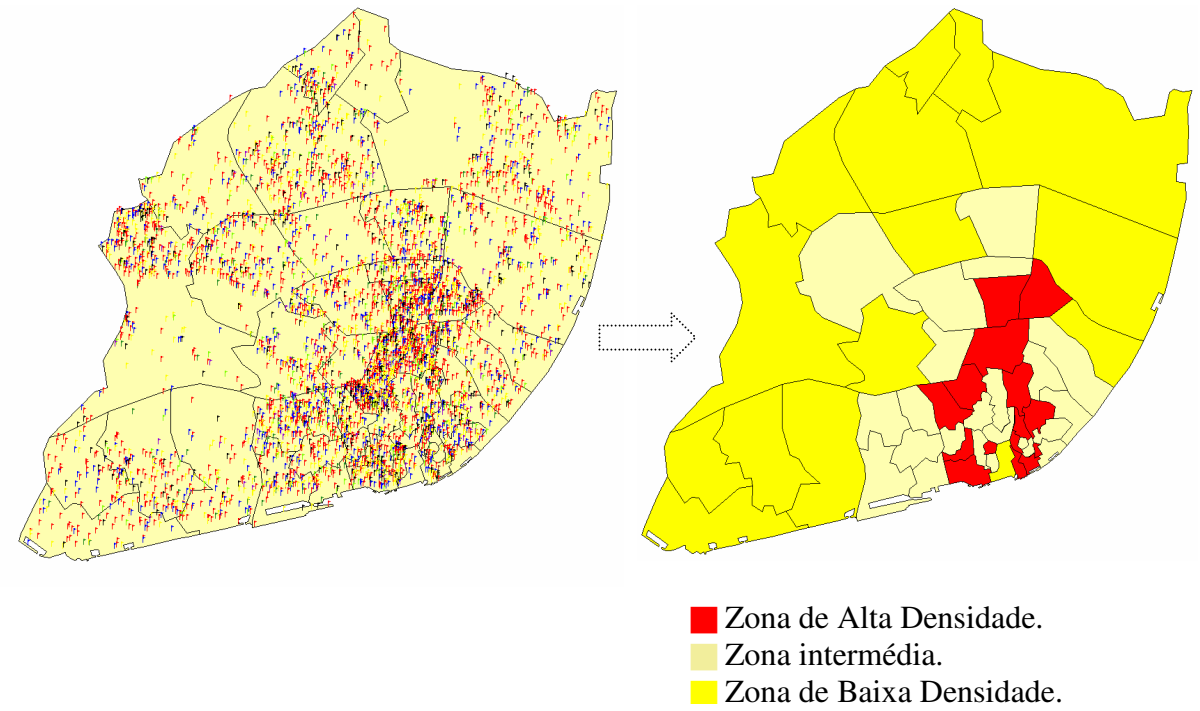
Conclui-se que com a alteração das percentagens de serviços, sendo dada num caso maior relevância ao serviço de voz, BHV, e nos outros casos maior importância aos serviços de dados, MOMENTUM e BHD, que relativamente a *i* e aos factores de carga, estes são menores para BHV e que entre MOMENTUM e BHD não existem diferenças significativas. Relativamente às margens de interferência, estas continuam a ser inferiores às calculadas considerando *i*=0.65.

5.6 - Interferência em Diferentes Zonas de Lisboa

Tal como se referiu na Secção 4.2.2, foram determinadas duas zonas, o mais distintas possível, na área em estudo neste trabalho, que é a zona urbana de Lisboa, Figura C.1. Com isto pretende-se verificar a heterogeneidade dos valores da interferência numa cidade numa situação o mais aproximada possível da realidade.

Primeiro obteve-se uma média dos valores da densidade de TMs/km^2, em cada freguesia, na cidade de Lisboa, depois de todas as simulações com a situação de referência na Secção 5.1. Tendo em conta que a média obtida por freguesia é de 172 TMs/km^2, consegue-se obter duas zonas mediante a imposição de um limite inferior e de um limite superior para esse parâmetro. As freguesias que apresentam, em média, uma densidade de TMs superior a 200 TMs/km^2 são incluídas na ZAD, enquanto que as freguesias que apresentam uma densidade de TMs inferior a 75 TMs/km^2 são incluídas na ZBD. O gráfico da Figura M.1 ilustra bem a distribuição dos utilizadores pelas várias freguesias de Lisboa, sendo Sacramento aquela que apresenta um número maior, 679 TMs/km^2, enquanto que Charneca apresenta o menor número, cerca de 10 TMs/km^2.

Com esta divisão da cidade de Lisboa, cada zona ficou com 15 freguesias. Para ilustrar bem a escolha que se fez, é apresentado na Figura 5.15 o mapa da cidade de Lisboa com os utilizadores gerados, pelo simulador, onde se observa que a densidade de utilizadores é muito superior nas zonas da Baixa de Lisboa e das Avenidas Novas (Saldanha, Marquês de Pombal), e onde se apresenta também a área já com as duas zonas bem definidas.



a) Mapa de Lisboa com 9000 utilizadores. b) Mapa de Lisboa dividido em duas zonas.

Figura 5.15 – Criação das zonas de alta e baixa densidade em Lisboa.

Com as zonas definidas obtêm-se, após as simulações, os valores médios da densidade de TMs/km^2 e o número de EBs/km^2 em cada uma das zonas, Tabela 5.6. É de realçar que, apesar de na ZAD existir maior número de TMs, existem também uma maior densidade de EBs nessa zona, o que influencia em certa forma os resultados. Se houvesse também na ZBD a mesma densidade de EBs que na ZAD, a interferência inter-celular iria aumentar devido à proximidade das células. Obteve-se também os factores de carga em ambos os sentido da ligação e, consequentemente, as respectivas margens de interferência, Figura 5.16.

Tabela 5.6 – Densidades de TMs e de EBs nas duas zonas.

	ZAD	ZBD
EBs/km^2	**5.5**	**1.6**
TMs/km^2	**368.5**	**46.3**

Pode-se verificar pelo gráfico da Figura 5.16 que, qualquer que seja o sentido da ligação, a margem de interferência na ZAD é sempre superior àquela que é observada na ZBD. Porém, os valores ainda são muito distantes da margem de 3 dB, que é aquela que se obtém para um factor de carga de 50 % e que é usada pelos operadores. Esta diferença entre as duas zonas deve-se à forte dependência entre o factor de carga e o número de TMs cobertos pelos sectores. Como na ZAD a densidade de TMs é muito mais elevado (cerca de 8 vezes superior), o factor de carga vem maior e, consequentemente, a margem de interferência.

Também se pode constatar que a margem em UL é superior à margem em DL e que a diferença entre a margem das duas zonas em UL é superior (0.6 dB) à diferença entre as margens em DL (0.3 dB). Isto acontece porque sendo a interferência em UL muito mais dependente do número de utilizadores cobertos do que em DL, que depende fortemente da potência das EBs, o parâmetro *i* aumenta com o aumento da interferência inter-celular, já que existem mais utilizadores interferentes em UL em células adjacentes na ZAD. Mesmo com mais utilizadores na ZAD, que faz aumentar a margem nesta zona comparativamente à margem na ZBD, a potência das EBs não é muito diferente entre estas duas zonas, sendo por isso que a diferença é menor em DL do que em UL.

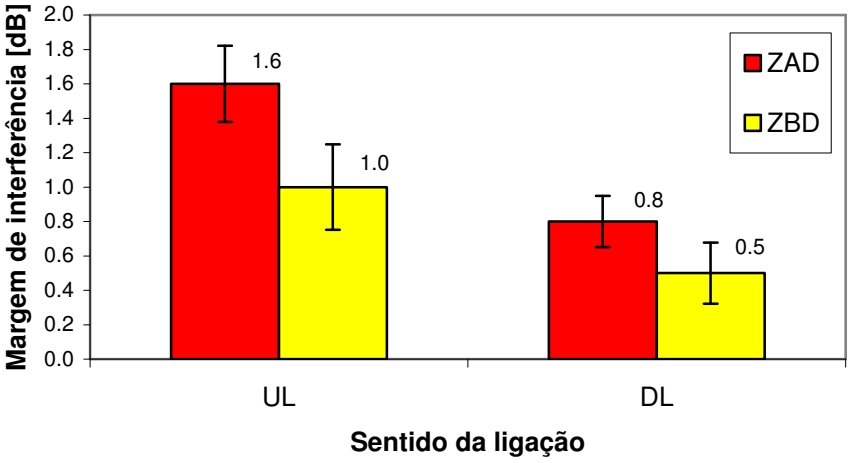


Figura 5.16 – Comparação da margem de interferência nas duas zonas.

Comparando a margem de interferência actual, aquela que é calculada através de um factor de carga que usa o *i* obtido, e a margem antiga, onde se usa *i*=0.65, pode verificar-se na Figura 5.17 e Figura 5.18 que, em qualquer zona e em qualquer sentido da ligação, a última apresenta-se sempre superior. As diferenças mais significativas notam-se em DL, nomeadamente na ZBD. Neste caso a diferença de margens chega a 1 dB, que vem novamente realçar a importância de uma correcta estimação do factor *i*. Aqui este parâmetro do sistema

vem inferior no cálculo do factor de carga actual, originando uma menor margem de interferência do que considerando 0.65. Com os mesmos valores para os parâmetros que entram em jogo no cálculo do factor de carga em DL, o caso que apresente um menor valor para o parâmetro *i* de cada utilizador origina, necessariamente, uma menor carga no sistema.

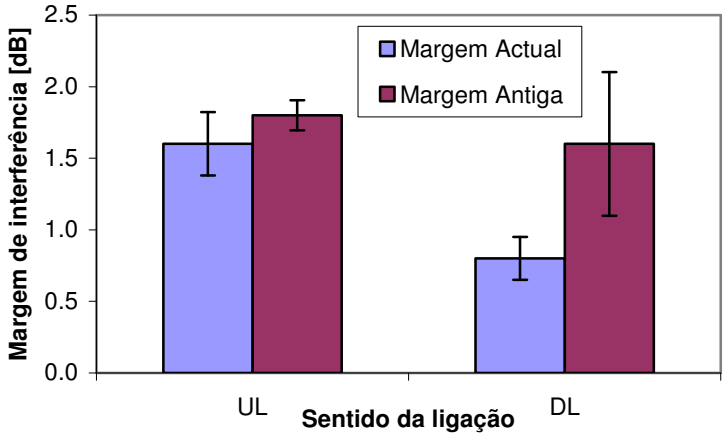


Figura 5.17 – Comparação das margens de interferência antiga e actual na Zona de Alta Densidade.

No entanto verifica-se que mesmo as margens antigas, tanto em UL como em DL, são superiores na ZAD mas é de realçar o facto de que na ZBD, Figura 5.18, a margem em DL é superior à margem em UL, mostrando uma vez mais que o número de TMs tem uma grande influência na carga do sistema no sentido ascendente da ligação.

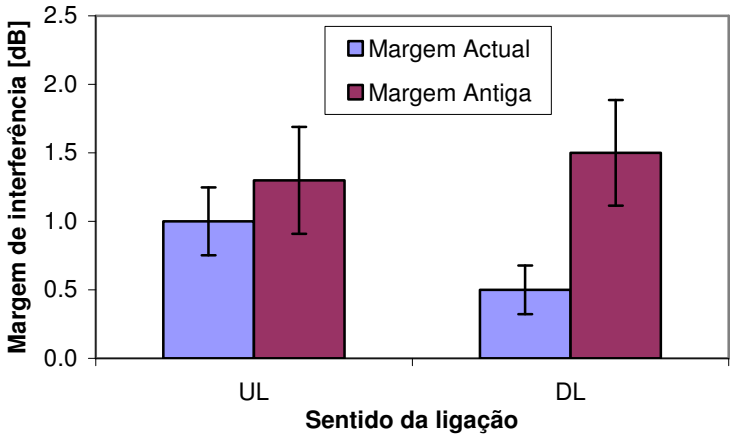


Figura 5.18 – Comparação das margens de interferência antiga e actual na Zona de Baixa Densidade.

No Anexo M encontram-se mais detalhados os resultados das simulações realizadas neste caso, nomeadamente os resultados das margens de interferência e factor de carga em cada portadora disponível no sistema, em cada zona e em cada sentido da ligação.

Conclui-se que da divisão da área de Lisboa em duas zonas específicas, uma com maior e outra com menor densidade de TMs, resulta uma diferença nas margens de interferência de cerca de 0.6 dB, em UL. Em DL, obtêm-se 0.3 dB de diferença. Assim sendo, aquando do dimensionamento de uma rede poderá optar-se por valores distintos para as margens de interferência, tendo em vista o aumento da capacidade do sistema.

5.7 - Introdução de Desvanecimento Lento

Ao se introduzir desvanecimento lento tenta-se aproximar um pouco mais o simulador, e o cálculo da interferência na rede, ao que acontece na realidade. A introdução de uma

variável aleatória que segue uma distribuição log-normal, na qual se foi variando o desvio padrão mas mantendo a média nula constante, com a intenção de reproduzir o efeito do desvanecimento lento, tem algum impacto no sistema.

Como se pode ver pela Figura 5.19, o parâmetro *i* sofre alterações à medida que o efeito do desvanecimento lento é mais forte. Quanto maior for o desvio padrão da distribuição log-normal, maior será o *i*, que se deve ao facto de apenas a interferência inter-celular aumentar, Figura N.1 e Figura N.2, porque assumindo controlo de potência perfeito, a intra-celular não sente o efeito do desvanecimento lento. Também é natural que o desvio padrão do parâmetro *i* e das interferências sofram também um aumento, reflectindo o carácter aleatório do desvanecimento.

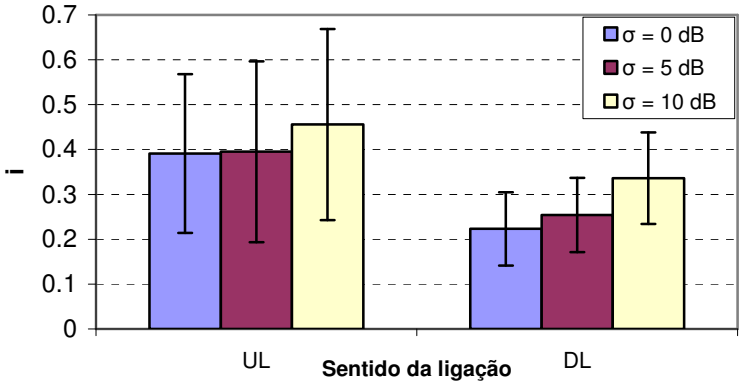


Figura 5.19 – $\bar{i}$ vs. desvanecimento lento.

Importa também realçar o valor de *i* para a primeira portadora quando se aplica o desvanecimento ao cálculo da interferência Tabela N.14. Enquanto que sem desvanecimento, em UL, o valor ronda os 0.65 usados pelos operadores, quando se introduz o efeito do desvanecimento lento observa-se este valor é excedido, chegando a 0.78 com o desvio padrão da log-normal igual 10. Logo, este valor dá a indicação que, usando apenas uma portadora no sistema, este parâmetro pode chegar a valores ainda mais elevados, o que prejudicará o desempenho da rede.

Com o aumento do *i* em ambos os sentidos, também o factor de carga aumenta quando se introduz um maior nível de desvanecimento lento, nos dois sentidos da ligação, Figura N.3 e Figura 5.20. Porém, este aumento ainda não é suficiente para se poder dizer que um valor para *i* de 0.65 seja aceitável. O valor do factor de carga está aquém daquele que é calculado assumindo *i*=0.65 e sem desvanecimento, sendo esta diferença mais acentuada em DL, já que neste sentido o *i* é menor.

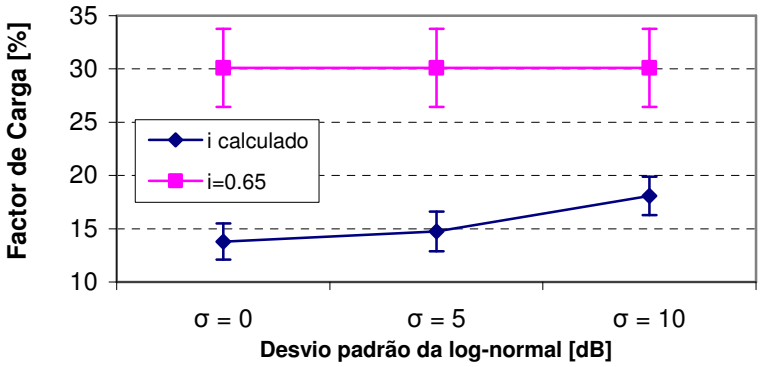


Figura 5.20 – Factor de carga em DL vs. desvanecimento lento.

Esta evolução crescente dos valores do *i* contribuem para a evolução crescente do factor de carga, e este, por sua vez, origina também a evolução crescente da margem de interferência. Na Figura 5.21 está representada, uma vez mais, a diferença entre a margem calculada usando *i*=0.65 e a margem calculada com o novo valor de *i*. É notória a progressiva diminuição dessa diferença à medida que se introduz um maior nível de desvanecimento lento, em UL e DL, já que a interferência inter-celular aumenta, aumentado o *i*, que por sua ver faz subir a carga no sistema e esta origina a subida da nova margem de interferência, embora esta ainda esteja muito longe dos 3 dB usada pelos operadores.

No Anexo N encontram-se outros resultados, nomeadamente tabelas com as interferências e outros parâmetros em cada portadora disponível no sistema.

Conclui-se que a introdução de desvanecimento lento o *i* aumenta embora não chegue aos 0.65. Com base nos valores obtidos sem desvanecimento lento onde o *i*, para apenas uma portadora era 0.64, pode concluir-se que com a introdução de desvanecimento lento este valor tenderá a subir, ultrapassando assim o valor de *i*=0.65.

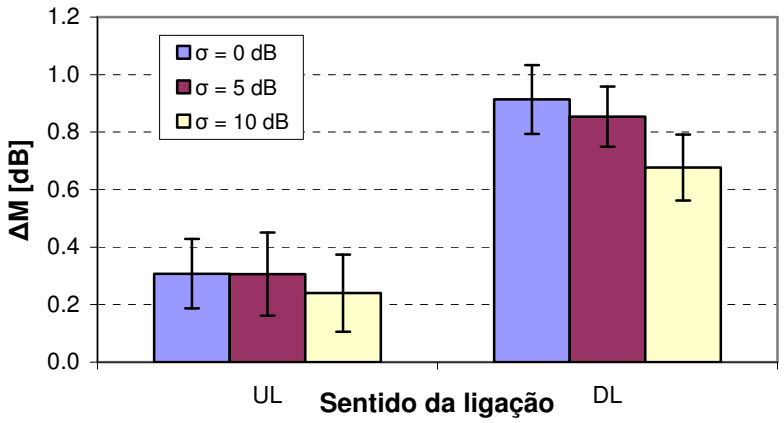


Figura 5.21 – ΔM vs. desvanecimento lento.

5.8 - Resultados para a Capacidade

Com os resultados obtidos para o cenário de referência, apresentados na Secção 5.1, e para as diferentes zonas de Lisboa, apresentados na Secção 5.6, foram efectuados alguns cálculos com o objectivo de se determinar o impacto que as novas margens de interferência têm na capacidade do sistema. As expressões e valores usados no balanço de potência para o cálculo do raio nominal das células encontram-se no Anexo F.

Os valores obtidos para o novo raio nominal da célula, usando os novos valores para as margens de interferência, para diferentes serviços e cenários de referência, são apresentados na Tabela 5.7:

Tabela 5.7 – Valores do raio nominal resultantes da variação da margem de interferência, para diferentes serviços e cenários de referência.

	Raio nominal [km]					
Serviço de referência	**128 kb/s**			**384 kb/s**		
Cenário de referência	**Ped.**	**Vei.**	**Int.**	**Ped.**	**Vei.**	**Int.**
$\overline{M_I}$ = 3 dB (padrão)	0.78	0.59	0.23	0.79	0.58	0.24
$\overline{M_I}$ ~ 1.2 dB (ambiente de referência)	0.86	0.66	0.26	0.88	0.65	0.27
$\overline{M_I}$ = 1.6 dB (ZAD)	0.85	0.64	0.26	0.86	0.63	0.26
$\overline{M_I}$ = 1 dB (ZBD)	0.88	0.67	0.26	0.89	0.66	0.27

Os valores de $\overline{M_I}$ do ambiente de referência usados foram 1.3 dB para cenário pedestre, 1.2 dB para veicular e 1.1 para interior, tal como apresentados na Tabela I.1 e Tabela J.1.

Como era de esperar, e olhando para os valores da Tabela 5.7, os valores do raio nominal aumentam quando se aplica uma margem de interferência inferior àquela que é usada como padrão pelos operadores (3 dB). Com a margem obtida de 1.2 dB (calculada com os valores do parâmetro *i* calculados neste trabalho), para o cenário de referência pedestre obteve-se uma diferença de 80 m em relação à margem de 3 dB para o serviço 128 kb/s e 90 m para 384 kb/s. Esta diferença ainda é superior quando se faz os cálculos para a margem obtida na ZBD, chegando aos 100 m. Com este novo raio nominal a área coberta excede em, aproximadamente, 0.52 km^2 a área coberta pelas células quando a margem é de 3 dB. Já para a ZAD, e ainda no cenário pedestre, com $\overline{M_I}$ = 1.6 dB, a diferença entre o raio nominal desta zona e aquele que é obtido com $\overline{M_I}$ =3dB é cerca de 70 m, o que se traduz num aumento de 0.36 km^2 de área coberta.

Quanto às diferenças observadas para o cenário veicular e interior verifica-se que os raios não aumentam de uma forma tão acentuada como no caso pedestre. No entanto, observando o aumento do raio relativamente ao raio calculado com a margem a 3 dB em termos percentuais, Figura 5.22, verifica-se que o maior aumento corresponde ao cenário veicular quando se aplica a margem de 1 dB. É também de realçar a percentagem de aumento constante no cenário interior quando se aplicam vários valores para a margem de interferência. Isto acontece porque o raio nominal, quando se aplica 3 dB de margem, já é muito influenciado pela atenuação de 20 dB e pelos valores de E_b / N_0 existente neste ambiente, não havendo portanto uma grande influência da margem de interferência no raio das células deste cenário. A variação do raio é pequena em termos absolutos mas se se olhar à percentagem desse aumento, esta já é relevante.

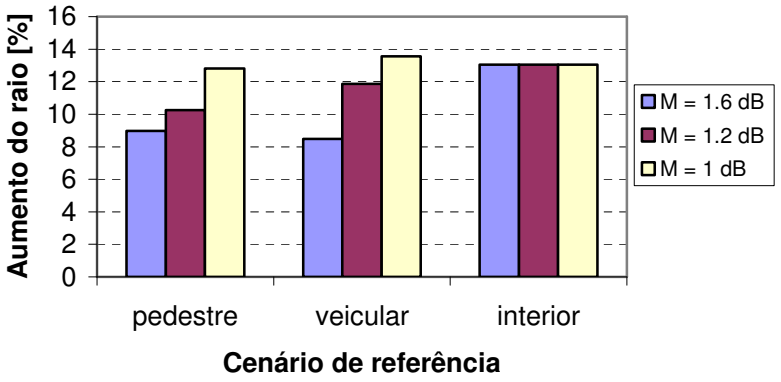


Figura 5.22 – Percentagem de aumento do raio nominal nos vários cenários de referência aplicando novas margens de interferência, no serviço de referência 128 kb/s.

Conclui-se que o impacto da interferência na capacidade se traduz num aumento do raio nominal quando a margem de interferência diminui. Num cenário pedestre, e com o serviço de referência 128 ou 384 kb/s, a diferença obtida para o raio nominal das células quando se usa a margem de 3 dB, que é habitualmente usada, e a margem obtida numa zona de baixa densidade de TMs (1 dB), pode chegar a 100 m, o que se traduz em mais 0.5 km^2 de área que poderia ser coberta se fosse utilizada uma margem adequada em cada zona. Numa área onde a densidade de TMs é elevada, onde a margem calculada foi de 1.6 dB obteve-se um aumento do raio de 70 m.

6 - Conclusões

Neste trabalho é feito um estudo do impacto da interferência na capacidade numa rede celular UMTS co-localizada com uma de GSM. Para tal implementou-se em C++ os modelos de cálculo da interferência numa aplicação já existente, *Net_opt*, responsável pelo dimensionamento da rede. Este dimensionamento é feito depois da criação da rede, usando a aplicação *UMTS_Simul* que utiliza o *software* MapInfo. Os resultados da interferência são obtidos após todo o dimensionamento da rede.

Utilizam-se diferentes modelos para as interferências intra- e inter-celulares e um para cada sentido de ligação. Para a intra-celular em DL foi utilizado o modelo descrito em [SKYM03] que tem em consideração a potência transmitida pela EB, o número de TMs dentro da célula, o factor de ortogonalidade dos códigos, estando este compreendido entre 0 (para códigos completamente ortogonais) e 1 (ausência de ortogonalidade), e sendo a atenuação de percurso entre a EB e o TM calculada através do modelo de propagação COST 231-Walfisch-Ikegami. Para a intra-celular em UL, o modelo utilizado foi o de [Nguy05] que contabiliza a potência recebida pela EB dos TMs e o factor de actividade do serviço de cada TM (0.5 para voz e 1 para dados). Ambos os modelos utilizados para a interferência intra-celular assumem que existe um controlo de potência perfeito. Para a interferência inter-celular em DL utilizou-se o modelo descrito em [Chen03] e que toma em consideração a potência total transmitida pelas EBs adjacentes, a atenuação de percurso entre EB e TM e onde também é contabilizada a atenuação devido ao desvanecimento lento, seguindo este uma distribuição com média nula e um certo desvio padrão. O modelo de [Chen03] não contabiliza o factor de ortogonalidade, pelo que este parâmetro foi adicionado ao modelo com o intuito de se obter valores mais coerentes. Em UL, o modelo utilizado foi o descrito em [Nguy05] que contabiliza a potência recebida pela EB dos TMs de células adjacentes, o factor de actividade do serviço efectuado por cada TM e que também considera a atenuação devido ao desvanecimento lento.

Foram feitas várias simulações variando vários parâmetros do sistema, tais como o serviço e cenário de referência, número máximo de portadoras no sistema e percentagem de utilização dos serviços disponíveis, para se determinar qual o seu impacto na interferência. Outros casos analisados são o impacto da introdução do desvanecimento lento e a divisão da cidade de Lisboa em duas zonas distintas.

Foi definido um ambiente de referência que melhor se aproxima de uma rede real, com um serviço de referência de 128 kb/s e um cenário de utilizador de referência pedestre. O número de utilizadores gerados foi 9000 para garantir probabilidades de bloqueio e de atraso inferiores a 1% e a percentagem de serviços utilizada foi a do projecto MOMENTUM. Através dos resultados obtidos conclui-se que os valores de i, 0.39 em UL e 0.22 em DL, são inferiores ao 0.65 habitualmente usado. Os factores de carga, influenciados pelo i, são assim menores fazendo com que os valores das margens de interferência sejam inferiores comparativamente às margens obtidas com i=0.65. Em DL a diferença entre as margens é de 0.9 dB enquanto que em UL essa diferença não é tão significativa, 0.3 dB. De salientar que ambas as margens obtidas são inferiores aos 3 dB considerados habitualmente nos balanços de potência.

Conclui-se também que a variação do serviço de referência do sistema não influencia de um modo relevante os resultados da interferência, dado que não existem diferenças substanciais nos parâmetros da rede.

Variando o cenário de referência, onde a principal diferença nos parâmetros da rede são a diminuição do raio efectivos (diminuindo de pedestre para interior), verifica-se que o i continua inferior aos 0.65, tendo inclusivé diminuído em UL e não existindo alterações significativas em DL. Para veicular obtêm-se 0.34 e 0.24 em UL e em DL respectivamente e

para cenário interior obtêm-se 0.17 e 0.22, em UL e em DL respectivamente. Com a diminuição do *i* também os factores de carga diminuem e consequentemente a margem de interferência. Comparando as margens actuais com as margens obtidas com *i*=0.65, em DL, não existe diferença entre os cenários, sendo de 0.9 dB a diferença entre elas. Em UL, esta diferença vai aumentando à medida que o raio efectivo nos cenários diminui, tendo-se para veicular 0.4 dB e para interior 0.9 dB.

Outros dos parâmetros alterados relativamente ao ambiente de referência é o número máximo de portadoras existentes na rede. Com a diminuição de portadoras também se diminui o número de utilizadores, de modo a manter as probabilidades verificadas no ambiente de referência. Relativamente aos resultados obtidos, verifica-se que o *i* decresce à medida que se introduz portadoras, estando para uma portadora apenas, em UL, muito perto do valor habitualmente usado, 0.65. Em DL, também para uma portadora, embora seja o maior valor obtido, este continua a ser inferior a 0.65. Quanto aos factores de carga, estes aumentam com o aumento de portadoras, influenciados pelo acréscimo do número de utilizadores cobertos. Com o aumento dos factores de carga, também as margens de interferência aumentaram. Comparando as margens obtidas após o cálculo das interferências com as obtidas com *i*=0.65, verifica-se que a diferença entre elas aumenta com o número de portadoras, sendo que em DL essa diferença é mais acentuada, influenciada pelos menores valores de *i* obtidos relativamente aos obtidos em UL.

Alterando as percentagens de serviços, dando-se num caso maior relevância ao serviço de voz (BHV, Tabela G.2) e nos outros casos maior importância aos serviços de dados (MOMENTUM, Tabela G.1 e BHD, Tabela G.3), observa-se que relativamente a *i* para BHV se obtém o menor, visto as interferências serem menores, nomeadamente a inter-celular. Entre BHD e MOMENTUM não existem diferenças significativas. Para os factores de carga, sendo estes dependentes do *i*, verificou-se o já descrito acima, que o menor factor de carga corresponde ao BHV e que para MOMENTUM e BHD não são observadas alterações relevantes. Da comparação das margens conclui-se que as agora obtidas continuam a ser inferiores e que essa diferença, em UL, é igual a 0.3 dB para todas as percentagens de serviços analisadas e que em DL a menor diferença é verificada para BHV, 0.8 dB, sendo que para os outros casos essa diferença é 0.9 dB.

Quando se divide a área da cidade de Lisboa em duas zonas específicas, uma com maior e outra com menor densidade de utilizadores, verifica-se uma diferença nas margens de interferência de cerca de 0.6 dB, em UL. Em DL o valor é de 0.3 dB devido ao baixo valor do parâmetro *i* que afecta em grande parte o factor de carga. É, então, de salientar que poderão existir dois cenários distintos para a interferência numa rede UMTS. Aquando do dimensionamento da rede poderá optar-se, assim, por valores distintos para a margem de interferência, tendo em vista o aumento da capacidade do sistema.

Outro efeito na interferência que foi analisado foi o desvanecimento lento. Este tem impacto na interferência média global do sistema embora, com o uso de 4 portadoras, o valor do *i* médio global não chegue a 0.65, aumentando de 0.39 para 0.46, em UL. Com base nos resultados obtidos sem desvanecimento lento onde o *i* obtido para apenas uma portadora disponível no sistema é de 0.64, conclui-se que com a introdução de desvanecimento este valor tenderá a subir, a ultrapassando assim o valor de *i*=0.65. Quanto aos factores de carga e margens de interferência médios, estes valores tendem a aumentar, dada a variação do parâmetro *i* médio do sistema.

O impacto da interferência na capacidade traduz-se num aumento do raio nominal quando a margem de interferência diminui. Num cenário pedestre, e com o serviço de referência 128 ou 384 kb/s, a diferença obtida para o raio nominal das células quando se usa a margem de 3 dB, que é habitualmente usada, e a margem obtida numa zona de baixa densidade de TMs (1 dB) pode chegar a 100 m. Isto traduz-se em, sensivelmente, mais

0.5 km^2 de área que poderia ser coberta se se usasse uma margem adequada em cada zona. Já numa área onde a densidade de TMs é elevada, onde a margem calculada foi de 1.6 dB, obteve-se um aumento do raio de 70 m.

Como conclusões gerais tem-se que, relativamente a *i*, os resultados obtidos confirmam que este é sempre inferior ao valor 0.65, em ambos os sentidos da ligação, sendo que em UL o valor obtido está mais próximo deste. Porém, este parâmetro sofre um aumento com a introdução de desvanecimento lento, mas mantendo-se abaixo de 0.65, e diminui à medida que se introduzem portadoras no sistema. Quanto à margem de interferência, esta é sempre inferior aos 3 dB habitualmente usados para o dimensionamento da rede. A margem calculada em UL está sempre mais próxima da calculada considerando i=0.65. Outra conclusão é que existe diferença nas margens obtidas para zonas com densidade de TMs diferentes. Relativamente ao impacto na capacidade, com uma melhor estimação da margem de interferência, conclui-se que os novos raios podem ser optimizados de modo a garantir uma melhor eficiência da rede em termos de cobertura.

É importante referir as limitações existentes no trabalho desenvolvido. Os sectores das EBs usados têm todos a mesma orientação, e se tal não acontecesse, os resultados seriam mais próximos daqueles que são verificados na realidade. Neste trabalho é considerado um controlo de potência perfeito, que também não se observa na realidade, influenciando assim os resultados. Outra limitação é a não existência de qualquer outro simulador que pudesse servir de comparação e comprovação dos resultados obtidos neste trabalho. Também houve limitação em termos de tempo de simulação, que em média é de 90 minutos para um Pentium 4 com um processador de 3 GHz, o que levou a que não se pudesse testar todos os casos possíveis. Durante o trabalho foram gastas 200 horas em simulações.

Como trabalho futuro propõe-se que seja melhorado o simulador nas limitações descritas acima. Seria também interessante a análise da interferência ao longo do tempo, recorrendo a um simulador temporal. Com a chegada de outras tecnologias, nomeadamente o HSDPA e HSUPA, que vêm melhorar o sistema, seria igualmente interessante a análise do impacto da introdução destas na interferência da rede UMTS.

Anexo A - Modelo de Propagação COST 231-Walfisch-Ikegami

A atenuação de propagação pode ser estimada utilizando modelos de propagação, que se dividem em duas famílias: empíricos e semi-determinísticos. Normalmente, utilizam-se modelos determinísticos como o modelo de COST 231-Okumura-Hata e o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami, para estimar as atenuações de propagação [Corr05], [DaCo99] e [Pars92].

No trabalho foi utilizado o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami que foi desenvolvido no âmbito do projecto COST 231 [DaCo99]. Neste modelo, o campo recebido pelo móvel é dado pela soma dos campos reflectidos e difractados pelos edifícios na rua onde este se encontra. O campo no topo do edifício, na rua onde o utilizador se encontra, é obtido contabilizando a difracção provocada por um conjunto de lâminas (prédios), que penetram no primeiro elipsóide de Fresnel, Figura A.1. Admite-se, porém, que a estrutura urbana é regular e que todos os edifícios têm alturas iguais. Este modelo é válido para uma gama de frequências no intervalo [800, 2 000] MHz, distâncias de 20 m a 5 km, alturas da EB entre 4 a 50 m e alturas do TM entre 1 a 3 m, e é normalmente o modelo utilizado para a estimação de atenuações de propagação para distâncias curtas (inferiores a 5 km) dentro de cidades.

Os parâmetros de entrada do modelo são:

- Altura da EB (h_b);
- Altura dos edifícios (H_B);
- Altura do TM (h_m);
- Largura das Ruas (w_s);
- Separação entre edifícios (w_B);
- Distância entre emissor e receptor (d);
- Ângulo de orientação das ruas (ψ);
- Frequência (f).

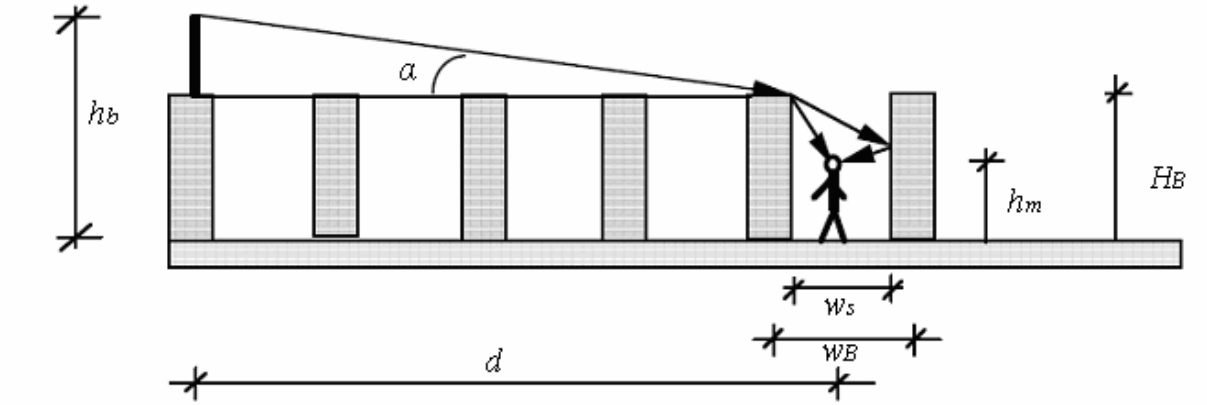


Figura A.1 – Representação dos parâmetros de entrada no modelo COST 231-Walfisch-Ikegami (retirado de [Corr05]).

No caso em que o percurso se faz ao longo de uma rua (ψ=0º) e existe linha de vista (LoS), a atenuação será dada por:

$$L_{p[\mathrm{dB}]} = 42.6 + 26\log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + 20\log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right)\ ,\ d > 0.02\ \mathrm{km} \tag{A.1}$$

No caso em que não existe linha de vista (NLoS), a atenuação é dada por:

$$L_{p[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} L_{0[\mathrm{dB}]} & , L_{tt} + L_{tm} \le 0 \\ L_{0[\mathrm{dB}]} + L_{tt[\mathrm{dB}]} + L_{tm[\mathrm{dB}]} & , L_{tt} + L_{tm} > 0 \end{cases} \tag{A.2}$$

onde:

- L_0 é a atenuação de espaço livre;
- L_{tt} é a atenuação devido às multilâminas;
- L_{tm} é a atenuação provocada pelas difracções e reflexões nos telhados e nas ruas até ao TM.

Os seus valores são dados por:

$$L_{0[\mathrm{dB}]} = 32.44 + 20\log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + 20\log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) \tag{A.3}$$

$$L_{tt[\mathrm{dB}]} = L_{bsh[\mathrm{dB}]} + k_a + k_d \cdot \log\left(d_{[\mathrm{km}]}\right) + k_f \cdot \log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) - 9\log\left(w_{B[\mathrm{m}]}\right) \tag{A.4}$$

$$L_{tm[\mathrm{dB}]} = 16.9 - 10\log\left(w_{s[\mathrm{m}]}\right) + 10\log\left(f_{[\mathrm{MHz}]}\right) + 20\log\left(H_{B[\mathrm{m}]} - h_{m[\mathrm{m}]}\right) + L_{ori[\mathrm{dB}]} \tag{A.5}$$

tendo-se:

$$L_{bsh[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} -18\log\left(h_{b[\mathrm{m}]} - H_{B[\mathrm{m}]} + 1\right) & , h_b > H_B \\ 0 & , h_b \le H_B \end{cases} \tag{A.6}$$

$$k_{a[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} 54 & , \quad h_b > H_B \\ \left.\begin{array}{ll} 54 - 0.8\left(h_{b[\mathrm{m}]} - H_{B[\mathrm{m}]}\right) & , d \ge 0.5\ \mathrm{km} \\ 54 - 1.6\left(h_{b[\mathrm{m}]} - H_{B[\mathrm{m}]}\right) \cdot d_{[\mathrm{km}]} & , d < 0.5\ \mathrm{km} \end{array}\right\} & h_b \le H_B \end{cases} \tag{A.7}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & , h_b > H_B \\ 18 - 15\dfrac{h_b - H_B}{H_B} & , h_b \le H_B \end{cases} \tag{A.8}$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0.7\left(\dfrac{f_{[\mathrm{MHz}]}}{925} - 1\right) & , \text{zonas urbanas e sub-urbanas} \\ -4 + 1.5\left(\dfrac{f_{[\mathrm{MHz}]}}{925} - 1\right) & , \text{centros urbanos} \end{cases} \tag{A.9}$$

$$L_{ori[\mathrm{dB}]} = \begin{cases} -10.0 + 0.354 \cdot \psi_{[\circ]} & , \ 0^\circ < \psi \le 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \cdot \left(\psi_{[\circ]} - 35\right) & , 35^\circ < \psi \le 55^\circ \\ 4.0 - 0.114 \cdot \left(\psi_{[\circ]} - 55\right) & , 55^\circ < \psi \le 90^\circ \end{cases} \tag{A.10}$$

A implementação do modelo de propagação neste trabalho teve como critério a distância do TM à EB. Devido à possibilidade dos utilizadores poderem estar a uma distância menor que 20 m da EB neste simulador, e dado que nesses casos não é válido este modelo de propagação, definiram-se três patamares para a distância:

- Para $d \leq 0.02\ \text{km}$, usa-se o modelo de espaço livre dado por (A.3);
- Para $0.02\ \text{km} < d < 0.05\ \text{km}$, usa-se o modelo LoS do COST 231-Walfisch-Ikegami, dado por (A.1);
- Para $d \geq 0.05\ \text{km}$ usa-se o modelo NLoS do COST 231-Walfisch-Ikegami, descrito em (A.2).

Anexo B - Diagrama de Radiação da Antena

No trabalho foi utilizado um diagrama de radiação único para todos os sectores na rede. Foi utilizado um diagrama de radiação considerado no projecto MOMENTUM [MOME04]. O diagrama de radiação é o da Figura B.1:

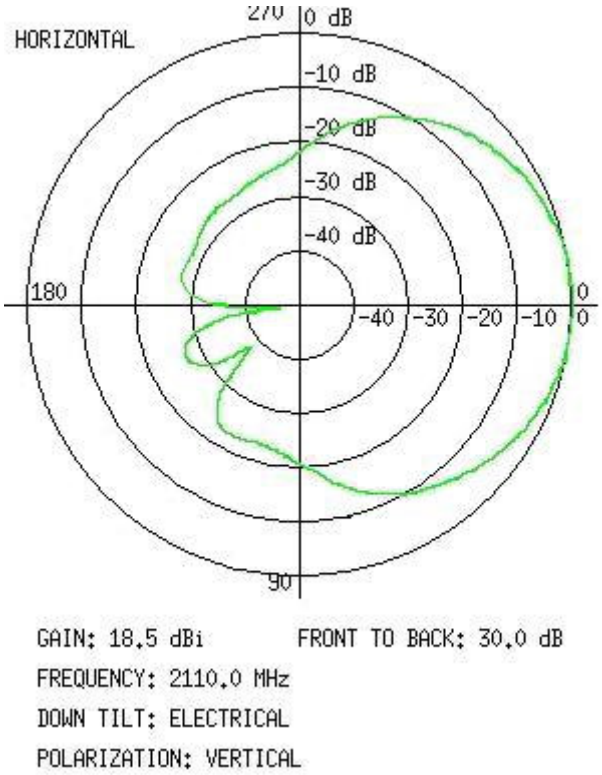


Figura B.1 – Diagrama de radiação da antena.

Sobrepondo os três sectores de uma EB obtém-se o diagrama de radiação da Figura B.2:

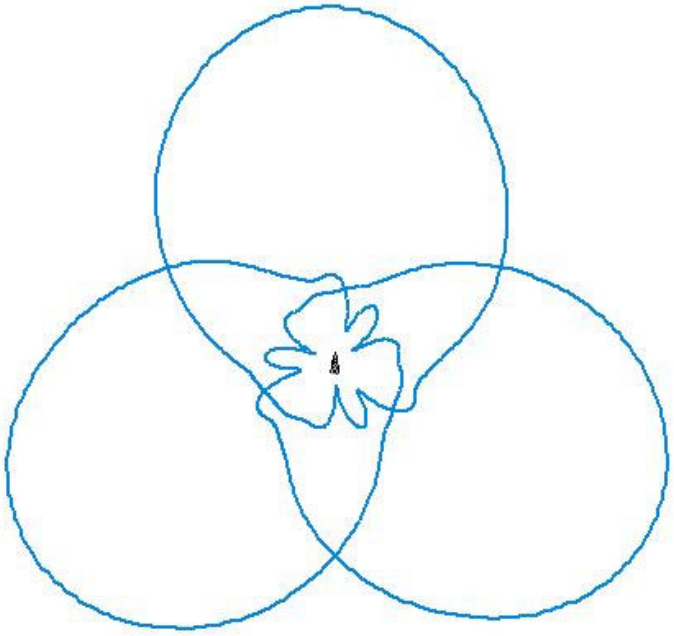


Figura B.2 – Diagrama de radiação da antena com os 3 sectores.

Anexo C - Dados Geográficos

Neste Anexo são apresentados os dados geográficos da cidade de Lisboa.

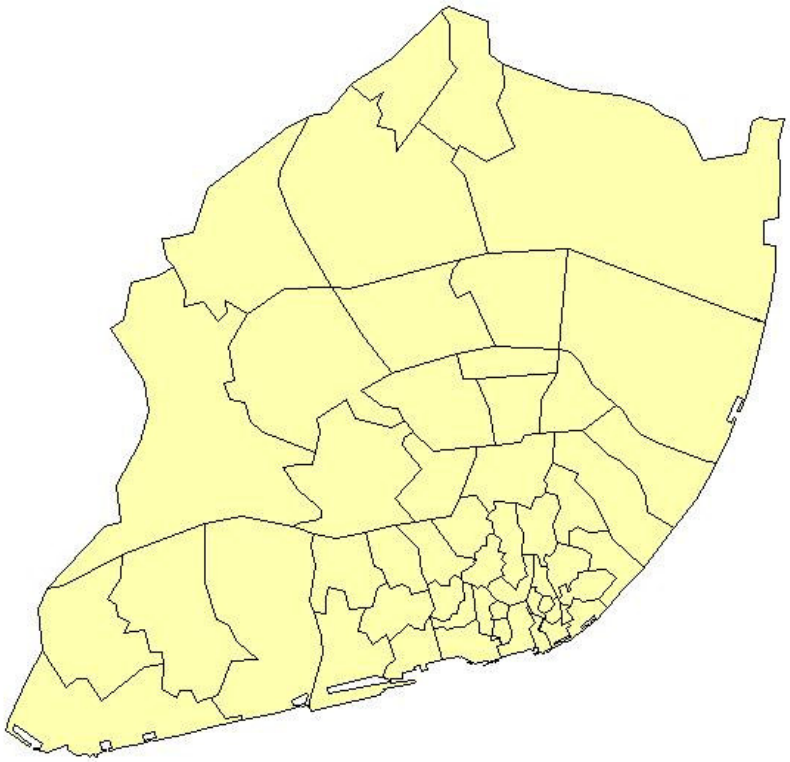


Figura C.1 – Mapa de Lisboa utilizado com a divisão das várias freguesias.

Figura C.2 – Mapa de Lisboa com as vias principais.

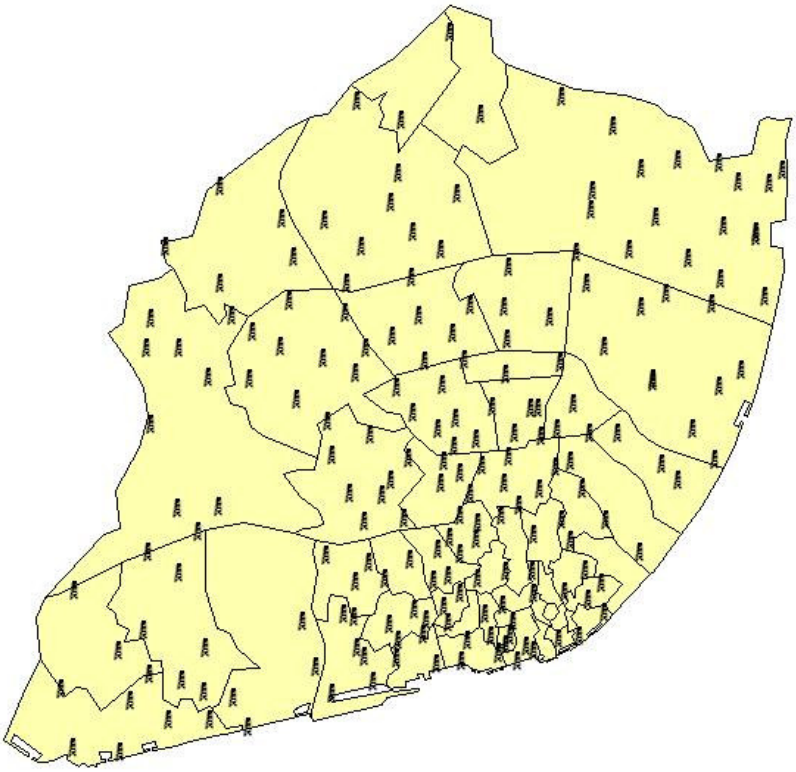


Figura C.3 – Mapa das EBs cedido pela Vodafone.

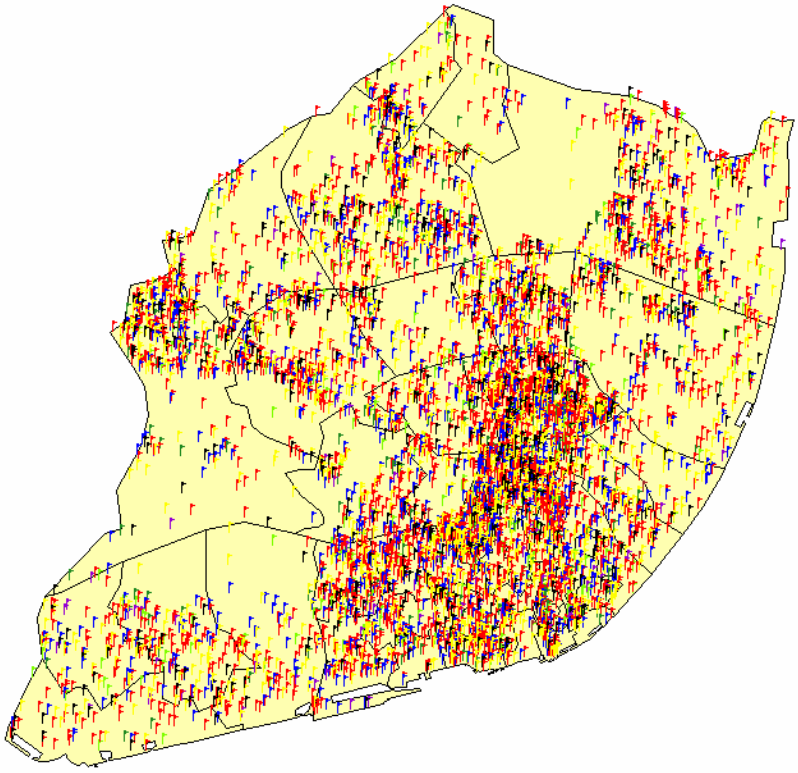


Figura C.4 – Mapa de Lisboa com os utilizadores gerados.

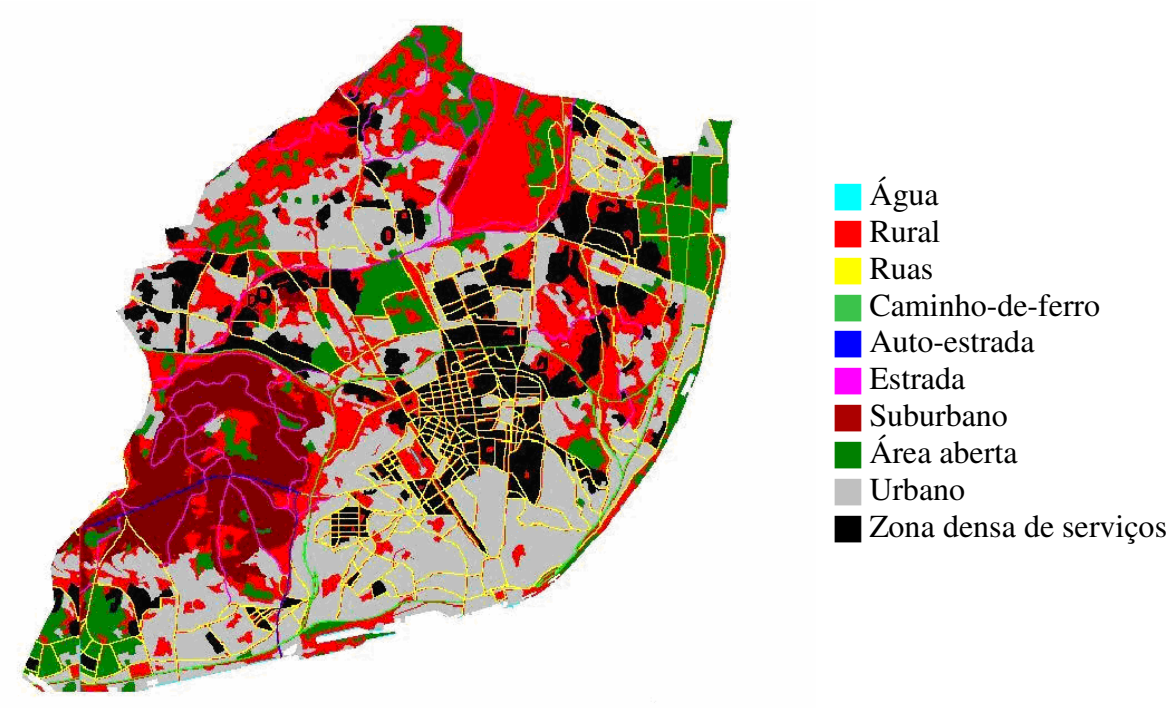


Figura C.5 – Mapa com os tipos de terrenos considerados.

Anexo D - Descrição da Versão Anterior do Simulador

Este anexo trata da descrição dos módulos do simulador que foram aproveitados neste trabalho e que formam a base do simulador usado para o cálculo da interferência. Este é constituído essencialmente por 3 partes principais: a geração de utilizadores, designada por *SIM*, e o dimensionamento da rede, composto pelo *UMTS_Simul* e pelo *Net_opt*.

Geração de utilizadores

O gerador de utilizadores usado neste trabalho é o mesmo de [CaSe04], tendo sido desenvolvido em C++. Introduzindo a informação da distribuição espacial do tráfego e do tipo de terreno, dados estes fornecidos pela Vodafone e obtidos do projecto MOMENTUM [MOME04], obtém-se, como resultado, uma geração de utilizadores realística, estando os utilizadores distribuídos de acordo com a distribuição de tráfego e onde cada um tem as suas próprias características, tais como o tipo de serviço utilizado, a atenuação consoante o cenário onde este está inserido e a sua mobilidade (interior, pedestre ou veicular).

Para o gerador de utilizadores são necessários 3 tipos de dados: o tipo de terreno, a distribuição do tráfego e as percentagens e valores de atenuação para os diferentes cenários considerados. A informação sobre o terreno considerado é representada através de uma grelha de pixeis, onde cada pixel tem um valor a ele associado que caracteriza o tipo de terreno, Tabela D.1 e Figura C.5. O gerador também necessita conhecer a dimensão da grelha, a área coberta por cada pixel e as coordenadas geográficas do primeiro pixel (sistema cartesiano projecção ***U**niversal **T**ransverse **M**ercator* (UTM) baseado no esferóide ***G**eodetic **R**eference **S**ystem 1980-GRS-1980*).

Tabela D.1 – Tipos de terreno considerados pelo gerador (retirado de [FCXV03]).

Valor associado ao pixel	Tipo de Terreno	Descrição
1	Água	Mar, lagos e rios
2	Caminho-de-ferro	Caminho-de-ferro
3	Auto-estrada	Auto-estrada
4	Auto-estrada com engarrafamento	Auto-estrada com engarrafamento
5	Estrada	Estrada principal com utilizadores movendo-se a uma velocidade relativamente elevada
6	Rua	Rua com utilizadores movendo-se a velocidades relativamente reduzidas
7	Rural	Área rural com poucos edifícios, bastante vegetação e com pouca densidade populacional
8	Suburbano	Área suburbana com uma densidade média de edifícios e de vegetação e com uma densidade populacional média
9	Área aberta	Área aberta como parques e praças, normalmente reservadas a peões
10	Urbano	Área com uma densidade elevada de edifícios, pouca vegetação e elevada densidade populacional
11	Zona de serviços densa (CBD)	Área com uma densidade bastante elevada de edifícios, quase sem vegetação e uma densidade populacional bastante elevada

A distribuição do tráfego é também representada por uma grelha semelhante à do tipo de terreno. No entanto existe uma grelha para cada serviço e os valores associados aos pixeis correspondem agora ao número médio de chamadas na hora de ponta, λ_{BHCA}.

Como já foi mencionado, o gerador atribui diferentes características (atenuação consoante o cenário e mobilidade) a cada utilizador. Para que isso seja possível é necessário definir as percentagens para os diversos cenários de utilizadores, sendo eles: exterior, interior urbano, interior sub-urbano e interior rural. São atribuídas diferentes atenuações consoante o cenário do utilizador. Estes valores podem ser modificados, numa janela específica do gerador.

Após concluída a geração de utilizadores, os dados são gravados num ficheiro pelo programa e contêm a informação relativa à identificação de cada utilizador, a sua localização em coordenadas geográficas do sistema cartesiano projecção UTM, baseado no esferóide GRS-1980, contêm também o serviço que o utilizador está a efectuar, a atenuação extra considerada para o cenário em que este está inserido e sua mobilidade.

Inicialmente é calculado o número de utilizadores a efectuar um determinado serviço, o que se pode calcular considerando o número de utilizadores em cada pixel como o resultado de um processo de Poisson com média λ_{BHCA} obtido das grelhas BHCA para o pixel e serviços correspondentes. Neste caso, a localização do utilizador será a mesma do pixel que o gerou. No entanto, pode verificar-se que para pixeis pequenos a maioria dos valores de λ_{BHCA} são muito pequenos, sendo então difícil a geração de utilizadores pixel por pixel e ao mesmo tempo seguir a distribuição pretendida. Foi então seguida outra abordagem. Em [CaSe04] a geração de utilizadores é feita segundo um processo de Poisson cuja média é igual à soma dos valores de todos os pixeis da grelha. O valor obtido corresponde ao número de utilizadores localizados em todo o terreno e não apenas num único pixel. A posição do utilizador é então calculada determinando a que pixel pertence o utilizador, através do seguinte método, Figura D.1:

1. Para cada pixel, é atribuída uma probabilidade de o utilizador estar nesse pixel igual ao λ_{BHCA};
2. Constrói-se um vector com as probabilidades acumuladas dos pixeis;
3. Para cada utilizador é gerada uma distribuição uniforme *X* entre 0 e 1;
4. O valor *Y* é obtido multiplicando o valor de *X* pela probabilidade acumulada do último pixel;
5. O pixel a que o utilizador pertence é o primeiro cuja probabilidade acumulada correspondente é igual ou superior a *Y*.

Sabendo o pixel a que o utilizador pertence, é então possível calcular a sua posição:

$$x_{[\mathrm{m}]} = \left\lfloor \left(n_{pixel} \,\%\, \mathrm{dim}_x \right) \times \mathrm{dim}_{pixel[\mathrm{m}]} \right\rfloor + x_{\mathrm{l}[\mathrm{m}]} \tag{D.1}$$

$$y_{[\mathrm{m}]} = y_{\mathrm{l}[\mathrm{m}]} - \left(\frac{n_{pixel}}{\mathrm{dim}_x} \right) \times \mathrm{dim}_{pixel[\mathrm{m}]} \tag{D.2}$$

onde:

- *x* e *y* são as coordenadas geográficas, horizontal e vertical respectivamente, do sistema cartesiano projecção UTM, baseado no esferóide GRS-1980;
- n_{pixel} é o número do pixel que o utilizador está associado;
- dim_x é a dimensão horizontal grelha em número de pixeis;

- $\dim_{pixel[\mathbf{m}]}$ é a dimensão do pixel em metros;
- $\left(n_{pixel} \% \dim_x\right)$ é o resto da divisão inteira de n_{pixel} por $\dim_x$;
- x_1 e y_1 são as coordenadas geográficas do primeiro pixel da grelha BHCA.

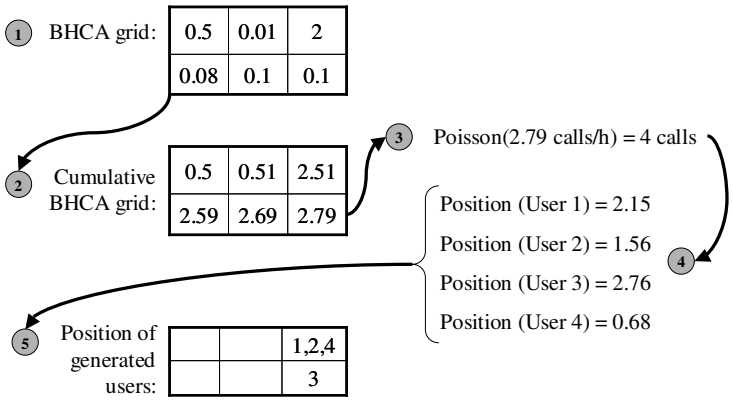


Figura D.1 – Algoritmo de geração de utilizadores (retirado de [FCXV03]).

De acordo com o tipo de terreno e com as percentagens respectivas é gerado o cenário do utilizador. A atenuação suplementar da ligação entre utilizador e EB é calculada sabendo-se qual o cenário onde o utilizador está inserido, sendo que para tal basta aceder, na grelha com a informação sobre o terreno, ao tipo de terreno representado no pixel em questão.

Quando os utilizadores de um dado serviço estiverem todos gerados, são repetidos os passos anteriores no caso de ainda haver serviços disponíveis na rede. Por fim, é guardada toda a informação num ficheiro.

UMTS_Simul

A parte seguinte à geração das listas de utilizadores consiste num dimensionamento da rede, com base na localização das EBs cedida pela Vodafone, além de todos os outros parâmetros da rede. Faz-se uso do programa *UMTS_Simul*, desenvolvido em *MapBasic*, utilizando as funcionalidades do **S**istema de **I**nformação **G**eográfica (SIG) *MapInfo* [MAPI04]. O objectivo deste bloco é trabalhar as informações, quer da rede quer dos utilizadores para, no final, e com a ajuda do bloco *Net_opt*, apresentar a disposição e os parâmetros da rede com a carga introduzida pelos utilizadores existentes. Para que tal seja possível, são necessários ficheiros com a informação da rede e da área de serviço, além do ficheiro com a lista de utilizadores, que são carregados pelo simulador:

- *R_pattern.dat* – tabela que contém o ganho das antenas das EBs para cada ângulo horizontal de chegada (assume-se igual para todas as EBs);
- *Eb_No.dat* – tabela com informação sobre o quociente entre a energia de bit e o valor médio da densidade espectral da potência de ruído para cada ritmo e cenário existente.
- *Dados.dat* – ficheiro com informação variada sobre as freguesias da cidade em questão (neste trabalho é sobre a cidade de Lisboa);
- *Zonas.dat* – contém informação sobre as zonas da área em estudo, sendo neste ficheiro que estão representadas as ruas e os espaços verdes, entre outros tipos de zonas;
- *Network.dat* – possui a localização exacta de cada uma das EBs que formam a rede UMTS que se pretende analisar;
- *Users.txt* – ficheiro de saída do programa de geração de utilizadores, não necessariamente com este nome. Apresenta toda a informação sobre os utilizadores, como por exemplo, a

sua localização, o serviço requerido, a atenuação suplementar provocado pelo meio onde está inserido e o cenário de mobilidade.

Além destes dados, existe possibilidade de se modificarem alguns parâmetros usados pelo simulador, nomeadamente os parâmetros utilizados no modelo de propagação, o cenário e o ritmo de referência, o *active set* e a potência das EBs.

O simulador começa por apresentar, a partir da informação contida nos ficheiros *Dados.dat* e *Zonas.dat*, a área onde será colocada a rede. Seguidamente, cria uma lista de utilizadores a partir do ficheiro de saída do gerador de utilizadores (*Users.txt*). É feita então uma verificação sobre a localização de cada utilizador. Se algum deles tiver uma localização fora da área de serviço considerada é automaticamente eliminado da lista de utilizadores existentes. Por fim, é apresentada, sobre o mapa já criado, a posição dos utilizadores, através de bandeiras cuja cor representa o serviço que o respectivo utilizador pretende usufruir. Existem oito serviços diferentes, apresentados na Figura D.2 juntamente com o mapa de Lisboa, obtido pela aplicação, com os utilizadores a requererem diversos serviços.

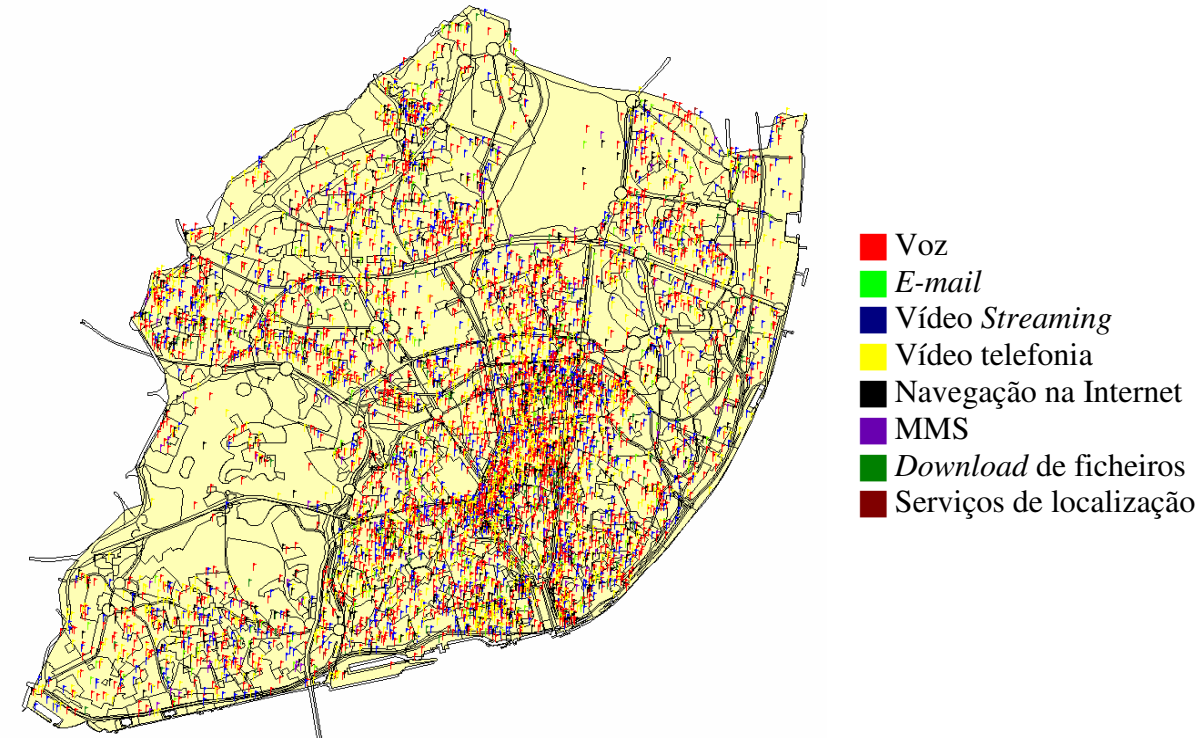


Figura D.2 – Mapa de Lisboa com 9000 utilizadores gerados.

Seguidamente, todas as EBs são colocadas na área em questão e é apresentada a área coberta pelos sectores, ilustrado na Figura D.3. O raio nominal da célula, que é igual para todas as EBs, é calculado para um determinado serviço e cenário de referência, através do método descrito em [Card05], onde é usado o diagrama de radiação das antenas das EBs (informação contida em *R_pattern.dat*), e usando o modelo de propagação COST 231-Walfisch-Ikegami, descrito no Anexo A. É de notar que os três sectores das EBs têm uma orientação predefinida: 0, 120 ou 240 graus em relação à direcção norte.

Este bloco, *UMTS_Simul*, gera cinco ficheiros de saída:

- *Definitions.dat* – contem toda informação sobre todos os parâmetros definidos da rede, como os valores do modelo de propagação, valores máximos para os factores de carga UL/DL, os raios nominais das células, o *active set*, os serviços oferecidos pela rede e o número de portadores disponíveis no sistema, entre outros;

- *Data.dat* – ficheiro com a informação sobre os utilizadores cobertos pela rede;
- *bs_freg_area.dat* – este ficheiro contêm informação sobre o número de EBs presentes em cada freguesia e qual a área desta, para que estes dados sejam usado pelo *Net_opt* para o cálculo da razão de EBs por unidade de área;
- *users_freg_area.dat* – contêm informação sobre o número de TMs presentes em cada freguesia e qual a área desta, para que no *Net_opt* se calcule a razão de TMs por unidade de área;
- *n_bs_freg.dat* – neste ficheiro é guardada uma lista com as EBs e com indicação da freguesia à qual pertencem, para ser usada no cálculo da interferência em zonas distintas da área em estudo.

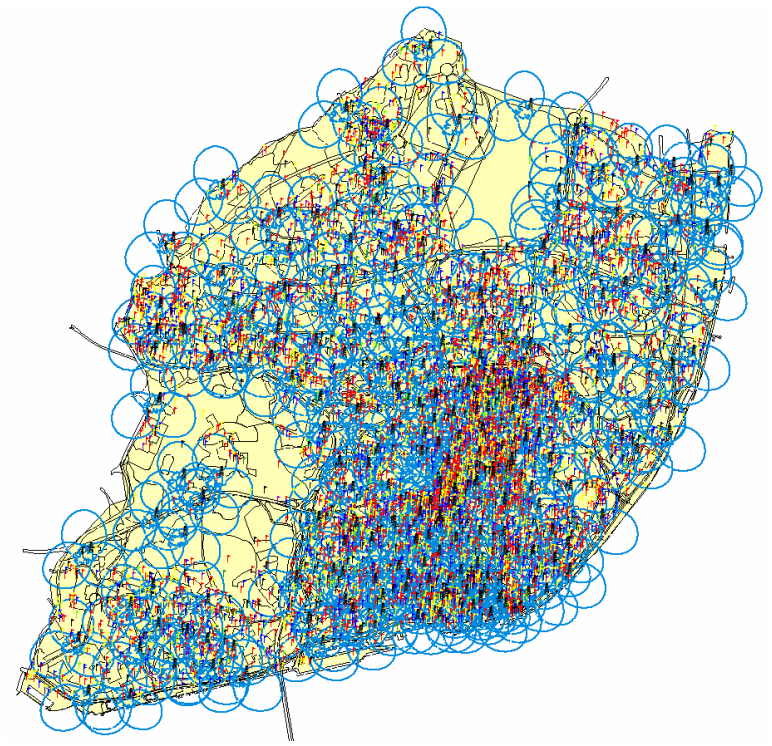


Figura D.3 – Mapa de Lisboa com 9000 utilizadores gerados e com a rede inserida.

Este bloco ainda tem a função de apresentar no final todos os parâmetros essenciais para a análise do desempenho da rede em carga, Figura D.4, depois de ter sido chamada a aplicação Net_opt. Todos estes parâmetros são guardados no ficheiro *output.out*, como por exemplo o número de utilizadores cobertos, o factor de carga em UL/DL, a probabilidade de bloqueio e de atraso, entre outros. Também são guardados nos ficheiros *max_tab.tab*, *min_tab.tab* e *avg_tab.tab*, os valores máximos, mínimos e médios, respectivamente, de vários parâmetros relacionados com os sectores.

Net_opt

O bloco *Net_opt*, desenvolvido na linguagem C++, recebe a informação sobre a rede (parâmetros das EBs, cobertura, etc.), pelo ficheiro *Definitions.dat*, e sobre os utilizadores activos criados pelo gerador de utilizadores, pelo ficheiro *Data.dat*. Com base nos dados lidos é criada a estrutura de dados utilizada pelo programa. A estrutura de dados consiste basicamente numa lista simplesmente ligada de EBs, em que cada objecto contém a sua identificação, um ponteiro para a próxima EB e um vector de três elementos. Cada um destes elementos é um ponteiro para uma estrutura que representa um sector. Em cada sector existem

variáveis onde são guardadas informações sobre o sector e ainda ponteiros para estruturas que irão representar os utilizadores ligados ao sector, os utilizadores bloqueados e atrasados, e os utilizadores em *hard handover*. Cada estrutura utilizada para representar os utilizadores consiste igualmente numa lista simplesmente ligada, em que cada objecto contém toda a informação sobre o utilizador em questão, como a sua identificação, posição, serviço, etc.

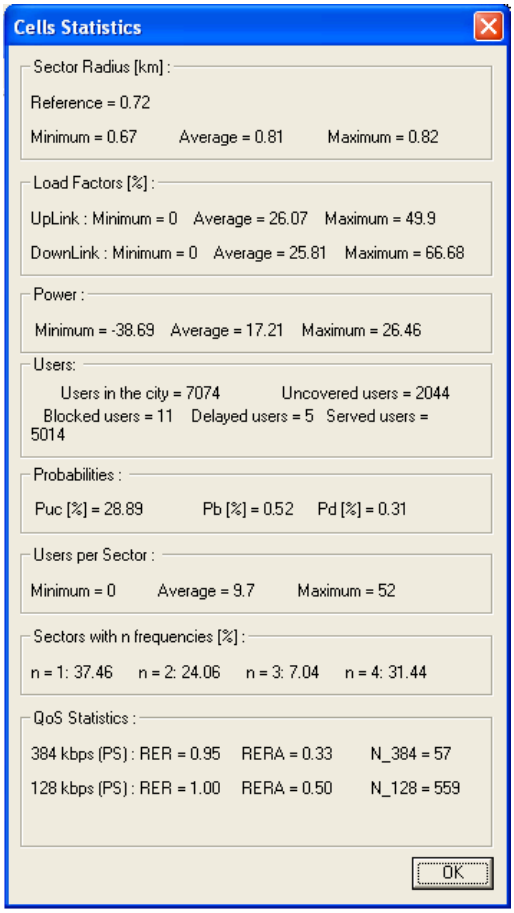


Figura D.4 – Menu de apresentação dos resultados da simulação.

No decorrer da simulação, são efectuados vários testes aos utilizadores, determinando, por exemplo, se estão efectivamente cobertos e se estão em *soft* ou *softer handover*. São também atribuídas as frequências aos utilizadores cobertos e, consequentemente, aos sectores, segundo um método que tenta assegurar que a carga no sector é equitativamente distribuída pelas portadoras disponíveis. É de realçar que o número máximo de portadoras no sistema pode ser alterado no menu apropriado para tal, embora o número máximo possível de portadoras seja de quatro, já que esta é a quantidade máxima de portadores atribuídas a cada operador, com licença de UMTS, em Portugal. Este método de atribuição de portadoras tem em conta os requisitos para os valores máximos do factor de carga em UL/DL, a potência máxima de emissão da EB e o número de códigos equivalentes ocupados. Se o número de portadoras disponíveis não for suficiente para cumprir os requisitos já referidos num determinado sector, e depois de já se ter bloqueado os utilizadores fora do raio de cobertura nominal da célula, o débito do serviço requerido pelos utilizadores é diminuído até ao débito do serviço de referência. Se mesmo assim os requisitos não forem cumpridos, o raio da célula sofre diminuições sucessivas, de 5%, bloqueando os utilizadores que se encontrem fora do novo raio. Com este mecanismo as listas de utilizadores bloqueados e atrasados num determinado sector são preenchidas, sendo também preenchida a lista com utilizadores em *hard handover* caso se encontre algum ligado a outro sector numa outra portadora.

No caso de se encontrar algum utilizador em *soft handover* ligado a diferentes sectores mas com débitos diferentes, o que não é permitido, é aplicado um de dois métodos. Num deles, o débito das ligações do utilizador é diminuído para o menor deles. No outro, que é considerado como padrão, o utilizador é bloqueado no sector onde o débito da sua ligação é menor.

Ainda neste bloco, e após todo o dimensionamento da rede, é efectuado o cálculo da interferência e sua estatística. Na Secção 4.2 descreve-se o bloco do cálculo da interferência.

Por fim, todos os parâmetros da rede são guardados em dois ficheiros de saída, de modo a serem lidos pelo bloco *UMTS_Simul* para cálculo e apresentação dos valores de maior importância do desempenho da rede:

- *User.out*: contém informação sobre os utilizadores, nomeadamente o número de bloqueados, atrasados e não cobertos, o número de utilizadores com serviços PS e CS e também a lista de utilizadores servidos com a informação do serviço requerido à rede por estes e o serviço que lhes foi atribuído;
- *Data.out*: contém informação sobre os sectores da rede, como por exemplo o número de portadoras usadas, os factores de carga em UL/DL e o número de utilizadores servidos.

Outros ficheiros são gerados à saída do bloco *Net_opt* mas esses não são lidos pelo bloco *UMTS_Simul*, já que apenas dizem respeito ao cálculo da interferência, sendo descritos na Secção 4.2.

Anexo E - Fluxogramas

Neste anexo são apresentados os fluxogramas dos algoritmos utilizados para o cálculo das interferências intra- e inter-celulares.

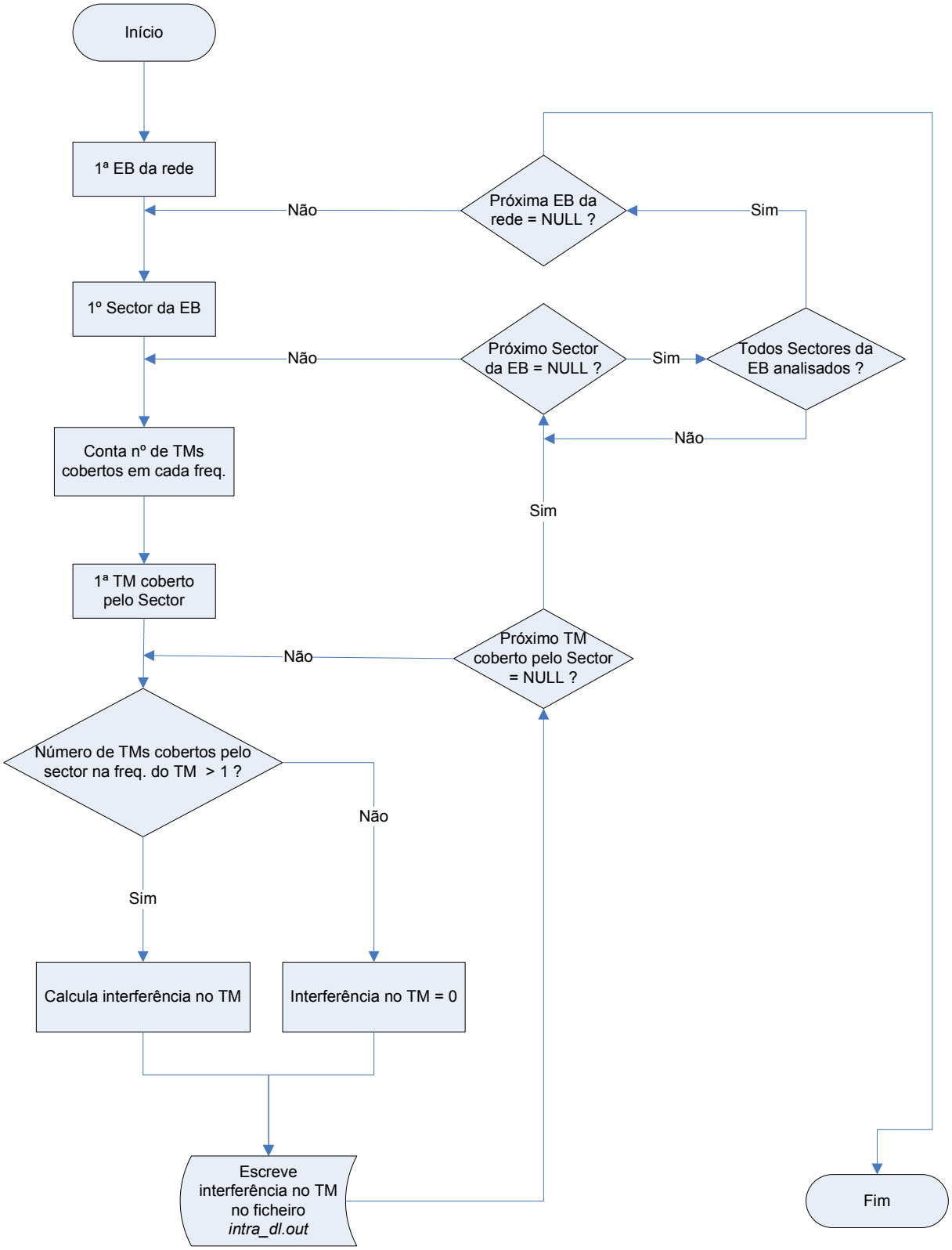


Figura E.1 – Fluxograma do algoritmo do cálculo da interferência intra-celular em DL.

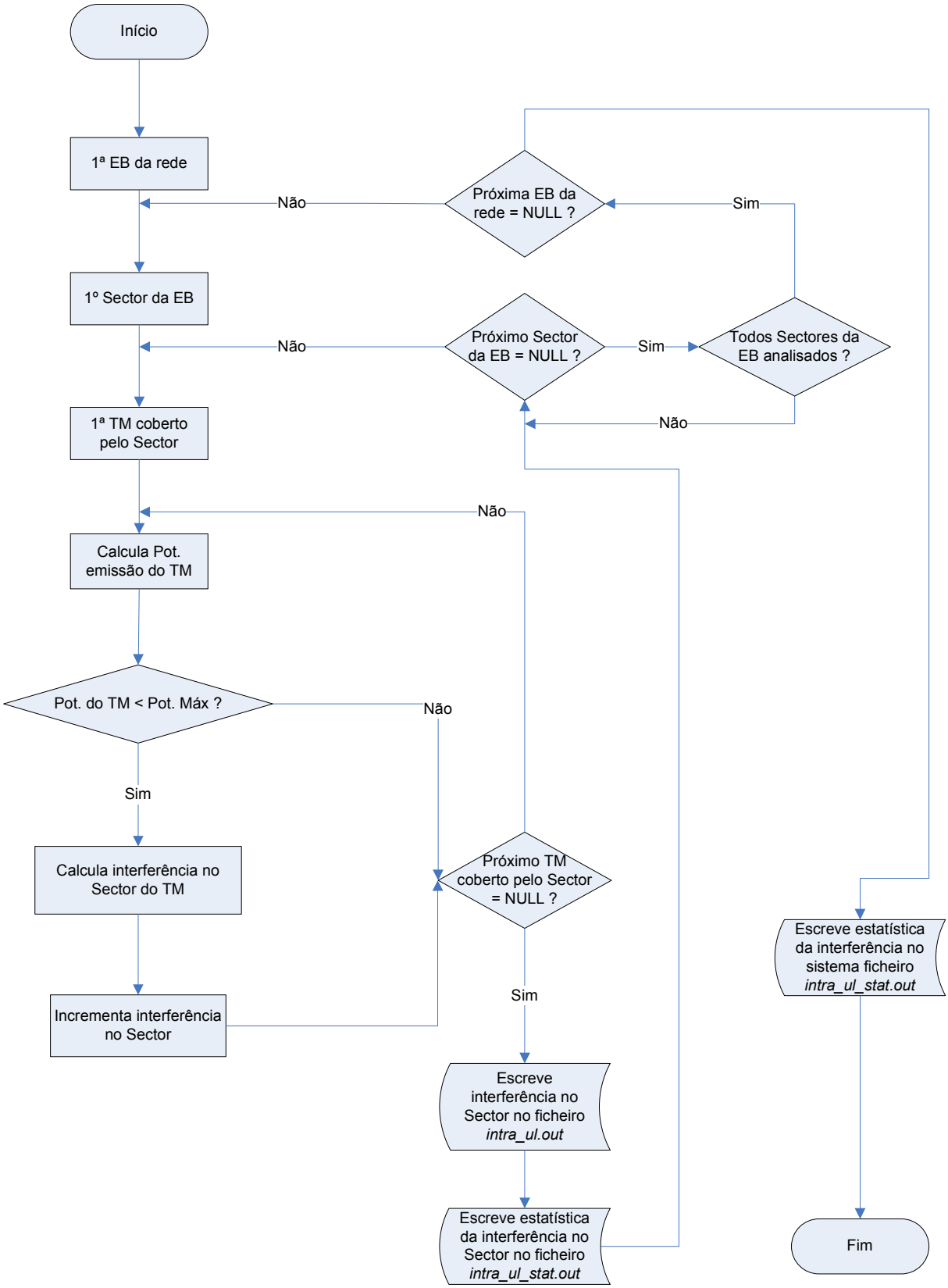


Figura E.2 – Fluxograma do algoritmo do cálculo da interferência intra-celular em UL.

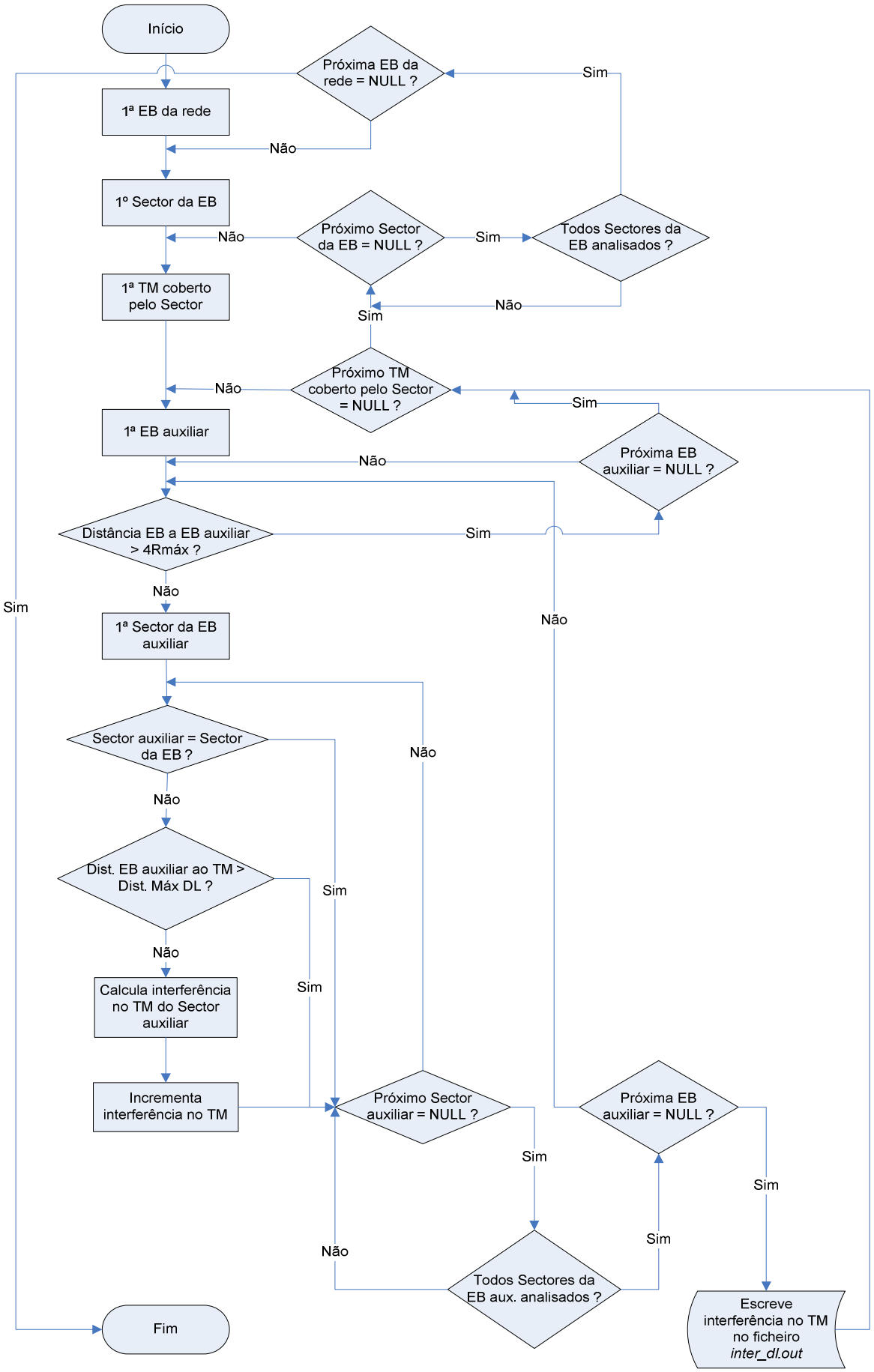


Figura E.3 – Fluxograma do algoritmo do cálculo da interferência inter-celular em DL.

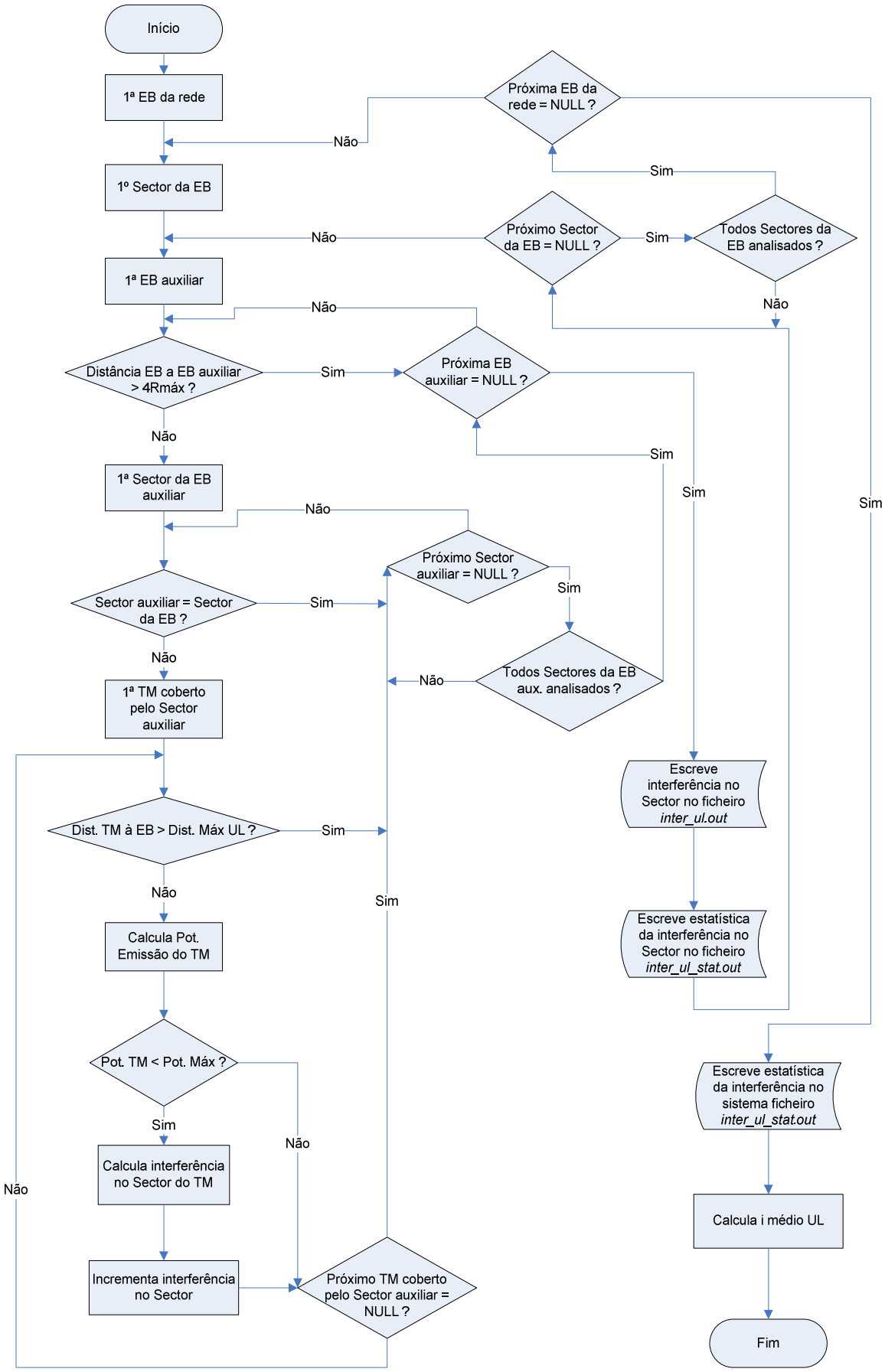


Figura E.4 – Fluxograma do algoritmo do cálculo da interferência inter-celular em UL.

Anexo F - Expressões e Valores Utilizados no Balanço de Potência

Neste anexo faz-se referência às expressões usadas para os cálculos do balanço de potência, realizado quer no dimensionamento da rede quer no cálculo das interferências. São também apresentados os valores assumidos para certos parâmetros do simulador deste trabalho, tendo sido confirmados pela Vodafone.

A expressão usada para o balanço de potência é dada por:

$$L_{P[\mathrm{dB}]} = EIRP_{[\mathrm{dBm}]} - P_{r[\mathrm{dBm}]} + G_{r[\mathrm{dBi}]} - M_{SF[\mathrm{dB}]} - M_{FF[\mathrm{dB}]} - L_{int[\mathrm{dB}]} + G_{SH[\mathrm{dB}]} \tag{F.1}$$

onde:

- L_P é a atenuação de propagação, segundo o modelo descrito no Anexo A;
- $EIRP$ é a potência efectiva radiada isotropicamente;
- P_r é a potência de recepção da antena;
- G_r é a ganho da antena de recepção;
- M_{SF} é a margem de desvanecimento lento;
- M_{FF} é a margem de desvanecimento rápido;
- L_{int} é a atenuação de penetração em ambiente interior;
- G_{SH} é o ganho de *soft/softer handover*.

O $EIRP$ é definido como:

$$EIRP_{[\mathrm{dBm}]} = P_{t[\mathrm{dBm}]} + G_{e[\mathrm{dBi}]} - L_{cu[\mathrm{dB}]} \tag{F.2}$$

onde:

- P_t é a potência de transmissão aos terminais do emissor;
- G_e é o ganho da antena de emissão;
- L_{cu} representa as perdas existentes, que em UL resultam da presença do utilizador perto da antena e em DL resultam das perdas nos cabos entre o emissor e a antena.

Na Tabela F.1 são apresentados valores para os parâmetros rádio e na Tabela F.2 encontra-se os valores para as margens de desvanecimento, atenuação em ambiente interior e ganho de soft/softer *handover*.

Tabela F.1 – Valores para alguns parâmetros rádio.

	Voz	**Dados**
P_t máxima em UL [dBm]	21	21
P_t máxima em DL [dBm]	33	37
G_e em UL [dBi]	0	0
G_r em DL [dBi]	0	0
Perdas devido ao utilizador [dB]	3	1
Perdas nos cabos [dB]	3	3

A potência máxima de emissão da EB utilizada em UMTS-FDD é 43 dBm, Descontando as perdas médias nos cabos e conectores, fica-se com 40 dBm aos terminais da

antena. A esta potência subtrai-se uma fracção para os canais comuns (2 dB), ficando assim 38 dBm disponíveis para tráfego aos terminais da antena.

No cálculo das interferências intra- e inter-celulares em UL considera-se um valor mínimo de potência de emissão para os TMs, devido à parte electrónica dos TMs impor uma determinada gama dinâmica. Com o intuito de se aproximar este simulador o mais possível à realidade considerou-se uma gama dinâmica de 70 dB [Sony06], sendo portanto o valor mínimo para a potência de emissão igual a -51 dBm.

Para o ganho de recepção da antena em UL e para o ganho de emissão da antena em DL, é usado o valor obtido do diagrama de radiação, o qual foi usado no projecto MOMENTUM [MOME04], considerando o ângulo de chegada e de partida, respectivamente, Figura B.1.

Tabela F.2 – Valores para as margens de desvanecimento, penetração em interiores e ganho de soft/softer *handover*, para vários cenários de utilização.

	Cenário de utilização		
	Interior	**Pedestre**	**Veicular**
M_{SF} [dB]	7.6	7.6	5.0
M_{FF} [dB]	2.0	2.0	0.0
L_{int} [dB]	20.0	0.0	8.0
G_{SH} [dB]	1.5	1.5	1.5

No cálculo da interferência em UL e no cálculo dos raios nominais das células é necessário calcular-se a potência mínima de recepção da EB. Obtém-se a potência de emissão mínima do TM que a comunicação se efectue nas condições mínimas, já que neste trabalho se assume um perfeito controlo de potência. A potência mínima vem dada por:

$$P_{R\min[\mathrm{dBm}]} = N_{[\mathrm{dBm}]} - G_{P[\mathrm{dB}]} + E_b / N_{0\,[\mathrm{dB}]} \tag{F.3}$$

onde:

- N é a potência de ruído;
- G_P é o ganho de processamento;
- E_b é a energia de bit;
- N_0 é a densidade espectral de ruído.

Os valores típicos de E_b / N_0, segundo [RFHL03], são apresentados na Tabela F.3, onde são consideradas velocidades de 3 km/h para utilizadores pedestres e 50 km/h para veiculares.

O valor do ganho de processamento é dado por:

$$G_{P[\mathrm{dB}]} = 10\log\left(R_C / R_b\right) \tag{F.4}$$

onde:

- R_C é o ritmo de *chip*;
- R_b é o ritmo binário do serviço;

A potência de ruído é calculada da seguinte forma:

$$N_{[\mathrm{dBm}]} = -174 + 10\log\left(\Delta f_{[\mathrm{Hz}]}\right) + F_{[\mathrm{dB}]} + M_{I[\mathrm{dB}]} \tag{F.5}$$

onde:

- Δf é a largura de banda do sinal, tomada neste caso como o ritmo de codificação (*chip*), $R_C = \Delta f = 3.84$ Mc/s;
- F é o factor de ruído, sendo igual a 3 dB em UL e 8 dB em DL;
- M_I é a margem de interferência, descrita pela expressão (2.1).

Tabela F.3 – E_b / N_0 para os diferentes serviços (adaptado de [RFHL03]).

Serviço [kb/s]	**Tipo de comutação**	**Tipo de utilizador**	**E_b/N_0 [dB]**	
			Sentido da ligação	
			UL	**DL**
12.2	**CS**	**Interior**	5.5	7.5
		Pedestre	5.5	7.5
		Veicular	6.5	8.1
64	**CS**	**Interior**	4.1	6.7
		Pedestre	4.2	6.7
		Veicular	5.2	7.3
64	**PS**	**Interior**	4.3	6.0
		Pedestre	4.3	6.0
		Veicular	5.7	7.3
128	**PS**	**Interior**	4.3	6.0
		Pedestre	4.5	6.0
		Veicular	5.6	7.1
384	**PS**	**Interior**	1.7	3.7
		Pedestre	1.9	3.9
		Veicular	3.5	5.5

Usando como potência de recepção em (F.1) a potência de recepção mínima dada por (F.3), é obtido um valor de atenuação máximo permitida na ligação. Com este, e usando o modelo de propagação do Anexo A, que depende da distância entre o TM e a EB, $L_P(d)$, obtêm-se a distância máxima *d* da ligação, que corresponde ao raio nominal da célula.

Anexo G - Percentagens Utilizadas para os Diferentes Serviços

Os valores de percentagem para os diferentes serviços utilizados foram obtidos através do projecto MOMENTUM [MOME04], estando os seus valores médios representados na Tabela G.1.

Tabela G.1 – Percentagem de utilização média dos diferentes serviços segundo projecto MOMENTUM.

Serviço	Penetração [%]
E-mail	4.65
Download de Ficheiros	3.91
Serviços de Localização	0.30
MMS	2.19
Voz	45.65
Vídeo *Streaming*	15.39
Vídeo Telefonia	20.04
Navegação na Internet	7.87

Para se poder observar o impacto da distribuição da percentagem de serviços pelos utilizadores na interferência, foram cedidos pela Vodafone dois outros cenários de utilização, sendo estes próximos do que se observa na realidade: num deles é demonstrada uma distribuição correspondente a uma hora de maior carga da rede com o serviço de voz, Tabela G.2, e o outro demonstra uma distribuição numa hora onde ocorre um maior número de acessos a serviços de dados, Tabela G.3.

Tabela G.2 – Percentagem de utilização média dos diferentes serviços na hora de maior utilização do serviço de voz .

Serviço	Penetração [%]
E-mail	6.69
Download de Ficheiros	9.58
Serviços de Localização	0
MMS	6.57
Voz	68.50
Vídeo *Streaming*	3.00
Vídeo Telefonia	0.18
Navegação na Internet	5.48

Tabela G.3 – Percentagem de utilização média dos diferentes serviços numa na hora de maior utilização do serviço de dados.

Serviço	Penetração [%]
E-mail	10,17
Download de Ficheiros	26,07
Serviços de Localização	0
MMS	4,42
Voz	41,68
Vídeo *Streaming*	5,81
Vídeo Telefonia	0,23
Navegação na Internet	11,62

Anexo H - Resultados do Ambiente de Referência

Neste anexo são apresentados os resultados relativos às simulações realizadas para o ambiente de referência.

Tabela H.1 – Margem de interferência média actual e antiga global para ambiente de referência.

	Actual		**Antiga**	
Sentido	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.3	0.7	1.6	1.6
σ **[dB]**	0.1	0.1	0.2	0.2

Tabela H.2 – Margem de interferência média actual em cada portadora e desvio padrão para ambiente de referência.

Frequência	**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.3	0.8	1.3	0.7	1.3	0.7	1.3	0.6
σ **[dB]**	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela H.3 – Margem de interferência média antiga em cada portadora e desvio padrão para ambiente de referência.

Frequência	**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.3	1.3	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8	1.8
σ **[dB]**	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela H.4 – Factor de carga médio actual e antigo global para ambiente de referência.

	Actual		**Antiga**	
Sentido	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	24.8	13.8	30.1	30.1
σ **[%]**	1.4	1.7	3.5	3.7

Tabela H.5 – Factor de carga médio actual em cada portadora e desvio padrão para ambiente de referência.

Frequência	**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	24.7	15.7	24.7	13.9	25.0	13.4	24.8	12.2
σ **[%]**	0.2	0.4	0.9	0.7	1.7	1.0	2.2	1.9

Tabela H.6 – Factor de carga médio antigo em cada portadora e desvio padrão para ambiente de referência.

Frequência	**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	25.0	24.9	29.2	29.0	32.6	32.4	33.6	34.0
σ **[%]**	0.3	0.5	0.5	0.4	1.1	0.9	1.7	1.4

Tabela H.7 – Interferências intra e inter-celulares médias global para ambiente de referência.

	Intra		**Inter**	
Sentido	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-101.8	-75.6	-98.6	-83.7
σ **[dB]**	0.6	8.5	3.7	11.9

Tabela H.8 – Interferência intra-celular média em cada portadora para ambiente de referência.

Frequência	**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-102.5	-68.7	-102.0	-74.0	-101.5	-76.4	-101.1	-83.1
σ **[dB]**	0.5	6.4	0.1	2.8	0.2	6.9	0.3	9.7

Tabela H.9 – Interferência inter-celular média em cada portadora para ambiente de referência.

Frequência	**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-94.8	-68.3	-98.1	-83.1	-101.1	-91.7	-100.3	-91.5
σ **[dB]**	0.3	7.3	1.1	3.0	3.5	7.8	4.2	9.6

Tabela H.10 – $\overline{i}$ actual global para ambiente de referência.

	Actual	
Sentido	UL	DL
$\overline{i}$	0.39	0.22
σ	0.19	0.08

Tabela H.11 – $\overline{i}$ actual em cada portadora para ambiente de referência.

Frequência	**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{i}$	0.67	0.35	0.40	0.23	0.27	0.18	0.22	0.14
σ	0.02	0.01	0.04	0.01	0.07	0.02	0.08	0.03

Tabela H.12 – Parâmetros da rede para ambiente de referência.

	Raio [km]			Pot.EB [dBm] / [dB]		$\frac{\text{TMs}}{\text{Sector}}$		Puc	Pb	Pd
	Min.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Max.	[%]	[%]	[%]
$\overline{x}$	0.67	0.81	0.82	17.3	26.0	10	49	29.9	0.2	0.2
σ	0	0	0	0.1	0.6	<1	3	0.7	0.2	0.3

Anexo I - Resultados da Variação do Serviço de Referência

Neste anexo são apresentados os resultados relativos às simulações realizadas aquando da variação do serviço de referência.

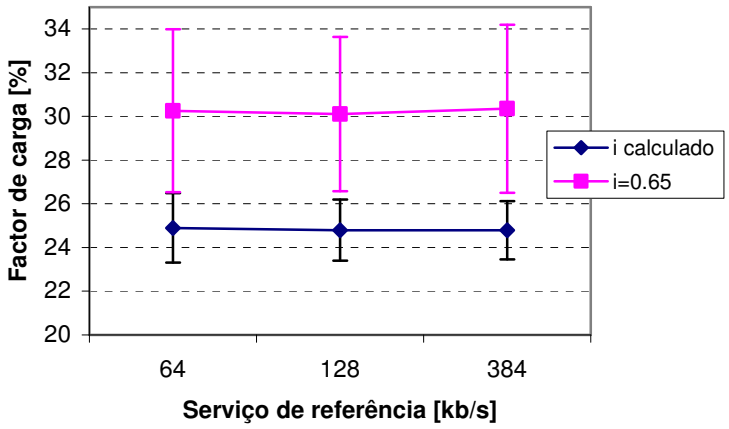


Figura I.1 – Factor de carga em UL vs. serviço de referência.

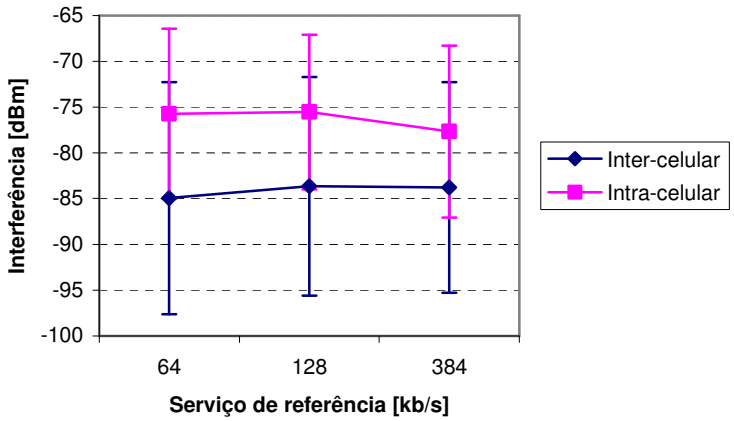


Figura I.2 – Interferência em DL vs. serviço de referência.

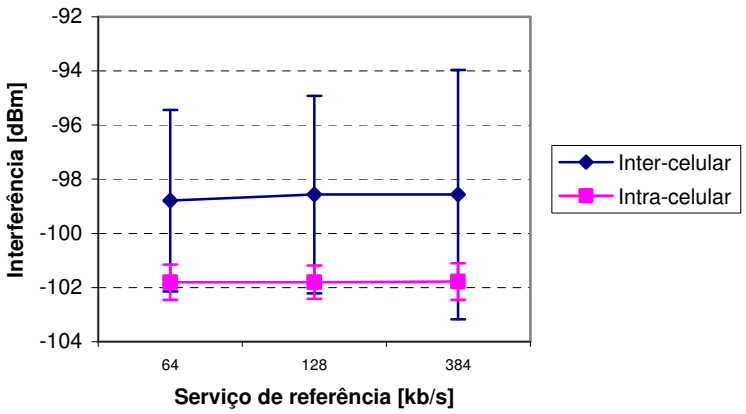


Figura I.3 – Interferência em UL vs. serviço de referência.

Tabela I.1 – Margem de interferência média global actual vs. serviço de referência.

	64 kb/s		**128 kb/s**		**384 kb/s**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.3	0.7	1.3	0.7	1.3	0.7
σ **[dB]**	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela I.2 – Margem de interferência média global antiga vs. serviço de referência.

	64 kb/s		**128 kb/s**		**384 kb/s**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
σ **[dB]**	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3

Tabela I.3 – Margem de interferência média actual em cada portadora vs. serviço de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	**64 kb/s**	1.3	0.8	1.3	0.7	1.3	0.6	1.3	0.6
	128 kb/s	1.3	0.8	1.3	0.7	1.3	0.7	1.3	0.6
	384 kb/s	1.3	0.8	1.3	0.7	1.3	0.7	1.3	0.6
σ **[dB]**	**64 kb/s**	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	128 kb/s	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	384 kb/s	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela I.4 – Margem de interferência média antiga em cada portadora vs. serviço de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	**64 kb/s**	1.3	1.3	1.5	1.5	1.7	1.7	1.9	1.8
	128 kb/s	1.3	1.3	1.3	1.5	1.3	1.7	1.3	1.8
	384 kb/s	1.3	1.3	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8	1.8
σ **[dB]**	**64 kb/s**	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	128 kb/s	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	384 kb/s	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela I.5 – Factor de carga médio global actual vs. serviço de referência.

	64 kb/s		**128 kb/s**		**384 kb/s**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	24.9	13.7	24.8	13.8	24.8	14.1
σ **[%]**	1.6	1.7	1.4	1.7	1.3	1.7

Tabela I.6 – Factor de carga médio global antigo vs. serviço de referência.

	64 kb/s		**128 kb/s**		**384 kb/s**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ [%]	30.3	29.9	30.1	30.1	30.4	30.6
σ [%]	3.7	3.6	3.5	3.7	3.8	4.2

Tabela I.7 – Factor de carga médio actual em cada portadora vs. serviço de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ [%]	**64 kb/s**	24.8	15.6	24.5	13.9	25.2	13.0	25.2	12.2
	128 kb/s	24.7	15.7	24.7	13.9	25.0	13.4	24.8	12.2
	384 kb/s	24.8	15.7	24.6	14.0	24.4	13.7	25.3	13.0
σ [%]	**64 kb/s**	0.4	0.3	0.7	0.7	2.2	1.1	2.3	1.7
	128 kb/s	0.2	0.4	0.9	0.7	1.7	1.0	2.2	1.9
	384 kb/s	0.4	0.4	0.5	0.6	1.4	1.4	2.2	2.3

Tabela I.8 – Factor de carga médio antigo em cada portadora vs. serviço de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ [%]	**64 kb/s**	25.1	24.7	29.0	29.0	32.6	32.1	34.3	33.8
	128 kb/s	25.0	24.9	29.2	29.0	32.6	32.4	33.6	34.0
	384 kb/s	25.1	24.9	29.2	29.1	32.1	32.9	35.0	35.6
σ [%]	**64 kb/s**	0.4	0.4	0.6	0.5	1.2	0.9	1.6	1.3
	128 kb/s	0.3	0.5	0.5	0.4	1.1	0.9	1.7	1.4
	384 kb/s	0.5	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.8	1.2

Tabela I.9 – Interferência intra-celular média global vs. serviço de referência.

	64 kb/s		**128 kb/s**		**384 kb/s**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-101.8	-75.8	-101.8	-75.6	-101.8	-77.7
σ **[dB]**	0.7	9.3	0.6	8.5	0.7	9.4

Tabela I.10 – Interferência inter-celular média global vs. serviço de referência.

	64 kb/s		**128 kb/s**		**384 kb/s**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-98.8	-85.0	-98.6	-83.7	-98.6	-83.8
σ **[dB]**	3.4	12.7	3.7	11.9	4.6	11.5

Tabela I.11 – Interferência intra-celular média em cada portadora vs. serviço de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	**64 kb/s**	-102.5	-67.4	-102.1	-74.1	-101.5	-76.3	-101.1	-85.1
	128 kb/s	-102.5	-68.7	-102.0	-74.0	-101.5	-76.4	-101.1	-83.1
	384 kb/s	-102.5	-68.3	-102.1	-75.5	-101.5	-81.8	-101.0	-85.1
σ **[dB]**	**64 kb/s**	0.5	7.9	0.2	2.8	0.2	7.4	0.4	8.4
	128 kb/s	0.5	6.4	0.1	2.8	0.2	6.9	0.3	9.7
	384 kb/s	0.6	6.2	0.1	4.4	0.2	8.4	0.4	8.4

Tabela I.12 – Interferência inter-celular média em cada portadora vs. serviço de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	**64 kb/s**	-94.9	-69.0	-98.2	-82.8	-100.5	-92.9	-101.7	-95.1
	128 kb/s	-94.8	-68.3	-98.1	-83.1	-101.1	-91.7	-100.3	-91.5
	384 kb/s	-94.8	-68.5	-98.1	-84.1	-100.4	-90.5	-100.9	-92.0
σ **[dB]**	**64 kb/s**	0.3	6.9	1.1	3.2	1.8	6.3	3.8	11.2
	128 kb/s	0.3	7.3	1.1	3.0	3.5	7.8	4.2	9.6
	384 kb/s	0.3	6.7	1.0	2.7	1.7	7.7	7.9	8.8

Tabela I.13 – $\overline{i}$ médio global vs. serviço de referência.

	64 kb/s		**128 kb/s**		**384 kb/s**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{i}$	0.39	0.23	0.39	0.22	0.38	0.23
σ	0.19	0.08	0.19	0.08	0.19	0.08

Tabela I.14 – $\overline{i}$ médio em cada portadora vs. serviço de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{i}$	**64 kb/s**	0.67	0.35	0.40	0.23	0.28	0.18	0.21	0.15
	128 kb/s	0.67	0.35	0.40	0.23	0.28	0.18	0.22	0.14
	384 kb/s	0.67	0.35	0.40	0.23	0.26	0.19	0.19	0.15
σ	**64 kb/s**	0.02	0.01	0.03	<0.01	0.09	0.02	0.085	0.03
	128 kb/s	0.02	0.01	0.04	0.01	0.07	0.02	0.08	0.03
	384 kb/s	0.01	0.01	0.03	0.01	0.05	0.02	0.09	0.04

Tabela I.15 – Parâmetros da rede vs. serviço de referência.

		Raio [km]			**Pot.EB [dBm] / [dB]**		$\frac{\text{TMs}}{\text{Sector}}$		**Puc**	**Pb**	**Pd**
		Min.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Max.	[%]	[%]	[%]
$\bar{x}$	**64 kb/s**	0.71	0.82	0.83	17.3	25.6	10	51	29.8	0.2	0.2
	128 kb/s	0.67	0.81	0.82	17.3	26.0	10	49	29.9	0.2	0.2
	384 kb/s	0.65	0.78	0.78	17.3	25.9	9	48	29.9	0.3	0.3
σ	**64 kb/s**	0.02	<0.01	<0.01	0.2	0.9	<1	1	0.7	0.2	0.2
	128 kb/s	0	0	0	0.1	0.6	<1	3	0.7	0.2	0.3
	384 kb/s	0	<0.01	0	0.2	0.8	<1	3	0.7	0.3	0.2

Anexo J - Resultados da Variação do Cenário de Referência

Neste anexo são apresentados os resultados relativos às simulações realizadas aquando da variação do cenário de referência.

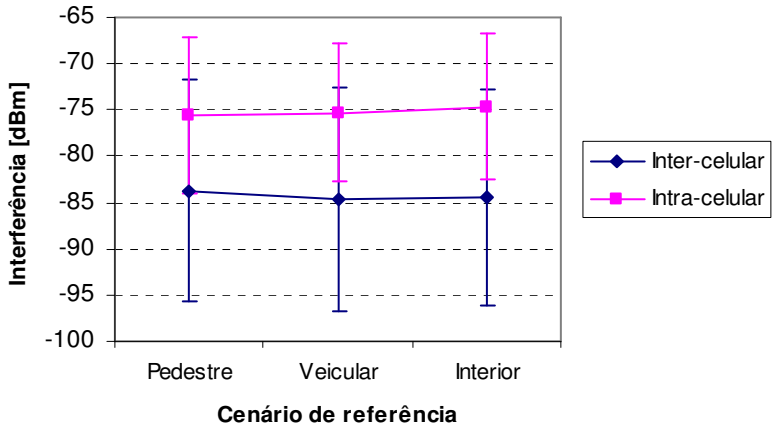


Figura J.1 – Interferência Intra- e Inter-celular em DL vs cenário de referência.

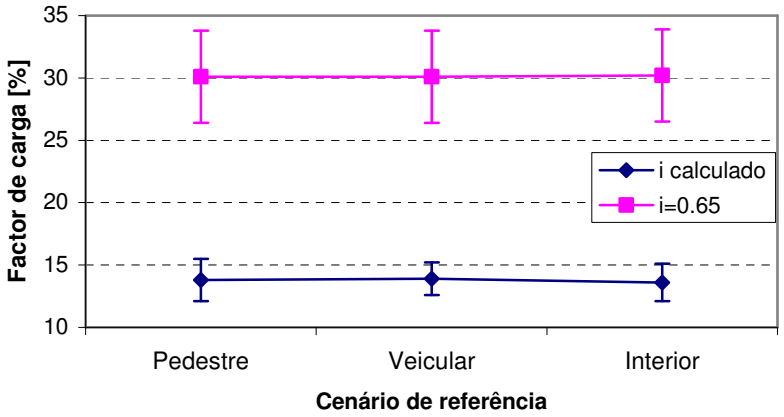


Figura J.2 – Factor de carga em DL vs cenário de referência.

Tabela J.1 – Margem actual média global vs. cenário de referência.

	Pedestre		**Veicular**		**Interior**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.3	0.7	1.2	0.7	1.1	0.7
σ **[dB]**	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela J.2 – Margem antiga média global vs. cenário de referência.

	Pedestre		**Veicular**		**Interior**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
σ **[dB]**	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Tabela J.3 – Margem de interferência média actual em cada portadora e desvio padrão vs. cenário de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	**Ped.**	1.3	0.8	1.3	0.7	1.3	0.7	1.3	0.6
	Vei.	1.3	0.8	1.3	0.7	1.2	0.6	1.2	0.6
	Int.	1.0	0.8	1.0	0.7	1.1	0.6	1.1	0.6
σ **[dB]**	**Ped.**	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Vei.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Int.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela J.4 – Margem de interferência média antiga em cada portadora e desvio padrão vs. cenário de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	**Ped.**	1.3	1.3	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8	1.8
	Vei.	1.3	1.3	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8	1.8
	Int.	1.3	1.3	1.5	1.5	1.7	1.7	1.9	1.8
σ **[dB]**	**Ped.**	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Vei.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Int.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela J.5 – Factor de carga médio actual global vs. cenário de referência.

	Pedestre		**Veicular**		**Interior**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	24.8	13.8	23.9	13.9	21.1	13.6
σ **[%]**	1.4	1.7	1.1	1.3	1.3	1.5

Tabela J.6 – Factor de carga médio antigo global vs. cenário de referência.

	Pedestre		**Veicular**		**Interior**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	30.1	30.1	30.1	30.1	30.2	30.2
σ **[%]**	3.5	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7

Tabela J.7 – Factor de carga médio actual em cada portadora vs. cenário de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	**Ped.**	24.7	15.7	24.7	13.9	25.0	13.4	24.8	12.2
	Vei.	24.0	15.6	24.2	13.9	23.3	13.0	23.3	13.3
	Int.	20.3	15.5	20.5	13.7	21.2	12.8	22.3	12.5
σ **[%]**	**Ped.**	0.2	0.4	0.9	0.7	1.7	1.0	2.2	1.9
	Vei.	0.4	0.3	0.6	0.5	1.7	1.0	1.2	1.1
	Int.	0.3	0.3	0.6	0.4	1.0	1.1	1.7	1.3

Tabela J.8 – Factor de carga médio antigo em cada portadora e desvio padrão vs. cenário de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	**Ped.**	25.0	24.9	29.2	29.0	32.6	32.4	33.6	34.0
	Vei.	24.9	24.7	29.3	29.1	32.0	32.3	34.1	34.1
	Int.	25.2	24.9	29.2	29.1	32.0	32.6	34.6	34.2
σ **[%]**	**Ped.**	0.3	0.5	0.5	0.4	1.1	0.9	1.7	1.4
	Vei.	0.3	0.4	0.4	0.6	0.9	0.9	1.4	0.8
	Int.	0.5	0.4	0.5	0.6	0.8	0.8	1.9	1.2

Tabela J.9 – Interferência inter-celular global vs. cenário de referência.

	Pedestre		**Veicular**		**Interior**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-98.6	-83.7	-99.5	-84.6	-104.6	-84.4
σ **[dB]**	3.7	11.9	4.0	12.1	6.4	11.7

Tabela J.10 – Interferência intra-celular global vs. cenário de referência.

	Pedestre		**Veicular**		**Interior**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-101.8	-75.6	-101.8	-75.3	-101.8	-74.7
σ **[dB]**	0.6	8.5	0.6	7.4	0.6	7.9

Tabela J.11 – Interferência inter-celular em cada portadora vs. cenário de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	**Ped.**	-94.8	-68.3	-98.1	-83.1	-101.1	-91.7	-100.3	-91.5
	Vei.	-95.4	-68.3	-98.6	-83.3	-100.2	-91.9	-103.6	-94.7
	Int.	-98.5	-69.7	-102.6	-83.4	-108.8	-91.1	-109.3	-93.6
σ **[dB]**	**Ped.**	0.3	7.3	1.1	3.0	3.5	7.8	4.2	9.6
	Vei.	0.5	6.2	1.3	3.3	2.9	6.6	4.5	8.4
	Int.	0.5	6.3	1.3	2.4	4.3	7.8	8.1	10.3

Tabela J.12 – Interferência intra-celular em cada portadora vs. cenário de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	**Ped.**	-102.5	-68.7	-102.1	-74.0	-101.5	-76.4	-101.1	-83.1
	Vei.	-102.4	-68.2	-102.1	-75.0	-101.5	-78.6	-101.2	-79.3
	Int.	-102.5	-68.0	-102.1	-74.9	-101.6	-79.1	-101.0	-76.8
σ **[dB]**	**Ped.**	0.5	6.4	0.1	2.8	0.2	6.9	0.3	9.7
	Vei.	0.7	6.9	0.1	3.2	0.2	5.5	0.4	7.8
	Int.	0.5	7.2	0.1	4.5	0.2	6.0	0.3	9.3

Tabela J.13 – $\bar{i}$ global por cenário de referência vs. cenário de referência.

	Pedestre		**Veicular**		**Interior**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\bar{i}$	0.39	0.22	0.34	0.23	0.17	0.22
σ	0.18	0.08	0.19	0.07	0.11	0.08

Tabela J.14 – $\bar{i}$ médio em cada portadora vs. cenário de referência.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\bar{i}$	**Ped.**	0.67	0.35	0.40	0.23	0.27	0.18	0.22	0.14
	Vei.	0.63	0.35	0.37	0.23	0.25	0.18	0.13	0.16
	Int.	0.36	0.34	0.16	0.22	0.09	0.18	0.07	0.14
σ	**Ped.**	0.02	0.01	0.04	0.01	0.07	0.02	0.08	0.03
	Vei.	0.02	<0.01	0.03	0.01	0.07	0.02	0.03	0.03
	Int.	0.01	<0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.05	0.03

Tabela J.15 – Parâmetros da rede vs. cenário de referência.

		Raio [km]			**Pot.EB [dBm] / [dB]**		$\frac{\text{TMs}}{\text{Sector}}$		**Puc**	**Pb**	**Pd**
		Min.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Max.	[%]	[%]	[%]
$\bar{x}$	**Ped.**	0.67	0.81	0.82	17.3	26.0	10	49	29.9	0.2	0.2
	Vei.	0.51	0.62	0.62	17.3	26.0	10	48	30.2	0.2	0.3
	Int.	0.20	0.24	0.25	17.3	25.9	10	49	29.9	0.2	0.2
σ	**Ped.**	0	0	0	0.1	0.6	<1	3	0.7	0.2	0.3
	Vei.	0	0	0	0.2	1.0	<1	3	0.6	0.2	0.3
	Int.	0	0	0	0.2	1.2	<1	3	0.7	0.1	0.2

Anexo K - Resultados da Variação do Número de Portadoras

Neste anexo são apresentados os resultados relativos às simulações realizadas aquando da variação do número máximo de portadoras.

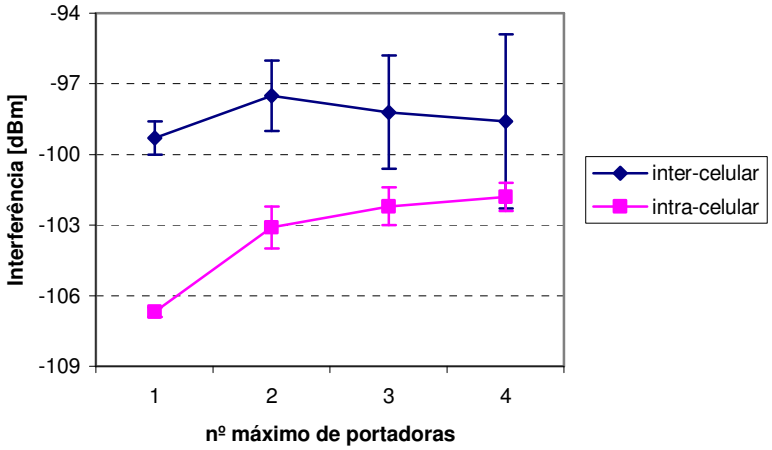


Figura K.1 – Interferência intra e inter-celular em UL vs. número máximo de portadoras.

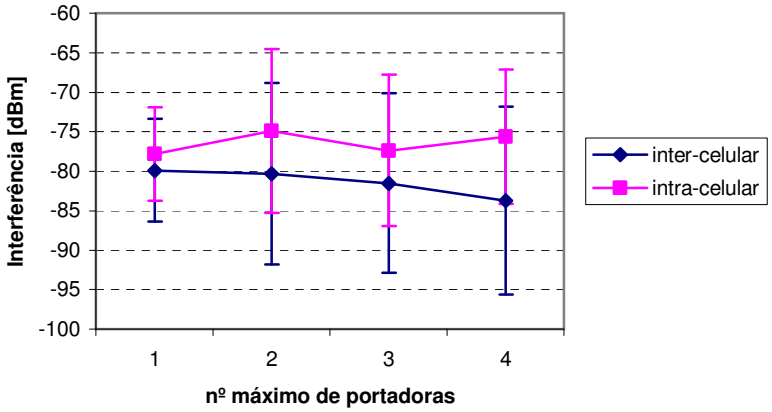


Figura K.2 – Interferência intra e inter-celular em DL vs. número máximo de portadoras.

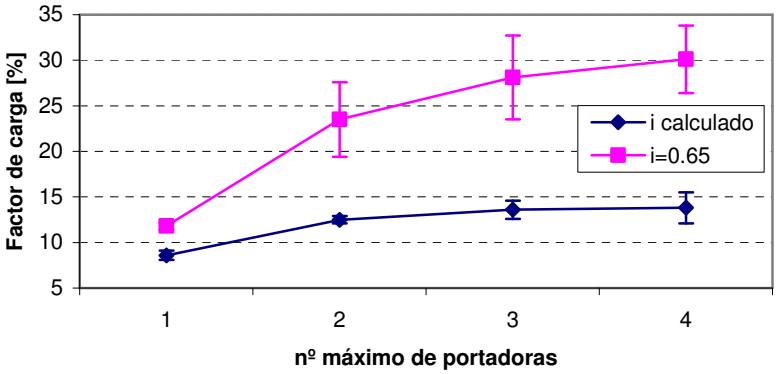


Figura K.3 – Factor de carga em DL vs. número máximo de portadoras.

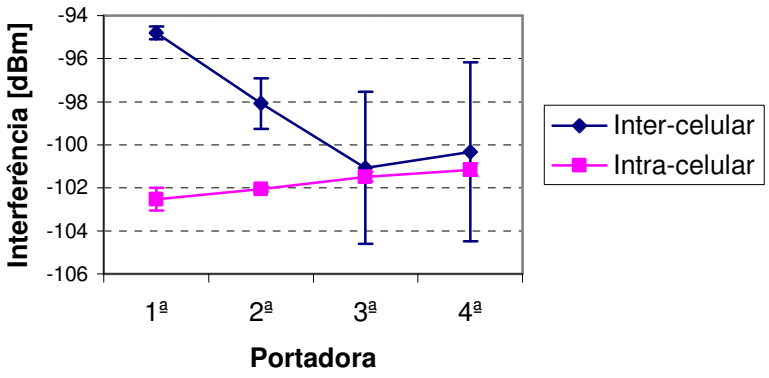


Figura K.4 – Interferência intra e inter-celular em UL vs. portadora.

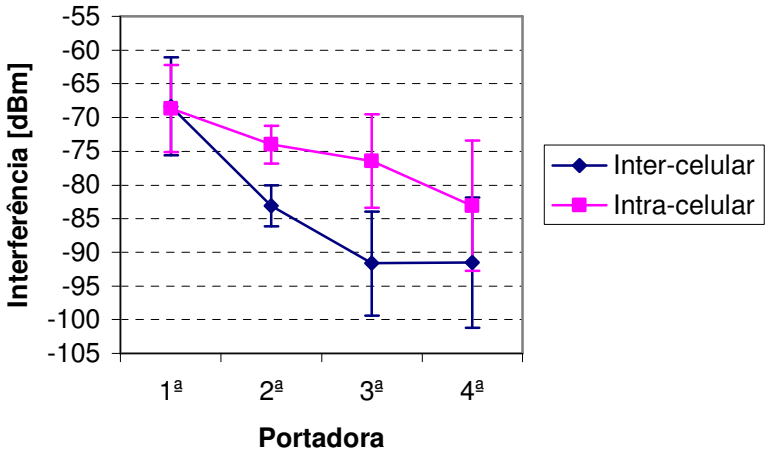


Figura K.5 – Interferência intra e inter-celular em DL vs. portadora.

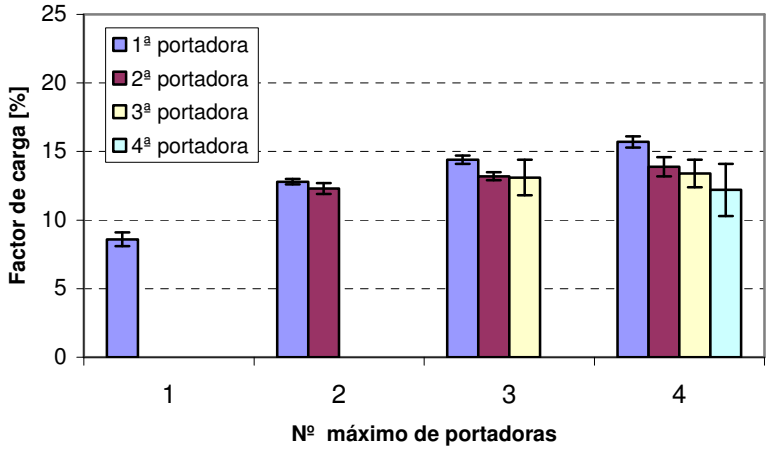


Figura K.6 – Factor de carga em DL vs. número máximo de portadoras.

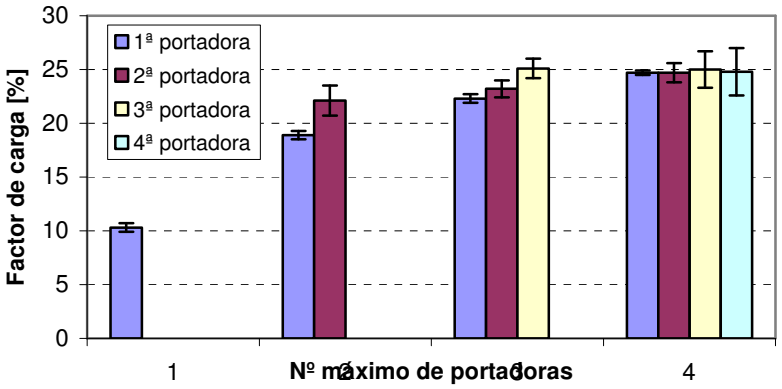


Figura K.7 – Factor de carga em UL vs. número máximo de portadoras.

Tabela K.1 – Margem média actual global vs. número máximo de portadoras.

	1 Portadora		2 Portadoras		3 Portadoras		4 Portadoras	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	0.5	0.4	1.1	0.6	1.2	0.7	1.3	0.7
σ **[dB]**	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela K.2 – Margem média antiga global vs. número máximo de portadoras.

	1 Portadora		2 Portadoras		3 Portadoras		4 Portadoras	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	0.6	0.6	1.2	1.2	1.5	1.5	1.6	1.6
σ **[dB]**	<0.1	<0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2

Tabela K.3 – Margem de interferência média actual em cada portadora e desvio padrão vs. número máximo de portadoras.

Frequência		f_1		f_2		f_3		f_4	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	**1**	0.5	0.4	–	–	–	–	–	–
	2	1.0	0.6	1.1	0.6	–	–	–	–
	3	1.2	0.7	1.2	0.7	1.3	0.6	–	–
	4	1.3	0.8	1.3	0.7	1.3	0.7	1.3	0.6
σ **[dB]**	**1**	<0.1	<0.1	–	–	–	–	–	–
	2	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	–	–	–	–
	3	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	–	–
	4	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela K.4 – Margem de interferência média antiga em cada portadora e desvio padrão vs. número máximo de portadoras.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	**1**	0.6	0.6	–	–	–	–	–	–
	2	1.0	1.0	1.5	1.4	–	–	–	–
	3	1.2	1.2	1.5	1.5	1.8	1.8	–	–
	4	1.3	1.3	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8	1.8
σ **[dB]**	**1**	<0.1	<0.1	–	–	–	–	–	–
	2	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	–	–	–	–
	3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	–	–
	4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela K.5 – Factor de carga médio actual global vs. número máximo de portadoras.

	1 Portadora		**2 Portadoras**		**3 Portadoras**		**4 Portadoras**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	10.3	8.6	20.5	12.5	23.5	13.6	24.8	13.8
σ **[%]**	0.4	0.5	2.0	0.4	1.4	1.0	1.4	1.7

Tabela K.6 – Factor de carga médio antigo global vs. número máximo de portadoras.

	1 Portadora		**2 Portadoras**		**3 Portadoras**		**4 Portadoras**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	12.0	11.8	23.8	23.5	28.3	28.1	30.1	30.1
σ **[%]**	0.3	0.4	4.3	4.1	4.6	4.6	3.5	3.7

Tabela K.7 – Factor de carga médio actual em cada portadora vs. número máximo de portadoras.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	**1**	10.3	8.6	–	–	–	–	–	–
	2	18.9	12.8	22.1	12.3	–	–	–	–
	3	22.3	14.4	23.2	13.2	25.1	13.1	–	–
	4	24.7	15.7	24.7	13.9	25.0	13.4	24.8	12.2
σ **[%]**	**1**	0.4	0.5	–	–	–	–	–	–
	2	0.4	0.2	1.4	0.4	–	–	–	–
	3	0.4	0.3	0.8	0.3	0.9	1.3	–	–
	4	0.2	0.4	0.9	0.7	1.7	1.0	2.2	1.9

Tabela K.8 – Factor de carga médio antigo em cada portadora e desvio padrão vs. número máximo de portadoras.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ [%]	**1**	12.0	11.8	–	–	–	–	–	–
	2	19.7	19.6	27.9	27.4	–	–	–	–
	3	22.7	22.4	28.7	28.3	33.6	33.4	–	–
	4	25.0	24.9	29.2	29.0	32.6	32.4	33.6	34.0
σ [%]	**1**	0.3	0.4	–	–	–	–	–	–
	2	0.3	0.4	1.1	0.8	–	–	–	–
	3	0.4	0.4	0.6	0.4	1.1	1.0	–	–
	4	0.3	0.5	0.5	0.4	1.1	0.9	1.7	1.4

Tabela K.9 – Interferência inter-celular global vs. número máximo de portadoras.

	1 Portadora		**2 Portadoras**		**3 Portadoras**		**4 Portadoras**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-99.3	-79.9	-97.5	-80.3	-98.2	-81.5	-98.6	-83.7
σ **[dB]**	0.7	6.5	1.5	11.5	2.4	11.4	3.7	11.9

Tabela K.10 – Interferência intra-celular global vs. número máximo de portadoras.

	1 Portadora		**2 Portadoras**		**3 Portadoras**		**4 Portadoras**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-106.7	-77.8	-103.1	-74.9	-102.2	-77.4	-101.8	-75.6
σ **[dB]**	0.2	5.9	0.9	10.4	0.8	9.6	0.6	8.5

Tabela K.11 – Interferência inter-celular em cada portadora vs. número máximo de portadoras.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	**1**	-99.3	-79.9	–	–	–	–	–	–
	2	-96.4	-74.1	-98.7	-86.4	–	–	–	–
	3	-95.5	-70.8	-98.4	-81.1	-100.6	-92.7	–	–
	4	-94.8	-68.3	-98.1	-83.1	-101.1	-91.7	-100.3	-91.5
σ **[dB]**	**1**	0.7	6.5	–	–	–	–	–	–
	2	0.2	4.3	1.4	13.3	–	–	–	–
	3	0.4	6.4	1.1	4.9	1.5	9.2	–	–
	4	0.3	7.3	1.1	3.0	3.5	7.8	4.2	9.6

Tabela K.12 – Interferência intra-celular em cada portadora vs. número máximo de portadoras.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	**1**	-106.7	-77.8	–	–	–	–	–	–
	2	-103.9	-69.9	-102.2	-79.9	–	–	–	–
	3	-103.1	-69.3	-102.1	-76.3	-101.2	-86.7	–	–
	4	-102.5	-68.7	-102.1	-74.0	-101.5	-76.4	-101.1	-83.1
σ **[dB]**	**1**	0.2	5.9	–	–	–	–	–	–
	2	0.1	5.7	0.2	11.8	–	–	–	–
	3	0.1	6.2	0.1	5.6	0.2	7.5	–	–
	4	0.5	6.4	0.1	2.8	0.2	6.9	0.3	9.7

Tabela K.13 – $\overline{i}$ global por número máximo de portadoras vs. número máximo de portadoras.

	1 Portadora		**2 Portadoras**		**3 Portadoras**		**4 Portadoras**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{i}$	0.65	0.43	0.48	0.29	0.42	0.25	0.39	0.22
σ	0.01	0.02	0.18	0.08	0.19	0.08	0.18	0.08

Tabela K.14 – $\overline{i}$ médio em cada portadora vs. número máximo de portadoras.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{i}$	**1**	0.64	0.43	–	–	–	–	–	–
	2	0.65	0.37	0.31	0.2	–	–	–	–
	3	0.67	0.36	0.34	0.2	0.24	0.17	–	–
	4	0.67	0.35	0.40	0.23	0.27	0.18	0.22	0.14
σ	**1**	0.01	0.02	–	–	–	–	–	–
	2	0.02	0.01	0.05	0.01	–	–	–	–
	3	0.02	0.01	0.03	0.01	0.05	0.03	–	–
	4	0.02	0.01	0.04	0.01	0.07	0.02	0.08	0.03

Tabela K.15 – Parâmetros da rede vs. número máximo de portadoras.

		Raio [km]			**Pot.EB [dBm] / [dB]**		$\frac{\text{TMs}}{\text{Sector}}$		**Puc**	**Pb**	**Pd**
		Min.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Max.	[%]	[%]	[%]
$\overline{x}$	**1**	0.67	0.78	0.82	13.0	24.3	2	14	29.8	0.4	0.9
	2	0.67	0.81	0.82	15.9	25.1	6	27	29.5	0.7	0.9
	3	0.67	0.81	0.82	16.7	26.0	8	39	29.7	0.4	0.5
	4	0.67	0.81	0.82	17.3	26.0	10	49	29.9	0.2	0.2
σ	**1**	0	<0.1	0	0.3	1.1	<1	3	0.6	0.3	0.9
	2	0	<0.1	0	0.2	1.0	<1	3	0.6	0.3	0.4
	3	0	0	0	0.2	1.2	<1	3	0.3	0.2	0.3
	4	0	0	0	0.1	0.6	<1	3	0.7	0.2	0.3

Anexo L - Resultados da Variação das Percentagens de Utilização dos Serviços

Neste anexo são apresentados os resultados relativos às simulações realizadas aquando da variação das percentagens de utilização dos serviços.

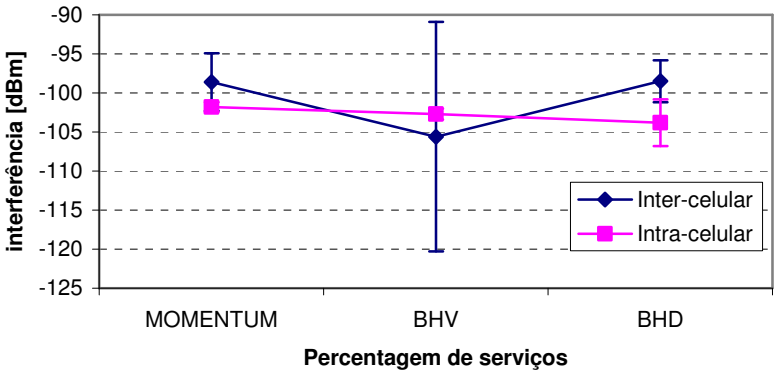


Figura L.1 – Interferência intra e inter-celular em UL vs. percentagem de serviços utilizados.

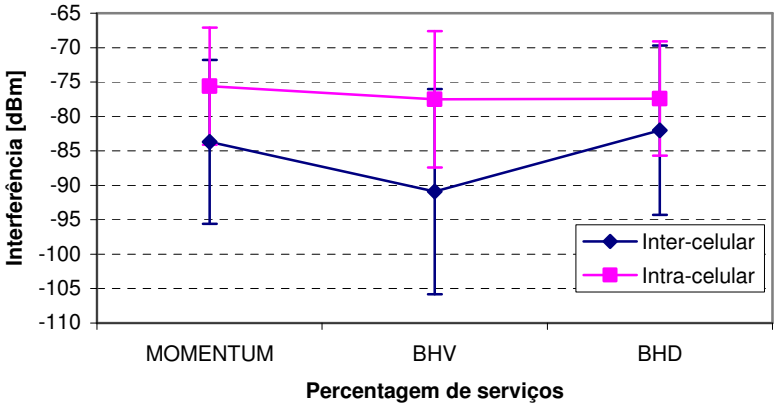


Figura L.2 – Interferência intra e inter-celular em DL vs. percentagem de serviços utilizados.

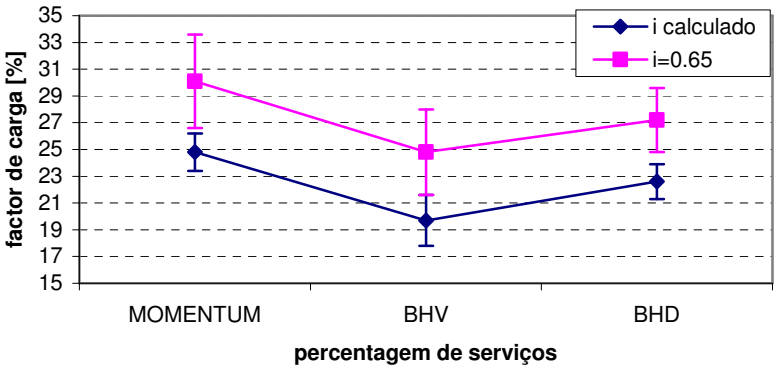


Figura L.3 – Factor de carga em UL vs. percentagem de serviços utilizados.

Tabela L.1 – Margem actual média global vs. percentagem de serviços utilizados.

	MOMENTUM		**BHV**		**BHD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.3	0.7	1.0	0.6	1.2	0.8
σ **[dB]**	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela L.2 – Margem antiga média global vs. percentagem de serviços utilizados.

	MOMENTUM		**BHV**		**BHD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.6	1.6	1.3	1.4	1.4	1.7
σ **[dB]**	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2

Tabela L.3 – Margem de interferência média actual em cada portadora e desvio padrão vs. percentagem de serviços utilizados.

Frequência		f_1		f_2		f_3		f_4	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	**MOM.**	1.3	0.8	1.3	0.7	1.3	0.7	1.3	0.6
	BHV	1.1	0.7	1.0	0.6	1.0	0.5	0.9	0.6
	BHD	1.2	0.9	1.2	0.8	1.1	0.7	1.1	0.7
σ **[dB]**	**MOM.**	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	BHV	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
	BHD	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela L.4 – Margem de interferência média antiga em cada portadora e desvio padrão vs. percentagem de serviços utilizados.

Frequência		f_1		f_2		f_3		f_4	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	**MOM.**	1.3	1.3	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8	1.8
	BHV	1.0	1.1	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6
	BHD	1.2	1.5	1.4	1.6	1.5	1.8	1.6	1.9
σ **[dB]**	**MOM.**	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	BHV	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
	BHD	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela L.5 – Factor de carga médio actual global vs. percentagem de serviços utilizados.

	MOMENTUM		**BHV**		**BHD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	24.8	13.8	19.7	12.0	22.6	15.6
σ **[%]**	1.4	1.7	1.9	1.5	1.3	1.8

Tabela L.6 – Factor de carga médio antigo global vs. percentagem de serviços utilizados.

	MOMENTUM		**BHV**		**BHD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ [%]	30.1	30.1	24.8	26.4	27.2	31.4
σ [%]	3.5	3.7	3.2	3.8	2.4	2.9

Tabela L.7 – Factor de carga médio actual em cada portadora vs. percentagem de serviços utilizados.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ [%]	**MOM.**	24.7	15.7	24.7	13.9	25.0	13.4	24.8	12.2
	BHV	20.8	13.2	20.3	12.0	19.5	11.3	18.1	11.6
	BHD	23.7	18.1	22.8	15.7	21.7	14.7	22.1	13.8
σ [%]	**MOM.**	0.2	0.4	0.9	0.7	1.7	1.0	2.2	1.9
	BHV	0.6	0.3	0.9	0.5	1.1	1.1	2.8	2.6
	BHD	0.5	0.4	0.8	0.7	0.7	0.9	1.8	1.2

Tabela L.8 – Factor de carga médio antigo em cada portadora e desvio padrão vs. percentagem de serviços utilizados.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ [%]	**MOM.**	25.0	24.9	29.2	29.0	32.6	32.4	33.6	34.0
	BHV	20.4	20.9	24.5	26.2	26.5	28.1	28.1	30.2
	BHD	24.1	27.4	26.8	30.8	28.3	33.1	29.8	34.5
σ [%]	**MOM.**	0.3	0.5	0.5	0.4	1.1	0.9	1.7	1.4
	BHV	0.4	0.3	0.6	0.5	1.1	1.4	2.7	2.5
	BHD	0.5	0.6	0.9	0.8	1.1	0.8	1.9	1.5

Tabela L.9 – Interferência inter-celular global vs. percentagem de serviços utilizados.

	MOMENTUM		**BHV**		**BHD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-98.6	-83.7	-105.6	-90.9	-98.5	-82.0
σ **[dB]**	3.7	11.9	14.7	14.9	2.7	12.3

Tabela L.10 – Interferência intra-celular global vs. percentagem de serviços utilizados.

	MOMENTUM		**BHV**		**BHD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-101.8	-75.6	-102.7	-77.5	-103.8	-77.4
σ **[dB]**	0.6	8.5	0.7	9.9	3.0	8.3

Tabela L.11 – Interferência inter-celular em cada portadora vs. percentagem de serviços utilizados.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	**MOM.**	-94.8	-68.3	-98.1	-83.1	-101.1	-91.7	-100.3	-91.5
	BHV	-95.9	-74.0	-99.5	-84.5	-103.0	-95.3	-123.9	-110.0
	BHD	-94.8	-68.2	-98.3	-77.7	-100.3	-86.7	-100.6	-95.5
σ **[dB]**	**MOM.**	0.3	7.3	1.1	3.0	3.5	7.8	4.2	9.6
	BHV	0.4	2.1	1.0	4.3	2.7	6.5	20.2	10.3
	BHD	0.5	6.8	0.8	8.1.	1.6	4.4	2.1	7.9

Tabela L.12 – Interferência intra-celular em cada portadora vs. percentagem de serviços utilizados.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	**MOM.**	-102.5	-68.7	-102.1	-74.0	-101.5	-76.4	-101.1	-83.1
	BHV	-103.3	-70.2	-102.9	-75.7	-102.6	-74.8	-102.0	-89.4
	BHD	-104.3	-70.0	-103.9	-76.6	-103.7	-78.4	-103.2	-84.5
σ **[dB]**	**MOM.**	0.5	6.4	0.1	2.8	0.2	6.9	0.3	9.7
	BHV	0.9	6.1	0.1	4.1	0.3	6.4	0.5	10.0
	BHD	2.9	6.3	3.1	4.1	3.2	7.3	3.3	8.5

Tabela L.13 – $\overline{i}$ global por cenário de referência vs. percentagem de serviços utilizados.

	MOMENTUM		**BHV**		**BHD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{i}$	0.39	0.22	0.35	0.21	0.40	0.24
σ	0.18	0.08	0.25	0.09	0.18	0.07

Tabela L.14 – $\overline{i}$ médio em cada portadora vs. percentagem de serviços utilizados.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{i}$	**MOM.**	0.67	0.35	0.40	0.23	0.27	0.18	0.22	0.14
	BHV	0.72	0.34	0.38	0.21	0.22	0.17	0.07	0.12
	BHD	0.67	0.36	0.43	0.24	0.28	0.20	0.23	0.18
σ	**MOM.**	0.02	0.01	0.04	0.01	0.07	0.02	0.08	0.03
	BHV	0.02	<0.01	0.04	0.01	0.07	0.02	0.10	0.04
	BHD	0.02	0.01	0.02	0.01	0.05	0.02	0.05	0.02

Tabela L.15 – Parâmetros da rede vs. percentagem de serviços utilizados.

		Raio [km]			**Pot.EB [dBm] / [dB]**		$\frac{\text{TMs}}{\text{Sector}}$		**Puc**	**Pb**	**Pd**
		Min.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Max.	[%]	[%]	[%]
$\bar{x}$	**MOM.**	0.67	0.81	0.82	17.3	26.0	10	49	29.9	0.2	0.2
	BHV	0.67	0.81	0.82	16.5	25.6	10	55	27.8	0.0	0.0
	BHD	0.67	0.81	0.82	17.6	26.5	10	45	30.4	0.6	0.7
σ	**MOM.**	0	0	0	0.1	0.6	<1	3	0.7	0.2	0.3
	BHV	0	0	0	0.2	0.9	<1	5	0.7	0.0	0.0
	BHD	0	0	0	0.2	0.8	<1	4	0.5	0.3	0.4

Anexo M - Resultados para as Diferentes Zonas de Lisboa

Neste anexo são apresentados os resultados relativos às simulações realizadas para as diferentes zonas de Lisboa.

Tabela M.1 – Densidade média de TMs nas freguesias de Lisboa

Freguesia	Nº médio de TMs/km^2
Sacramento:	679
Coração de Jesus:	648
São Jorge de Arroios:	469
São Miguel:	429
Madalena:	419
São João de Deus:	418
Socorro:	409
São Cristóvão e São Lourenço:	341
São Paulo:	333
Alto do Pina:	275
Anjos:	264
São Mamede:	214
Sé:	208
Santa Catarina:	205
Graça:	201
Mercês:	191
Santo Condestável:	182
Santa Isabel:	172
São José:	169
Alvalade:	168
Mártires:	156
São Vicente de Fora:	154
Pena:	154
Castelo:	128
Lapa:	128
Santa Justa:	125
Santo Estêvão:	124
Encarnação:	123
São João de Brito:	121
Santa Engrácia:	110
Nossa Senhora de Fátima:	104
São João:	97
Prazeres:	94
Penha de França:	82
São Domingos de Benfica:	82
Santos-o-Velho:	79
Santiago:	78
São Sebastião da Pedreira:	75
Lumiar:	72
Ameixoeira:	69
Campolide:	58

São Nicolau:	58
Ajuda:	55
Beato:	53
Benfica:	51
Marvila:	49
Campo Grande:	46
São Francisco de Xavier:	44
Santa Maria dos Olivais:	39
Santa Maria de Belém:	36
Carnide:	32
Alcântara:	28
Charneca:	10

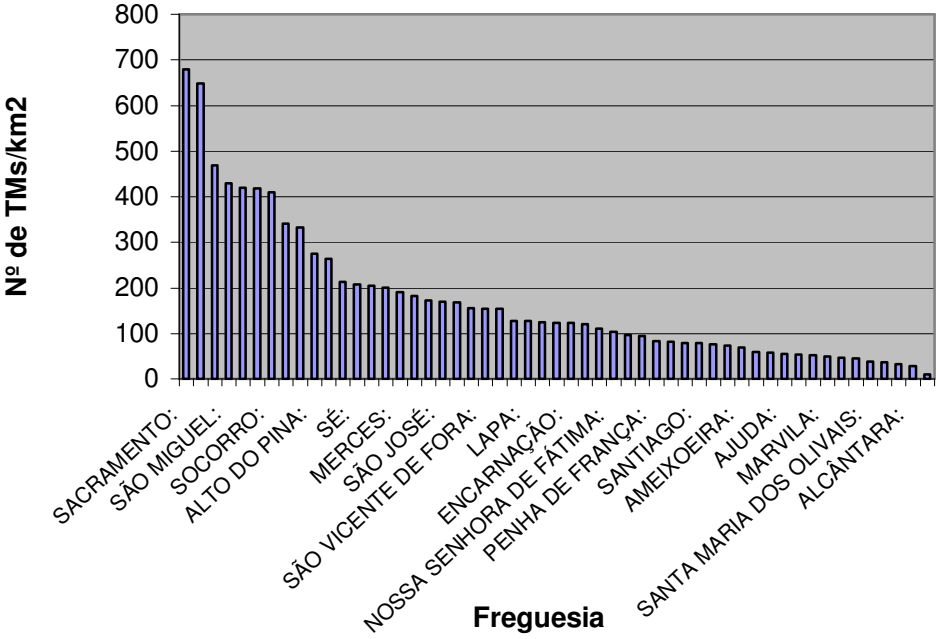


Figura M.1 – Densidade de TMs em cada freguesia de Lisboa.

Tabela M.2 – Margem de interferência média actual e desvio padrão nas duas zonas.

Zona	**ZAD**		**ZBD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.6	0.8	1.0	0.5
σ **[dB]**	0.2	0.2	0.2	0.2

Tabela M.3 – Factor de carga médio actual e desvio padrão nas duas zonas.

Zona	**ZAD**		**ZBD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	29.4	15.7	19.0	10.7
σ **[%]**	3.4	2.7	4.8	3.5

Tabela M.4 – Margem de interferência actual em cada portadora nas duas zonas, em DL.

Frequência	**f1**		**f2**		**f3**		**f4**	
Zona	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD
$\overline{M}$ **[dB]**	1.0	0.7	0.8	0.5	0.7	0.4	0.6	0.4
σ **[dB]**	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.2

Tabela M.5 – Margem de interferência actual em cada portadora nas duas zonas, em UL.

Frequência	**f1**		**f2**		**f3**		**f4**	
Zona	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD
$\overline{M}$ **[dB]**	1.8	1.1	1.7	1.0	1.4	1.0	1.3	0.7
σ **[dB]**	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.4

Tabela M.6 – Factor de carga actual em cada portadora nas duas zonas, em DL.

Frequência	**f1**		**f2**		**f3**		**f4**	
Zona	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD
$\overline{\eta}$ **[%]**	18.8	14.2	16.5	11.1	14.9	9.6	12.6	7.7
σ **[%]**	0.7	0.7	1.1	1.3	1.7	2.2	1.9	4.4

Tabela M.7 – Factor de carga actual em cada portadora nas duas zonas, em UL.

Frequência	**f1**		**f2**		**f3**		**f4**	
Zona	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD
$\overline{\eta}$ **[%]**	33.6	21.2	30.8	20.1	27.6	19.6	25.6	15.2
σ **[%]**	0.7	0.8	1.1	1.2	2.3	1.9	1.2	8.5

Tabela M.8 – Margem de interferência média antiga e desvio padrão nas duas zonas.

Zona	**ZAD**		**ZBD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.6	0.8	1.0	0.5
σ **[dB]**	0.2	0.2	0.2	0.2

Tabela M.9 – Factor de carga média antigo e desvio padrão nas duas zonas.

Zona	**ZAD**		**ZBD**	
Sentido	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	33.4	32.7	25.7	28.4
σ **[%]**	1.6	1.8	7.2	6.3

Tabela M.10 – Margem de interferência antiga em cada portadora nas duas zonas, em DL.

Frequência	**f1**		**f2**		**f3**		**f4**	
Zona	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD
$\overline{M}$ **[dB]**	1.6	1.2	1.7	1.4	1.8	1.7	1.9	1.7
σ **[dB]**	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.2	0.1	0.6

Tabela M.11 – Margem de interferência antiga em cada portadora nas duas zonas, em UL.

Frequência	**f1**		**f2**		**f3**		**f4**	
Zona	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD
$\overline{M}$ **[dB]**	1.7	1.2	1.8	1.3	1.8	1.6	1.9	1.3
σ **[dB]**	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.7

Tabela M.12 – Factor de carga antigo em cada portadora nas duas zonas, em DL.

Frequência	**f1**		**f2**		**f3**		**f4**	
Zona	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD
$\overline{\eta}$ **[%]**	31.0	22.7	31.8	27.1	33.6	31.3	34.5	32.3
σ **[%]**	0.4	0.8	0.7	1.0	0.7	3.3	1.9	9.7

Tabela M.13 – Factor de carga antigo em cada portadora nas duas zonas, em UL.

Frequência	**f1**		**f2**		**f3**		**f4**	
Zona	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD	ZAD	ZBD
$\overline{\eta}$ **[%]**	31.8	22.5	32.8	26.2	33.5	29.9	35.4	24.4
σ **[%]**	0.6	0.8	0.6	0.6	1.1	1.9	1.4	13.7

Anexo N - Resultados da Introdução de Desvanecimento Lento

Neste anexo são apresentados os resultados relativos às simulações realizadas aquando da introdução de desvanecimento lento.

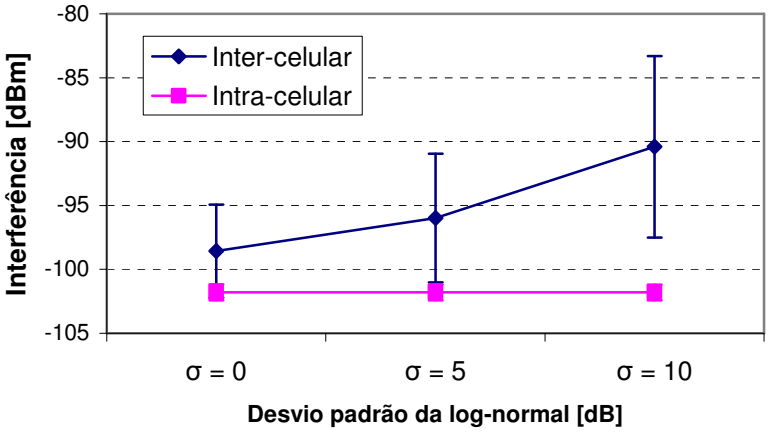


Figura N.1 – Interferência em UL vs. desvanecimento lento.

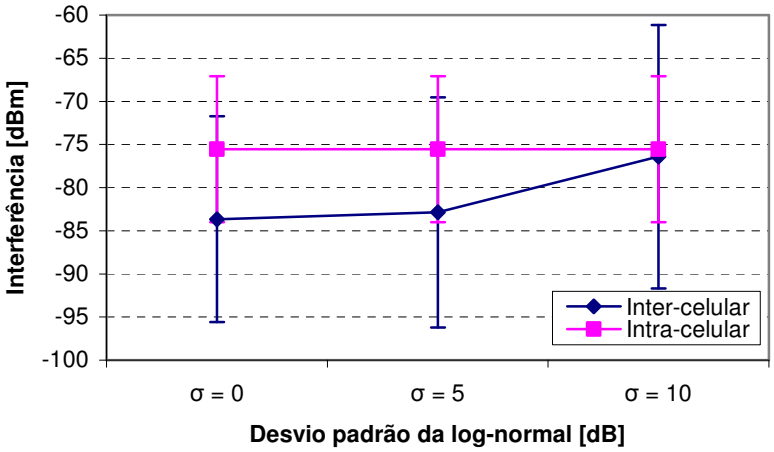


Figura N.2 – Interferência em DL vs. desvanecimento lento.

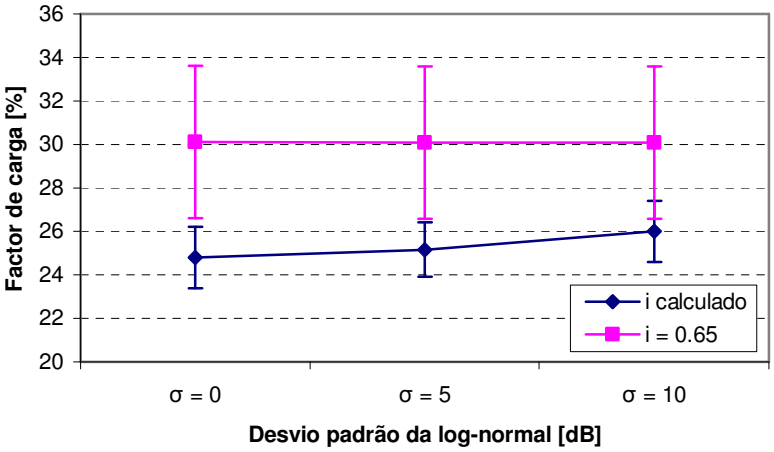


Figura N.3 – Factor de carga em UL vs. desvanecimento lento.

Tabela N.1 – Margem de interferência média global actual vs. desvanecimento lento.

	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.3	0.7	1.3	0.7	1.4	0.9
σ **[dB]**	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela N.2 – Margem de interferência média global antiga vs. desvanecimento lento.

	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
σ **[dB]**	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Tabela N.3 – Margem de interferência média actual em cada portadora vs. desvanecimento lento.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	1.3	0.8	1.3	0.7	1.3	0.7	1.3	0.6
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	1.3	0.8	1.3	0.7	1.3	0.7	1.3	0.6
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	1.4	1.0	1.4	0.9	1.3	0.8	1.3	0.9
σ **[dB]**	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela N.4 – Margem de interferência média antiga em cada portadora vs. desvanecimento lento.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{M}$ **[dB]**	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	1.3	1.3	1.3	1.5	1.3	1.7	1.3	1.8
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	1.3	1.3	1.3	1.5	1.3	1.7	1.3	1.8
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	1.3	1.3	1.3	1.5	1.3	1.7	1.3	1.8
σ **[dB]**	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela N.5 – Factor de carga médio global actual vs. desvanecimento lento.

	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ **[%]**	24.8	13.8	25.2	14.7	26.0	18.1
σ **[%]**	1.4	1.7	1.2	1.9	1.4	1.8

Tabela N.6 – Factor de carga médio global antigo vs. desvanecimento lento.

	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ [%]	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1
σ [%]	3.5	3.7	3.5	3.7	3.5	3.7

Tabela N.7 – Factor de carga médio actual em cada portadora vs. desvanecimento lento.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ [%]	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	24.7	15.7	24.7	13.9	25.0	13.4	24.8	12.2
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	25.2	16.8	25.0	14.9	25.4	14.1	25.0	13.2
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	26.4	20.1	26.2	18.4	25.7	16.6	25.5	17.2
σ [%]	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	0.2	0.4	0.9	0.7	1.7	1.0	2.2	1.9
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	0.4	0.5	1.0	0.6	1.3	1.5	2.0	2.1
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	0.6	0.4	1.0	0.3	1.1	1.5	2.3	1.9

Tabela N.8 – Factor de carga médio antigo em cada portadora vs. desvanecimento lento.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{\eta}$ [%]	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	25.0	24.9	29.2	29.0	32.6	32.4	33.6	34.0
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	25.0	24.9	29.2	29.0	32.6	32.4	33.6	34.0
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	25.0	24.9	29.2	29.0	32.6	32.4	33.6	34.0
σ [%]	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	0.3	0.5	0.5	0.4	1.1	0.9	1.7	1.4
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	0.3	0.5	0.5	0.4	1.1	0.9	1.7	1.4
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	0.3	0.5	0.5	0.4	1.1	0.9	1.7	1.4

Tabela N.9 – Interferência intra-celular média global vs. desvanecimento lento.

	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-101.8	-75.6	-101.8	-75.6	-101.8	-75.6
σ **[dB]**	0.6	8.5	0.6	8.5	0.6	8.5

Tabela N.10 – Interferência inter-celular média global vs. desvanecimento lento.

	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	-98.6	-83.7	-96.0	-82.9	-90.4	-76.4
σ **[dB]**	3.6	11.9	5.0	13.3	7.1	15.3

Tabela N.11 – Interferência intra-celular média em cada portadora vs. desvanecimento lento.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	-102.5	-68.7	-102.0	-74.0	-101.5	-76.4	-101.1	-83.1
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	-102.5	-68.7	-102.0	-74.0	-101.5	-76.4	-101.1	-83.1
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	-102.5	-68.7	-102.0	-74.0	-101.5	-76.4	-101.1	-83.1
σ **[dB]**	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	0.5	6.4	0.1	2.8	0.2	6.9	0.3	9.7
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	0.5	6.4	0.1	2.8	0.2	6.9	0.3	9.7
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	0.5	6.4	0.1	2.8	0.2	6.9	0.3	9.7

Tabela N.12 – Interferência inter-celular média em cada portadora vs. desvanecimento lento.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{I}$ **[dBm]**	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	-94.8	-68.3	-98.1	-83.1	-101.1	-91.7	-100.3	-91.5
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	-92.0	-66.4	-95.4	-79.9	-95.8	-89.5	-100.8	-95.7
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	-86.1	-61.3	-88.7	-71.7	-94.3	-84.2	-92.3	-88.4
σ **[dB]**	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	0.3	7.3	1.1	3.0	3.5	7.8	4.2	9.6
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	0.6	7.9	1.3	5.5	1.9	7.1	7.8	9.2
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	7.3	7.8	6.5	9.1	5.3	9.1	6.9	16.8

Tabela N.13 – $\overline{i}$ médio global vs. desvanecimento lento.

	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB		$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	
Sentido	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{i}$	0.39	0.22	0.40	0.25	0.46	0.34
σ	0.19	0.08	0.20	0.08	0.21	0.10

Tabela N.14 – $\overline{i}$ médio em cada portadora vs. desvanecimento lento.

Frequência		**f_1**		**f_2**		**f_3**		**f_4**	
Sentido		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
$\overline{i}$	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	0.67	0.35	0.40	0.23	0.28	0.18	0.22	0.14
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	0.70	0.38	0.42	0.26	0.27	0.21	0.19	0.17
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	0.78	0.49	0.49	0.35	0.31	0.27	0.25	0.23
σ	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	0.02	0.01	0.04	0.01	0.07	0.02	0.08	0.03
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	0.02	0.01	0.03	0.01	0.05	0.02	0.08	0.04
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04	0.02	0.07	0.03

Tabela N.15 – Parâmetros da rede vs. desvanecimento lento.

		Raio [km]			**Pot. EB [dBm] / [dB]**		$\frac{\text{TMs}}{\text{Sector}}$		**Puc**	**Pb**	**Pd**
		Min.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Max.	[%]	[%]	[%]
$\bar{x}$	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	0.67	0.81	0.82	17.3	26.0	10	49	29.9	0.2	0.2
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	0.67	0.81	0.82	17.3	26.0	10	49	29.9	0.2	0.2
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	0.67	0.81	0.82	17.3	26.0	10	49	29.9	0.2	0.2
σ	$\sigma_{log\text{-}normal} = 0$ dB	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.6	<1	3	0.7	0.2	0.3
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 5$ dB	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.6	<1	3	0.7	0.2	0.3
	$\sigma_{log\text{-}normal} = 10$ dB	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.6	<1	3	0.7	0.2	0.3

Referências

[AHNM01] Akl,R., Hegde,M., Naraghi-Pour,M. and Min,P., "Multicell CDMA Network Design", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50 No. 3, May 2001 , pp. 711-722 (http://www.cs.unt.edu/~rakl/AHN01.pdf).

[BiHi02] Binucci,N. and Hiltunen,K., "WCDMA Downlink Coverage: Interface Margin for Users Located at the Cell Coverage Border", *in Proc. of VTC 2002 – 52th IEEE Vehicular Technology Conference*, Birmingham, AL, USA, May 2002 (http://www.ieee.org).

[Card05] Cardeiro,J., *Optimisation of Base Station Location in UMTS-FDD for realistic traffic distributions*, Master Thesis, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, Oct. 2005

[CaSe04] Cardeiro,J. e Sebastião, D., *Modelo e Dimensionamento de Tráfego na Interface Rádio em UMTS,* Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Oct. 2004.

[Chen03] Chen,Y., *Soft Handover Issues in Radio Resource Management for 3G WCDMA Networks*, Ph.D. Thesis, Queen Mary College, University of London, London, UK, Sep. 2003 (http://www.elec.qmul.ac.uk/research/thesis/YueChen2003.pdf).

[ChHo02] Cho,J. and Hong,D., "Statistical Model of Downlink Interference for the Performance Evaluation of CDMA Systems", *IEEE Communications Letters*, Vol. 6, No. 11, Nov. 2002, pp. 494-496 (http://eecom3.sogang.ac.kr/ professor/paper3.pdf).

[Corr05] Correia,L.M., *Apontamentos de apoio às aulas de Sistemas de Comunicações Móveis*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2005.

[DaCo99] Damosso,E. and Correia,L.M. (eds.), *Digital mobile radio towards future generation systems – COST 231 Final Report*, COST/EC Office, Brussels, Belgium, 1999.

[EGMV05] Eisenbläter,A., Geerdes,H., Munna,A. and Verdone,R., "Comparison of Models for WCDMA Downlink Capacity Assessment Based on a MORANS Reference Scenario", *in Proc. of VTC 2005 – 61st IEEE Vehicular Technology Conference*, Stockholm, Sweden, May 2005 (www.ieee.org).

[FCXV03] Ferreira,L., Correia,L.M., Xavier,D., Vasconcelos,A. and Fledderus,E., *Final Report on traffic estimation and service characterization*, IST-MOMENTUM Project, Deliverable D1.4, IST-TUL, Lisbon, Portugal, May 2003.

[FlSS97] Fleming,P., Stolyar,A. and Simon,B., *Closed-Form Expressions for Other-Cell Interference in Cellular CDMA*, Tech. Rep. 116, UDC/CCM, Dec. 1997 (http://www-math.cudenver.edu/ccm/reports/rep116.ps.gz).

[HaHS99] Hämäläinen,S., Holma,H. and Sipilä,K., "Advanced WCDMA Radio Network Simulator", *in Proc. of PIMRC'99 – IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Conference*, Osaka, Japan, Sep. 1999 (http://lib.tkk.fi/Diss/2003/isbn9512267187/article9.pdf).

[HALS05] Kaaranen,H., Ahtiainen,A., Laitinen,L., Naghian,S. and Niemi,V., *UMTS Networks*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2005.

[Heis04] Heiska,K., *On the Modelling of WCDMA System Performance with Propagation Data*, Ph.D. Thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland, Apr. 2004 (http://lib.tkk.fi/Diss/2004/isbn9512270870/isbn9512270870.pdf).

[HoTo04] Holma,H. and Toskala,A., *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2004.

[LeGM99] Lei,Z., Goodman,D. and Mandayan,N., "Location-Dependent Other-Cell Interference and Its Effect on the Uplink Capacity of a Cellular CDMA System", *in Proc. of VTC'99 Spring - 49th IEEE Vehicular Technology Conference*, Houston, TX, USA, May 1999 (http://www.ieee.org).

[MäSt03] Mäder,A. and Staehle,D., *An Analytic Approximation of the Uplink Capacity in a UMTS Network with Heterogeneous Traffic,* Research Report No.310, Research Report Series, Institute of Computer Science, University of Würzburg, Würzburg, Germany, May 2003 (http://www3.informatik.uni-wuerzburg.de/ TR/tr310.pdf).

[MäSt04a] Mäder,A. and Staehle,D., *Uplink Blocking Probabilities in Heterogeneous WCDMA Networks considering Other-Cell Interference*, Research Report No.333, Research Report Series, Institute of Computer Science, University of Würzburg, Würzburg, Germany, May 2004 (http://www3.informatik.uni-wuerzburg.de/TR/tr333.pdf).

[MäSt04b] Mäder,A. and Staehle,D., "Analytic Modelling of the WCDMA Downlink Capacity in Multi-Service Environments", *in Proc. of 16th ITC Specialist Seminar*, Antwerp, Belgium, Aug. 2004 (http://www.itcss16.ua.ac.be/ papers/43.pdf).

[MOME04] *MOMENTUM* – Models and Simulation for Networkplanning and Control of UMTS, http://momentum.zib.de/

[NaSh03] Navaie,K. and Sharafat,A., "A framework for UMTS air interface analysis", *Can. J. Elect. Comput. Eng.*, Vol. 28, No. 3, July/Oct. 2003, pp 113-129 (http://www.ieee.org).

[Nguy05] Nguyen,S., *Capacity and Throughput Optimization in Multi-Cell 3G WCDMA Networks*, Master Thesis, University of North Texas, TX, USA, Aug. 2005 (http://www.cs.unt.edu/~rakl/Nguyen05.pdf).

[Nigl02] Niglio,S., *Analysis of the Soft Handover Procedure in Downlink Direction in UMTS WCDMA Systems*, Master Thesis, Politecnico di Milano, Milan, Italy, Oct. 2002 (http://db.s2.chalmers.se/download/masters/master_35_2002.pdf).

[OJDL00] Owen,R., Jones,P., Dehgan,S. and Lister,D., "Uplink WCDMA Capacity and Range as a Function of Inter-to-Intra Interference: theory and practice", *in Proc. of VTC 2000 Spring - 51th IEEE Vehicular Technology Conference*, Tokyo, Japan, 2000 (http://www.ieee.org).

[Pars92] Parsons,J.D., *The Mobile Radio Propagation Channel*, Pentech Press, London, UK, 1992.

[Parv04] Parvez,A., *Impact of Actual Interference on Capacity and Call Admission Control in a CDMA Network*, Master Thesis, University of North Texas, TX, USA, May 2004 (http://www.cs.unt.edu/~rakl/Parvez04.pdf).

[Rata02] Ratanamook,C., *Dynamic Radio Network Management for Third Generation WCDMA System*, Master Thesis, Queen Mary College, University of London, London, Aug. 2002 (http://www.elec.qmul.ac.uk/staffinfo/davew/reports_pdfs/ IC_projects /IC2002/2037_report.pdf).

[RFHL03] Rakoczi,B., Fledderus,E., Heideck,B., Lourenço,P. and Kürner,T., *Reference Scenarios,* IST-*MOMENTUM* Project, Deliverable D5.2, KPN, The Hague, The Netherlands, May 2003.

[SHSW00] Sipilä,K., Honkasalo,Z., Laiho-Steffens,J. and Wacker,A., "Estimation of Capacity and Required Transmission Power of WCDMA Downlink Based on a Downlimk Pole Equation", *in Proc. of VTC 2000 Spring - 51th IEEE Vehicular Technology Conference*, Tokyo, Japan, 2000 (http://www.ieee.org).

[SKYM03] Sugano,M., Kou,L., Yamamoto,T. and Murata,M., "Impact of Soft Handoff on TCP Throughput over CDMA Wireless Cellular Networks", *in Proc. of VTC 2003 Fall - IEEE Vehicular Technology Conference*, Orlando, FL, USA, Oct. 2003 (http://www.rehab.osakafu-u.ac.jp/~sugano/papers/sugano03vtcCDMAsofthandoff.pdf).

[Sony06] http://www.sony.net/Products/SC-HP/new_tec/w_cdma/index.html

[Vill04] Villanueva,F., *Dimensionamento de capacidade rádio numa rede GSM/GPRS*, Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Oct. 2004.

[WaAC03] Wang,L., Aghvami,A. and Chambers,W., "On the Capacity of a Wideband Multi-Rate CDMA System With Multi-Service in the Presence of Fading and Power Control Error", *in IEE Proceedings on Communications*, Vol. 150, No. 1, Feb. 2003, pp. 59-63 (http://www.kcl.ac.uk/content/1/c4/15/79/IEEFPublish.pdf).

[Wei02] Wei,H., *Validation of a Simulator for 3G Mobile Devices*, Master Thesis, Queen Mary College, University of London, London, Sep. 2002 (http://www.elec.qmul.ac.uk/staffinfo/davew/reports_pdfs/IC_projects/IC2002/2045_report.pdf).

[YYZM03] Yu,J., Yao,Y., Zhang,J. and Molisch,A., "*Reverse Link Capacity of Power-Controlled CDMA Systems with Antenna Arrays In a Multipath Fading Environment*", Technical Report 2003-78, Mitsubishi Electric Research Laboratories, Cambridge, MA, USA, Aug. 2003 (http://www.merl.com/reports/docs/TR2003-78.pdf).

[ZhLi00] Zhuge,L. and Li,V., "Interference Estimation for Admission Control in Multi-Services DS-CDMA Cellular Systems", *in Proc. of GLOBECOM'00 - IEEE Global Telecommunications Conference*, San Francisco, CA, USA, Nov. 2000 (www.ieee.org).