



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Covilhã | Portugal

Departamento de Engenharia Electromecânica

Simulação e Modelação de Tráfego Multi-serviço pós-3G na Presença da Mobilidade

Dissertação para obtenção do Grau de Mestrado
Rui Filipe Rosa Paulo

Orientador:

Fernando J. da S. Velez

Professor Auxiliar

Universidade da Beira Interior

Departamento de Engenharia Electromecânica

Covilhã, Portugal

Julho 2008



UBI
Covilhã
Portugal



instituto de
telecomunicações

Departamento de Engenharia Electromecânica

Simulação e Modelação de Tráfego Multi-serviço pós-3G na Presença da Mobilidade

Dissertação para obtenção do Grau de Mestrado
Rui Filipe Rosa Paulo

Orientador:

Fernando J. da S. Velez
Professor Auxiliar
Universidade da Beira Interior
Departamento de Engenharia Electromecânica

Covilhã, Portugal
Julho 2008

Resumo

Nesta dissertação apresentam-se dois tipos de abordagem ao tráfego multi-serviço. Uma através de modelação, incluindo os aspectos de mobilidade, e outra através de simulação.

O trabalho tem por base uma classificação e caracterização de serviços e aplicações realizada principalmente para diversos tipos de cenários de operação, incluindo também informações detalhadas quanto à utilização da mistura das aplicações.

Em termos de modelação, consideram-se os modelos *Markov-Modulated-Poisson-Processes* (MMPP) ou *Bernoulli-Poisson-Pascal* (BPP), para o tráfego multiserviço e considera-se a mobilidade. Antes de se validar o modelo através de simulação, apresenta-se um exemplo ilustrativo da aplicação do modelo.

Foi desenvolvido um simulador recorrendo a uma ferramenta de simulação com uma perspectiva de modelação de processo (fluxo de transacções). Foram implementadas dois tipos de geometria, o primeiro tipo de geometria é uma geometria em forma de rotunda ou de circular em redor de uma cidade, enquanto que a segunda geometria é uma configuração de 7 células que têm a forma de hexágono.

Primeiro realizam-se simulações para validar o comportamento do simulador com um serviço de voz permanente, apresentam-se os resultados de probabilidade de bloqueio, falha de *handover* e de bloqueio de *on/off*, P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, concluiu-se que com o aumento gradual do tráfego oferecido, as probabilidades de bloqueio, de falha de *handover* e de bloqueio de *on/off* também aumenta.

Para validar o modelo BPP simula-se o caso em que os serviços de VOI e VTE decorrem em simultâneo e a partilham 48 canais, para o serviço VOI, $P_{b_{onoff} Teórico}$ nunca intersecta o valor de $P_{b_{onoff}}$ simulado; no caso de VTE, no entanto, $P_{b_{onoff} Teórico}$ intersecta $P_{b_{onoff}}$ simulado quando γ é superior a 10, podendo-se considerar que a intersecção ocorre para valores de γ próximos de 100.

Realizam-se também simulações onde se testa VOI e VTE a operarem simultaneamente e a partilham 52 canais ou seja foi proposto o aumento de mais 4 canais o que representa um pequeno aumento no número de canais disponíveis, de cerca de 8.3%. Para ambas as aplicações P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, baixaram de forma drástica no caso de VOI, aproximadamente 1000 vezes menos que no caso de 48 canais partilhados. No caso de VTE o aumento de 48 canais para 52 canais permitiu reduzir os valores de P_b e P_{hf} para 4.6 a 4.7 vezes menos. Conclui-se que com a introdução de quatro canais adicionais a presença do serviço de voz deixa de afectar negativamente a aplicação de VTE embora o serviço de voz ocupe poucos recursos.

A partir da simulação de um cenário em que se alteram as geometrias de simulação, conclui-se que com uma geometria com 10 células dispostas em rotunda ou circular urbana, ao contrário do que se poderia prever, não se obtêm resultados muito diferentes do que no caso com 7 células em forma de hexágono a duas dimensões. Por isso, em futuros desenvolvimentos do simulador, o cenário com 7 células não precisa necessariamente de ser considerado.

Abstract

In this dissertation two approaches to the multi-service traffic are presented. One through modelling, including mobility aspects, and another through simulation.

The work is based on a classification and characterisation of services and applications held mainly for various types of scenarios of operation, including detailed information on the use of the mixture of applications.

In terms of modelling, the *Markov-Modulated-Poisson-Processes* (MMPP), or *Bernoulli-Poisson-Pascal* (BPP) models were considered, for multiservice traffic with mobility support. Prior to validating the model through simulation, an example of application of the model is presented.

A simulator was developed by using a simulation tool with a process modelling perspective (transactions flow). Two geometry types were implemented; the first one is a geometry-shaped roundabout or a ring around a city, while the second is a geometry configuration with 7 hexagonal cells.

The first simulations were carried out to validate the performance of the simulator with a permanent voice service, and the results obtained for P_b , P_{hf} , P_{bonoff} and $P_{bonoff\ Te\acute{o}rico}$, allow to conclude that with the gradual increase of the traffic offered, the probability of blocking, handover failure, and *on/off* blocking, also increases.

To validate the BPP model it is simulated the case in which the services of VTE and VOI occur simultaneously and sharing 48 channels. For the VOI service, $P_{bonoff\ Te\acute{o}rico}$ never intersects the value of the simulated P_{bonoff} , for the VTE one, however, $P_{bonoff\ Te\acute{o}rico}$ intersects the simulated P_{bonoff} when γ is over 10, it may be considered that the intersection occurs for values of γ close to 100.

Simulations were also carried out where VOI and VTE operate sharing 52 channels, i.e, it was proposed an increase of 4 channels, which represents a small increase in the number of available channels, about 8.3%. For both applications the blocking, handover failure and *on/off* blocking probabilities, P_b , P_{hf} and P_{bonoff} , decrease dramatically in the case of VOI, approximately 1000 times less than in the case of 48 channels shared. In the case of VTE, increasing the channels from 48 to 52 reduced the values of P_b and P_{hf} to around 4.6-4.7 times less. With the introduction of four additional channels the presence of the voice service does not affect negatively the application of VTE although the service of voice occupies few resources.

From the simulation of a scenario in which the geometry of simulation is changed, from 10 cells arranged in circular roundabout or urban ring to 7 hexagon-shaped cells in two dimensions, it is concluded that, contrary to what one could predict, results are not very different. So, in future developments of the simulator, the scenario with 7 cells does not necessarily need to be considered.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Abordagem	2
1.3	Estrutura do relatório	2
2	Comunicações Móveis 3G e Futuras	3
2.1	Da segunda geração até ao conceito de E-UMTS	3
2.2	Conceitos básicos	5
2.3	Evolução WCDMA/Enhanced UMTS	5
2.4	<i>High-Speed Packet Access</i>	8
2.4.1	Introdução ao <i>High-Speed Packet Access</i>	8
2.4.2	Conceito <i>High-Speed Downlink Packet Access</i>	9
2.4.3	Detalhes do HSDPA	11
2.4.4	Escalonamento	12
2.4.5	Impacto do HSDPA na arquitectura de rede do acesso rádio	14
2.4.6	Mobilidade com HSDPA	15
2.4.7	High-Speed Uplink Packet Access	16
2.4.8	Escalonamento	17
2.5	Sumário e conclusões	18
3	Caracterização dos Serviços E-UMTS	21
3.1	Introdução	21
3.2	Utilização das aplicações	22
3.3	Parâmetros de actividade na sessão	22
3.4	Modelo de voz	23
3.5	Sumário e conclusões	24
4	Modelo de Tráfego	25
4.1	Introdução	25
4.2	Bases do modelo	26
4.3	Cálculo da <i>pmf</i> da ocupação	28
4.4	O processo de chegada BPP	28
4.5	Algoritmos	30
4.6	Modelo de utilizador	31
4.6.1	Activação de aplicações	31
4.6.2	Carga média e utilizador equivalente	33
4.7	Sumário e conclusões	36

5	Tráfego de Mobilidade	37
5.1	Apresentação do problema	37
5.2	Solução aproximada	38
5.3	Validade da aproximação	42
5.4	Sumário e conclusões	43
6	Exemplo de Aplicação do Modelo de Tráfego Multi-Serviço	45
6.1	Introdução	45
6.2	Modelo de tráfego	46
6.2.1	Importância	46
6.2.2	Fontes de tráfego	47
6.2.3	Voz em pacotes	47
6.2.4	Mensagens de correio electrónico e MMS	48
6.2.5	WAP, WWW e FTP	48
6.2.6	Streaming vídeo	49
6.2.7	Modelo unificador	49
6.3	Serviços e aplicações	50
6.3.1	Cenários de desenvolvimento	50
6.3.2	Carga média e ritmos de transmissão	51
6.4	Capacidade de sistema	52
6.5	Leis de <i>Moore</i> e <i>Gilder</i>	53
6.6	Sumário e conclusões	55
7	Resultados de Simulação Para Voz	57
7.1	Cenário	57
7.2	Parâmetros de serviço nos cenários E-UMTS	58
7.3	Fluxograma de simulação	59
7.4	Visual SLAM e AweSim	59
7.5	Geometria dos cenários e simulação	60
7.6	Voz modelada como um serviço permanente	60
7.7	Voz modulada como um serviço com períodos <i>on/off</i>	63
7.7.1	Cenário	63
7.7.2	Formulação/Reformulação de probabilidades	65
7.7.3	Resultados de simulação	67
7.8	Sumário e conclusões	68
8	Validação do Modelo BPP	71
8.1	Hipóteses	71
8.2	Resultados para VOI	72
8.2.1	Topologia em rotunda ou circular urbana	72
8.2.2	Alteração das geometrias de simulação: topologia em hexágono com 7 células	76
8.3	Mistura de VOI e VTE	77
8.3.1	Comparação do aumento de canais disponível	79
8.4	Sumário e conclusões	84
9	Conclusões e Trabalho Futuro	89

9.1	Conclusões	89
9.2	Sugestões para trabalho futuro	92
A	P_b, P_{hf}, P_{bonoff} e $P_{bonoff\ Teórico}$ como função de ρ para γ constante.	99
B	Fluxogramas	103
C	7 células	113

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Conceito de Enhanced UMTS.	4
Figura 2.2 – Bandas de frequência para o IMT-2000 (extraída de [18]).	4
Figura 2.3 – Bit, <i>chip</i> e símbolo (adaptado de [19]).	6
Figura 2.4 – Técnicas investigadas para o HSUPA.	8
Figura 2.5 – Evolução do WCDMA (adaptado de [20]).	10
Figura 2.6 – Princípio geral de operação do HSDPA e canais associados (adaptado de [21]).	11
Figura 2.7 – HSDPA no Node B (adaptado de [22]).	12
Figura 2.8 – Utilização dinâmica da potência com HS-DSCH (adaptado de [20]).	13
Figura 2.9 – Tratamento prioritário na escalonador (adaptado de [20]).	14
Figura 2.10– Release’ 99 Release’ 5 HSDPA controlo da retransmissão na rede. (adaptado de [21]).	15
Figura 2.11– HSUPA no Node B (adaptado de [22]).	16
Figura 2.12– Tratamento prioritário no escalonador (adaptado de [20]).	18
Figura 4.1 – Fronteiras para um recurso usado para uma política completa de partilha, $J=3$	27
Figura 4.2 – Modelo <i>Markov</i> do processo de chegada BPP para uma distribuição exponencial dos tempos de espera.	27
Figura 4.3 – Algoritmo para calcular o tempo de chamada.	31
Figura 4.4 – Modelos de activação das aplicações.	32
Figura 4.5 – Modelos de activação da componente de serviço.	32
Figura 5.1 – Geometria de cobertura linear.	37
Figura 5.2 – Geometria celular $J=2$	37
Figura 5.3 – Cadeia de <i>Markov</i> para $J=2$ e $m=3$	38
Figura 5.4 – Geometria celular para $J=10$	39
Figura 5.5 – Probabilidades de bloqueio e de falha de <i>handover</i> em função de para $m = 4$ extraído de [38].	42
Figura 6.1 – Probabilidade de bloqueio em função de f_a para 529 canais (cenário B, ligação descendente).	53
Figura 6.2 – Generealização das leis de <i>Moore</i> e <i>Gilder</i> para comunicações multimédia móveis celulares.	55
Figura 7.1 – Cenário em rotunda com 3 células.	58
Figura 7.2 – Topologia de 7 células em forma de hexágono.	60
Figura 7.3 – P_b e $P_{h,f}$ para VOI permanente com 3 células, simulação a 1 Mês.	61
Figura 7.4 – P_b e $P_{h,f}$ para VOI permanente com 3 células, simulação a 6 Meses.	61

Figura 7.5 – P_b e P_{hf} para VOI permanente com 3 células, simulação a 1 Ano.	62
Figura 7.6 – P_b e P_{hf} para VOI permanente com 3 células, simulação a 2 Anos.	62
Figura 7.7 – P_b e P_{hf} para VOI permanente com 3 células, simulação a 10 Anos.	63
Figura 7.8 – P_b e P_{hf} para VOI permanente com 10 células, simulação a 1 Mês.	63
Figura 7.9 – P_b e P_{hf} para VOI permanente com 10 células, simulação a 6 Meses.	64
Figura 7.10– P_b e P_{hf} para VOI permanente com 10 células, simulação a 1 Ano.	64
Figura 7.11– P_b e P_{hf} para VOI permanente com 10 células, simulação a 2 Anos.	65
Figura 7.12 – P_b e P_{hf} para VOI permanente com 10 células, simulação a 10 Anos.	65
Figura 7.13– Possibilidades de handover.	66
Figura 7.14– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ com 3 células, simulação a 1 Ano.	67
Figura 7.15– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ com 3 células, simulação a 2 Anos.	68
Figura 7.16– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ com 3 células, simulação a 10 Anos.	68
Figura 7.17– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ com 10 células, simulação a 1 Ano.	69
Figura 7.18– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ com 10 células, simulação a 2 Anos.	69
Figura 7.19– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ com 10 células, simulação a 10 Anos.	70
Figura 8.1 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de γ e $\rho=0.05$.	73
Figura 8.2 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de γ e $\rho=0.1$.	74
Figura 8.3 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de γ e $\rho=0.15$.	74
Figura 8.4 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de γ e $\rho=0.2$.	75
Figura 8.5 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de γ e $\rho=1$.	75
Figura 8.6 – $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ .	76
Figura 8.7 – $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ .	77
Figura 8.8 – P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.1$, com 7 células.	78
Figura 8.9 – P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.17$, com 7 células.	79
Figura 8.10– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.05$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.	80
Figura 8.11– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.05$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.	80
Figura 8.12– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.	81
Figura 8.13– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.	81
Figura 8.14– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.15$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.	82
Figura 8.15– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.15$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.	82
Figura 8.16– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.2$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.	83
Figura 8.17– P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.2$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.	83
Figura 8.18– $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VOI, como função de ρ , em multi-serviço com 48 canais partilhados.	84
Figura 8.19– $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VTE, como função de ρ , em multi-serviço com 48 canais partilhados.	85

Figura 8.20 – P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 48 canais dedicados.	86
Figura 8.21 – P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 48 canais dedicados.	87
Figura 8.22 – P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 52 canais partilhados.	87
Figura 8.23 – P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 52 canais partilhados.	88
Figura 9.1 – Modelo de tráfego para a estação base (adaptado de [65]).	92
Figura A.1 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ e $\gamma=0.001$	100
Figura A.2 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ e $\gamma=0.01$	100
Figura A.3 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ e $\gamma=0.1$	101
Figura A.4 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ e $\gamma=1$	101
Figura A.5 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ e $\gamma=10$	102
Figura A.6 – P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ e $\gamma=100$	102
Figura B.1 – Fluxograma (I).	104
Figura B.2 – Fluxograma (II).	105
Figura B.3 – Fluxograma (III).	106
Figura B.4 – Fluxograma (IV).	107
Figura B.5 – Fluxograma (V).	108
Figura B.6 – Fluxograma (VI).	109
Figura B.7 – Fluxograma (VII).	110
Figura B.8 – Fluxograma (VIII).	111
Figura B.9 – Fluxograma (IX).	112
Figura C.1 – 7 células.	114

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Serviços e ritmos de transmissão.	21
Tabela 3.2 – Hipóteses para as aplicações utilizadas no E-UMTS (OFF, BCC e VEH).	22
Tabela 3.3 – Hipóteses para a utilização dos serviços no E-UMTS (OFF, BCC e VEH).	23
Tabela 3.4 – Proposta para a utilização das aplicações em cada cenário de utilização.	23
Tabela 3.5 – Sessão das aplicações e parâmetros de actividade [26]	24
Tabela 6.1 – Componentes de serviço.	50
Tabela 6.2 – Cenários de utilização para exterior (BCC, URB, ROA).	51
Tabela 6.3 – Factor de assimetria entre DL e UL.	52
Tabela 6.4 – f_a suportado e número de utilizadores por km com 600+600 canais na ausência e presença de mobilidade.	54
Tabela 6.5 – f_a suportado e número de utilizadores por km com 800+800 canais na ausência e presença de mobilidade.	54
Tabela 8.1 – Hipóteses para o serviço de VOI em ambiente de rajada.	71
Tabela 8.2 – Dados de entrada e simulação do programa de cálculo de $P_{b_{onoff} Teórico}$ (Programa em Pascal).	72
Tabela 8.3 – Tempo de permanência.	73
Tabela 8.4 – Hipóteses para o multi-seviço com VOI e VTE.	78
Tabela 8.5 – Dados de entrada e simulação do programa de cálculo de $P_{b_{onoff}}$ (Programa em Pascal) para VOI e VTE.	79

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

O grande objectivo dos sistemas de comunicação móveis de terceira geração (3G) é a entrega de serviços dos multimédia aos utilizadores no domínio móvel o que requer o suporte de ritmos de transmissão de dados do utilizador que são substancialmente mais elevadas do que as fornecidas por redes da segunda geração (2G). Por exemplo, nas versões iniciais do *Global System for Mobile Communications* (GSM) só eram suportados ritmos de transmissão de 9.6 kbit/s. Os utilizadores do *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) têm à sua disposição um ritmo de transmissão de 144 kbit/s, mas em ambientes macrocelulares e em ambiente picocelulares poderão ter picos do ritmos de transmissão até 2 Mb/s, na ausência de mobilidade.

No projecto IST-SEACORN [1] foram propostas várias melhorias ao UMTS que incluem, entre outras, técnicas de modulação avançadas e técnicas de transmissão rádio, estratégias melhoradas de encaminhamento para o *Internet Protocol* (IP) e garantindo a qualidade de serviço (QoS). Portanto o *Enhanced Universal Mobile Telecommunications System* (E-UMTS) é uma etapa fundamental na evolução do UMTS que permite ritmos de transmissão superiores a 2 Mbit/s, quer no sentido descendente quer no sentido ascendente, sobre portadoras de 5 MHz. Assim, o E-UMTS vai permitir o fornecimento de novos serviços de Banda Larga e a redução significativa do preço por bit, suportando-se em redes baseadas em IP permitindo flexibilidade na QoS, tornando assim possível uma transmissão extremo a extremo baseada em pacotes.

O estudo do comportamento do tele-tráfego de E-UMTS motivou a produção de um simulador que representasse o tráfego fonte e a sua agregação. Para testar as suas melhorias, foram testados vários modelos com as características mais relevantes, tais como os períodos de actividade/inactividade; foram também considerados diferentes cenários, muito úteis para finalidades de validação.

O simulador foi desenvolvido com AweSim [2], um sistema de uso geral de simulação ao acontecimento (e também para simulação contínua). A característica mais fundamental da arquitectura de AweSim é a sua abertura e interligação a bases de dados, folhas de cálculo, e programas de processamento de texto.

1.2 Abordagem

Neste trabalho, apresentam-se dois tipos de abordagem ao tráfego multi-serviço. Uma através de modelação, incluindo os aspectos de mobilidade, e outra através de simulação.

Todo este trabalho tem por base uma classificação e caracterização de serviços e aplicações realizada principalmente para diversos tipos de cenários de operação, incluindo também informações detalhadas quanto à utilização da mistura das aplicações.

Em termos de modelação, consideram-se os modelos *Markov-Modulated-Poisson-Processes* (MMPP), ou *Bernoulli-Poisson-Pascal* (BPP), para o tráfego multiserviço e considera-se a mobilidade. Antes de se validar o modelo através de simulação, apresenta-se um exemplo ilustrativo da aplicação do modelo. Finalmente, realizam-se as simulações para validar o modelo BPP.

Do trabalho de investigação conducente à realização desta dissertação resultaram diversas contribuições originais publicados ou submetidos em conferências, seminários, *workshops*, acções de cooperação europeia e revistas. As principais contribuições foram dadas nas seguintes áreas:

- Caracterização de serviços e aplicações [3], [4], [5];
- Modelação e simulação de tráfego multi-serviço pós 3G na presença de mobilidade [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15] e [16];
- Validação do modelo BPP para topologia multi-serviço em rajada na presença de mobilidade [6], [8], [9], [10], [11] e [16].

1.3 Estrutura do relatório

No Capítulo 2, sobre comunicações móveis de 3G e futuras, faz-se uma pequena introdução a alguns conceitos básicos e apresenta-se a evolução WCDMA/Enhance UMTS, HSDPA e HSUPA. No Capítulo 3, são caracterizados os serviços do E-UMTS e propõem-se valores para a utilização das suas aplicações, parâmetros de actividade na sessão e modelo de voz. O modelo de tráfego é apresentado no Capítulo 4, onde são dadas as bases do modelo e os seus algoritmos. De seguida, são apresentados, no Capítulo 5 aspectos sobre tráfego de mobilidade. No Capítulo 6 onde é dado um exemplo de aplicação do modelo de tráfego multi-serviço e uma generalização das leis de *Moore* e *Gilder* às comunicações móveis.

Nos Capítulos 7 e 8 exploram-se as simulações, apresentando-se novos resultados e validando-se o modelo BPP. Finalmente no Capítulo 9 são apresentadas as conclusões e algumas sugestões para o trabalho futuro.

Capítulo 2

Comunicações Móveis 3G e Futuras

2.1 Da segunda geração até ao conceito de E-UMTS

Agora que já podemos desfrutar da terceira geração (3G) há que modelar a próxima etapa. Assim, como se passou da segunda geração (2G) para a geração dois e meio (2.5G), e só depois para a actual 3G, também é necessário passar pela terceira geração e meia (3.5G) antes de se atingir a quarta geração (4G).

A 3G ou *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) caracteriza-se por trazer as seguintes melhorias em relação às anteriores gerações:

- Ritmos de transmissão superiores;
- Utilização de tecnologias com *Internet Protocol* (IP);
- Incremento da eficiência em termos de capacidade da rede e espectro;
- Aplicações que suportam nós com entregas de maior desempenho e disponibilidade;
- Tentativa de protecção de investimentos durante a sua criação.

A 3.5G na sua vertente *Enhanced Universal Mobile Telecommunications System* (E-UMTS) permite maior desempenho em termos de capacidade do ritmo de transmissão, consequentemente, vão aparecer melhorias e novos serviços. Esses novos serviços têm necessidades e requisitos diferentes, com padrões de geração de tráfego também diferentes.

A grande evolução do E-UMTS é o aumento do ritmo de transmissão que poderá atingir pelo menos 8-10 Mb/s, Figura 2.1, em ambos os sentidos suportar novos serviços e aplicações com um ritmo de transmissão superior dando simultaneamente muito mais capacidade ao sistema.

Nos sistemas de telecomunicações móveis 2G houve a necessidade de se compatibilizarem sistemas, e de tornar as telecomunicações internacionais mais transparentes, quer ao nível da telecomunicação em si, quer em termos de portabilidade entre diferentes países. Ou seja, na altura da criação e implementação da segunda geração o sistema deveria ter uma dimensão regional (em termos de continente) ou semi-global. Devido à natureza da normalização regional o conceito de globalização nunca teve o sucesso esperado. Mesmo assim, pode-se considerar que o *Global System for Mobile Communications* (GSM) foi um sucesso comercial.

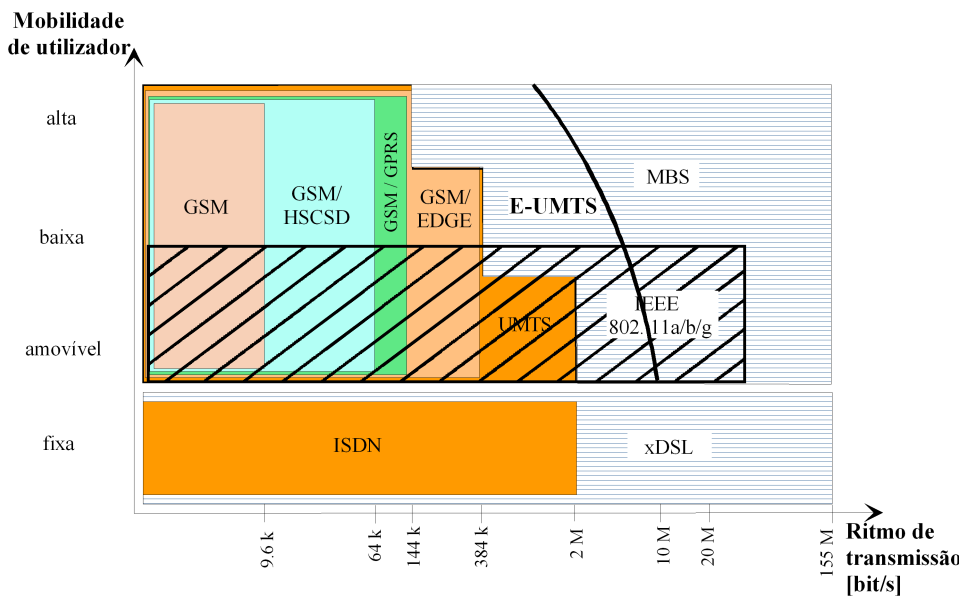


Figura 2.1: Conceito de Enhanced UMTS.

Com o UMTS espera-se conseguir a tão ambicionada globalização das comunicações móveis. O UMTS é baseado no sistema e nas soluções técnicas do GSM, embora o GSM tenha levado a uma saturação das frequências que lhe foram atribuídas [17].

No início da sua utilização, o UMTS está a utilizar muitos elementos e princípios de funcionamento do GSM. Os desenvolvimentos mais importantes na rede verificam-se ao nível do acesso rádio. O UMTS é implementado como um sistema com um acesso rádio de banda larga com a tecnologia *Wide Code Multiple Division Access (WCDMA)*. A Figura 2.2, apresenta a situação actual do *International Mobile Telecommunications 2000 (IMT-2000)*, o IMT-2000 distribuiu os espectros em algumas áreas a nível mundial.

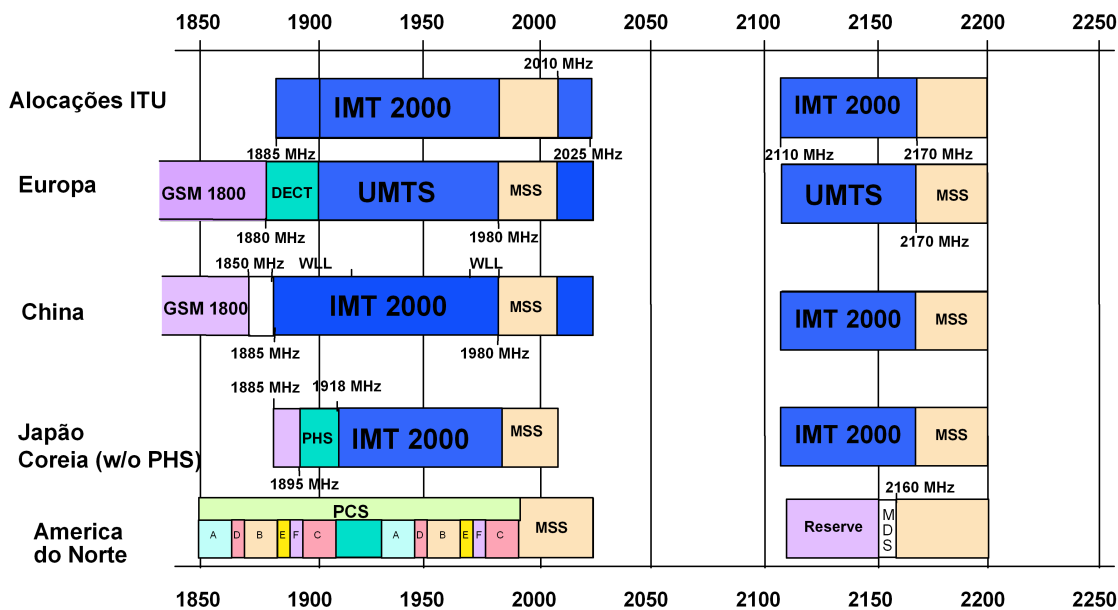


Figura 2.2: Bandas de frequência para o IMT-2000 (extraída de [18]).

2.2 Conceitos básicos

O WCDMA tem como base o espalhamento do espectro, o esquema de acesso múltiplo cria uma largura de banda para o sinal transmitido muito mais larga do que a largura de banda para a informação transmitida [18]. As principais características do espalhamento do sinal são a resistência da interferência adicional do rádio e do sinal, mais a facilidade de acessos múltiplos com um padrão de reutilização igual a um; portanto, podem ser usadas diferentes técnicas e há um acesso do utilizador a qualquer momento sem esperar por um canal disponível.

A seguir, é explicado o processo de modulação, assumindo que o sinal rádio é transmitido da estação base para a estação móvel. Na estação base, o sinal transmitido com taxa R é espalhado por convolução com um espalhamento de sinal em banda larga, criando um sinal espalhado. Na estação móvel, o sinal é recebido e é reconvolucionado de novo, ficando-se exactamente com o mesmo sinal. Se o sinal espalhado gerado no móvel é sincronizado com o espalhamento código/sinal, o resultado é o sinal gerado com componentes de frequência mais altos, os quais não são parte do sinal original, podendo ser facilmente filtrados. Se aparecer algum sinal indesejado no móvel o sinal de espalhamento irá afectá-lo assim como fez com o sinal original na estação base, espalhando-o pela largura de banda do sinal espalhado. No WCDMA, a largura da banda é constante, enquanto que a potência do factor de espalhamento é sujeito a mudanças:

- Quando o ritmo de transmissão é baixo, o sinal pode ser melhor espalhado e a energia requerida por bit (*power*) é mais baixa;
- Quando o ritmo de transmissão é alto, o factor de espalhamento é baixo e a energia requerida por bit é maior.

De ambas as conclusões pode-se dizer: quando o factor de espalhamento aumenta, a energia baixa. O termo bit no WCDMA pode ser confuso, pois refere-se há informação bit, um bit ocorre no fluxo de dados do utilizador original. O bit que ocorre no código utilizado para o espalhamento é chamado de *chip*. Baseado neste conceito, podem-se apresentar alguns itens básicos do WCDMA. A taxa de bit do código usado pelo sinal de espalhamento original é 3.84 Mb/s. E é chamada de Taxa de *Chip* do Sistema, sendo expressa como 3.84 Mc/s, Figura 2.3. Esta taxa de *chip* toma em consideração com largura de banda de 5 MHz. Na interface ar, a informação é transmitida como símbolos. O símbolo aparece como um resultado da modulação. Dependendo do método de modulação, um símbolo representa inúmeros bits.

2.3 Evolução WCDMA/Enhanced UMTS

O WCDMA tem sido o sistema mais utilizado para a 3G, e os produtos têm aparecido no mercado baseados em si. Contudo, o WCDMA tem evoluído e uma das possibilidades de evolução aqui descrita é o *High-Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) [18]. As especificações iniciais do WCDMA suportavam ritmos de transmissão até 2 Mb/s em ambientes interiores/exteriores (exteriores com pequenas células) e até 384 kb/s em zonas com amplo campo de cobertura, assim como suporte de dados em comutação de pacotes, e dados de comutação de circuitos com elevado ritmo de transmissão. No entanto, para

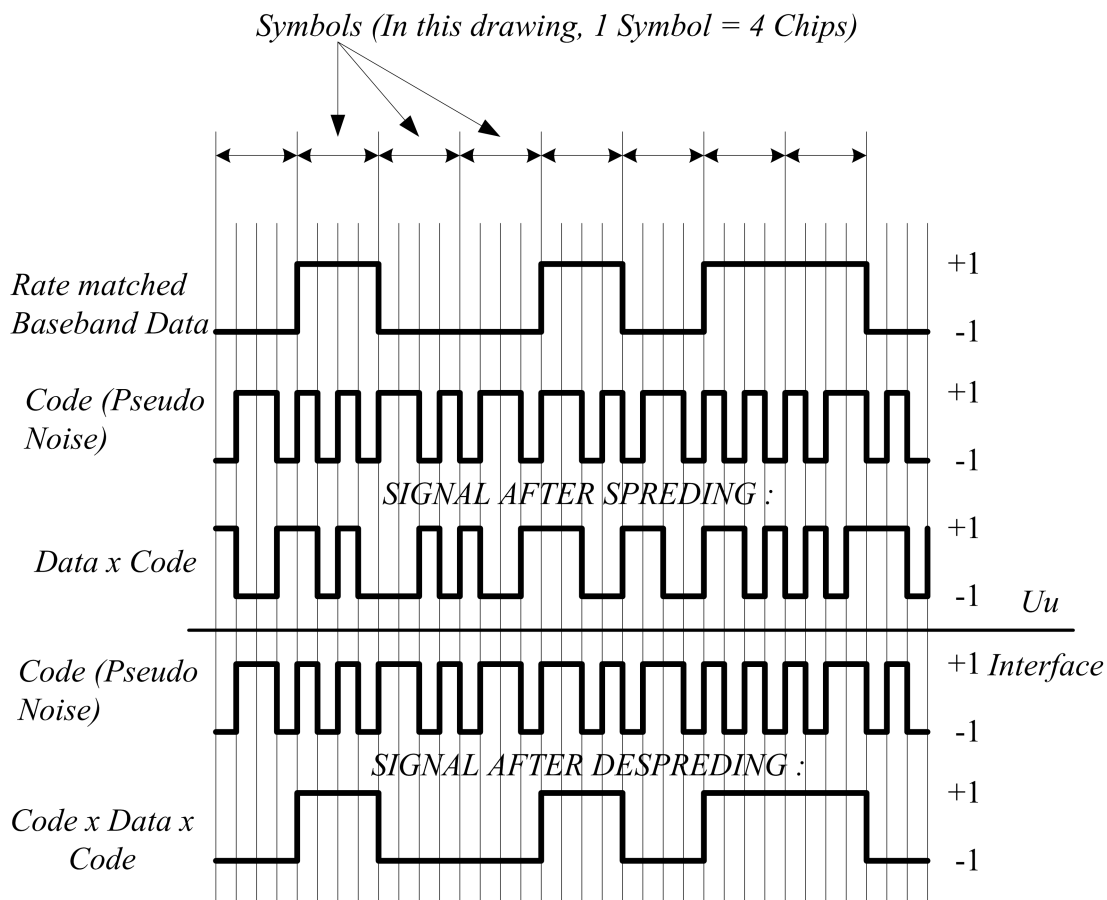


Figura 2.3: Bit, *chip* e símbolo (adaptado de [19]).

satisfazer os futuros requisitos para os serviços de dados por pacotes, é necessário um substancial aumento nos ritmos de transmissão na ligação descendente. O HSDPA é um item que continua em desenvolvimento pelo *Third Generation Partnership Project* (3GPP). O grande trunfo do HSDPA é a capacidade de utilizar o WCDMA, para suportar picos de 8-10 Mb/s na ligação descendente, para serviços com maior ritmo de transmissão, muito para além dos 2 Mb/s. O HSDPA também apresenta melhorias em termos do atraso de dados e incremento de capacidade. As soluções utilizadas incluem modulações de ordem mais elevadas (16-QAM e 64-QAM), que suportam uma maior eficiência espectral, em bit/s/Hz, comparativamente com o *Quadrature Phase-shift Keying* (QPSK). Podem portanto ser utilizadas para picos de ritmos de transmissão na ordem dos 10 Mb/s, com os 5 MHz de largura de banda do WCDMA. Enquanto que, com o 16-QAM os ritmos de transmissão são multiplicados por dois com 64-QAM são multiplicados por três relativamente ao QPSK. Portanto, alcança-se um ganho elevado usando uma modulação de ordem superior.

HSDPA

Para se poder utilizar o HSDPA nas redes E-UMTS é introduzido um novo canal na rede de acesso rádio (RAN) e um canal partilhado de alto débito na ligação descendente (HS-DSCH). Este canal não requer tempo de sincronização entre a estação base (BS) e a RAN,

porque o escalonamento de pacotes é feito na estação base (BS) e não no controlador da rede rádio (RNC). De forma a suportar taxas de pico na ligação descendente na gama de valores 8-10 Mb/s, o HSDPA é baseado em técnicas tais como modulação e codificação adaptativa e *Hybrid Automatic Repeat Request* (H-ARQ). A funcionalidade do HSDPA é incluída na nova identidade MAC conhecida por MAC-hs. No UMTS *Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN), o MAC-hs localiza-se no Node B. Para além disso o HS-DSCH tem um intervalo de tempo de transmissão (TTI), na ordem dos 2 ms, substancialmente pequeno comparado com os habituais 10 ms de TTI do UMTS. O princípio da modulação e da codificação adaptativa consiste na mudança da modulação e do formato do código, de acordo com as variações nas condições instantâneas do canal. As condições do canal podem ser estimadas, por exemplo, baseadas em relatórios de medidas do utilizador do equipamento. Num sistema HSDPA os utilizadores com posições mais favoráveis, por exemplo, utilizadores mais perto do centro da célula, acedem tipicamente com maiores ordens de modulação, com maiores taxas de códigos (por exemplo, 16 QAM com $R=3/4$), onde R é a taxa de código, enquanto que os utilizadores em posições menos favoráveis acedem com uma ordem de modulação mais baixa, com taxas de código inferiores (por exemplo, QPSK com $R=1/2$).

HSUPA

Parecido com o HSDPA na ligação descendente, o *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA) define uma nova interface rádio para as comunicações na ligação ascendente. O principal objectivo é melhorar a cobertura e débito binário (*throughput*) bem como reduzir o atraso na ligação ascendente, no canal de transporte dedicado. Do ponto de vista do 3GPP, aprovaram-se as primeiras normas para o HSUPA em Dezembro de 2004, e enquanto que os aspectos de desempenho foram finalizados durante o verão de 2005. O *Enhanced Dedicated Channel* (E-DCH) é o nome adoptado pelo 3GPP para o HSUPA e faz parte do 3GPP *Release 6*. As principais capacidades técnicas introduzidas pelo HSUPA são as seguintes, [19]:

- Um novo canal dedicado de ligação ascendente;
- Introdução da H-ARQ;
- Capacidade de operar, com ou sem HSDPA, na ligação descendente;
- Escalonamento rápido (*fast scheduling*) no Node B;
- Realce significativo da redução da latência (atraso extremo a extremo) devido ao escalonamento rápido no Node B, H-ARQ rápido e TTI curto.

Ao contrário do HSDPA, o HSUPA continua baseado num canal dedicado. Foram introduzidos uma nova série de canais para a sinalização e tráfego, para melhorar todas as capacidades da ligação ascendente. Como no HSDPA, o HSUPA introduz transmissões rápidas baseadas no Protocolo H-ARQ, que permite a recuperação de erros na camada física. O escalonamento no Node B liga o controlo no Node B, entre os limites dados pelo RNC, o conjunto de Códigos de Formatação do Transporte, de onde o *User Equipment* (UE) pode escolher. Este facto irá permitir uma melhoria na cobertura e na capacidade na ligação ascendente. O principal objectivo da ligação ascendente melhorada *Frequency*

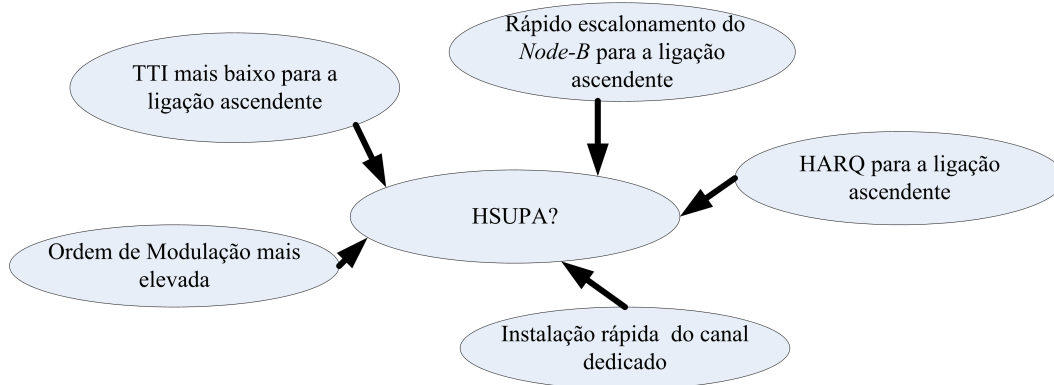


Figura 2.4: Técnicas investigadas para o HSUPA.

Division Duplex (FDD) foi diminuir o atraso, melhorar a cobertura e aumentar o *throughput* para os serviços dos dados do pacote. O pico máximo possível de taxa de dados para o *Enhanced Dedicated Channel* (E-DCH) é de 5.76 Mb/s. O E-DCH consegue os seus ganhos do desempenho com as seguintes abordagem:

- Um canal dedicado que é partilhado no tempo entre diferentes utilizadores;
- Um TTI curto, tão curto como 2 ms, que permite uma resposta rápida às mudanças das condições de rádio e às condições de erro;
- Escalonamento rápido no Node B, que permite à BS atribuir/reservar eficientemente os recursos rádio;
- Rápido pedido híbrido automático do *repeat*, que melhora a eficiência do processamento de erro.

2.4 High-Speed Packet Access

2.4.1 Introdução ao High-Speed Packet Access

O primeiro passo na evolução do acesso rádio do *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) é a introdução do *High-Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) nas especificações da *Release 5* da 3GPP/WCDMA. Embora a comunicação de dados por pacotes já seja suportada na primeira *Release* do WCDMA, o HSDPA vem incluir evoluções adicionais para o suporte de novos serviços por pacotes no WCDMA, tanto em termos do desempenho do sistema como para o utilizador final. As melhorias na transmissão de dados por pacotes no *downlink* introduzidos com o HSDPA são complementados pelo *Enhanced Uplink*, introduzido nas especificações da *Release 6* do 3GPP/WCDMA. O HSDPA e o *Enhanced Uplink*, quando juntos, são referidos como o *High Speed Packet Access* (HSPA).

Os requisitos mais importantes para os sistemas celulares que fornecem pacotes de dados são os elevados débitos binários e os atrasos reduzidos, enquanto que simultaneamente se deve manter uma cobertura óptima e suportar elevada capacidade de sistema.

Para alcançar estes requisitos, o HSPA introduz diversas técnicas sobre o WCDMA, descritas em [20], tais como modulações de ordem mais elevada, escalonamento mais rápido (dependente do canal) e controlo do ritmo de transmissão, e o H-ARQ rápido, com uma combinação suave. No seu conjunto, o HSPA disponibiliza ritmos de transmissão superiores a aproximadamente 14 e 5.7 Mbit/s no *downlink* e *uplink*, respectivamente, reduzindo significativamente o número de ciclos e aumentando a capacidade, em comparação com a *Release 99*.

A *Release 6* da 3GPP trouxe também um suporte eficiente para os serviços de difusão (*broadcast*) no WCDMA, através da introdução dos *Multimedia Broadcast Multicast Service* (MBMS), apropriados para serviços de televisão móvel. Com o MBMS, múltiplos terminais podem receber a mesma transmissão da rede em vez de cada utilizador receber uma transmissão para a mesma informação individualmente. Este facto origina uma melhoria do aproveitamento da utilização dos recursos quando diversos utilizadores recebem a mesma informação na mesma célula. Como consequência da transmissão de *broadcast*, não pode ser utilizada a adaptação dos parâmetros da transmissão a um utilizador específico e portanto a diversidade, como meio de manter uma boa cobertura, é importante. Para o MBMS, propõe-se o uso da diversidade macro pela recepção de várias células.

A evolução do acesso rádio WCDMA continua e irá continuar no futuro. Por exemplo, na *Release 7* da 3GPP são introduzidos vários recursos novos. A técnica *Multiple-input multiple-output communications* (MIMO) é uma ferramenta para aumentar a capacidade adicional especialmente nos picos do ritmo de transmissão do HSPA. Os objectivos são também suportar serviços *Continuous Packet Connectivity* em terminais "always-on".

Em paralelo, para melhorar as especificações do acesso rádio, existe um esforço contínuo em estruturas de recepção avançadas. Estas melhorias podem fornecer um ganho significativo em ambos os sistemas e no desempenho no utilizador final, com uma implementação muito elevada, no entanto os requisitos do desempenho do receptor são tais que as melhorias estão ainda sujeitas a uma normalização.

Como sumário da evolução do WCDMA apresenta-se a seguinte Figura 2.5.

2.4.2 Conceito High-Speed Download Packet Access

A ideia chave do conceito do HSDPA é o aumento do débito dos dados por pacotes no *downlink* com métodos já conhecidos do GSM/EDGE, incluindo adaptações do *link* e recombinação de uma retransmissão rápida na camada física (L1). O manuseamento da retransmissão da camada física já foi discutida, mas os longos atrasos inerentes dos *Radio Network Controller* (RNC) baseado em *Automatic Repeat reQuest* (ARQ) resulta num consumo irrealista de memória no terminal. Portanto, são necessárias mudanças na arquitectura para se chegar a um consumo de memória viável, assim como para trazer o controlo para mais perto do controlo da ligação na interface ar. O canal de transporte transporta os dados do utilizador numa operação com HSDPA que é conhecido como *High-Speed Downlink-Shared Channel* (HS-DSCH). Na Figura 2.6, é apresentada, de forma simples, o funcionamento do HSDPA. O Node B estima a qualidade do canal de cada ligação HSDPA activa com base no controlo da potência, taxa *acknowledgment/negative acknowledgment* (ACK/NACK) e do *feedback* de um utilizador HSDPA específico. O escalonamento e a adaptação da ligação são conduzidos até um ritmo que depende do algoritmo de escalonamento activo e da prioridade atribuída a cada utilizador. Os canais

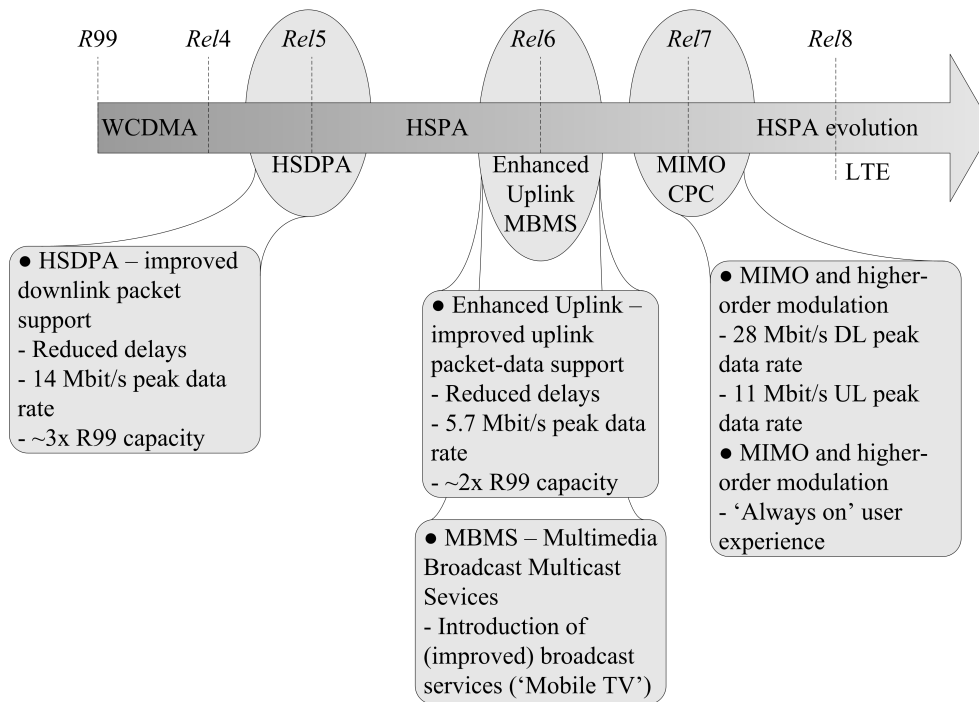


Figura 2.5: Evolução do WCDMA (adaptado de [20]).

necessários para transportarem os dados e a sinalização do controlo *downlink/uplink* são descritos em detalhe em [21].

Com o HSDPA, os recursos mais fundamentais do WCDMA, códigos com *Spreading Factor* (SF) variável e Controlo rápido da potência, são desligados, sendo substituídos por *adaptive modulation and coding* (AMC), através de operações extensivas de multi-código e uma estratégia rápida e eficiente da retransmissão espectral. No *downlink* a gama dinâmica do controlo da potência no WCDMA é na ordem dos 20 dB, muito maior em comparação com os 70 dB da gama dinâmica de controlo da potência no *uplink*. A dinâmica do *downlink* é limitada pela interferência inter-célula (interferência entre utilizadores em canais de códigos paralelos) e pela implementação do Node B. Isto significa, que para um utilizador perto do Node B, o controlo da potência não pode reduzir a potência ao mínimo; por outro lado, reduzindo gama dinâmica para cerca de 20 dB só ia ter um impacto marginal na capacidade. Com o HSDPA esta propriedade é agora utilizada pela função de adaptação do *link* e AMC, para seleccionar um código, a combinação da modulação que requer um E_c/I_{or} mais elevado, que está disponível ao utilizador mais perto do Node B (ou com a melhor condição interferência/canal, num sentido mais fácil), este facto origina um débito adicional para o utilizador sem custos adicionais. Para permitir uma faixa dinâmica da adaptação da ligação HSDPA e para manter uma eficiência espectral adequada, um utilizador pode simultaneamente utilizar mais de 15 multi-códigos paralelos. A utilização de códigos mais robustos, HARQ rápido e operações multi-código, elimina a necessidade de SF variáveis.

Para permitir ao sistema beneficiar das variações num tempo curto, as decisões de escalonamento com base no tempo são feitas no Node B. A ideia no HSDPA é permitir o escalonamento com base no tempo tal que, se for desejável, a maior parte da capacidade da célula pode ser fornecida a um só utilizador por um período de tempo muito curto,

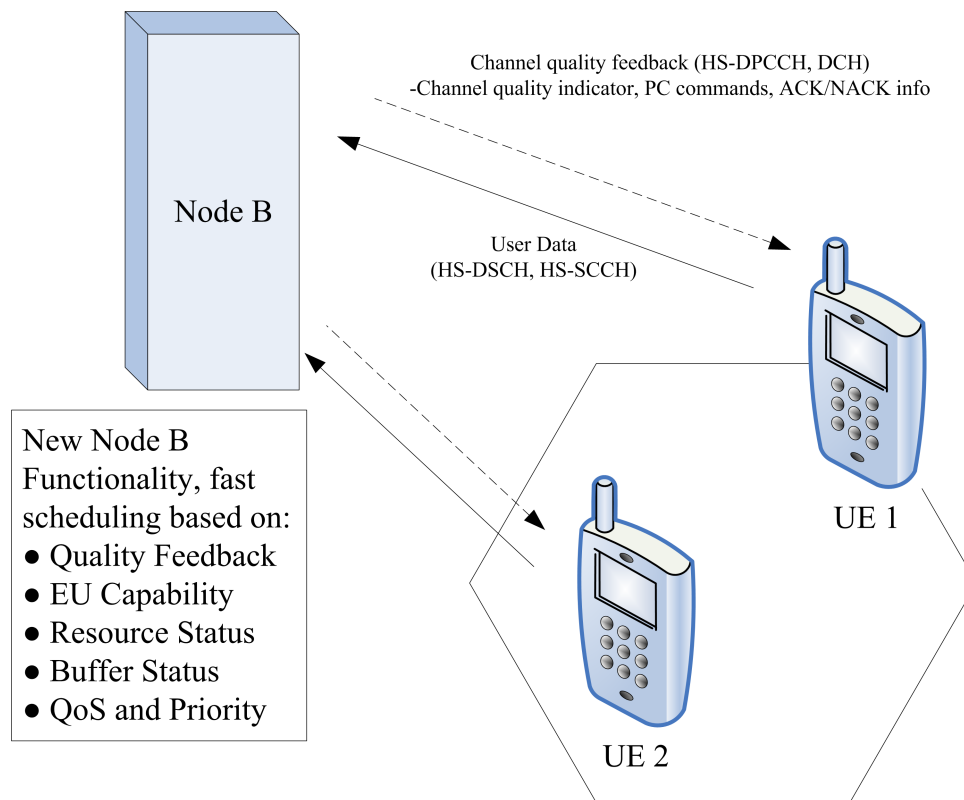


Figura 2.6: Princípio geral de operação do HSDPA e canais associados (adaptado de [21]).

quando as condições são favoráveis. Num cenário óptimo, o escalonamento com base no tempo é capaz de seguir o desvanecimento rápido dos utilizadores.

A combinação de pacotes na camada física, significa basicamente que o terminal armazena os pacotes de dados recebidos numa memória volátil. Se a descodificação falhar a nova transmissão é combinada com a anterior antes da descodificação do canal. A retransmissão pode ser idêntica à primeira transmissão ou pode conter bits diferentes, comparando-se com a saída do codificador de canal que foi recebida durante a última transmissão. Com esta estratégia de incrementação redundante, pode-se alcançar um ganho de diversidade assim como um aumento na eficiência da descodificação.

2.4.3 Detalhes do HSDPA

HS-DSCH: inclusão de recursos no WCDMA Release 5

O *High-Speed Downlink Shared Channel* (HS-DSCH) é o canal de transporte utilizado como suporte da transmissão do canal partilhado e as outras tecnologias básicas no HSDPA, Figura 2.7, nomeadamente programando o canal dependente, controlo de ritmo (incluindo modulações de ordem mais elevada), e ARQ híbrido, com combinações suaves. O HS-DSCH corresponde a um conjunto de códigos de canalização e é também conhecido por *High-Speed Physical Downlink Shared Channel* (HS-PDSCH).

Em adição ao HS-DSCH, existe também uma necessidade para os outros canais, por exemplo, para serviços em comutação de circuitos e para a sinalização do controlo. Para permitir uma troca entre o conjunto de recursos em canais retirados para o HS-DSCH e da

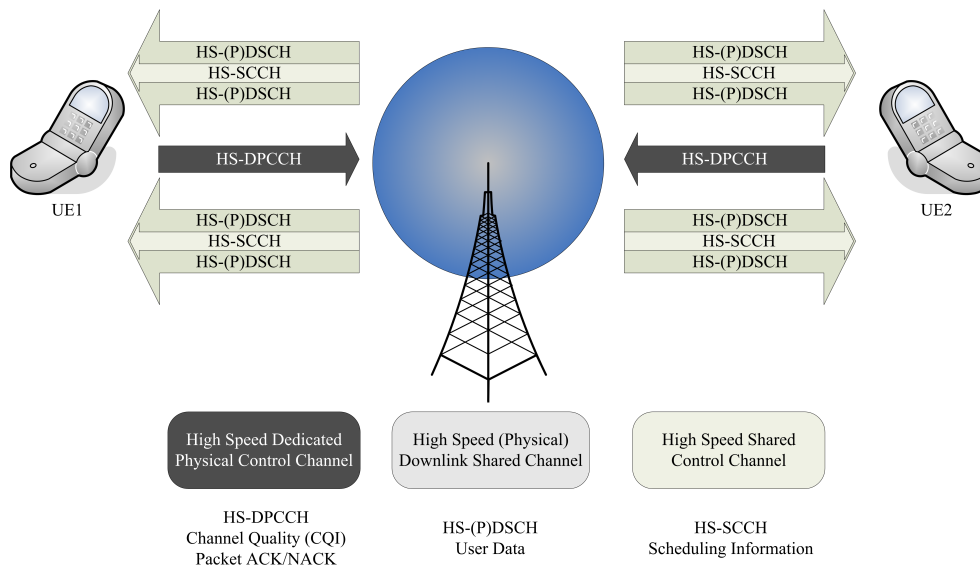


Figura 2.7: HSDPA no Node B (adaptado de [22]).

quantidade de códigos dos recursos utilizados para outros propósitos, pode-se configurar o número de códigos canalizados disponíveis para o HS-DSCH, num intervalo de 1 a 15 códigos. Os códigos não reservados para a transmissão HS-DSCH são utilizados para outros propósitos, por exemplo, relacionados com a sinalização do controlo e de serviços com comutação de circuitos. O primeiro nó na árvore de códigos nunca pode ser usado pela transmissão HS-DSCH, porque este nó inclui instruções físicas dos canais, tais como o comum pilotado.

A partilha dos códigos dos recursos do HS-DSCH deve primeiramente ter lugar no domínio do tempo. A razão prende-se com a exploração das vantagens da programação da dependência do canal e do ritmo de controlo, desde que a qualidade no terminal varie no domínio do tempo, sendo (quase sempre) independente do conjunto de códigos (canais físicos)

Para maximizar a utilização dos recursos de potência na estação base em termos de potência que sobra depois de servir outros utilizadores, os canais com potência controlada, devem ser de preferência utilizados para a transmissão HS-DSCH, como ilustrado na Figura 2.8. Em princípio isto resulta (mais ou menos) numa potência de emissão constante na célula, desde que o ritmo controlado do HS-DSCH como discutido em [20], na transmissão do HS-DSCH, possa ser seleccionado para coincidir com as condições rádio e com a quantidade de potência instantânea disponível para a transmissão HS-DSCH.

Para obter uma atribuição rápida dos recursos partilhados, e para se obter um atraso curto, deve-se seleccionar o valor TTI para ser tão pequeno quanto o possível. Ao mesmo tempo, num TTI muito curto pode resultar em excessivo *overhead* (informação adicional) na sinalização de controlo que é pedida em cada transmissão. Para o HSDPA, esta condicionante determina a selecção de um TTI de 2ms [20].

2.4.4 Escalonamento

Um dos princípios básicos para o HSDPA é a utilização do escalonamento que depende do canal. No escalonador no controlo do MAC-hs, a parte do código partilhado e da

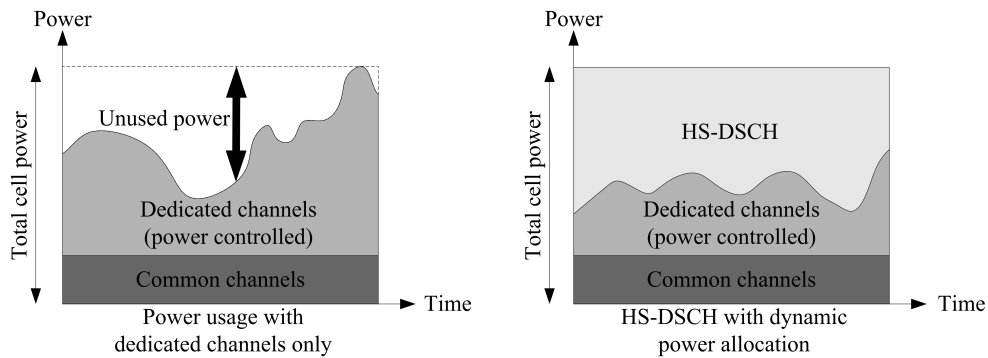


Figura 2.8: Utilização dinâmica da potência com HS-DSCH (adaptado de [20]).

potência do recurso é alocado ao utilizador num determinado TTI. O escalonamento é uma componente chave e determina em grande extensão toda a parte do desempenho do sistema HSDPA, especialmente numa rede em funcionamento. Para cargas baixas, onde apenas um ou poucos utilizadores estão disponíveis para escalonamento as diferenças entre diferentes estratégias de escalonamento são menos sentidas.

Embora o escalonador seja especificamente implementado e não seja especificado pelo 3GPP, o objectivo global da maior parte dos escalonadores será tirar vantagem das variações do canal entre os utilizadores, e preferencialmente das transmissões escalonadas para o utilizador quando as condições do canal são vantajosas. Em [20] discutem-se diversas estratégias possíveis para o escalonamento; contudo, uma estratégia eficiente de escalonamento requer pelo menos:

- Informação acerca das condições instantâneas do canal no *User Equipment* (UE);
- Informação acerca do estado do *buffer* e da prioridade dos fluxos de dados.

A informação acerca da qualidade instantânea do canal no UE é obtida tipicamente através de um *Channel-Quality Indicator* (CQI) de 5-bit, que cada UE envia para o Node B em intervalos de tempo regulares. O CQI é calculado no UE baseado na relação sinal-ruído do *common pilot* recebido. Em vez de se expressar o CQI como a qualidade do sinal recebido, o CQI é expresso como um *transport-block* de tamanho recomendado, tendo também em conta o desempenho do receptor. Isto é apropriado dado que a grandeza relevante é o ritmo de transmissão instantâneo que um terminal pode suportar em vez da qualidade do canal por si só. Por isso, e se todas as outras condições forem idênticas, um terminal com um receptor mais avançado, pode ser capaz de receber dados com um ritmo de transmissão com a mesma qualidade, indo reportar um CQI superior relativamente a um terminal com um receptor menos avançado.

Em adição à qualidade instantânea do canal, o escalonador pode tipicamente também considerar o estado do *buffer* e assim definir a prioridade dos níveis. Obviamente que, para os UEs para os quais não haja dados à espera de ser transmitidos, não se utiliza o escalonamento. Podem inclusive haver dados que podem ser importantes transmitir com um determinado atraso máximo, descuidando-se as condições do canal. Um exemplo importante é a sinalização do RRC, por exemplo, relacionado com a mudança de célula, tendo em vista o suporte da mobilidade, a qual deve ser entregue ao UE tão cedo quanto possível. Outro exemplo, embora não tão crítico no tempo como a sinalização do RRC,

são o serviços de *streaming*, os quais têm um limite máximo aceitável de atraso do pacote, para assegurar um ritmo de transmissão médio constante. Para suportar o manuseamento da prioridade nas decisões do escalonador, é definido um conjunto de filas de prioridade dentro do qual os dados são inseridos de acordo com a prioridade dos dados como ilustrado na Figura 2.9.

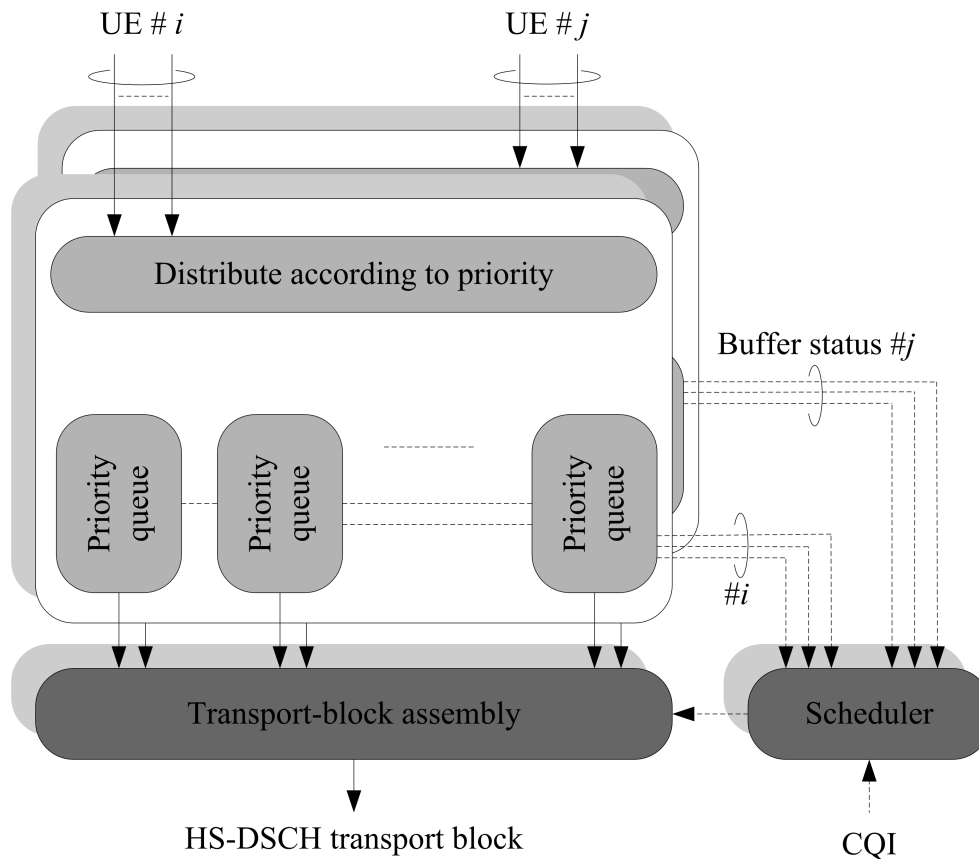


Figura 2.9: Tratamento prioritário na escalonador (adaptado de [20]).

O escalonador selecciona os dados a partir destas filas de prioridade para transmissão baseado nas condições do canal, a prioridade da fila, e de outras informações relevantes. No suporte eficiente de aplicações *streaming*, as quais requerem um ritmo de transmissão médio mínimo, existe a possibilidade do RNC "garantir" este ritmo de transmissão pelo fornecimento de informação acerca do ritmo de transmissão médio ao escalonador no Node B. O escalonador pode ter em conta esta restrição no processo de escalonamento.

2.4.5 Impacto do HSDPA na arquitectura de rede do acesso rádio

Na *Release 99*, os canais de transporte terminavam no RNC, por isso o procedimento de retransmissão para os dados de pacotes é localizado no RNC servidor (SRNC), que também manuseia a ligação para um utilizador particular para a rede nuclear de suporte. Com a introdução do HS-DSCH, foi instalada uma inteligência adicional na forma de camada *Medium Access Control* (MAC) no Node B. Neste sentido as retransmissões podem ser controladas directamente pelo Node B, levando a retransmissões mais rápidas e levando, portanto, a atrasos menores nas operação dos dados de pacotes quando são necessárias

retransmissões. A Figura 2.10 apresenta a diferença entre a retransmissão operada com, o HSDPA e com a *Release 99* no caso em que que o servidor e o controlador RNCs são os mesmos.

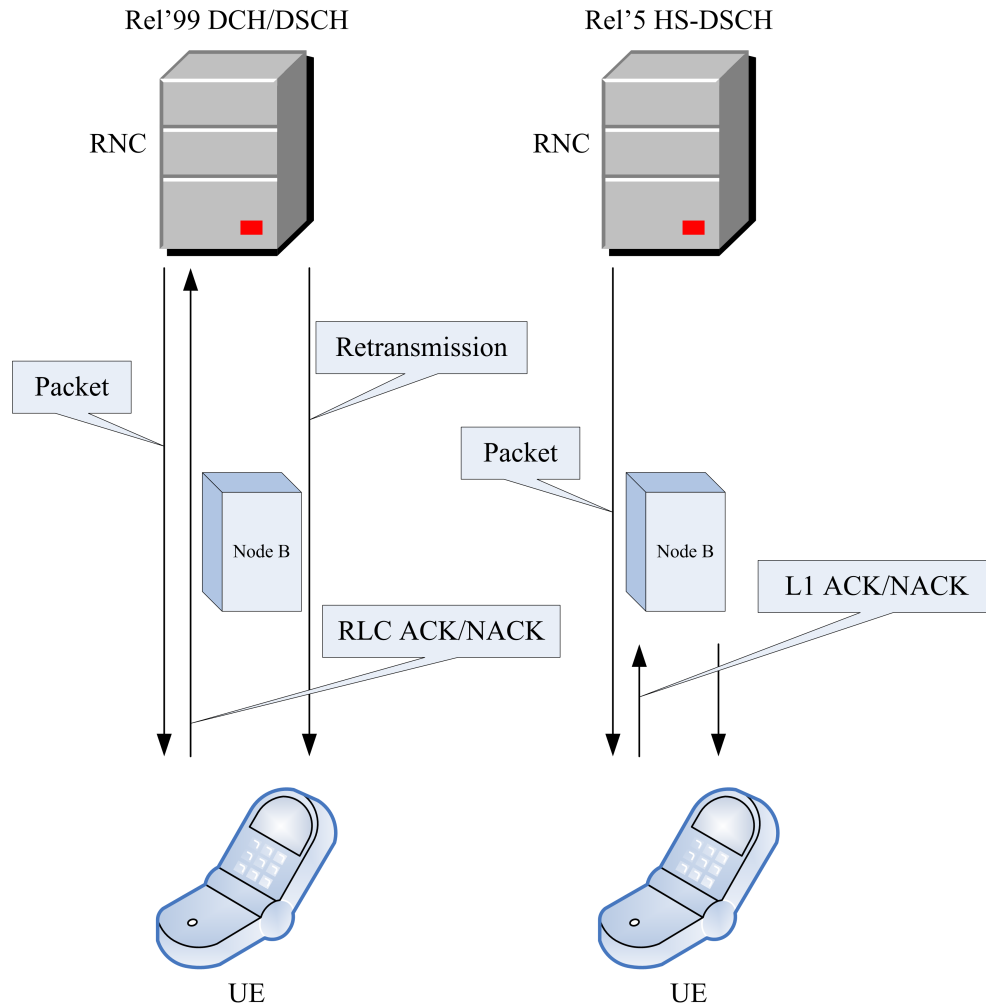


Figura 2.10: Release' 99 Release' 5 HSDPA controlo da retransmissão na rede. (adaptado de [21]).

2.4.6 Mobilidade com HSDPA

Os procedimentos de mobilidade para os utilizadores do HSDPA são afectados pelo facto da transmissão do HS-PDSCH e do HS-SCCH que pertenceram a uma única ligação rádio acedida pelo UE, nomeadamente a célula HS-DSCH servidora. O UTRAN determina a célula HS-DSCH servidora através de um UE com capacidade HSDPA, tal como como o UTRAN que selecciona as células de um determinado utilizador activo para transmissão/retransmissão DCH. A sincronização muda a célula servidora HS-DSCH e é suportada entre o UTRAN e o UE. Portanto a ligação em HSDPA é alcançada se o UE se move de uma célula para outra. A paragem e o arranque de emissão e da recepção do HS-PDSCH e do HS-SCCH é feita num determinado tempo dedicado pelo UTRAN. Isto permite a implementação do HSDPA com mobilidade e a cobertura total para explorar

totalmente as vantagens deste regime sobre canais da *Release 99*. A célula HS-DSCH servidora pode ser alterada sem actualização dos utilizadores activos nos canais dedicados na *Release 99*, ou numa combinação que foi estabelecida, ou reconfigurando os canais dedicados. De forma a permitir tais procedimentos, foi incluído um novo evento de medida do utilizador na *Realease 5*, para informar o UTRAN acerca da melhor célula servidora HS-DSCH.

2.4.7 High-Speed Uplink Packet Access

O *High-Speed Uplink Packet Access* (HSUPA) está incluído nas especificações da *Release 6*. A solução HSUPA foi desenhada para fornecer os mesmos benefícios para o *uplink* relativamente ao que foi feito para o *downlink* no HSDPA, na *Release 5*. As tecnologias aplicadas com o HSUPA visam melhorar o desempenho nos pacotes de dados no *uplink*, através da rápida combinação da retransmissão e transmissão na camada física (L1), assim como um rápido escalonamento controlado no Node B na *Base Transceiver Station* (BTS). O HSUPA fornece melhorias no WCDMA, nas capacidades do *uplink* e no desempenho em termos de ritmos de transmissão mais elevados, reduzindo o atraso, e melhorando a capacidade do sistema; é portanto um complemento natural ao HSDPA. Juntos, os dois são referidos como o *High-Speed Packet Access* (HSPA).

Na essência do melhoramento do *uplink* estão duas tecnologias base, o escalonamento rápido e o ARQ híbrido rápido com comunicação suave, que estão também incluídas no HSDPA. Por serem parecidas às do HSDPA, as melhorias do *uplink* também introduzem um TTI curto no *uplink* de 2ms. Estas melhorias são implementadas no WCDMA através de um novo canal de transporte, o *Enhanced Dedicated Channel* (E-DCH), Figura 2.11.

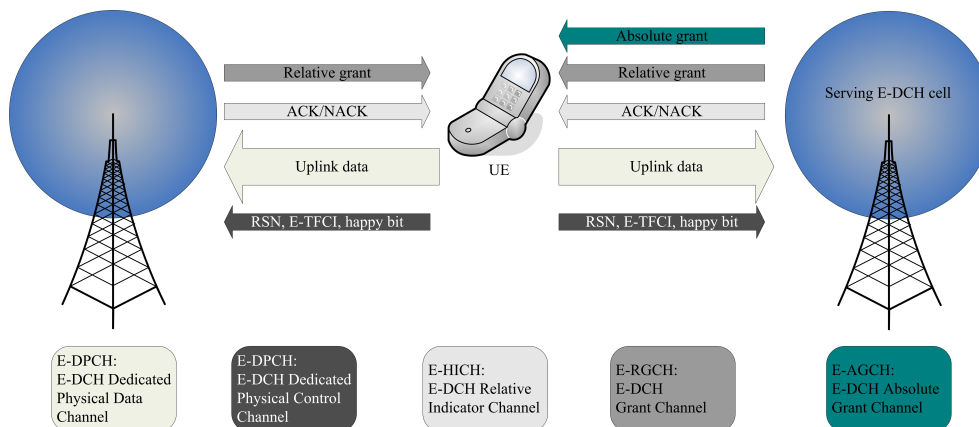


Figura 2.11: HSUPA no Node B (adaptado de [22]).

Embora as mesmas tecnologias sejam utilizadas para o HSDPA e no *uplink* melhorado, existe diferenças fundamentais entre elas, que podem afectar a implementação detalhada dos recursos:

- No *downlink*, o recurso partilhado é a potência de emissão e o espaço do código, os quais estão alojados num nó central, o Node B. No *uplink* os recursos partilhados é a quantidade de interferências permitidas no *uplink*, as quais dependem da potência emitida dos múltiplos nós distribuídos, os UEs;

- O escalonamento e os *buffers* da transmissão estão alojados no mesmo nó no *downlink*, enquanto que, no *uplink*, o escalonamento é localizado no Node B e os *buffers* de dados são distribuídos nos UEs. Por isso, os UEs necessitam da sinalização do estado do *buffer* para o escalonamento;
- Como a melhoria do *uplink* no WCDMA é inerentemente não ortogonal, é sujeita a interferência entre as transmissões *uplink* que estão dentro da mesma célula. Este facto contrasta com o *downlink*, onde os diferentes canais de transmissão são ortogonais. O controlo rápido da potência é portanto essencial para o *uplink* para lidar com o problema mais perto-longe (*near-far effect*). O E-DCH é transmitido com um determinado *offset* da potência para o controlo da potência no controlo do canal de *uplink* e por ajuste do máximo *offset* da potência permitida, o escalonamento pode controlar o ritmo de transmissão do E-DCH. Isto em contraste com o HSDPA, onde uma (mais ou menos) constante potência de transmissão com a adaptação do ritmo é usada;
- O E-DCH suporta o *soft handover*. Receber dados de um terminal de múltiplas células é fundamentalmente benéfico já que permite diversidade, enquanto que a emissão através de múltiplas antenas no caso do HSDPA é muito pesada e com benefícios questionáveis [20]. O *soft handover* também implica o controlo de potência por diversas células, o qual é necessário para limitar a quantidade de interferência gerada nas redondezas da célula e para manter a compatibilidade com sistemas antigos e a coexistência com os UE que não usam o E-DCH para a transmissão de dados;
- No *downlink* uma modulação de ordem mais elevada que troca a eficiência da potência por eficiência da largura de banda, é útil para fornecer ritmos de transmissão mais elevados em algumas situações, por exemplo, quando a escalonador é accedido um pequeno número de códigos são canalizados para uma transmissão, mas a potência disponível da potência total não utilizada é relativamente alta. A situação no *uplink* é diferente; não há a necessidade de partilhar a canalização dos códigos entre os utilizadores e as taxas de codificação do canal e portanto são tipicamente mais baixas do que no *downlink*. Por isso ao contrário do *downlink*, a modulação de ordem mais elevada é menos útil em macro células no *uplink* e portanto não pertencem na primeira *Release* para o *uplink* melhorado.

2.4.8 Escalonamento

Para o *uplink* melhorado, o escalonamento é o elemento chave, controlando *quando* e *qual* o ritmo de transmissão é permitido para o UE transmitir. Quanto mais elevado for o ritmo de transmissão que o terminal está a utilizar, maior será a potência recebida do terminal no Node B deve manter o E_b/N_0 requisitado para que a modulação tenha sucesso. Incrementando a potência de transmissão, o UE pode transmitir num ritmo de transmissão mais elevado. Contudo, devido ao *uplink* não ser ortogonal, a potência recebida de um UE representa interferência com os outros terminais. Por isso, os recursos partilhados para o *uplink* melhorado são a quantidade de interferência tolerável na célula. Se o nível de interferência é muito alto algumas transmissões na célula, os canais de controlo e transmissão no *uplink* não escalonadas, podendo não ser recebidas da melhor forma. Por outro

lado um nível de interferência muito baixo pode indicar que os UEs estão limitados artificialmente e a capacidade máxima do sistema não está a ser explorada. Portanto o *uplink* melhorado invoca no escalonador para lhe fornecer utilizadores com dados para transmitir com permissão para utilizar ritmos de transmissão mais elevados quanto possível sem contudo exceder o máximo tolerável do nível de interferência na célula.

Ao contrário do HSDPA, onde tanto o escalonador como os *buffers* da transmissão estão localizados no Node B, os dados que vão ser transmitidos estão nos UEs para o caso do *uplink*. Ao mesmo tempo, o escalonador está localizado no Node B para coordenar diferentes actividades das transmissões dos UEs activos na célula. Por isso, um mecanismo para comunicar as decisões do escalonador aos UEs e para fornecer informação ao *buffer* a partir dos UEs para o escalonador é necessária. A estrutura do escalonador para o *uplink* melhorado é baseado na garantia do escalonamento (*Scheduling grants*) enviada pelo escalonador do Node B para controlar a actividade da transmissão do UE e pelos *Scheduling requests* enviado pelo UEs para requisitar recursos. O escalonador garante o controlo da potência E-DCH-to-pilot Ratio máxima permitida que o terminal pode utilizar; um pedido maior implica que o terminal pode utilizar um ritmo de transmissão mais elevado, mas também pode contribuir de forma adicional para nível de interferência na célula. Baseado em medidas dos níveis (instantâneos) de interferência, o escalonador controla a garantia do escalonamento em cada terminal, para manter o nível de interferência na célula no objectivo desejado, Figura 2.12.

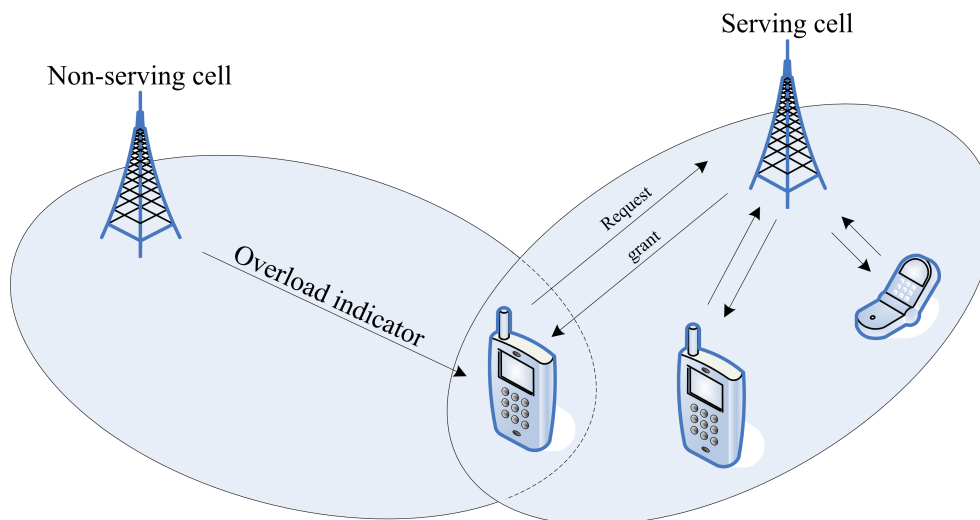


Figura 2.12: Tratamento prioritário no escalonador (adaptado de [20]).

2.5 Sumário e conclusões

Neste capítulo começa-se por apresentar uma breve introdução à evolução das comunicações móveis, da segunda geração até ao E-UMTS. A 3G caracteriza-se por trazer melhorias em relação às anteriores gerações. É também apresentada de forma sucinta a evolução WCDMA/Enhanced UMTS e o HSDPA, que irá suportar taxas de pico na ligação descendente na gama de valores 8-10 Mb/s, o HSDPA é baseado em técnicas tais como modulação e codificação adaptativa e H-ARQ. Também é apresentado, de forma

sucinta, o HSUPA que define uma nova interface rádio para as comunicações de ligação ascendente. O principal objectivo é melhorar a cobertura e aumentando débito binário bem como reduzir o atraso na ligação ascendente do canal de transporte dedicado.

Apresentou-se o HSPA, que é a junção entre o HSDPA e HSUPA. Foi aprofundada a forma de funcionamento do HSDPA, apresentando-se o seu conceito e os seus detalhes. Foram também apresentadas as razões do escalonamento e as suas vantagens abordando-se o impacto do HSDPA na arquitectura da rede. Apresenta-se uma comparação entre a *Release 99* e *Release 5*. A questão da mobilidade com HSDPA também foi exposta, assim como os seus procedimentos. O HSUPA está incluído nas especificações da *Release 6* e foi desenhada para fornecer os mesmos benefícios para o *uplink* relativamente ao que foi feito para o *downlink* no HSDPA, na *Release 5*. Finalmente abordam-se aspectos de escalonamento para o HSUPA.

Capítulo 3

Caracterização dos Serviços E-UMTS

3.1 Introdução

No E-UMTS os serviços são agrupados em cinco grandes classes de acordo com o ritmo de transmissão necessário como se pode ver na Tabela 3.1. A partir de dados disponíveis para o UMTS (aplicações com ritmo de transmissão desde os 144 kb/s até 2 Mb/s), *Mobile Broadband Systems* (MBS) e Rede Radio de Área Local de Elevado Desempenho (HIPERLAN), com ritmos de transmissão maiores que 2 Mb/s, no projecto *Simulation of Enhanced UMTS Access and Core Networks* (SEACORN) [23] foi possível uma extrapolação para os serviços E-UMTS assim como as diferentes taxas de serviço e utilização da aplicação.

Tabela 3.1: Serviços e ritmos de transmissão.

Serviços	Ritmos de Transmissão [kb/s]
Som	64
Multimédia de Grande Interactividade	144
Banda Estreita	]144, 384]
Banda Média/Larga	]384, 2048]
Banda Larga	> 2048

Podem-se identificar uma grande variedade de serviços e cenários. Contudo, nem todos têm a mesma relevância e pode ser mesmo impossível simular cada caso produzindo resultados em tempo razoável. Torna-se portanto necessário reduzir o número de cenários e o número de aplicações em cada cenário [24]. De forma a simplificar os cenários de operação foram seleccionados os ambientes mais relevantes com as aplicações mais relevantes. Foram seleccionados os três cenários mais interessantes, um em ambiente de interior e dois em ambiente de exterior:

- Escritórios - OFF;
- Centro de negócios em cidades - BCC;
- Veicular/Estradas principais - VEH.

O cenário OFF é considerado como o mais interessante para o ambiente de interior devido à sua densidade de utilizadores elevada e às aplicações utilizadas. O cenário BCC fornece uma grande densidade de utilizadores pedestres, enquanto que o VEH fornece um importante ambiente de mobilidade veicular.

Em cada classe de serviço vai existir uma variedade de aplicações; a sua utilização relativa é apresentada em [25]. Em cada classe de serviço é seleccionada a aplicação mais representativa, ou seja, a aplicação com utilização mais elevada das aplicações definidas em [24], [25] e Tabela 3.2. Os detalhes de cada aplicação são apresentados em [25].

Tabela 3.2: Hipóteses para as aplicações utilizadas no E-UMTS (OFF, BCC e VEH).

Serviços	Aplicações		
	OFF	BCC	VEH
Som	Voz		
Multimédia de Elevada Interactividade	Videotelefonia		
Banda Estreita	<i>Multimedia Web browsing</i>		
Banda Média/Larga	Mensagens Instantâneas Multimédia	Videotelefonia de Alta Definição	Assistência em Viagem
Banda Larga	Interligações Lan Sem fios	-	-

3.2 Utilização das aplicações

A utilização de uma aplicação é definida pelo quociente entre o tráfego produzido pela aplicação e o tráfego total gerado, durante as horas de ponta. O tráfego produzido pela aplicação durante as horas de ponta é definido pelo número de ligações activas que são estabelecidas multiplicado pela duração da ligação, independentemente do ritmo de transmissão dos dados. Na Tabela 3.3 apresenta-se uma previsão para a utilização em cada grupo de serviços para os três cenários. Esta previsão tem como alvo os valores médios previstos para o ano 2010, e baseia-se no estudo inicial apresentado em [24].

As aplicações propostas e a sua utilização relativa apresentam-se na Tabela 3.4. Assume-se que cada aplicação contabiliza todo o tráfego gerado nesse grupo de serviços. A previsão aproximada dos ritmos de transmissão é introduzida para todas as aplicações, em concordância com a classe do serviço associado com a aplicação (Som, Multimédia de Grande Interactividade, Banda Estreita, Banda Média/Larga ou Banda larga), Tabela 3.3. Os ritmos de transmissão são alinhados com os valores normalizados no UMTS, em particular no HSDPA.

3.3 Parâmetros de actividade na sessão

Os parâmetros de actividade da sessão, descrevem o tráfego e os seus aspectos detalhados durante uma chamada, Tabela 3.5. Isto é alcançado através da representação duma

Tabela 3.3: Hipóteses para a utilização dos serviços no E-UMTS (OFF, BCC e VEH).

Serviços	Ritmo de Transmissão [kb/s]	Utilização [%]		
		OFF	BCC	VEH
Som	≤ 64	25	27	42
Multimédia de Grande Interactividade	≤ 144	15	16	16
Banda Estreita	]144, 384]	20	26	18.5
Banda Média/Larga	]384, 2048]	25	31	23.5
Banda Larga	> 2048	25	-	-

Tabela 3.4: Proposta para a utilização das aplicações em cada cenário de utilização.

Utilização das Aplicações [%]	Ritmo de Transmissão [kb/s]	OFF	BCC	VEH
Som				
Voz (VOI)	12.2	25.0	27.0	42.0
Multimédia de Grande Interactividade				
Vídeotelefonia (VTE)	128.0	15.0	16.0	16.0
Banda Estreita				
Multimédia <i>web browsing</i> (MWB)	384.0	20.0	26.0	18.5
Banda Média/Larga				
Mensagens Instantâneas Multimédia (IMM)	1024.0	25.0		
Assistência em Viagem (ATR)	1660.0			23.5
Vídeotelefonia de Alta Definição (HDT)	2048.0		31.0	
Banda Larga				
Interligações <i>Lan Sem Fios</i> (WLI)	12780.0	15.0		

alternância dos estados activo/inactivo (*on/off*). Definindo uma duração média de cada período, juntamente com uma distribuição probabilística adequada, pode-se modelar a actividade das chamadas. Aplicações de vídeotelefonia estão permanentemente num estado activo em ambas os sentidos, logo não têm estados de inactividade.

3.4 Modelo de voz

Em [25], para efeitos de simulação, o tráfego de voz é baseado em codecs *Adaptive Multi-rate* (AMR) somente com 12.2 kbps. Cada pacote AMR de 12.2 kbps é modelado com um modelo *on/off* para *Discontinuous Transmission* DTX, tendo as seguintes estatísticas:

- Distribuição da duração da chamada voz: exponencial, média 180 segundos;
- Distribuição da duração do estado *on*: exponencial, média 1.4 segundos;

Tabela 3.5: Sessão das aplicações e parâmetros de actividade [26]

Aplicações	Estado Activo (<i>on</i>)			Estado Inactivo(<i>off</i>)	
	Med. [s]	Tamanho [kB]	Distribuição	Med. [s]	Distribuição
VOI	1.4	2.14	Exponencial	1.7	Exponencial
VTE	-	-	-	0	-
MWB	5	240	<i>Pareto</i> ($\alpha=1.1$, $k=22$ kB)	13	<i>Pareto</i> ($\alpha=1.5$, $k=3$ s)
IMM	5	640	<i>Weibull</i> ($\alpha=1$, $k=640$ kB)	90	<i>Pareto</i> ($\alpha=1.5$, $k=30$ s)
ATR	60	11520	<i>Weibull</i> ($\alpha=1.2$, $k=12246$ kB)	14	<i>Pareto</i> ($\alpha=1.5$, $k=3$ s)
HDT	-	-	-	0	-
WLI	5	7988	<i>Weibull</i> ($\alpha=1.5$, $k=8848$ kB)	1	<i>Pareto</i> ($\alpha=2$, $k=0.5$ s)

- Distribuição da duração do estado *off*: exponencial, média 1.7 segundos.

Durante os fluxos de discurso a fonte gera cargas de 32-byte de discurso em intervalos de 20 ms, enquanto que, devido ao DTX, durante os períodos de silêncio são geradas cargas de 7-byte que carregam um descritor de silêncio (SID) com uma *frame* com intervalos de 160 ms [27], [28]. O mapeamento dos dados AMR no MAC PDUs é feito de acordo com a descrição em [1]. Se se assumir o protocolo de pilhas típico de Voz sobre IP (VoIP) implementado em *Real-Time Transport Protocol* (RTP), encapsulado no *User Datagram Protocol* (UDP), que é mais dispendioso transportar por IP a combinação destes protocolos introduzindo um total de 40 bytes de encabeçamento de dados quando se usa IP na versão 4 (IPv4), e 60 bytes de encabeçamento de dados quando se usa o IP versão 6 (IPv6) [29].

3.5 Sumário e conclusões

O processo de simulação da interface rádio do E-UMTS, nos níveis de rede e de sistema, estiveram em estudo durante um tempo razoável no projecto IST-SEACORN. Em [25] identifica-se que o número de serviços apresentados que podem ser simulados simultaneamente tem que ser limitados pela capacidade de cálculo disponível das plataformas, e foi portanto necessária uma adaptação dos cenários a serem simulados. Foram também apresentados os parâmetros de sessão para para as aplicações propostas para simulação, e foi também apresentado o modelo de voz que é modelada por períodos de *on/off*.

Capítulo 4

Modelo de Tráfego

4.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado um modelo de tráfego, onde as aplicações E-UMTS são acedidas através de diferentes componentes de serviço. Portanto, podem-se utilizar diferentes aplicações simultaneamente. No modelo geral um sistema com perdas, com R_e tipos de recursos diferentes, partilhados por J classes (ou seja, componentes de serviço), a chegada de clientes obedece a um processo aleatório específico. Cada cliente, ou seja, utilizadores de componentes de serviço, necessitam de um número fixo de unidades dos recursos, ou seja, canais, os quais são concedidos se disponíveis. Se não estão disponíveis, o pedido é recusado e o cliente é bloqueado. A classificação dos clientes é feita com base no processo de chegada, a capacidade requerida e tempo médio das sessões [30]. Neste trabalho, as medidas de desempenho que são interessantes são a fracção de tempo que o sistema está no estado de bloqueio, ou seja, probabilidade de bloqueio temporal, P_{tb} , e a probabilidade de um cliente ao chegar ser bloqueado, ou seja, a probabilidade de bloqueio do cliente ou ligação, P_b . Devido à mobilidade do terminal e dos respectivos *handovers*, também é importante considerar a probabilidade de falha de *handover*, cuja limitação resulta directamente da existência de um limiar para a probabilidade de perda de chamadas. Quando se considera um único serviço, e se não utilizam canais de guarda para a *handover*, a probabilidade de falha de *handover* é igual à probabilidade de bloqueio [31]. Aqui, também se segue esta mesma abordagem para o multi-serviço.

Em [30], é referido o termo bloqueio de chamada, que é originado no campo teletráfego, onde os clientes são chamadas (ligações), suportados por uma largura de banda finita. Exigir recursos corresponde a requisitar uma determinada largura de banda. A proporção de tempo que os clientes ocupam os recursos é denominado de tráfego. No caso de um único serviço, a fórmula específica deste modelo é *Erlang B*, que nos dá a probabilidade de bloqueio para uma classe de clientes partilhando uma tronca comum de linhas telefónicas, cujos pedidos são unitários, com uma distribuição exponencial entre intervalos de tempo. Na realidade, em [30] utiliza-se, o modelo *Bernoulli-Poisson-Pascal* (BPP) para a sobreposição de vários tipos de fontes de tráfego. O modelo BPP pode ser visto como uma generalização multidimensional do modelo clássico de perda *Erlang B*. Portanto, a distribuição de estado depende da distribuição do tempo de residência só através da média respectiva, conhecido como a propriedade insensibilidade [32].

4.2 Bases do modelo

A definição formal do sistema é a seguida em [30]. A capacidade dos recursos disponíveis é dividida em unidades de capacidade. Assume-se que o utilizador precisa dum número de unidades disponíveis, e o pedido é concedido numa base primeiro chegado primeiro atendido. Se o pedido de um cliente não pode ser atendido, o pedido é rejeitado e o cliente é bloqueado. Considerando J classes de clientes, cada um com diferentes requisitos espaciais e temporais, e um número de recursos distintos $R_e=1$, ou seja, só se considera um tipo de canal, sendo c o número total de canais disponíveis. O vector capacidade dos recursos é definido como $c_v=[c_1, \dots, c_{R_e}]$, mas como $R_e=1$ então $c_1=c$. Os pedidos de capacidade de canais por utilizador da classe j (o termo classe refere-se, no contexto deste trabalho, a "componente de serviço"), são representado por, a_j , $j \in \vartheta$, onde $\vartheta=\{1, \dots, J\}$, e $a_j \in \mathbb{N}$. Além disso, o tempo que estes canais, uma vez garantidos, serão utilizados pelo cliente da componente de serviço (ou classe) j é independente e identicamente distribuída, e será especificado pelo seu valor médio, $\bar{\tau}_j$, cuja a distribuição específica não tem influência nos cálculos [32], [30]. Assim, o vector de capacidade, \mathbf{A} , é um vector do seguinte tipo

$$\mathbf{A} = [a_j], j = 1, \dots, J. \quad (4.1)$$

Considerando que o número de clientes da classe j activos, (ou seja, que asseguram os seus recursos a_j no instante de tempo t), é representado pela variável aleatória $N_j(t)$, pode-se definir o estado do sistema por

$$\mathbf{N}(t) = (N_1(t), \dots, N_J(t)) \quad (4.2)$$

e $Y(t)$, o vector da ocupação de recursos corrente, como uma função das variáveis de estado do sistema

$$Y(t) = \mathbf{N}(t) \cdot \mathbf{A}. \quad (4.3)$$

O conjunto de estados possíveis \mathcal{N} é limitado como resultado da existência dessa capacidade finita

$$\mathcal{N} = \{\mathbf{n} \in \mathbb{N}^J : [n_1, \dots, n_J] \bullet \begin{bmatrix} a_1 \\ \dots \\ a_J \end{bmatrix} \leq c\}, \quad (4.4)$$

onde $\mathbf{n} = (n_1, n_2, \dots, n_J)$ é o estado do sistema (definindo o número de pedidos activos de cada componente de serviço). No limite, se houver mais utilizadores duma aplicação do que de outra, a outra aplicação pode usar menos canais. Um exemplo com $J=3$ é dado na Figura 4.1.

Se o vector de estado $\mathbf{N}(t) \in \mathcal{N}$, então o vector ocupação de serviço $Y(t) \in \mathcal{Y}$, onde \mathcal{Y} é definido simplesmente por

$$\mathcal{Y} = \{y \in \mathbb{N} : y \leq c\}. \quad (4.5)$$

As funções da probabilidade marginal (*pmf*) de estado $\mathbf{N}(t)$ e da ocupação $Y(t)$ são definidos a seguir

$$p(\mathbf{n}) = \lim_{t \rightarrow \infty} \text{Prob}\{\mathbf{N}(t) = \mathbf{n}\} \quad (4.6)$$

$$q(y) = \lim_{t \rightarrow \infty} \text{Prob}\{Y(t) = y\}. \quad (4.7)$$

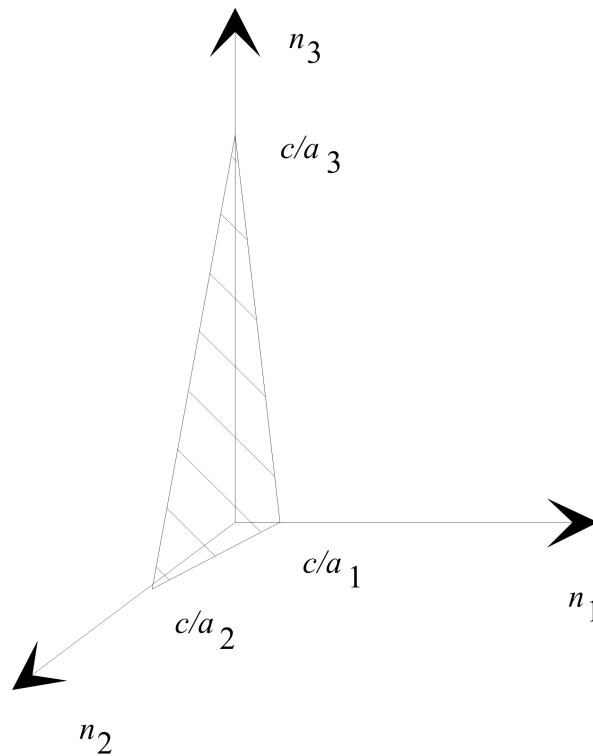


Figura 4.1: Fronteiras para um recurso usado para uma política completa de partilha, $J=3$.

Quando o sistema está no estado $N(t) = \mathbf{n}$, o tempo até à próxima chegada de clientes da classe j segue uma distribuição exponencial com parâmetro $\lambda_j(n_j)$. Este parâmetro é normalizado, relativamente ao tempo médio de espera da classe j , portanto, introduz-se uma unidade de tempo diferente para cada classe de cliente. O bloqueio ocorre se um pedido não puder ser assegurado, ou seja, se um pedido da classe j chegar quando o sistema estiver dentro do conjunto

$$B_j = \{\mathbf{n} \in \mathcal{N} : \mathbf{n} \cdot \mathbf{A} + a_j > c\}. \tag{4.8}$$

Neste caso o pedido será apagado e o cliente será bloqueado, o que significa que o sistema volta ao mesmo estado. Para tempos de espera exponenciais, o processo BPP pode ser modelado pela cadeia de *Markov* da Figura 4.2, embora este modelo possa considerar distribuições mais gerais para os tempos de espera.

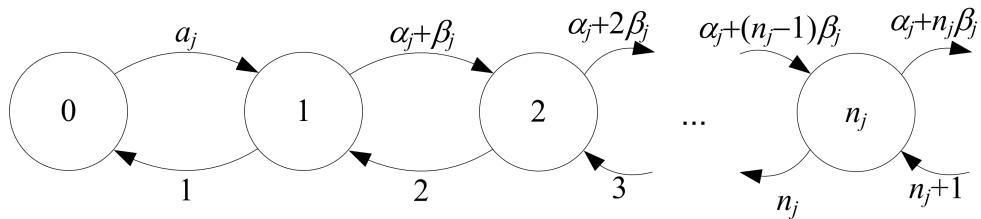


Figura 4.2: Modelo *Markov* do processo de chegada BPP para uma distribuição exponencial dos tempos de espera.

4.3 Cálculo da *pmf* da ocupação

Se se considerar uma função de distribuição independente e identicamente distribuída (não necessariamente exponencial) dos tempos de espera por cada classe de cliente, a função da probabilidade marginal *pmf* do estado do número de utilizadores de cada classe que no acesso aos canais disponíveis tem uma forma de produto [30]

$$p(\mathbf{n}) = p(\mathbf{0}) \cdot \prod_{j=1}^J v_j(n_j), \mathbf{n} \in \mathcal{N}, \quad (4.9)$$

onde a probabilidade marginal não normalizada $v_j(\cdot)$ obedece a uma forma recursiva de nascimento-morte bem conhecida, que é resultado directo do modelo de *Markov* que emerge directamente da consideração da distribuição dos tempos de espera exponencial. Isto é possível por causa da propriedade de insensibilidade da distribuição dos tempos de espera [32]

$$v_j(n_j + 1) = \begin{cases} \frac{\lambda_j(n_j)}{n_j + 1} v_j(n_j), & \text{se } n_j > 1 \\ 1, & \text{se } n_j = 0 \end{cases}. \quad (4.10)$$

Em [30] é referido que a escolha dos valores iniciais é arbitrária, embora valores diferentes para $v_j(0)$, possam resultar em valores diferentes para a constante de normalização $p(\mathbf{0})^{-1}$, que é dada por

$$p(\mathbf{0})^{-1} = \sum_{\mathbf{n} \in \mathcal{N}} \prod_{j=1}^J v_j(n_j). \quad (4.11)$$

É amplamente mostrado na literatura que o cálculo de $p(\mathbf{0})$ a partir de (4.11) não é viável excepto para modelos relativamente pequenos. Se J crescer, a massa da probabilidade expande-se sobre muitas dimensões, e portanto, a probabilidade de estado torna-se muito pequena para ser manuseada por computadores de precisão finita [30]. Além disso, o próprio tempo de computação torna-se proibitivo por ser proporcional ao número de estados. Note-se que a *pmf* de ocupação pode ser expressa como função da *pmf* de estado

$$q(y) = \sum_{\mathbf{n} \in \mathcal{N}} p(\mathbf{n}) \quad (4.12)$$

onde $\mathcal{N}_y = \{\mathbf{n} \in \mathcal{N} : \mathbf{n} \cdot \mathbf{A} = y\}$; nos casos onde só se quer achar $p(\mathbf{n})$ de forma a obter $q(y)$ existe um algoritmo que é mais económico em termos de tempo de computação e espaço de armazenamento - desde que o número de recursos não seja demasiado elevado. Este algoritmo, que assume um processo de chegada BPP, é apresentado na secção seguinte.

4.4 O processo de chegada BPP

Uma maneira de medir as características de um processo de chegada é passá-lo por um número infinito de recursos fictícios. O tráfego médio especifica a carga no sistema, enquanto que a "relação de pico máximo" é definida como a taxa entre a variância e a média da população de clientes [30]. O processo BPP é frequentemente usado para descrever o tráfego das telecomunicações [33]; a modelação do tráfego desta maneira exhibe quase

sempre qualquer combinação da média e da "relação de pico máximo". Os processos *Bernoulli-Poisson-Pascal* são aqueles que a intensidade de chegadas (correspondente a uma distribuição exponencial dos tempo de chegadas intermédias), condicionada a n_j clientes que estão no sistema, é da forma

$$\lambda_j(n_j) = \alpha_j + n_j \cdot \beta_j, \text{ com } \alpha_j > 0 \quad (4.13)$$

onde $(-\beta_j)$ é a taxa de activação e α_j é a taxa de chegada. A *pmf* do número de clientes activos é um recurso infinito e [30]

Bernoulli - se $\beta_j < 0$, onde $-\alpha_j/\beta_j$ deve ser um inteiro positivo, designado por N_j , para que exista uma *pmf* de equilíbrio; portanto, $\lambda_j(n_j) = (N_j - n_j) \cdot (-\beta_j)$,

Poisson - se $\beta_j = 0$, tal que $\lambda_j(n_j) = \alpha_j$,

Pascal - se $\beta_j > 0$, desde que $\beta_j < 1$, caso contrário não existe nenhuma *pmf* de equilíbrio.

Para tempos de espera exponenciais, o processo BPP pode ser modelado pela cadeia de *Markov* da Figura 4.2. Da normalização dos tempos médios de espera (que são unitários), resultam taxas de morte que são valores inteiros.

Note-se também, que no caso de *Bernoulli*, o número de estados que podem ser atingidos, é igual a $N_j + 1$. Por substituição, pode-se verificar que (4.10) tem as soluções que se seguem [33]:

Bernoulli

$$v_j(n_j) = \binom{N_j}{n_j} \cdot (-\beta_j)^{n_j}; \quad (4.14)$$

Poisson

$$v_j(n_j) = \frac{\alpha_j^{n_j}}{n_j!}; \quad (4.15)$$

Pascal

$$v_j(n_j) = \binom{\alpha_j/\beta_j + n_j - 1}{n_j} \cdot (-\beta_j)^{n_j}. \quad (4.16)$$

O coeficiente binomial é definido da forma habitual, onde o factorial de argumentos não inteiros x , que surge no "Caso *Pascal*" é definido em termos da função *Gamma de Euler* ($x! = \Gamma(x + 1)$). Todas as *pmf* podem ser normalizadas dividindo-as por $(1 - \beta_j)^{-\alpha_j/\beta_j}$, que é e^{α_j} para $\beta_j = 0$ [30].

O tráfego média oferecido, ρ_j , dado em *Erlang* [34], e o factor da "relação de pico máximo" Z_j dos clientes de classe j activos num recurso infinito são

$$\rho_j = \frac{\alpha_j}{1 - \beta_j} \quad (4.17)$$

$$Z_j = \frac{1}{1 - \beta_j}. \quad (4.18)$$

Assumindo que o tráfego BPP utiliza um recurso finito de c unidades, as restrições nos parâmetros do processo podem ser de alguma forma relaxadas [30]. Em particular, β_j

pode ser maior que um, desde que a adaptação do recurso evite que a massa de probabilidade divirja para infinito.

Para além disso, para $\beta_j > 0$, $(-\alpha_j/\beta_j)$ não necessita de ser inteiro, dado que não existam taxas de transição negativas ($\alpha_j + (\min_{r=1, \dots, R_e} \lfloor c_r/a_{jr} \rfloor - 1)\beta_j > 0$). Todavia, embora se permita $\beta_j \geq 1$, a restrição de $\alpha_j/\beta_j \in \mathbb{N}$ não é retirada.

Portanto, a *pmf* da população cliente de um recurso finito é simplesmente a *Bernoulli*, *Poisson* ou *Pascal* truncada. Note-se que as médias e a "relação de pico máximo" do tráfego no recurso finito (tráfego transportado) serão inferiores às do tráfego de um recurso infinito (tráfego oferecido). Algumas considerações são também feitas em [30] relativamente à função probabilidade de geração associada.

4.5 Algoritmos

O primeiro passo do cálculo computacional da probabilidade de bloqueio é o cálculo da Função Distribuição de Probabilidade (PDF) da ocupação, $Q(y)$, usualmente definido em função da *pmf*, $q(y)$, por

$$Q(y) = \sum_{\{x \in \mathcal{Y}: x \leq y\}} q(x). \quad (4.19)$$

Delbrouk [34] propôs o seguinte algoritmo recursivo para a *pmf* não normalizada unidimensional

$$q(y) = \frac{1}{y} \cdot \sum_{j=1}^J \alpha_j a_j \sum_{k=1}^{\lfloor y/a_j \rfloor} \beta_j^{k-1} q(y - k \cdot a_j), \quad (4.20)$$

a qual é inicializada com $q(0) = 1$.

Como este algoritmo é computacionalmente pesado, $O(Kc^2)$ em termos de tempo de computação $O(c)$ e em termos de espaço de armazenamento, em [30] é proposta uma alternativa a este algoritmo

$$q(y) = \frac{1}{y} \cdot \sum_{j=1}^J a_j m_j(y) \quad (4.21)$$

onde

$$m_j(y) = \alpha_j q(y - a_j) + \beta_j m_j(y - a_j), \quad (4.22)$$

é uma variável auxiliar para o algoritmo recursivo, tal que $m_j(y) = 0$ para $y \leq 0$. Em termos de complexidade, este algoritmo é só $O(Kc)$ em termos do tempo necessário para calcular $q(y)$, com um custo extra de $O(\sum_j a_j)$ no espaço de armazenamento, porque apenas os últimos a_j valores calculados de m_j e só os $\max_{j \in J} \{a_j\}$ últimos valores calculados de q têm que ser memorizados [30].

Em [30], discute-se a estabilidade numérica do algoritmo. Se μ_j é a taxa de serviço da classe j , o seu inverso é a duração média do serviço, e $\beta_j^{norm} = \beta_j/\mu_j$ é o β_j normalização, que resulta da normalização da taxa de chegada $\lambda_j(n_j)$; o algoritmo pode ser instável para $|\beta_j^{norm}| > 1$, o que aparentemente não ocorre para as componentes de serviço consideradas neste trabalho.

Note-se também que, de agora em diante, vai-se usar α_j^{norm} e β_j^{norm} em lugar de α_j e β_j respectivamente (a definição de α_j^{norm} a partir α_j é similar à definição de β_j^{norm}).

O pseudo-código para o algoritmo para a computação das probabilidades de bloqueio temporal de chamadas, P_{bt} e P_b respectivamente, é apresentado na Figura 4.3, [30] e [35]. Mais detalhes sobre o algoritmo são dados em [30].

```

Q <- 0
for j <- 1, ..., J
  {
    i_j <- ⌊c/a_j⌋
    S_j <- 0
    S'_j <- 0
    Q_j <- 0
  }
Q <- Q + pmf_algorithm(y, a_j, α_j^{norm}, β_j^{norm})
for j <- 1, ..., J
  if y = (c-i_j a_j) then
    {
      S_j <- Q-Q_j
      Q_j <- Q
      S'_j <- S_j + β_j^{norm} S'_j
      i_j <- i_j - 1
    }
}

// Aqui tem-se S_j = S_j(0), S'_j = S'_j(0) e Q = Q(c)
for j = 1, ..., J
  {
    P_{bt} <- S_j/Q
    P_b <- (1-β_j^{norm}) / (Q/S'_j - β_j^{norm})
  }

```

Figura 4.3: Algoritmo para calcular o tempo de chamada.

4.6 Modelo de utilizador

4.6.1 Activação de aplicações

Há um número total de recursos disponíveis, c , (ou canais) em cada célula, a serem usados por um número total de utilizadores equivalentes, M_T . Além disso, considera-se a mistura das aplicações de [17], ou seja, ou um total K_{app} aplicações. Os índices $k = 1, \dots, K_{app}$, referem-se aos dados definidos no Anexo A de [17]. Dando esta mistura de tráfego, o modelo para a activação por utilizador é o apresentado na Figura 4.4. Cada utilizador

pode estar num estado inactivo ou a usar uma das K_{app} aplicações, com taxa de geração Λ_k , e taxa total de serviço H_k , respectivamente.

Uma vez que uma aplicação k seja activada, as suas componentes são activadas com taxa $\Lambda_{j|k}$, e extinguidas com taxa de serviço total $H_{j|k}$, $j = 1, \dots, J$, Figura 4.5; as componentes de serviço podem ser activadas simultaneamente, ou não, e algumas podem nem ser activadas para uma dada aplicação.

Isto é um sistema com perdas, cujo desempenho se pode medir pela probabilidade de bloqueio de cada componente de serviço, o que simplifica a análise (por causa de se considerar uma só componente de serviço, e não toda a aplicação).

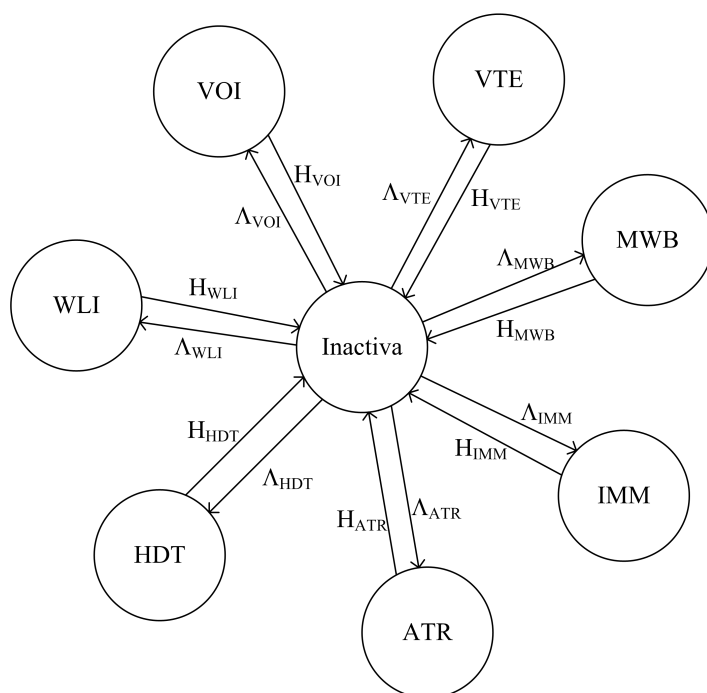


Figura 4.4: Modelos de activação das aplicações.

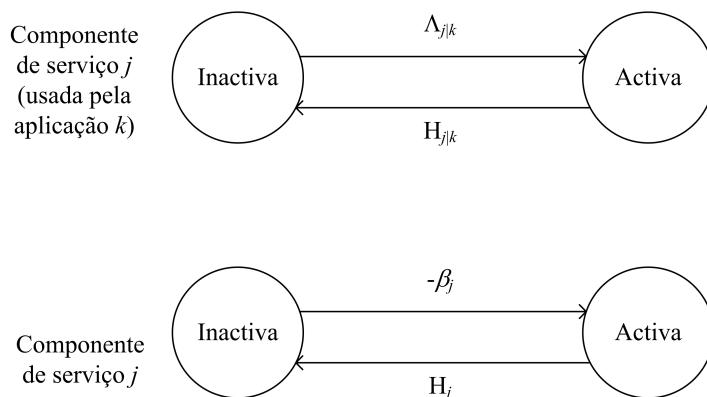


Figura 4.5: Modelos de activação da componente de serviço.

4.6.2 Carga média e utilizador equivalente

A partir da Figura 4.4 é simples derivar a probabilidade de um utilizador ter uma aplicação k activa

$$p_k = \frac{\Lambda_k / \mathbf{H}_k}{1 + \sum_{i=1}^{K_{app}} \Lambda_i / \mathbf{H}_i}. \quad (4.23)$$

O tráfego total é

$$\rho = \sum_{i=1}^{K_{app}} (\Lambda_i / \mathbf{H}_i), \quad (4.24)$$

daí, a geração de tráfego por uma aplicação específica poder ser dada por

$$\rho_k = \frac{\Lambda_k}{\mathbf{H}_k} = prop_k \cdot \rho \quad (4.25)$$

onde $prop_k$ é a proporção de utilizadores activos com k aplicações (numericamente dado pela sua utilização), e ρ é o tráfego médio por utilizador.

A taxa de geração normalizada é dada por

$$\Lambda_k^* = prop_k \cdot \mathbf{H}_k, \quad (4.26)$$

sendo

$$\sum_{i=1}^{K_{app}} \Lambda_i^* / \mathbf{H}_i = 1, \quad (4.27)$$

(onde se tem $\Lambda_k = \rho \cdot \Lambda_k^*$), reduzindo (4.23) a

$$p_k = \frac{\rho}{1 + \rho} \cdot \left(\frac{\Lambda_k^*}{\mathbf{H}_k} \right) = \frac{\rho}{1 + \rho} \cdot prop_k. \quad (4.28)$$

A carga de cada utilizador é obtida pelo cálculo do valor esperado da taxa de dados de cada aplicação

$$L_u = \sum_{k=1}^{K_{app}} p_k \cdot b_k. \quad (4.29)$$

Multiplicando por M_T , o número total de potenciais utilizadores, obtém-se a carga média do sistema

$$L = \frac{\rho}{1 + \rho} \cdot b_1 \cdot M_T \quad (4.30)$$

onde b_1 é a carga máxima por utilizador, dada por

$$b_1 = \sum_{k=1}^{K_{app}} prop_k \cdot b_k. \quad (4.31)$$

Consequentemente a fracção de utilizadores activos é

$$f_a = \frac{\rho}{1 + \rho}, \quad (4.32)$$

o produto $prop_k \cdot b_k$ dá a carga máxima por aplicação.

Por causa da independência na activação de cada componente de serviço, é utilizado o caso de *Bernoulli* do modelo BPP [30]. No contexto deste modelo, cada utilizador equivalente (das aplicações) origina um dado número de utilizadores, um por cada componente de serviço, usando os recursos com ritmos de transmissão B_{sj} , durante um tempo com distribuição exponencial com média $1/H_j$, $j = 1, \dots, J$ (J é o número total de componentes de serviço; para a componente de serviço j , tem a taxa total de serviço é $H_j = \mu_j$ no caso estático, e $H_j = \mu_j + \eta_j$, caso contrário, onde μ_j é a taxa de serviço da componente de serviço e η_j é a taxa de atravessamento). Logo o número de utilizadores que acedem a cada componente de serviço individual é também M_T .

A taxa de activação de cada componente j , de uma dada aplicação k , é definida por [35]

$$\begin{aligned} \Lambda_{j|k} &= \frac{\text{E}[\text{número de pedidos activos da componente de serviço } j]}{\text{E}[\text{duração da aplicação } k]} = \\ &= \frac{n_{j|k}}{1/\mu_k} = n_{j|k} \cdot \mu_k \end{aligned} \quad (4.33)$$

onde $n_{j|k}$ é o número de vezes que a componente de serviço j é activada durante a aplicação k ; $n_{j|k}$ torna-se unitário para componentes de serviço permanentes. Quando a aplicação é estática (devido à ausência de mobilidade, ou por não ser considerada), $H_{j|k}$ é dada por $\mu_j = 1/\bar{\tau}$ se a componente de serviço é permanente ($\bar{\tau}$ é a duração média da aplicação k), ou por $1/\bar{\tau}_s$ se a aplicação não é permanente, $\bar{\tau}_s$ será a duração média da componente de serviço. Além disso, embora os valores de $\Lambda_{j|k}$ e $H_{j|k}$ mudem quando a influência da mobilidade dos terminais é considerada (por um factor associado com o serviço e pelas taxas de atravessamento da aplicação k), a sua proporção é mantida constante, e não existirão para propostas de tráfego analisadas, excepto para o limiar de bloqueio/falha *handover*.

O número de utilizadores activos da componente j usando os seus recursos, a_j , no instante de tempo t são representadas pela variável aleatória $N_j(t)$. Como já foi referido, quando o sistema está no estado $N(t) = \mathbf{n}$, o tempo até ao próximo utilizador de classe j chegar tem uma distribuição exponencial com parâmetro $\lambda_j(n_j)$ (4.17).

No caso *Bernoulli*, é dada por

$$\lambda_j(n_j) = (N_j - n_j) \cdot (-\beta_j) \quad (4.34)$$

onde a taxa de chegada é $\alpha_j = -\beta_j \cdot N_j$, N_j é o número de utilizadores potenciais da componente de serviço j . O respectivo modelo de activação é ilustrado na Figura 4.5.

A taxa de activação e de chegada são normalizadas relativamente à taxa total de componentes de serviço da componente j

$$\beta_j^{norm} = \beta_j / H_j \quad (4.35)$$

e

$$\alpha_j^{norm} = -\beta_j^{norm} \cdot N_j \quad (4.36)$$

significa que se introduz uma diferença de escala de tempo diferentes para cada componente de serviço.

A taxa de activação de cada componente de serviço é dada pela valor esperado de $\Lambda_{j|k}$, resultando [35], [36],

$$(\beta_j) = \sum_{k=1}^{K_{app}} \Lambda_{j|k} \cdot p_k = \frac{\rho}{1 + \rho} \cdot \sum_{k=1}^{K_{app}} \Lambda_{j|k} \cdot \text{prop}_k. \quad (4.37)$$

Se o sistema é estacionário, a ocupação média da componente j é dada pelo seguinte quociente

$$(-\beta_j^{norm}) = \frac{-\beta_j}{H_j} = \sum_{k=1}^{K_{app}} \frac{\Lambda_{j|k}}{H_{j|k}} \cdot p_k \quad (4.38)$$

aqui chamada taxa de activação normalizada, significando que a taxa de serviço da componente de serviço j é

$$H_j = \sum_{k=1}^{K_{app}} \Lambda_{j|k} \cdot \frac{\Lambda_k^*}{H_k} \left/ \left(\sum_{k=1}^{K_{app}} \frac{\Lambda_{j|k}}{H_{j|k}} \cdot \frac{\Lambda_k^*}{H_k} \right) \right. \quad (4.39)$$

Isto depende da mobilidade, por causa da dependência do numerador em si. Se for considerada a mobilidade do terminal, $\Lambda_{j|k}$ tem que ser substituída por $\Lambda_{j|k}$ vezes um factor tempo $(\mu_k + \eta_k)/\mu_k$, onde μ_k e η_k são a taxa de serviço e de atravessamento associadas com as aplicações k . O tempo de espera para todas as componentes de serviço devem ser independentes e identicamente distribuídas. Um exemplo é o caso particular da distribuição exponencial dos tempos de espera.

O ritmo de transmissão associada a cada aplicação é

$$b_k = \sum_{j=1}^J \frac{n_{j|k} \cdot 1/H_{j|k}}{1/H_k} \cdot B_{sj} \quad (4.40)$$

onde B_{sj} é o ritmo de transmissão de dados associada à componente de serviço j (note-se que $B_{sj} = a_j \cdot B_{s1}$, onde B_{s1} é o ritmo de transmissão básico em E-UMTS). Estes valores não mudam considerando a mobilidade, porque quando se considera, $H_{j|k}$ e H_k são ambos afectados pelo factor $(\mu_k + \eta_k)/\mu_k$, a alteração simultânea é cancelada na divisão.

De forma a isolar a dependência da taxa activação e de chegadas em f_a , reescreve-se a taxa de activação de cada componente de serviço (4.37) como

$$(-\beta_j) = f_a \cdot \beta_{j \max} \quad (4.41)$$

onde a taxa de activação máxima (ou seja, quando a (fracção de utilizadores activos) $f_a = 1$); $\beta_{j \max}$, é dada por

$$-\beta_j = \sum_{k=VOI}^{WLI} \Lambda_{j|k} \cdot \text{prop}_k \quad (4.42)$$

e a taxa de chegada α_j pode ser escrita como

$$\alpha_j = (-\beta_j) \cdot N_j = f_a \cdot N_j \cdot \beta_{j \max}. \quad (4.43)$$

4.7 Sumário e conclusões

Foi apresentado o modelo de tráfego, as suas considerações iniciais, a base do modelo, o processo de chegada BPP que é uma das maneiras de medir as características de um processo de chegada dos utilizadores. São também explicados os algoritmos utilizados que permitem que o tempo no processo de simulação e os recursos computacionais utilizados sejam muito pequenos, em relação ao modelo matemático utilizado. O modelo de utilizador tratado no fim deste capítulo explica como se comportam os utilizadores e como eles utilizam os recursos e as misturas das aplicações disponíveis.

Capítulo 5

Tráfego de Mobilidade

5.1 Apresentação do problema

Os sistemas de comunicações móveis micro celulares [37] de cobertura linear, constituídos por células em forma de cigarro colocadas lado a lado com as estações de base (BS) no centro, Figura 5.1, e onde as unidades móveis viajam com velocidade aleatória em módulo e sentido, têm uma topologia que é simples de analisar do ponto de vista de dimensionamento do tráfego, principalmente quando se tem tráfego homogêneo em toda a extensão do sistema. A cadeia de *Markov* utilizada para modelar o tráfego telefónico num sistema celular deste tipo com $J=2$ células, Figura 5.2, é do tipo da apresentada na Figura 5.3, para $m=3$ canais disponíveis, onde λ é a taxa de geração de novas chamadas, μ é a taxa de serviço, ou taxa a que são terminadas as chamadas, e η é a taxa de atravessamentos; este caso corresponde a geometrias do tipo linear, como a apresentada na Figura 5.4, típica de uma rotunda. A taxa de atravessamentos instantânea é dada por $v/(2R)$, onde v é a velocidade e R é a distância de cobertura máxima das células.

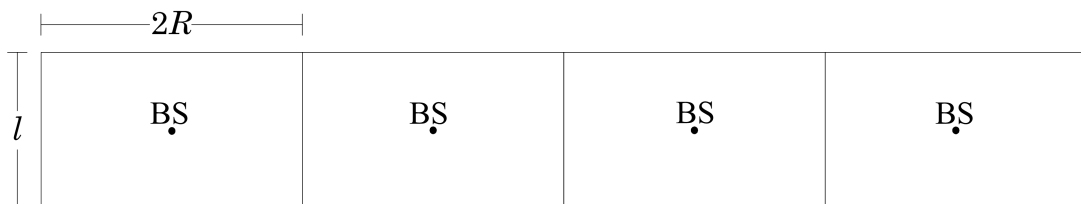


Figura 5.1: Geometria de cobertura linear.

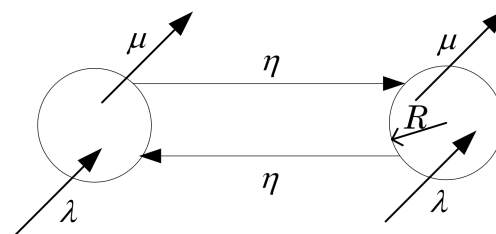


Figura 5.2: Geometria celular $J=2$.

A análise do tráfego para esta topologia, simples de efectuar, é feita resolvendo a

cadeia J -dimensional correspondente. No dimensionamento de sistemas deste tipo interessa obter expressões para a probabilidade de bloqueio P_b em cada célula (probabilidade de um utilizador não conseguir fazer uma chamada, por inexistência de canais disponíveis) e para a probabilidade de falha de *handover* P_{hf} (probabilidade de um utilizador não conseguir transferir a sua chamada para uma célula vizinha) [38].

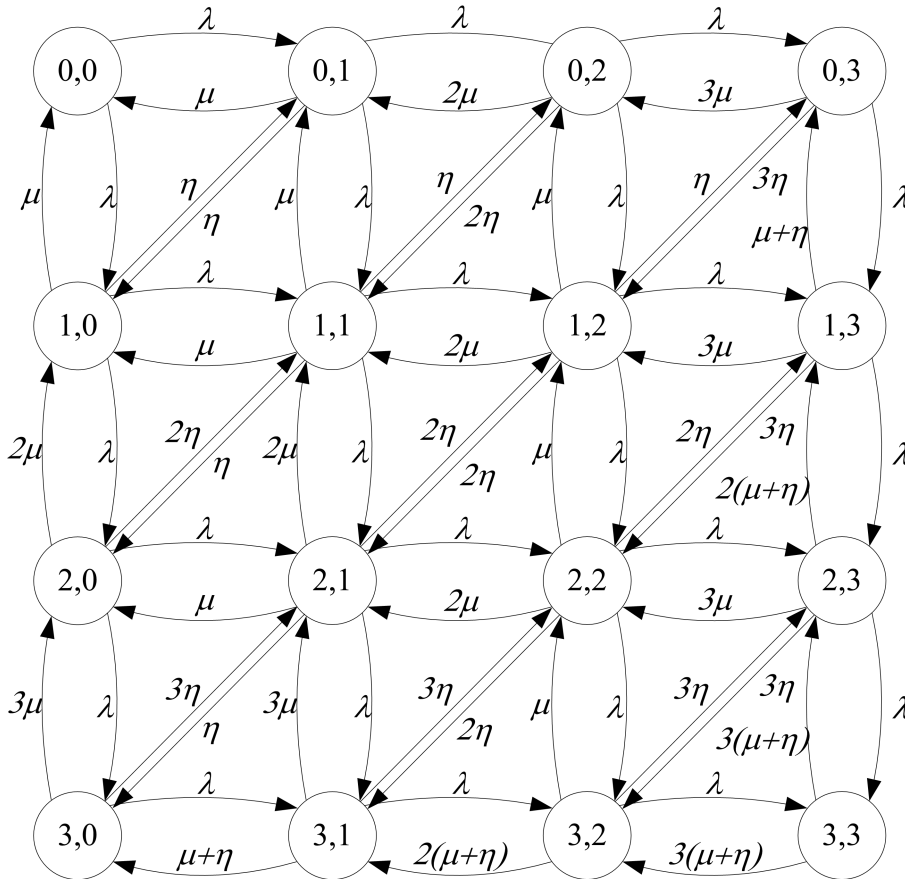
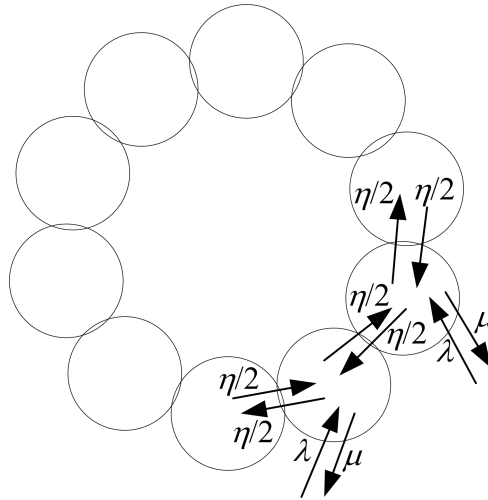


Figura 5.3: Cadeia de *Markov* para $J=2$ e $m=3$.

5.2 Solução aproximada

Se $n_i(t)$ for os números de utilizadores na célula i , $i \in 1, \dots, J$, a cada instante de tempo $t \geq 0$, e $n(t) = (n_1(t), \dots, n_J(t))$. Então $\{n(t)\}$ é uma cadeia de *Markov* contínua com uma estrutura especial, onde o estado $n = (n_1, n_2, \dots, n_J)$ significa que com n_i utilizadores na célula i , $i \in 1, \dots, J$. Denotando a solução para as probabilidades de *steady-state* no modelo exacto com $\pi(n)$, baseado nas definições [38], a probabilidade de uma nova chamada chegar à célula i e ser bloqueada é igual à soma de todas as probabilidades *steady-state* $\pi(n)$, onde $n_i = m$,

$$P_{Bi} = \sum_{n_1, \dots, n_{i+1}, \dots, n_J} \pi(n_1, n_2, \dots, n_{i-1}, m, n_{i+1}, \dots, n_J) \quad (5.1)$$

Figura 5.4: Geometria celular para $J=10$.

Quando um terminal móvel começa o *handover* da célula k para a célula i , a probabilidade de falha de *handover* é a razão entre a taxa de tentativas de *handover* sem sucesso da célula h para a célula i e o número de tentativas de *handover* entre as células [38],

$$P_{hfki} = \frac{\sum_{n_1, \dots, n_{i+1}, \dots, n_J} n_k \pi(n_1, n_2, \dots, n_{i-1}, m, n_{i+1}, \dots, n_J)}{\sum_{n_1, n_2, \dots, n_J} n_k \pi(n_1, n_2, \dots, n_J)}, \quad (5.2)$$

o que não é uma solução analítica muito simples para as probabilidades de *steady-state* da cadeia exacta de *Markov*; é então necessário usar soluções aproximadas.

As soluções aproximadas que tipicamente se apresentam na literatura sobre tráfego telefónico correspondem a considerar que as taxas η , 2η , e 3η , são retiradas às taxas de transição dos estados (3, 1) para (3, 0), (3, 2) para (3, 1) e (3, 3) para (3, 2), respectivamente, ou de (1, 3) para (0, 3), (2, 3) para (1, 3) e (3, 3) para (2, 3), Figura 5.3, ou seja, resolvendo a cadeia de *Markov* onde as condições fronteira são alteradas desta forma. Numa configuração com $J > 2$ células, Figura 5.4, o valor atribuído às taxas de transição η_{jk} não nulas, quando $k = j \pm 1$, $1 \leq j, k \leq J$, é $\eta/2$, pois está-se a considerar tráfego automóvel/pedestre com uma velocidade aleatória em módulo e direcção; isto é, em cada célula, metade dos móveis deslocar-se-ão para cada uma das duas células vizinhas.

Se existissem infinitos canais disponíveis, a cadeia resultante corresponderia a um processo de migração aberto [39] ou uma rede de *Jackson* aberta [40]. Nesse caso, seja $n_i(t)$ o número de utilizadores na célula i do sistema, $i = 1, 2, \dots, J$, para cada época $t \geq 0$, e $n(t) = (n_1(t), \dots, n_J(t))$, então $\{n(t)\}$ é uma cadeia de *Markov* a tempo contínuo com uma estrutura especial, onde $n = (n_1, n_2, \dots, n_J)$ significa que existem n_i utilizadores na estação i , $i = 1, \dots, J$. O espaço de estados para esta rede aberta (onde são permitidas entradas e saídas do sistema em pelo menos uma estação) é $S = \mathbf{n} : n_i \geq 0, i = 1, \dots, J$. Os pressupostos feitos adiante para as redes de *Jackson* asseguram que a cadeia $\{n(t)\}$ é irredutível, ou seja, a partir de qualquer estado na cadeia de *Markov* é possível alcançar qualquer um dos outros estados possíveis.

Para cada i e $j \in \{1, \dots, J\}$, designando a "célula" $J + 1$ como o "mundo exterior", as taxas de transição designam-se da forma seguinte:

- Entrada no sistema através da célula i : $\eta_{J+1, i}(n) = i$;

- Saída do sistema a partir da célula i : $\eta_{i,J+1}(n) = n_i\mu$;
- Transição de i para j : $\eta_{ij}(n)$.

Seja $H_i(n)$ a taxa de serviço total associada à célula i , multiplicada por n_i

$$H_i(n) = \sum_{j=1}^{J+1} \eta_{ij}(n), \quad (5.3)$$

então $\eta_{ij}(n) = H_i(n_i)p_{ij}$, $n_i \in \mathbb{N}$, com as probabilidades de transição dadas por

$$p_{ij} = \frac{\eta_{ij}(n)}{H_i(n)} = \frac{\eta_{ij}(n_i)}{H_i(n_i)} = \begin{cases} \frac{\eta}{2(\eta+\mu)}, j = i \pm 1 \\ \frac{\mu}{(\eta+\mu)}, j = J \pm 1 \\ 0, \text{ outros } j \end{cases} \quad (5.4)$$

para $1 \leq i, j \leq J$, pelo que $H_i(n) > 0$ sse $n_i > 0$. A última igualdade de (5.3) é a concretização de p_{ij} para a geometria de cobertura linear. Embora os modelos apresentados sejam gerais, a partir de agora vai-se referir sempre a geometria linear como exemplo; a generalização para outras geometrias poderá ser feita com as devidas alterações. Para a geometria de cobertura linear tem-se então

$$\eta_{ij}(n) = \eta_{ij}(n_i) = \begin{cases} n_i \cdot \eta/2, j = i \pm 1 \\ 0, \text{ outros } j \end{cases} \quad (5.5)$$

e logo

$$H_i(n) = \sum_{j=1}^J \eta_{ij}(n) = n_i \cdot (\eta + \mu) = H(n_i). \quad (5.6)$$

Seja Λ_i a taxa de chegadas (partidas) composta (externa e interna) na célula i , $i = 1, \dots, J$. Refere-se Λ_i como a taxa de chegadas/partidas pois em equilíbrio a taxa de chegadas a uma célula será igual à taxa de partidas (por conclusão do serviço ou transição para outra célula). Numa rede estável, todas as chegadas são servidas, e pode-se calcular Λ_i à priori exprimindo a taxa de partidas, à esquerda na próxima equação, em função das taxas de chegadas a cada estação:

$$\Lambda_i(n) = \lambda_i + \sum_{j=1}^J \Lambda_j p_{ji}, i = 1, \dots, J. \quad (5.7)$$

Seguindo a abordagem de [40] a solução para a probabilidade de estar em cada estado toma então a forma de produto, e é da seguinte forma:

$$p(n) = \prod_{i=1}^J p_i(n_i) \quad (5.8)$$

onde a probabilidade de haver n_i canais ocupados na célula i é dada por

$$p_i(n_i) = \frac{k_i \Lambda_i^{n_i}}{\prod_{j=0}^{n_i} H_i(n_j)} \quad (5.9)$$

para todos os $n_i \geq 0, i = 1, \dots, J$, que, nestas condições, são independentes, e as constantes de normalização k_i definem-se da forma seguinte

$$k_i^{-1} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Lambda_i^n}{\prod_{j=0}^n H_i(j)}. \quad (5.10)$$

Ao primeiro termo da soma ($n = 0$) atribui-se o valor 1. A demonstração é dada em [40].

A independência estabelecida acima refere-se às variáveis aleatórias n_1, n_2, \dots, n_J observadas num ponto fixo no tempo. Se as encararmos como processos estocásticos definidos para $t \in \mathbb{R}_0^+$, $n_1(t), n_2(t), \dots, n_J(t)$, então elas são claramente não independentes. É interessante notar que a distribuição de equilíbrio para a célula i é a que se esperava se apenas existisse uma célula no sistema, com indivíduos a chegar com distribuição de *Poisson* de taxa $\rho_i H_i(n_i)/n_i$, onde ρ_i é o tráfego na célula i , e a partir com taxa $H_i(n_i)$. Isto é particularmente interessante porque o processo conjunto (combinado) de chegadas de indivíduos a uma célula, vindos de outra célula, ou de fora do sistema, não é em geral de *Poisson*. Se algum dos k_1, k_2, \dots, k_J for zero, o processo não tem distribuição de equilíbrio, pois existe uma colónia onde os indivíduos "entram mais depressa do que saem". Esta solução é a que se obteria se existissem infinitos recursos (canais) em cada célula. No entanto, como existem apenas m canais disponíveis, a solução pode-se obter truncando a solução para a cadeia anterior, desde que a cadeia seja reversível [39]. Resolvendo 5.5 para uma situação de tráfego homogéneo, ou seja, onde $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_J = l$, obtém-se o tráfego total na célula ρ_j

$$\rho_j = \frac{\Lambda_j}{(\mu + \eta)}. \quad (5.11)$$

Para o processo ser reversível para todos os pares (j, k) devem-se satisfazer as seguintes condições:

$$\rho_j \cdot \eta_{jk} = \rho_k \cdot \eta_{kj} \quad (5.12)$$

$$\rho_j \cdot \mu = \lambda_j. \quad (5.13)$$

Para a geometria linear, Figura 5.4, a primeira igualdade reduz-se a

$$\rho_j \cdot \eta/2 = \rho_k \cdot \eta/2. \quad (5.14)$$

Para tráfego homogéneo, verificam-se ambas as igualdades pois, como já se viu, $\lambda_j = \lambda$, e resolver o sistema de equações 5.5 conduz à solução

$$\Lambda_1 = \dots = \Lambda_J = \lambda \cdot (\eta + \mu)/\mu \quad (5.15)$$

e logo a

$$\rho = \lambda/\mu. \quad (5.16)$$

Assim o tráfego de *handover* é proporcional a p_{ij} , $j = i \pm 1$, o tráfego de *handover* é

$$\rho_h = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{\eta}{\eta + \mu}. \quad (5.17)$$

E conseqüentemente o novo tráfego de chamadas é

$$\rho_n = \rho - \rho_h = \frac{\lambda}{\eta + \mu}. \quad (5.18)$$

Portanto, como a reversibilidade do processo estocástico com as novas condições fronteira se verifica, a solução (aproximada) que se pretende obtém-se truncando a solução obtida para um número infinito de canais. A probabilidade de bloqueio e a probabilidade de falha de *handover* em cada célula, cujas expressões neste caso coincidem, obtém-se calculando $p_i(m)$.

5.3 Validade da aproximação

Em [41] é feita uma comparação numérica das soluções para as probabilidades de bloqueio e de falha de *handover* entre a cadeia exacta e a cadeia aproximada apresentada na Secção 5.2 para um único serviço são utilizados um número limitado de resultados para a cadeia exacta disponíveis na literatura [38], considerando-se uma rede móvel de pequenas dimensões com quatro células e quatro canais disponíveis em cada célula. A taxa de geração de "chamadas" é $\lambda = 0.5 \text{ min}^{-1}$ e a taxa de serviço é $\mu = 1 \text{ min}^{-1}$, resultando $\rho = 0.5 \text{ Erlang}$. Na Figura 5.5 apresentam-se os resultados para as probabilidades de bloqueio e de falha de *handover* em função de $\gamma = \eta/\mu$ para a cadeia exacta, o valor teórico para $P_b = P_{hf} = 0.00158$ é obtido através de,

$$P_b(c, \rho) = \frac{\frac{\rho^c}{c!}}{\sum_{k=0}^c \frac{\rho^k}{k!}}, \quad (5.19)$$

a formulação teórica pode ser encontrada em [42].

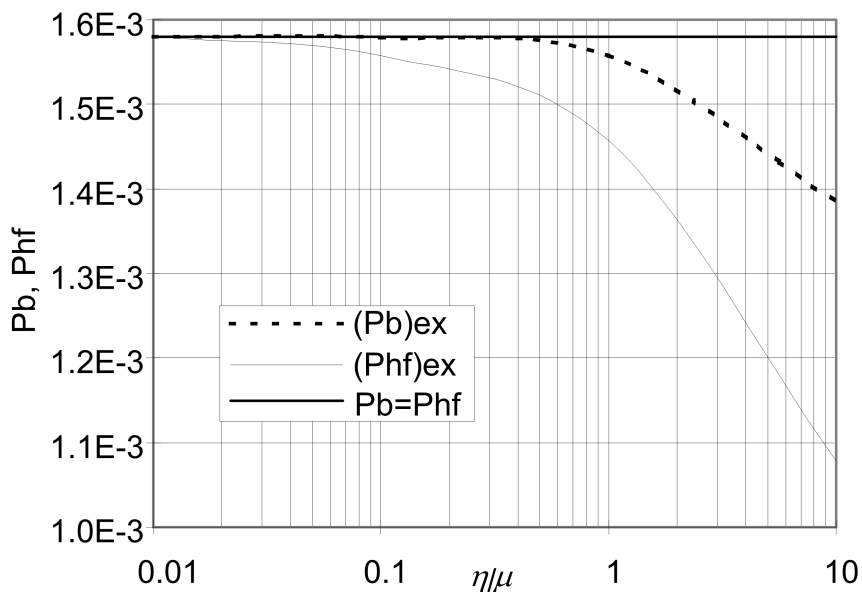


Figura 5.5: Probabilidades de bloqueio e de falha de *handover* em função de para $m = 4$ extraído de [38].

5.4 Sumário e conclusões

Apresentou-se um modelo aproximado para o tráfego resultante da mobilidade em sistemas de comunicações móveis micro celulares sem canais de guarda para *handover* e analisa-se a sua validade. O sistema pode ser modelado por uma cadeia de *Markov* cuja solução exacta para a distribuição de equilíbrio se obtém resolvendo um sistema de equações cuja dimensão cresce consideravelmente com o número de células e o número de canais, o que limita a sua utilização. No entanto, no cálculo das probabilidades de bloqueio e falha de *handover*, essa cadeia de *Markov* pode ser aproximada por um modelo que possibilita a utilização da teoria das redes de *Jackson*. Estudou-se a validade do modelo para um conjunto restrito de casos disponíveis na literatura, correspondendo a redes móveis de pequenas dimensões, com um número reduzido de células e de canais.

Capítulo 6

Exemplo de Aplicação do Modelo de Tráfego Multi-Serviço

6.1 Introdução

O *Enhanced UMTS* (E-UMTS) é um passo na evolução do UMTS que irá permitir ritmos de transmissão superiores a 2 Mb/s quer no sentido ascendente quer no descendente, utilizando uma portadora de 5 MHz, Figura 2.1. Permitirá o aparecimento de novos serviços de banda larga e uma redução significativa do preço por bit, funcionando sobre plataformas flexíveis que garantem a qualidade de serviço (QoS). Possibilitará o acesso baseado totalmente em IP, incluindo a rede nuclear de suporte, tornando possível uma transmissão extremo a extremo baseada em pacotes. Os projectos europeus (por exemplo, o IST-SEACORN [1]) têm proposto um conjunto de melhorias para o UMTS que incluem, entre outras, tipos de modulação mais avançados e técnicas de transmissão rádio melhoradas, estratégias de encaminhamento IP e garantia da QoS. Ao contrário do HSDPA, que estenderá os ritmos de transmissão do UMTS apenas no sentido descendente, o E-UMTS irá permitir a expansão para ambos os sentidos, descendente e ascendente. Portanto, irá suportar aplicações móveis de Banda Larga em tempo real, baseadas no tempo, com uma capacidade de sistema superior, e será o ponto de partida para uma introdução inicial das aplicações móveis realmente de Banda Larga, um importante passo rumo à 4G. No domínio das comunicações móveis, o E-UMTS será o primeiro passo para se conseguirem comunicações em todo o lado, sem falhas ou descontinuidades, com sucesso (entre sistemas ou ambientes) [43], escalando a capacidade de sistema para os serviços de maior importância no mercado, o que implica que serão disponibilizados valores de capacidade na ordem dos Gb/s/km², e se possibilita o aparecimento de serviços adaptativos e novos modos de rede, por exemplo *multicast*, *multi-hop* e *peer-to-peer*, para além da introdução do conceito ABC - *Always Best Connected* (sempre ligado e sempre ligado da melhor forma [44]). No IST-SEACORN, o efeito das melhorias propostas, foram avaliados por meio de técnicas de simulação. Na tentativa de se terem modelos adequados para o tráfego fonte em redes móveis IP e sem fios, adoptaram-se os modelos de engenharia de tele-tráfego que se aplicam hoje em dia nas redes fixas. Embora muitos autores reclamem a sua utilidade, não é evidente que venham a ser úteis, devido às diferentes características de modelação as que aparecem em aplicações multimédia móveis (por exemplo, devido a ecrãs mais pequenos ou por requisitos

de rede diferentes); assim, são necessárias abordagens diferentes, baseadas nos modelos de tráfego utilizados aplicados a aplicações específicas GPRS, UMTS e futuras [45], e é portanto necessário fazer mais investigação (por exemplo, para a modelação das novas aplicações do UMTS). Embora alguns destes novos modelos tenham sido incorporados no trabalho de simulação de E-UMTS do IST-SEACORN, não é essa a abordagem seguida neste capítulo. Ao contrário do UMTS isolado, no E-UMTS o conjunto de aplicações é essencialmente em tempo real/baseadas no tempo. Portanto uma análise que considere os processos *Bernoulli-Poisson-Pascal* (BPP), no contexto dos processos *Poisson* modulados por cadeias de *Markov* (MMPP, *Markov-Modulated-Poisson-Processes*) pode ser apropriada e pode ser utilizada no planeamento celular macroscópico, onde não se precisa duma forma muito detalhada de modelar o tráfego; apenas é importante conhecer o tráfego médio e a carga máxima suportada. Na Secção 6.2 discute-se a importância dos modelos de tráfego fonte e para o tráfego agregado no contexto do E-UMTS, e abordam-se novas formas de encarar o problema, justificando-se a utilização do modelo BPP/MMPP para o planeamento celular. Na Secção 6.3, apresentam-se os parâmetros de caracterização para as misturas de aplicações E-UMTS em cenários de exteriores. Na Secção 6.4 são estabelecidas as hipóteses para os ritmos de transmissão médios, *burstiness*, e características de mobilidade. Após se apresentarem resultados para o tele-tráfego, avaliam-se e discutem-se aspectos sobre capacidade de sistema, os efeitos da carga média e o impacto da mobilidade. Na Secção 6.5, é feita uma comparação entre a capacidade do sistema em E-UMTS e nos sistemas passados, actuais e futuros. Finalmente, na Secção 6.6 apresentam-se conclusões.

6.2 Modelo de tráfego

6.2.1 Importância

Nos anos mais recentes, têm existido evoluções tecnológicas e de mercado que têm mudado o paradigma das comunicações móveis da comutação de circuito para comutação de pacotes, como consequência do aumento da popularidade dos serviços de dados e multimédia. O comportamento em rajada deste tipo de tráfego é caracterizado por períodos *on* e *off*. Em alguns casos, tais como as aplicações *World Wide Web*, os períodos *on* representam o período de transferência de dados (por exemplo, descargas de ficheiros), enquanto que os períodos *off* representam o tempo de leitura do utilizador. Portanto, pela natureza do tráfego das redes móveis actuais, as técnicas actuais de comutação de circuitos e as fórmulas simples de *Erlang* já não são as mais apropriadas para modelar o tráfego de forma detalhada [46]. Contudo, e por causa da sua simplicidade e flexibilidade, testam-se os MMPP para comunicações multi-ritmo de voz, dados, vídeo e multimédia. Considerando componentes de serviço, é possível recorrer às aproximações habituais dos operadores de telecomunicações para a modelação de tráfego, pela avaliação das durações médias dos serviços, taxas de geração e tempo de permanência nas células. Embora se possa caracterizar o tráfego com algum grau de correlação, este modelo apresenta uma auto-correlação inadequada, não sendo indicado para modelos *Long Range Dependence* (LRD). Contudo, os MMPP são adequados para representar o comportamento médio do tráfego agregado, por exemplo, para efeitos de planeamento celular [47], mas não para o dimensionamento das funções de gestão do tráfego ou para lidar com parâmetros de

talhados de QoS. Como os modelos de tráfego tradicionais se estão a tornar inadequados para capturar as características das redes actuais, têm-se desenvolvido modelos de tráfego para redes comutação de pacotes com base em medições em redes reais. Contudo, a sua adequação para serem utilizados para além da simulação, por exemplo, na modelação e análises de redes móveis sem fios, continua a ser testada e precisará de demonstração.

6.2.2 Fontes de tráfego

Têm sido apresentados na literatura diferentes pontos de vista para a modelação das aplicações do UMTS [48], os quais apresentam os modelos de *Pareto* ou *Weibull* de cauda pesada (*heavy-tailed*), e também distribuições de *Poisson*, como as mais indicadas para representar a duração dos períodos *on/off*, tendo em conta o LRD. Identifica-se que na próxima geração das redes móveis vão surgir muitas aplicações de diversos tipos, tendo cada aplicação diferentes requisitos de QoS. Nas redes de comutação de pacotes, como a natureza dos serviços descontínua, não existem restrições muito exigentes nos requisitos de atraso. Em vez disso, é mais importante considerar taxa de pacotes perdidos e probabilidade de erro de bit e portanto os critérios de desempenho de rede também têm que ser alterados. Na maioria dos casos, contudo, estes pontos de vista [48] são de alguma forma baseados em visões menos recentes, sendo só úteis para aplicações de banda larga nas redes fixas (por exemplo, *Local Area Network* (LAN) e *Wide Area Network* (WAN)), onde é possível a existência de écrans de grandes dimensões, e onde o paradigma das redes totalmente IP não é uma realidade. Para os modelos de planeamento e simulação propostos, se a exactidão e o nível de detalhe da modelação de tráfego for essencial, têm que ser introduzidos novos tipos de modelos, e respectivos parâmetros, baseados em trabalhos recentes, que já consideram valores e modelos do GPRS [45].

6.2.3 Voz em pacotes

A transmissão de tráfego de voz sobre redes de pacotes, e especialmente a voz sobre IP (VoIP), está rapidamente a ganhar aceitação. Enquanto muitas operadoras têm utilizado a voz sobre redes de comutação de circuitos (CC) para pouparem dinheiro, o domínio das redes IP tem virado as atenções do CC para a VoIP em comutação de pacotes. A actividade de voz pode ser considerada como uma alternância entre apenas dois estados de conversação e outro de silêncio. Os dados são gerados apenas durante o tempo de conversação, enquanto que durante os tempos de silêncio não são transmitidos dados. Deste modo é possível obter um ganho de multiplexagem estatística. Em [49] são caracterizados os períodos de conversação e silêncio da voz digitalizada, modelados por uma distribuição exponencial, e apresenta-se um modelo de seis estados para a modelação de dois utilizadores activos. Nas referências mais recentes [50], foram avaliados os valores para os tempos de espera em cada um dos estados, (por exemplo, $1/\lambda = 0.65$ s e $1/\mu = 0.352$ s [50]) respectivamente, os quais são mais pequenos que os valores para pacotes de voz, identificados nas análises estatísticas de Deng [51] ($1/\lambda = 7.24$ s e $1/\mu = 5.69$ s), baseadas em conversação espontânea.

6.2.4 Mensagens de correio electrónico e MMS

Como a dimensão da descarga de uma mensagem de correio electrónico num dispositivo móvel é um parâmetro crucial para a engenharia do tráfego em redes celulares de pacotes, define-se um modelo que descreve o tamanho das mensagens de correio electrónico e dão-se detalhes acerca da carga envolvente na transferência e mensagens pelo utilizador [52]. O único parâmetro é o tamanho da mensagem de correio que é caracterizado por duas distribuições log2-normal mais uma quota fixa adicional, por exemplo, 300 byte [52]. Os serviços de mensagens multimédia (MMS) pretendem promover um conjunto vasto de conteúdos por exemplo, imagens, e fotografias em combinação com voz e texto. Este serviço é suportado por terminais cliente habilitados para o seu envio ou recepção e é comparável a muitos sistemas de mensagens em utilização hoje em dia, por exemplo, tradicionais mensagens de correio electrónico e os sistemas de mensagens sem fios como o *paging* e o serviço de mensagens curtas (SMS). As diversas componentes de uma MMS correspondem a aplicações distintas, tais como, correio electrónico ou navegação WWW; assim, os modelos de tráfego existentes podem ser aplicados para o modelar o tráfego MMS. O tamanho típico das primeiras mensagens multimédia foi de cerca de 20 kbyte e, hoje em dia, o tamanho máximo esperado é de 100 kbyte (devido a restrições de memória).

6.2.5 WAP, WWW e FTP

O modelo de tráfego WAP foi desenvolvido e aplicado em [53]. A principal característica deste modelo é o facto de ter pacotes muito pequenos, 511-3000 byte, que seguem uma distribuição log2-normal e com um tamanho limitado de pacote (por exemplo, 1400 byte). De acordo com [53], o número de lotes (*decks*) é modelado por uma distribuição geométrica, enquanto que o tempo de leitura é modelado por uma distribuição exponencial negativa e o tamanho do pacote por uma distribuição log2-normal truncada. Enquanto que o modelo da sessão pode ser visto como sendo geral para as sessões WAP, os parâmetros dependem do contexto e estão sujeitos a aperfeiçoamentos futuros [45], dado que as aplicações irão mudar durante os próximos anos. As sessões WWW consistem em pedidos de um dado número de páginas, estas páginas consistem num número de objectos com um certo tamanho. Outro parâmetro característico é o atraso entre duas páginas, que depende do comportamento do utilizador ao navegar na Web [54]. Em [44] apresenta-se uma panorâmica dos parâmetros de tráfego do "Mosaic" WWW, o modelo para o ritmo de transmissão em WWW. As páginas Web com um número muito grande de objectos, ou objectos grandes, não são compatíveis com clientes de pequenas dimensões tais como PDAs ou telefones inteligentes do (E)GPRS. Assim, adoptou-se por um pequeno número de objectos por página, 2.5 objectos, e um pequeno tamanho dos objectos, 3700 byte, com base em [54]. Para objectos com maiores dimensões e páginas WWW maiores do que no "Mosaic", adopta-se o modelo comportamental de Choi [55]; é mais recente que o modelo "Mosaic", e portanto, é adequado para modelar a navegação WWW em computadores pessoais (PCs) ligados à rede fixa. Visto que o desempenho das redes móveis nos primeiros anos de evolução do GSM foi mais baixa do que em redes de acesso fixo, este modelo é menos ajustado para a engenharia de tráfego em GPRS. Uma vez que o desempenho das redes GSM melhoradas irá ser comparável ao desempenho do acesso às redes fixas actuais (por exemplo o (E)GPRS ou UMTS), a importância deste modelo irá crescer para os problemas de engenharia de tráfego em redes celulares de comutação de

pacotes. O protocolo de transferência de ficheiros (FTP) foi desenvolvido para permitir a segurança e eficiência de transmissão de ficheiros entre dois computadores. Em [45] é apresentado um modelo de tráfego para o FTP.

6.2.6 *Streaming* vídeo

Muitos portais da *Internet* estão a disponibilizar serviços de vídeo para aceder a conteúdos de notícias e entretenimento para PCs. Para além do MPEG, a H.263 é a norma de codificação do vídeo mais utilizada para aplicações de *streaming* vídeo. Na área das aplicações áudio, o *streaming* áudio baseado em áudio MPEG de nível 3 (MPEG *Audio Layer-3* MP3) é visto como uma potencial aplicação. Num futuro próximo, espera-se que os sistemas de comunicação móveis estendam-se ao âmbito das soluções actuais de *streaming* pela *Internet*, como descrito em [56]. Os detalhes sobre comunicações de *streaming* vídeo e H.263 são apresentadas em [45], onde alguns aspectos da modelação do tráfego de *streaming* vídeo são também apresentados. O tráfego IP médio resultante, oferecido por essa mistura em particular, é de 14.39 kb/s. Prevê-se que todas as novas aplicações emergentes tenham durações relativamente curtas. Assim os chamados utilizadores pesados, que geram fluxos de longa duração, com muitos dados, não foram tomados em linha de conta [45]. A duração das sessões de vídeo é modelada por uma distribuição exponencial negativa, com valor médio 120 s [54].

6.2.7 Modelo unificador

Como não existem dados reais disponíveis, não é possível prever quando se poderá disponibilizar um modelo unificador que contabilize a *Long Range Dependence* (LRD), e agregue o comportamento individual do tráfego fonte num modelo de multi-serviço. As simulações resultantes dos projectos IST-SEACORN e MULTIPLAN [57] disponibilizaram resultados de tráfego agregado cuja comparação com resultados obtidos analiticamente conduzirá a conclusões importantes. Embora se possam obter as taxas de erro binário, as taxas de perda detalhadas e outros parâmetros a partir do simulador, para efeitos de comparação, continua a ser importante obter resultados analíticos para o tráfego/carga suportado/a carregado. Como as aplicações consideradas são na sua maioria em tempo real, as medidas de desempenho que mais interessam são a probabilidade de bloqueio P_b e, devido à mobilidade, a probabilidade de falha de *handover*, $P_{h,f}$, a probabilidade de um utilizador não conseguir a transferência da sua ligação de uma célula para outra. A probabilidade de terminação forçada de uma ligação ao longo da sua duração, ou seja, a probabilidade de perda de chamada/sessão, P_d , pode ser associada à última [31]. Dados os parâmetros de QoS para as probabilidades de bloqueio e de perda de chamada ($P_b=2\%$, e $P_d=0.5\%$), utiliza-se o modelo BPP do Capítulo 4 para obter o tráfego suportado [47]; os detalhes do modelo em si, das componentes de serviço e do modelo de utilizador podem ser encontrados em [47]. No E-UMTS pode-se considerar que os recursos/canais servem cada aplicação por meio de diferentes componentes de serviço, Tabela 6.1, ou seja, o sistema serve-se de componentes de serviço, as quais, por sua vez, servem as aplicações. Neste trabalho, as componentes de serviço são som, SND, *streaming*, STR, básica, BAS, baixo ritmo de transmissão, LOD, ritmo de transmissão média, MD1, MD2 e MD3, e vídeo interactivo, IV4. Embora na Tabela 6.1 se considere as componentes de serviço

com fundo cinzento, elas não são utilizadas no conjunto de aplicações deste trabalho. Diferentes aplicações têm diferentes durações e diferentes ritmos de transmissão associados, b_k . Estes ritmos de transmissão são obtidos pela soma pesada dos ritmos de transmissão das componentes de serviço suportadas, onde os pesos são as proporções do tempo médio em que as componentes estão activas durante a aplicação. Quando se considera apenas um único serviço e não se utilizam canais de guarda para *handover*, a probabilidade falha de *handover* é igual à probabilidade de bloqueio [31]. Aqui, generaliza-se essa aproximação para o tráfego multi-serviço. Para além disso, é demonstrado em [58] que, para ligações de longa, duração não existem praticamente vantagens de se utilizarem canais de guarda para *handover*. Como mais de metade das nossas aplicações têm duração média elevadas, não se consideram canais de guarda para *handover*.

Tabela 6.1: Componentes de serviço.

Componente de serviço	j	a_j	B_{s_j} [kb/s]
SND	1	1	16
STR	2	4	64
BAS=IV1	3	8	128
LOD=IV2	4	24	384
MD1	5	48	768
MD2	6	64	1024
MD3=IV3	7	96	1536
IV4	8	120	1920

6.3 Serviços e aplicações

6.3.1 Cenários de desenvolvimento

O elevado número de aplicações multi-serviço do E-UMTS pode vir a colocar alguns problemas no desempenho das simulações, devido à complexidade envolvida. Para se poder ultrapassar este problema é necessário considerar um conjunto de aplicações reduzido, de forma a reduzir a carga de processamento das simulações. Embora continue a ser importante estabelecer cenários simples para as simulações, com poucas aplicações relevantes, esta mistura tem que ser minimamente representativa de todas as aplicações dos sistemas E-UMTS, Tabela 6.2 (o caso dos cenários de exterior: centro de negócios em cidades (BCC), urbano (URB), estradas e auto estradas (ROA)), que incluem aplicações de som mais aplicações de Banda Estreita e de Banda Média/Larga [24]. Dadas características das componentes do serviço (áudio, dados e vídeo) que suportam estas aplicações, em termos de geração de tráfego, duração, e comportamento em rajada (períodos de actividade e inactividade) estiverem definidas, é possível executar os cálculos, tomando em linha de conta os valores de utilização e o conjunto de parâmetros que descrevem estes serviços a partir da perspectiva da modelação de tráfego são definidos em [59], onde o seu intervalo da variação também é apresentado. Em [60], apresentam-se valores que se adequam às características de serviço, onde um conjunto similar de aplicações foi considerado para alguns cenários iniciais do E-UMTS, não tendo em consideração aplicações

de voz e áudio. Contudo, de forma a se ter uma abordagem mais realista, considera-se a voz e o vídeo; elas são aplicações permanentes a 16 kb/s, no caso de VOI e VIP, ou a 64 kb/s, para AUD.

Tabela 6.2: Cenários de utilização para exterior (BCC, URB, ROA).

Utilização das aplicações [%]	Abre.	Ritmo de tx [kb/s]	BCC	URB	ROA
Som					
Voz	VOI	16	19.9	40.2	29.0
Voz sobre IP	VIP	16	14.3	29.1	20.9
Streaming áudio	AUD	64	-	9.7	6.6
Total			34.2	79.0	56.5
Banda Estreita					
Videoconferência	VCO	384	4.6	-	-
Transferência de ficheiros, FTP	FTP	384	7.8	-	5.3
MM de secretária, <i>web browsing</i>	DMM	384	16.8	6.8	11.3
Vídeotexto de banda larga	ECO	384	7.8	.	5.3
Total			37	6.8	21.9
Banda Média/Larga					
Tele-trabalho móvel	MTW	1536	7.7	-	-
Assistência em viagem	ATR	1536	-	4.9	13.5
Jornal electrónico	ENP	1536	5.3	4.4	-
Vídeotelefoneia HD	HVT	1920	15.8	4.9	8.1
Total			28.8	14.1	21.6

6.3.2 Carga média e ritmos de transmissão

A carga média da mistura de aplicações é dada por

$$b_1 = \sum_{k=VOI}^{HVT} U_k \cdot b_k \quad (6.1)$$

onde U_k é a utilização da aplicação k , Tabela 6.2, e os valores de b_k são calculados considerando o comportamento em rajada das aplicações; conseqüentemente, em alguns casos podem-se obter ritmos de transmissão muito inferiores aos máximos apresentados na Tabela 6.2. O cálculo da carga média para ambas as ligações permite efectuar o cálculo do factor de assimetria, A_f , o quociente entre a carga média das ligações nos DL e UL, Tabela 6.3.

Nos cenários considerados, as características para a mobilidade de terminal são as seguintes: estático, ST, pedestre, PD, urbano UB, estradas principais, MR, ou auto-estradas HW. São assumidos diferentes tipos de mobilidade para cada aplicação em cada cenário. É considerada uma distribuição triangular para a velocidade, com média V_{av} e desvio Δ [47], [60]. Os valores para $V_{av} = \Delta = 0, 1, 10, 15 \text{ m.s}^{-1}$ para os cenários ST, PD, UB, e MR, respectivamente, enquanto que no cenário HW $V_{av} = 22.5$ e $\Delta = 12.5 \text{ m.s}^{-1}$.

Tabela 6.3: Factor de assimetria entre DL e UL.

	BCC		URB		ROA	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL
b_1	451.58	492.00	250.02	196.76	380.70	401.20
A_f	1.0895		0.7870		1.0539	
$b_{1-UL} + b_{1-DL}$	943.59		446.78		781.90	

6.4 Capacidade de sistema

Neste trabalho, as hipóteses são equivalentes a considerar uma modulação 64-QAM. Assim, todos os ritmos de transmissão são três vezes superiores aos do UMTS, conduzindo a uma maior capacidade para os novos serviços e aplicações. Hoje em dia a capacidade do UMTS de duas portadoras multiplicado por quatro corresponde aproximadamente, a 400 canais de 16 kb/s cada. Contudo, torna-se necessário assumir a introdução de novas bandas para suportar 600-800 canais, os valores assumidos neste trabalho. É no entanto importante notar que considerar um dado número de canais, para cada componente de serviço é apenas uma forma equivalente de representar o problema e utilizar o algoritmo BPP. Na prática, nos sistemas WCDMA, ritmos de transmissão distintos são suportados por canais de tráfego através da utilização de diferentes factores de espalhamento. Os canais dedicados são normalmente reservados para aplicações em tempo real, tais como as classes conversacional e *streaming*, embora se espere que se possam suportar soluções totalmente IP para aplicações em tempo real no futuro. Lida-se com aplicações sem ser em tempo real através do escalonamento de pacotes de dados sobre canais comuns, partilhados, ou dedicados; nos cálculos, apenas se considera o ritmo de transmissão mínimo para aplicações *best effort*, *Available Bit Rate* (ABR). Estuda-se a influência do *handover* comparando os resultados na ausência e na presença de mobilidade. Em ambos os casos os recursos foram redistribuídos entre as ligações de forma a se conseguir obter uma simetria na fracção de utilizadores activos, ou seja, para compensar a assimetria o número total de canais, por exemplo, 600+600, teve que ser distribuído de forma desigual entre a ligação ascendente e descendente. A probabilidade de bloqueio foi calculada para ambas as ligações, em função de f_a , a fracção de utilizadores activos. Contudo, só se apresentam os resultados e gráficos para a componente de serviço mais limitativa, ou seja IV4. Fazem-se hipóteses para o número potencial de utilizadores, M_T , e da distância de cobertura, R , em cada cenário: $M_T = 250, 100$ e 100 utilizadores para $R = 100$ e 150 m, nos cenários BCC, URB e ROA respectivamente. A Figura 6.1 e a Tabela 6.4 apresentam resultados para 600+600 canais (Can.). Apresenta-se um exemplo para $P_b(f_a)$ para o cenário URB na ligação descendente e (onde existem 529 canais para a ligação (Lig.) descendente (D), restando 671 canais para a ligação ascendente (U)). A partir destes resultados, é fácil obter f_a (através dum do procedimento de inversão, extractando os valores de f_a para $P_b=2\%$ ou $P_{hf} = (P_{hf})_{max}$, na ausência ou presença de mobilidade, respectivamente), Tabela 6.5. É de realçar que a diferença do número de canais entre as ligações descendentes e ascendentes resulta, na presença de mobilidade, em valores semelhantes para o valor da fracção de utilizados f_a suportados em ambas as ligações.

No cenário BCC, como a velocidade dos terminais é baixa, a redução do número de utilizadores suportados entre os casos de ausência e presença de mobilidade é relativa-

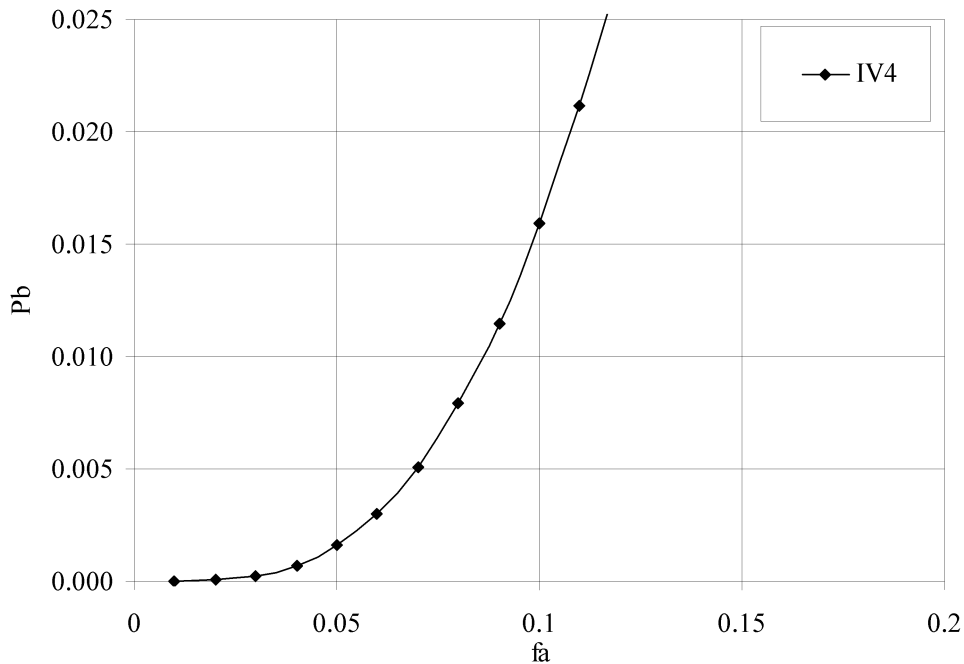


Figura 6.1: Probabilidade de bloqueio em função de f_a para 529 canais (cenário B, ligação descendente).

mente baixa (apenas 23%). Contudo, nos cenários de URB e ROA a redução torna-se mais relevante ($> 60\%$). Na ausência de mobilidade, as diferenças do número de utilizadores entre cenários pode ser explicada pela diferença da carga média, b_1 , da mistura de aplicações. Na presença de mobilidade, contudo, surgem diferenças. O factor mais importante torna-se a alta mobilidade, e o número de utilizadores suportados decresce de 20 para 12, de BCC para URB, e de 12 para 8 utilizadores/km, dos cenários URB para ROA. A Tabela 6.5 apresenta os resultados para 800 canais em cada ligação. Comparando os resultados entre os casos de ausência e presença de mobilidade, Tabela 6.5, conclui-se que existe uma forte degradação nos cenários de mobilidade mais elevada. Enquanto que a redução é de apenas 20% no cenário BCC, nos cenários URB e ROA a redução é maior que 48%. Comparando os casos de 600 e 800 canais por ligação, nos cenários de mobilidade mais elevada, um aumento de 33% no aumento de canais corresponde a um aumento de mais de 125% no número de utilizadores suportados por km, ou seja, ocorre um ganho multiplexagem estatística.

6.5 Leis de Moore e Gilder

É discutido frequentemente na literatura como é que as leis de *Moore* e *Gilder* podem ser generalizadas para os sistemas de comunicações móveis celulares. Contudo, não é suficiente dizer que os ritmos de transmissão típicos irão aumentar, por exemplo, de 9.6 kb/s em GSM para 64 kb/s em GPRS, para 384 kb/s no UMTS, ou para 2 Mb/s no E-UMTS, ou mesmo para 10 Mb/s no *Mobile Broadband System* (MBS) [47]. É também necessário comparar os ritmos do ponto de vista da capacidade do sistema, em kb/s/km²,

Tabela 6.4: f_a suportado e número de utilizadores por km com 600+600 canais na ausência e presença de mobilidade.

Cenário	Lig.	Can.	f_a [%]		$Phf = (P_{hf})_{max}$	Utilizadores por km	
			$P_b=2\%$	$Phf = (P_{hf})_{max}$		ausência	presença
BCC	U	602	2.11	1.64	77.02×10^{-4}	26	20
	D	598	2.16	1.64	77.02×10^{-4}		
URB	U	671	8.86	2.50	11.6×10^{-5}	44	12
	D	529	10.79	2.50	11.6×10^{-5}		
ROA	U	643	6.04	2.63	77×10^{-5}	20	8
	D	557	6.18	2.63	77×10^{-5}		

Tabela 6.5: f_a suportado e número de utilizadores por km com 800+800 canais na ausência e presença de mobilidade.

Cenário	Lig.	Can.	f_a [%]		$Phf = (P_{hf})_{max}$	Utilizadores por km	
			$P_b=2\%$	$Phf = (P_{hf})_{max}$		ausência	presença
BCC	U	828	3.75	3.01	77.02×10^{-4}	46	37
	D	772	3.76	3.01	77.02×10^{-4}		
URB	U	917	16.10	6.11	11.6×10^{-5}	80	30
	D	683	18.57	6.11	11.6×10^{-5}		
ROA	U	851	10.65	5.51	77×10^{-5}	35	18
	D	749	10.96	5.52	77×10^{-5}		

e verificar qual será a evolução efectiva. Assim, será possível perceber como o E-UMTS irá ser um passo na obtenção duma capacidade mais elevada, necessária na 4G, e verificar também que o MBS será a solução para obter uma capacidade na ordem dos Gb/s/km². Extraem-se resultados para a capacidade para GSM e UMTS de [61] (uma e duas células por km, respectivamente), enquanto, no caso do E-UMTS e do MBS (5 células por km) utilizam-se resultados deste artigo e de [47].

Utilizando um exemplo muito simples, pode-se verificar, que considerando um número total de 10 avenidas de um km (por exemplo, numa geometria BCC tipo baixa de *Manhattan*), o ritmo de transmissão suportado por km² será aproximadamente 10 vezes o valor apresentado na Figura 6.2.

Assim, com os valores obtidos para MBS podem-se atingir valores de capacidade de sistema em ambas as ligações na ordem dos Gb/s/km², enquanto que, a partir dos nossos resultados, podemos afirmar que com o E-UMTS como se atingem valores para a capacidade de sistema na ordem dos 170-180 Mb/s/km², com as bandas disponíveis, o E-UMTS será um passo rumo à 4G.

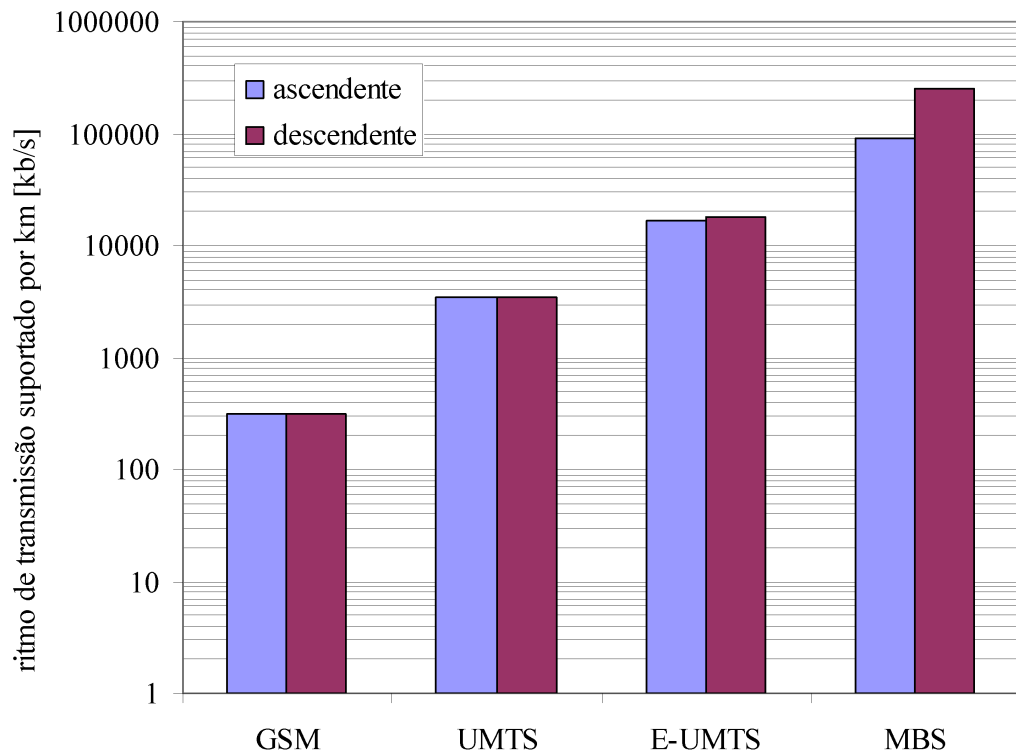


Figura 6.2: Generalização das leis de *Moore* e *Gilder* para comunicações multimédia móveis celulares.

6.6 Sumário e conclusões

Neste capítulo começou-se por apresentar novas formas de encarar o problema do tráfego fonte de multimédia. Embora alguns destes novos modelos já tenham sido incorporados nos trabalhos de simulação do E-UMTS no projecto IST-SEACORN, esta não é uma abordagem seguida neste trabalho. Assim, com base na definição dos cenários de desenvolvimento do projecto IST-SEACORN de algumas hipóteses de mobilidade e para o número de recursos disponíveis, obtiveram-se resultados de tele-tráfego e capacidade de sistema utilizando o modelo BPP, muito útil para efeito de planeamento celular. Comparando os cenários com mobilidade crescente (BCC, URB, e ROA), enquanto que na ausência de mobilidade a capacidade de sistema, medida em termos do número de utilizadores suportados por quilómetro, depende da carga média por aplicação em cada cenário, na presença de mobilidade, este comportamento altera-se e o factor crítico é o aumento da velocidade média, que resulta na redução da capacidade de sistema. Comparando os valores das capacidades do sistema entre GSM, UMTS, E-UMTS e MBS, obtém-se uma generalização das leis de Moore e Gilder para as comunicações móveis multimédia celulares; para além disso, verifica-se que com o E-UMTS serão alcançados os valores para a capacidade de sistema na ordem dos 170-180 Mb/s/km², o que será um passo rumo à 4G.

Capítulo 7

Resultados de Simulação Para Voz

7.1 Cenário

O cenário físico considerado é uma arquitectura celular composta por um número determinado de células dispostas em forma de rotunda ou de uma circular em volta de uma cidade, em que cada célula só é vizinha de duas células adjacentes; a arquitectura celular consiste numa rede *backbone* com as estações base fixas interligadas e com as unidades móveis comunicando com as estações base por ligações sem fios. Estas células justapõem-se umas com as outras assegurando a continuidade das comunicações com diferentes canais de forma a não se ter interferências.

Cada célula tem a mesma capacidade de n canais, quando um utilizador quer comunicar primeiro obtém o número de canais desejados da estação base. No caso de não haver canais disponíveis e suficientes a nova chamada é rejeitada, este comportamento é conhecido como bloqueio de nova chamada.

As novas chamadas são geradas seguindo uma distribuição de *Poisson* com um ritmo de geração λ e tempo de duração da chamada, isto é a duração da chamada se a chamada não for bloqueada, assume-se que é exponencial com média

$$\bar{\tau} = \frac{1}{\mu} \quad (7.1)$$

onde μ é a taxa de serviço.

A transferência de um móvel de uma célula para outra célula enquanto a chamada está a decorrer é chamado de *handover*. Se não existirem canais suficientes disponíveis na nova célula a chamada é bloqueada, este acontecimento é conhecido como falha de *handover*, o tempo de permanência na nova célula $\bar{\tau}_h$, é o tempo que cada utilizador permanece na célula, e segue um a distribuição exponencial com média

$$\bar{\tau}_h = \frac{1}{\eta} \quad (7.2)$$

onde η taxa de atravessamentos, dada por

$$\eta = \frac{V_{av}}{2 * \ln(2)} * \frac{1}{(2R)} \quad (7.3)$$

η é normalizado para uma célula com comprimento $(2R)$.

A taxa de handover γ é dada por

$$\gamma = \frac{\eta}{\mu} \quad (7.4)$$

ou seja é a taxa de atravessamentos sobre a taxa de serviço.

O tempo de ocupação do canal é dada pelo menor tempo entre a duração da chamada e o tempo de permanência na nova célula

$$\bar{\tau}_c = \min(\bar{\tau}, \bar{\tau}_h). \quad (7.5)$$

Como o mínimo de duas variáveis distribuídas exponencialmente também é distribuído exponencialmente, $\bar{\tau}_c$ também é exponencial. Com um cenário em rotunda, Figura 7.1, considerando que o tráfego é homogêneo, isto é, existe a mesma probabilidade de geração de novas chamadas e de *handovers* em todas células, matematicamente $\lambda_i = \lambda \forall i$, $\eta_i = \eta \forall i$, $\sum_{K=1}^M P_{ki} = 1 \forall i$. Neste caso a rotunda têm três células.

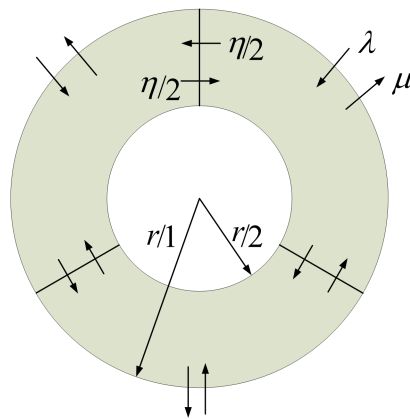


Figura 7.1: Cenário em rotunda com 3 células.

Os utilizadores podem mover-se de uma célula para outra com uma probabilidade de *handover*

$$P_h = \frac{\eta}{(\mu + \eta)}. \quad (7.6)$$

7.2 Parâmetros de serviço nos cenários E-UMTS

A tentativa de chamada em hora de ponta (BHCA) representa o número total de tentativas de chamadas durante um dado período de tempo e vai definir qual a taxa de geração de novas chamadas λ . A cada aplicação j vai corresponder uma taxa de geração λ_j e logo uma $BHCA_j$

$$\lambda_j = BHCA_{j[\min^{-1}]} = \frac{\text{Utilização}_j}{\bar{\tau}_{j[\min]}} * M_T * \rho \quad (7.7)$$

onde M_T é o número de utilizadores na célula, $\bar{\tau}_j$ é duração média da chamada da aplicação j , e ρ é o tráfego médio por utilizador.

Como as novas chamadas são geradas seguindo uma distribuição de *Poisson* com uma taxa portanto o tempo entre chamadas é distribuído exponencialmente, então vai ser obtido o tempo entre a duração das chamadas durante a hora de ponta, em segundos

$$\bar{\tau}_g [s] = \frac{60}{\text{BHCA} [\text{min}^{-1}]}. \quad (7.8)$$

7.3 Fluxograma de simulação

No total, existem cinco ficheiros diferentes das redes de simulação mas todos estas redes tem a mesma estrutura de base, a grande diferença entre elas reside apenas no valor de algumas variáveis ou do número células ligadas entre si, no caso deste trabalho pode ser de três ou de dez células. Portanto apenas só são necessários dois fluxogramas para poder representar a rede. Ambos apresentam a estrutura de uma célula e é válida para qualquer serviço.

O primeiro fluxograma é composto pelas Figuras B.1-B.5 e B.9. E é válido para as redes cujo o modelo é de um cenário com uma única célula. Portanto, neste caso não se considera a mobilidade logo pode-se simplificar em muito a rede.

O segundo fluxograma é composto pelas Figuras B.1-B.9. E é válido para as redes que possuem duas ou mais células (no caso deste trabalho utiliza-se três e dez células) e assim já tem que se considerar a mobilidade. As Figuras B.7 e B.8 mostram que há ligações para outros fluxogramas das células vizinhas. Esta mudança de célula é produzida pelo *handover*.

7.4 Visual SLAM e AweSim

O simulador foi desenvolvido recorrendo a uma ferramenta de simulação com uma perspectiva de modelação de processo (fluxo de transacções), designada como modelação de redes [62], seguindo uma metodologia de abordagem sistemática:

- Identificação das identidades dinâmicas essenciais;
- Caracterização dos respectivos processos, o que implica reconhecer as componentes fundamentais do sistema em estudo (locais onde podem ocorrer filas de espera, pontos de criação ou destruição de entidades, actividades que envolvam as entidades, atributos que caracterizem as mesmas, recursos eventualmente necessários à progressão das entidades, etc.) e as suas interligações lógicas;
- Traçados das correspondentes redes e sub-redes;
- Inclusão de fontes externas, em C/C++ ou Visual Basic.

O simulador desenvolvido permite simular qualquer tipo de serviço, permanente ou com alternância de estados. É também permitida a simulação de uma só aplicação ou de um conjunto de aplicações a decorrerem em simultâneo. Devido ao ambiente de desenvolvimento e ao aumento de experiência associada ao desenvolvimento constante de um simulador para a topologia de rotunda, é possível diminuir o tempo de adopção de outro tipo de topologias mais comuns, como exemplo uma topologia com 7 células, Figura 7.2, em que a geometria de uma célula tem a forma de um hexágono

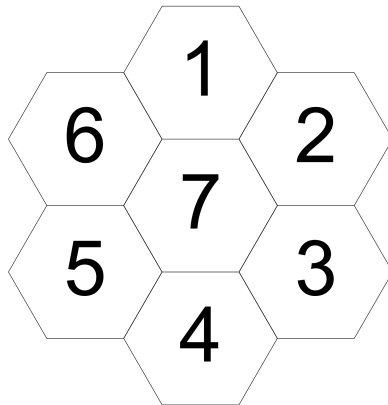


Figura 7.2: Topologia de 7 células em forma de hexágono.

7.5 Geometria dos cenários e simulação

Pretende-se obter resultados de simulação recorrendo aos cenários apresentados na Tabela 3.2, quer em uni-serviço (ou seja um só serviço), quer com um conjunto ou com todas as aplicações em cada cenário a ocorrerem em simultâneo. Pretende-se também simular as aplicações em sistema contínuo ou com alternância dos estados activo/inactivo (*on/off*). Definindo uma duração média de cada período, juntamente com uma distribuição estatística apresentada na Tabela 3.5.

Geometricamente para as simulações considera-se que se está perante uma rotunda com N células geometricamente iguais ou seja possuem a mesma área, e todas as células possuem o mesmo número de canais. As suas fronteiras estão perfeitamente identificáveis e não há sobreposição, havendo sim justaposição entre células, assegurando-se a continuidade das comunicações com diferentes canais, quer isto dizer que não existe interferência entre células. A passagem de célula para célula ou seja os *handovers* só acontecem nas fronteiras que fazem ligação com as células justapostas Figura 7.1.

7.6 Voz modelada como um serviço permanente

Na primeira fase pretende-se comprovar as hipóteses apresentadas em [41] com o objectivo de aferir os resultados produzidos pelo simulador. Para isso foi utilizado um tempo entre a criação das chamadas ($\lambda = 0.5 \text{ min}^{-1}$) que segue uma distribuição exponencial, o que implica que a geração de chamadas siga uma distribuição de *Poisson*. As restantes hipóteses são:

- $\mu = 1 \text{ min}^{-1}$;
- $\eta = (0.01, 0.1, 1, 10) \text{ min}^{-1}$.

O que corresponde a γ com os valores do seguinte intervalo $\gamma = (0.01, 0.1, 1, 10) \text{ min}^{-1}$. Para efeitos de simulação foram considerados os tempos de simulação de um e 6 meses, um, dois e 10 anos. Para esta simulação utiliza-se apenas a aplicação de Voz (VOI), em que cada aplicação/utilizador de VOI ocupa um canal, cada célula têm disponível quatro canais, logo cada célula só suporta quatro utilizadores simultaneamente,

o que implica que sempre que estejam os quatro canais ocupados os utilizadores seguintes que cheguem à célula quer pela criação de uma nova chamada ou por meio de *handover* serão bloqueados, resultando assim um bloqueio. Nas Figuras 7.3-7.12 são apresentados os resultados para P_b e $P_{h,f}$ para simulações com três e 10 células para diversos tempos de simulação um e 6 meses, um, dois e 10 anos e em função de γ . P_b é a probabilidade de bloqueio, ou seja a probabilidade de um utilizador ser bloqueado no início da sua chamada, e $P_{h,f}$ é a probabilidade falha de *handover* ou seja a probabilidade de uma chamada ser bloqueada quando migra de uma célula para outra. O valor teórico é para $P_b = P_{h,f} = 0.00158$.

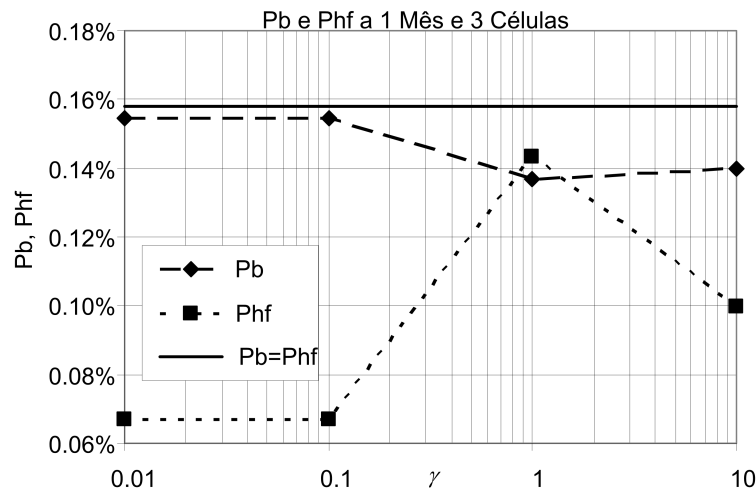


Figura 7.3: P_b e $P_{h,f}$ para VOI permanente com 3 células, simulação a 1 Mês.

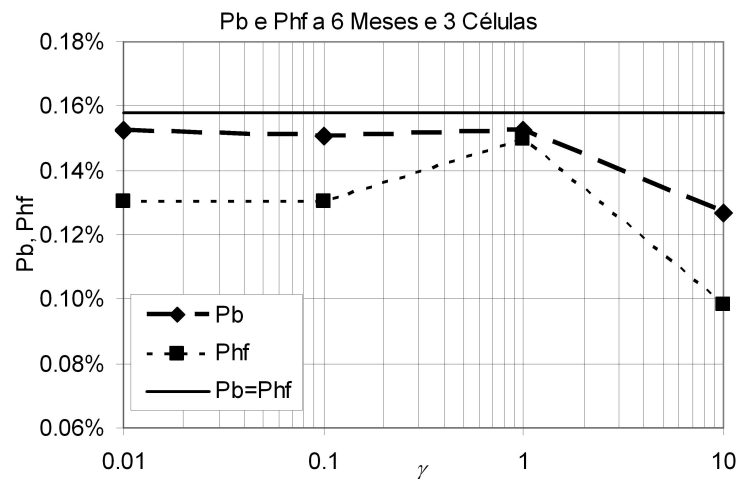


Figura 7.4: P_b e $P_{h,f}$ para VOI permanente com 3 células, simulação a 6 Meses.

Através da análise das Figuras 7.3 a 7.12 que representam apenas a aplicação de voz (VOI), como um serviço contínuo, pode-se concluir que o simulador desenvolvido segue em termos de probabilidade de bloqueio os resultados apresentados em [41]. O valor apresentado em [41] $P_b = 0.00158$ é plenamente conseguido, quando se tem uma configuração

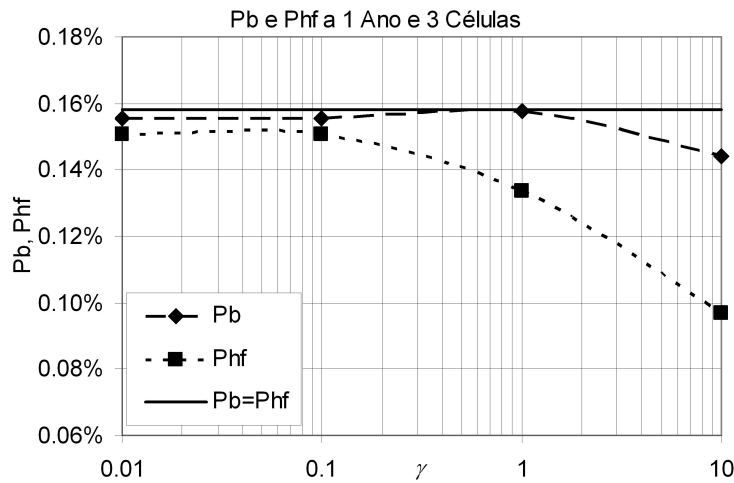


Figura 7.5: P_b e P_{hf} para VOI permanente com 3 células, simulação a 1 Ano.

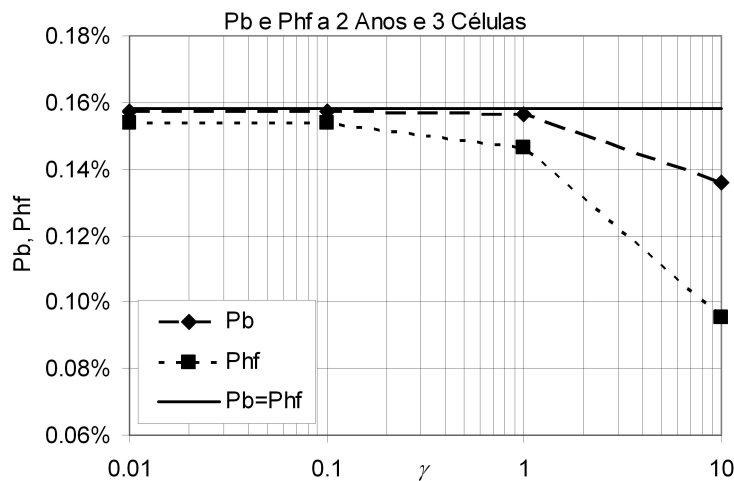


Figura 7.6: P_b e P_{hf} para VOI permanente com 3 células, simulação a 2 Anos.

de 10 células e com um tempo de simulação de 10 anos. Na configuração de 3 células a probabilidade de bloqueio em relação ao resultado apresentado em [41], apresenta um desvio de 1 %, ou seja aceitável do ponto de vista temporal. Para a probabilidade de falha de *handover* o valor de $P_{hf} = 0.00158$ nunca foi alcançado em pleno, ficando no entanto em média com um desvio de 8.6 % em relação ao valor teórico apresentado em [41].

Da análise da configuração de três células conclui-se que as simulações para um e 6 meses não produzem valores estáveis, e suficientemente aproximados aos valores teóricos, ou seja num trabalho futuro dever-se-á ignorar estes valores, pelo menos do ponto de vista estatístico. Para os restantes tempos de simulação todos os valores são considerados fiáveis, ou aproximados aos valores teóricos, sendo o seu desvio inferior a 2 %.

Com uma configuração de 10 células pode-se dizer que todos os valores simulados para a probabilidade de bloqueio são aceitáveis, já que todos eles se aproximam mais ou menos dos valores de $P_b = P_{hf}$ e o apresentado em [41].

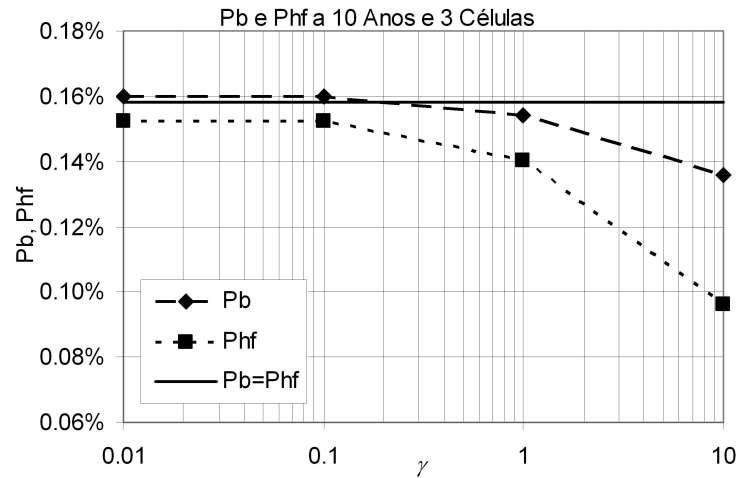


Figura 7.7: P_b e P_{hf} para VOI permanente com 3 células, simulação a 10 Anos.

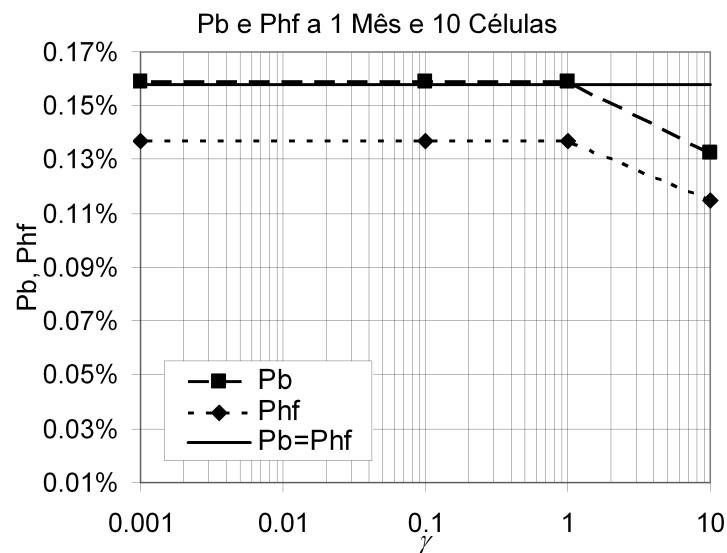


Figura 7.8: P_b e P_{hf} para VOI permanente com 10 células, simulação a 1 Mês.

7.7 Voz modulada como um serviço com períodos *on/off*

7.7.1 Cenário

Comparam-se aplicações permanentes com aplicações em rajada, ou seja com períodos de *on/off*, de momento apenas interessa estudar os parâmetros probabilidade bloqueio, falha de *handover* e bloqueio de *on/off*. Assim como primeira análise pode-se considerar que a probabilidade de bloqueio é análoga nos dois casos, quanto à probabilidade de falha de *handover* à necessidade de recorrer a uma análise mais detalhada.

Durante o período de *handover* a chamada pode estar activa ou inactiva *on/off*, então o sinal da comunicação pode durante o instante de *handover* apresentar uma configuração de qualquer um dos quatro tipos identificados, na Figura 7.13. Com um *handover* do Tipo

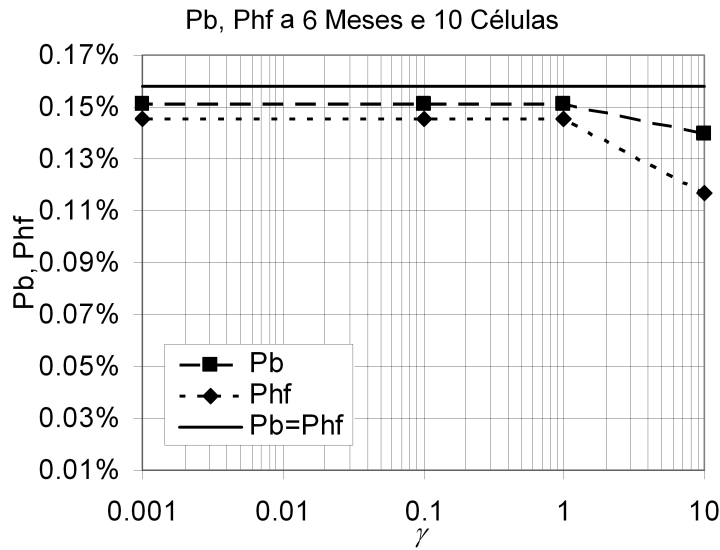


Figura 7.9: P_b e P_{hf} para VOI permanente com 10 células, simulação a 6 Meses.

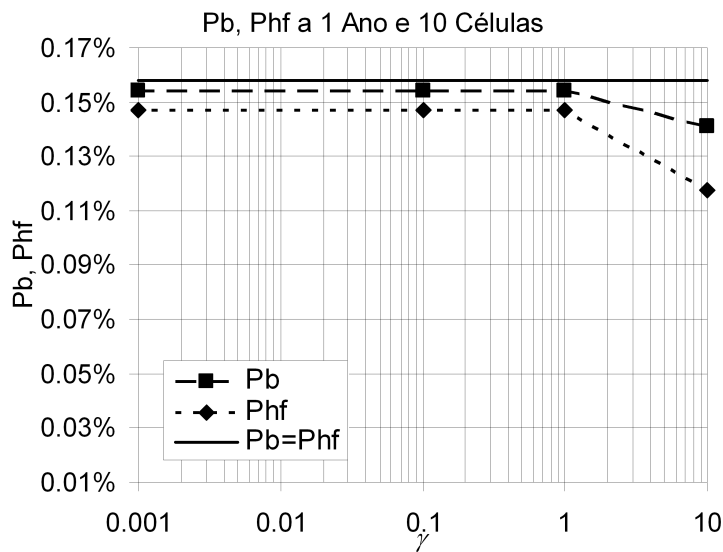


Figura 7.10: P_b e P_{hf} para VOI permanente com 10 células, simulação a 1 Ano.

1 o sinal na célula i está a ocupar canais quando passa para a célula $i + 1$ faz um pedido do mesmo número de canais, no simulador considera-se que esta acção tem duração nula e apenas pode ser aceite ou rejeitada. Com um *handover* do Tipo 2 o período de actividade da chamada ocorre exactamente com o fim do tempo de permanência na célula; quando o utilizador passa para a célula seguinte não vai requisitar canais para prosseguir a sua chamada. O *handover* do Tipo 3 ocorre com a chamada sempre num estado de inactividade logo, não são requisitados canais nem imediatamente antes nem imediatamente depois de ocorrer o *handover*. No *handover* do Tipo 4 ocorre o inverso do *handover* Tipo 2, na célula i a chamada está num período *off*, na fronteira entre as duas células a chamada passa para um período de actividade, ou seja, na célula i o número de canais ocupados é

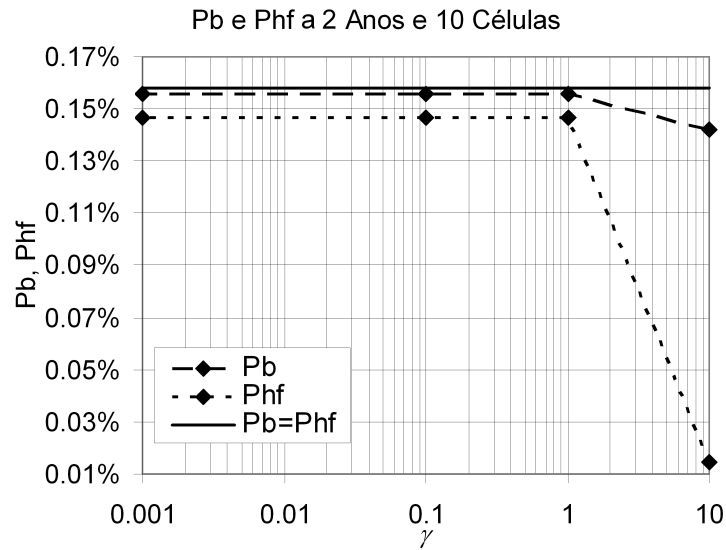


Figura 7.11: P_b e P_{hf} para VOI permanente com 10 células, simulação a 2 Anos.

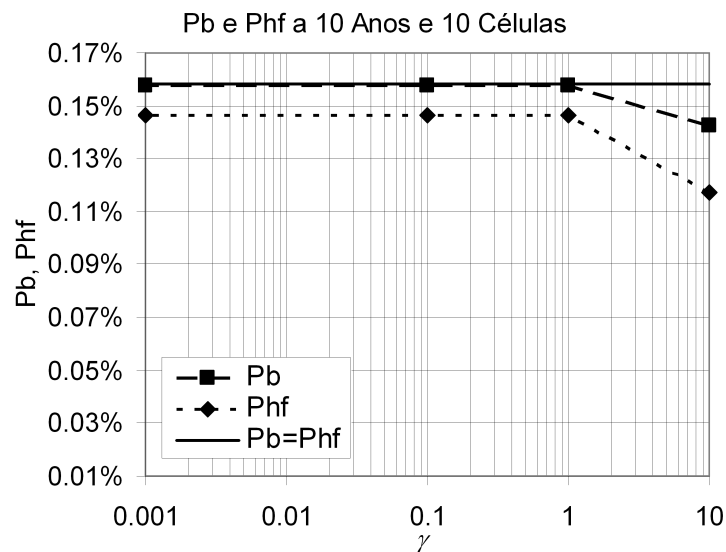


Figura 7.12: P_b e P_{hf} para VOI permanente com 10 células, simulação a 10 Anos.

zero na célula $i + 1$ requisitam-se canais.

7.7.2 Formulação/Reformulação de probabilidades

O conceito de probabilidade de bloqueio, P_b , tem que ser encarado com uma abordagem, onde se define a probabilidade de bloqueio como a fracção entre o número de pedidos de novas chamadas rejeitados e o número de pedidos de novas chamadas, ou seja a probabilidade de bloqueio pode ser também encarada como a probabilidade de bloqueio do primeiro período *on* ou rajada da sessão,

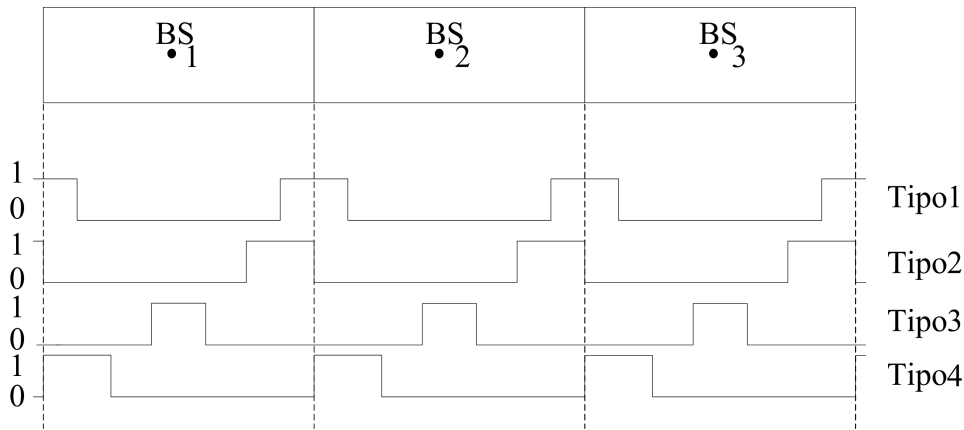


Figura 7.13: Possibilidades de handover.

$$P_b = \frac{\sum \text{número de pedidos de novas chamadas bloqueados}}{\sum \text{número de pedidos novas chamadas}}. \quad (7.9)$$

A falha de *handover* ocorre quando não se consegue transferir uma chamada de uma célula para outra célula, a análise de um tráfego deste tipo com períodos actividade e inactividade (*on/off*), sobreposto com uma geometria definida na formulação do cenário, em que se define claramente qual a área de cobertura da estação base e quais são as suas fronteiras, leva-nos a uma clarificação do problema de conjugar o conceito de *handover* com este tipo de tráfego aplicado ao ambiente móvel.

Analisando o tipo de tráfego em estudo, recorrendo à Figura 7.13, quando um tempo de *on* não pode ser garantido quer este tempo esteja a decorrer, Tipo 1 da Figura 7.13, quer vá decorrer no momento exacto em que ocorre o *handover*, Tipo 4 da Figura 7.13, ou ainda que irá decorrer depois do *handover*, Tipos 2 e 3 da Figura 7.13,

$$P_{hf} = \frac{\sum np_{hb}}{\sum np_h} \quad (7.10)$$

onde np_{hb} é o número de pedidos de *handover* bloqueados e np_h é o número de pedidos de *handover*, em que

$$\sum np_{hb} = \sum (\text{falhas Tipo 1} + \text{falhas Tipo 2} + \text{falhas Tipo 3} + \text{falhas Tipo 4}) \quad (7.11)$$

e

$$\sum np_h = \sum (\text{Tipo 1} + \text{Tipo 2} + \text{Tipo 3} + \text{Tipo 4}). \quad (7.12)$$

A probabilidade bloqueio das rajadas dos períodos *on* ($P_{b_{onoff}}$) assemelha-se à definição de P_b . No entanto, aqui consideram-se os bloqueios de todas as rajadas *on* das que não podem atendidas no seu início, durante toda a sessão, dividindo-se pelo somatório do número dos pedidos *on*

$$P_{b_{onoff}} = \frac{\sum np_{ONb}}{\sum np_{ON}} \quad (7.13)$$

em que np_{ONb} é o número de pedidos de períodos *on* bloqueados, e np_{ON} é o número de pedidos de períodos *on*, onde

$$\sum npONb = \sum (\text{falhas Tipo 1} + \text{falhas Tipo 2} + \text{falhas Tipo 3} + \text{falhas Tipo 4} + \text{(número de falhas de } on \text{ ocorridos na célula)}) \quad (7.14)$$

e

$$\sum npON = \sum \text{Tipo 1} + \text{Tipo 2} + \text{Tipo 3} + \text{Tipo 4} + \text{(número de } on \text{ ocorridos na célula)}. \quad (7.15)$$

7.7.3 Resultados de simulação

Após serem apresentados os resultados de simulação para VOI como um serviço permanente, são apresentados nas Figuras 7.14-7.19 os novos valores de P_b , P_{hf} , $P_{b_{on/off}}$ e $P_{b_{on/off} \text{ Teórico}}$ mas como um serviço com alternâncias de estados *on/off*. Para além dos valores de P_b e P_{hf} apresentam-se também a probabilidade de bloqueio de *on/off*, representa a probabilidade da aplicação ser bloqueada quando acede a cada rajada da componente de serviço activa. Para as simulações de VOI como um serviço com alternâncias de estados *on/off* foram utilizadas as mesmas hipóteses físicas de VOI como um serviço permanente com três e dez células, em cada célula estão disponíveis quatro canais, para períodos de um, dois e dez anos. Para caracterizar os períodos *on/off* utilizam-se as hipóteses da Tabela 3.5, ou seja o período de *on* é igual a 1.4 segundos e o período de *off* é igual a 1.7 segundos.

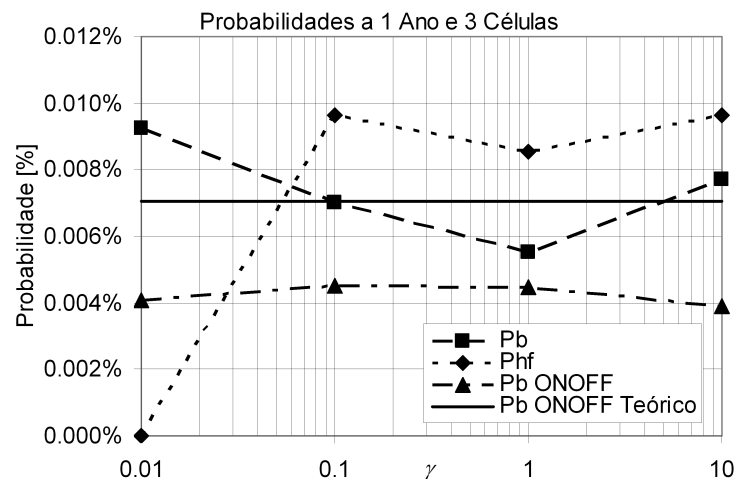


Figura 7.14: P_b , P_{hf} , $P_{b_{on/off}}$ e $P_{b_{on/off} \text{ Teórico}}$ com 3 células, simulação a 1 Ano.

Comparando a situação do serviço de voz ser modulando como uma aplicação contínua ou ser modelada como uma aplicação com períodos *on/off*, extraem-se as seguintes conclusões. Quando se passou a utilizar o serviço de voz com tempos de *on/off*, as probabilidade de bloqueio e de falha de *handover* passam a valer apenas 5 % em relação aos valores apresentados quando a voz é serviço contínuo. Verifica-se que nos casos simulados $P_{b_{on/off}}$ é mais baixa do que a probabilidade de bloqueio. Pode-se dizer que, neste

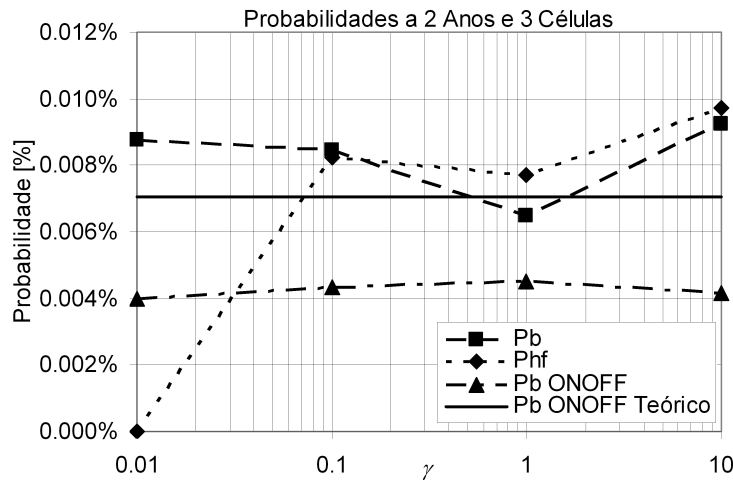


Figura 7.15: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ com 3 células, simulação a 2 Anos.

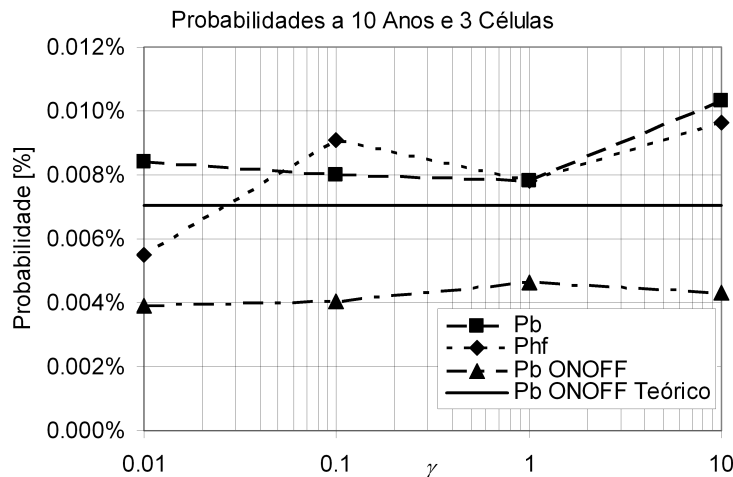


Figura 7.16: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ com 3 células, simulação a 10 Anos.

caso, um utilizador tem menor probabilidade de não conseguir realizar uma chamada do que "perder" a chamada por bloqueio das rajadas *on* no decurso da mesma. Quando se introduz a modulação com alternâncias entre os tempo de *on/off*, os valores das probabilidades de bloqueio e de falha de *handover* passam a ser muito menores. No entanto só se pode revelar realmente a validade deste conceito na validação do modelo BPP que é apresentado no Capítulo 8 e de uma forma mais lata quando se simular um cenário multi-serviço com diversas aplicações, a decorrerem ao mesmo tempo.

7.8 Sumário e conclusões

Neste capítulo apresentou-se o cenário físico considerado para efeitos de simulação, composto por um número determinado de células dispostas em forma de rotunda. Cada célula tem uma capacidade de n canais. É também apresentado o modelo para o ritmo de geração

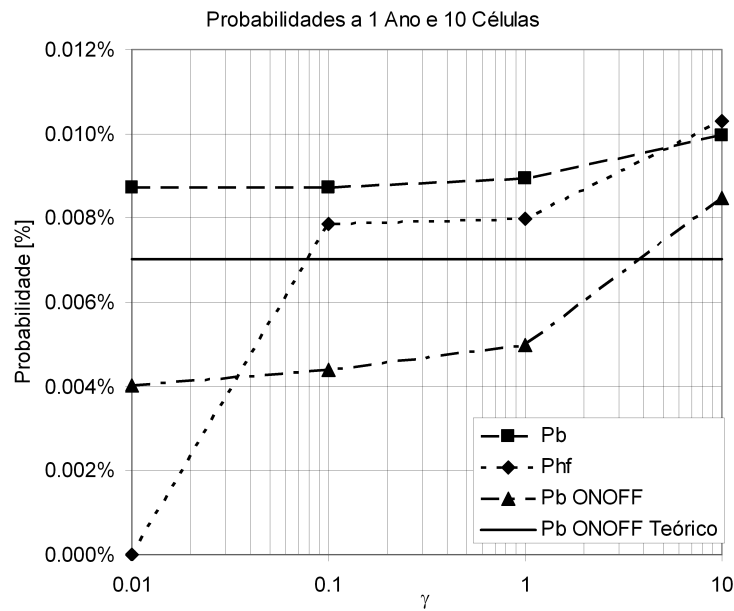


Figura 7.17: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Teórico}}$ com 10 células, simulação a 1 Ano.

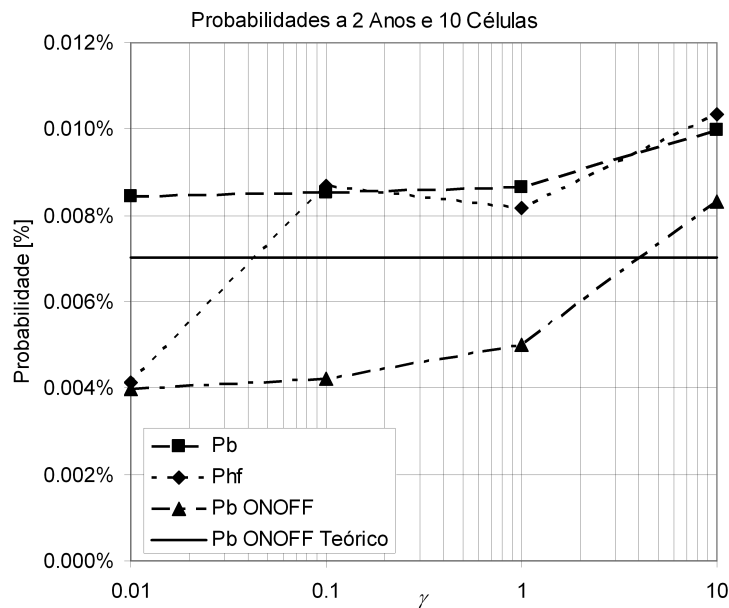


Figura 7.18: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Teórico}}$ com 10 células, simulação a 2 Anos.

de novas chamadas, que segue uma distribuição de *Poisson*, o tempo de permanência das chamadas nas células, as taxas de atravessamentos e de *handover* e o tempo médio de ocupação do canal. São apresentados os fluxogramas que serviram de base para a construção do simulador em Visual SLAM, cujos detalhes também são apresentados. De seguida, apresentam-se a geometria dos cenários e a simulação com a voz como um serviço permanente. Conclui-se que o simulador desenvolvido segue, em termos de probabilidade de bloqueio, os resultados apresentados em [41]. O valor apresentado em [41] $P_b = 0.00158$

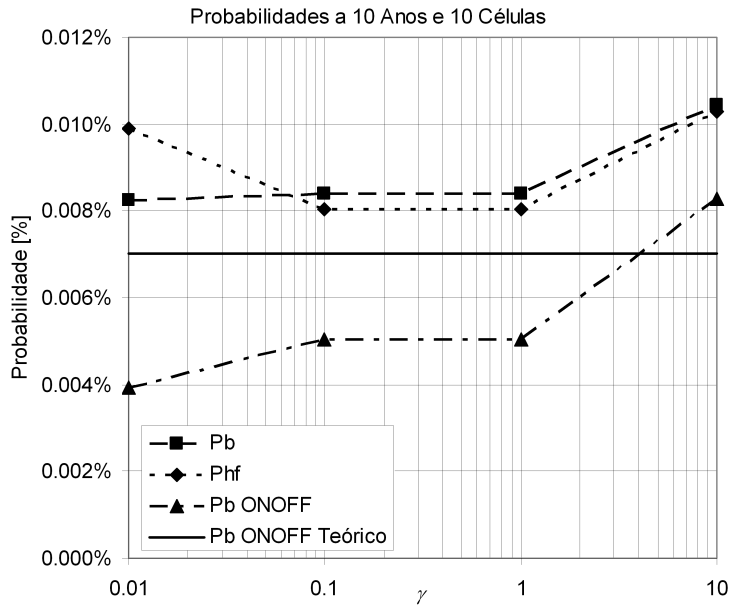


Figura 7.19: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ com 10 células, simulação a 10 Anos.

($n=4$ canais) é plenamente conseguido, quando se tem uma configuração de 10 células e com um tempo de simulação de 10 anos.

Aqui apresentou-se também a formulação do cenário de simulação com períodos *on/off*, apresentando-se a formulação/reformulação da probabilidades (probabilidade de bloqueio e probabilidade de falha de *handover*) e introduzindo-se a formulação da probabilidade de bloqueio dos períodos de *on/off*. Quando se passou a utilizar o serviço de voz com rajadas *on/off*, as probabilidades de bloqueio e de falha de *handover* passam a valer apenas 5 % em relação aos valores apresentados quando a voz é um serviço contínuo; neste caso, a probabilidade de um utilizador não conseguir realizar uma chamada é menor que a probabilidade dele "perder" a chamada por bloqueio das rajadas *on* no decurso da mesma.

Capítulo 8

Validação do Modelo BPP

8.1 Hipóteses

A validação do modelo BPP apresentado no Capítulo 4 é feita em duas fases. Na primeira fase, faz-se a validação com um único serviço, o serviço de voz. Na segunda fase, utiliza-se um cenário com duas aplicações distintas, voz e vídeotelefonia. As hipóteses consideradas são as apresentadas nas Tabelas 8.1-8.3 e em [63].

Para a validação do modelo, utiliza-se uma topologia de dez células, dispostas numa geometria de rotunda. Considera-se também as hipóteses apresentadas em [63].

Tabela 8.1: Hipóteses para o serviço de VOI em ambiente de rajada.

ρ	BHCA [min^{-1}]	$\bar{\tau}_g$ [s]
0.05	0.2333	257.1429
0.10	0.4667	128.5714
0.15	0.7000	85.7143
0.20	0.9333	64.2857
1.00	4.6667	12.8571

O tempo médio entre chamadas é

$$\bar{\tau}_g [s] = \frac{60}{\text{BHCA} [\text{min}^{-1}]} \quad (8.1)$$

o intervalo entre chamadas λ_h calcula-se da seguinte forma a partir de λ ,

$$\lambda = \frac{1}{\bar{\tau}_g}. \quad (8.2)$$

A fracção de utilizadores activos f é calculada da seguinte forma

$$f = \frac{\rho}{1 + \rho}. \quad (8.3)$$

Como os dados de entrada do programa de cálculo da probabilidade de bloqueio *on/off* são proporcionais a f calcula-se λ , da seguinte forma

$$\lambda = \frac{f}{\rho} \cdot \lambda_h. \quad (8.4)$$

Os valores obtidos, são os apresentados na Tabela 3.1, onde também se apresenta resultados para a probabilidade bloqueio (valor teórico calculado a partir do modelo de BPP).

Tabela 8.2: Dados de entrada e simulação do programa de cálculo de $P_{b_{onoff} Teórico}$ (Programa em Pascal).

ρ	$\bar{\tau}_g$ [min]	λ	$f = \rho/(1 + \rho)$	λ_l	$P_{b_{onoff} Teórico}$
0.05	4.2857	0.2333	0.04761905	0.22222222	0.00000352
0.06	3.5714	0.2800	0.05660377	0.26415094	0.00000692
0.07	3.0612	0.3267	0.06542056	0.30529595	0.00001210
0.08	2.6786	0.3733	0.07407407	0.34567901	0.00001968
0.09	2.3810	0.4200	0.08256881	0.38532110	0.00002965
0.10	2.1429	0.4667	0.09090909	0.42424242	0.00004287
0.11	1.9481	0.5133	0.09909910	0.46246246	0.00005943
0.12	1.7857	0.5600	0.10714286	0.50000000	0.00008016
0.13	1.6484	0.6067	0.11504425	0.53687316	0.00010493
0.14	1.5306	0.6533	0.12280702	0.57309942	0.00013387
0.15	1.4286	0.7000	0.13043478	0.60869565	0.00016812
0.16	1.3393	0.7467	0.13793103	0.64367816	0.00020699
0.17	1.2605	0.7933	0.14529915	0.67806268	0.00025049
0.18	1.1905	0.8400	0.15254237	0.71186441	0.00030010
0.19	1.1278	0.8867	0.15966387	0.74509804	0.00035451
0.20	1.0714	0.9333	0.16666667	0.77777778	0.00041551
1.00	0.2143	4.6667	0.50000000	2.33333333	0.01694966

Considerando a taxa de serviço μ constante, e as hipóteses da Tabela 8.3 para a taxa de *handover*, γ , é fácil calcular a taxa de atravessamentos η a partir da seguinte expressão,

$$\eta = \gamma \cdot \mu. \quad (8.5)$$

Assim pode-se calcular o tempo médio de permanência na célula $\bar{\tau}_h$ a partir de

$$\bar{\tau}_h = \frac{1}{\mu}. \quad (8.6)$$

8.2 Resultados para VOI

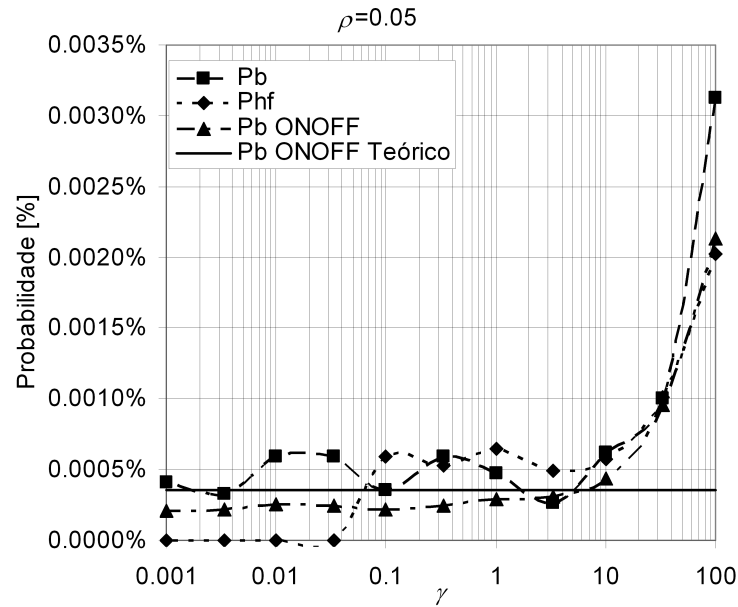
8.2.1 Topologia em rotunda ou circular urbana

Com as hipóteses apresentadas nas Tabelas 8.1-8.3 foram realizadas simulações no simulador desenvolvido em AweSim, cujos os resultados de P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ são apresentadas nas Figuras 8.1-8.5, juntamente com os valores teóricos de $P_{b_{onoff}}$, obtidos a partir do modelo BPP (programa em Pascal).

Da análise das Figuras 8.1-8.5 observa-se que com o aumento gradual do tráfego oferecido, as probabilidades de bloqueio, de falha de *handover* de e bloqueio de *on/off* também aumenta. Em todos os casos, a probabilidade de falha de *handover* é aproximadamente igual à probabilidade de bloqueio até a um dado valor de γ ; a partir de $\gamma \approx 10$

Tabela 8.3: Tempo de permanência.

$\mu[s^{-1}]$	γ	$\eta[s^{-1}]$	$\bar{\tau}_h$
0.016667	0.00100	0.000017	60000.0
	0.00333	0.000056	18000.0
	0.01000	0.000167	6000.0
	0.03333	0.000556	1800.0
	0.10000	0.001667	600.0
	0.33333	0.005556	180.0
	1.00000	0.016667	60.0
	3.33333	0.055556	18.0
	10.00000	0.166667	6.0
	33.33333	0.555556	1.8
	100.00000	1.666667	0.6

Figura 8.1: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de γ e $\rho=0.05$.

a probabilidade de bloqueio é sempre maior que a probabilidade de falha de *handover*, o que concorda com os resultados teóricos apresentados na literatura para uni-serviço, como serviço permanente (sem ser em rajada [38]). Em todos os casos a probabilidade de bloqueio dos períodos *on/off* teórica e simulada coincidem (de forma aproximada) quando $\gamma = 1$. Ou seja quando o tempo de permanência na célula coincide com o tempo da chamada, Figuras 8.6 e 8.7.

Na Figura 8.5, para $\rho = 1$ a probabilidade de bloqueio e a probabilidade falha de *handover* deixam de ser coincidentes a partir de $\gamma \approx 0.1$, e com a probabilidade de bloqueio superior à probabilidade de falha de *handover*, resulta que são aproximadamente iguais aos apresentados em [38]. Neste caso, a probabilidade de bloqueio dos períodos *on/off* Teórica é sempre superior à probabilidade de bloqueio dos períodos *on/off* simulada apenas se aproximando quando $\gamma = 100$. No Anexo A são apresentados os gráficos de P_b ,

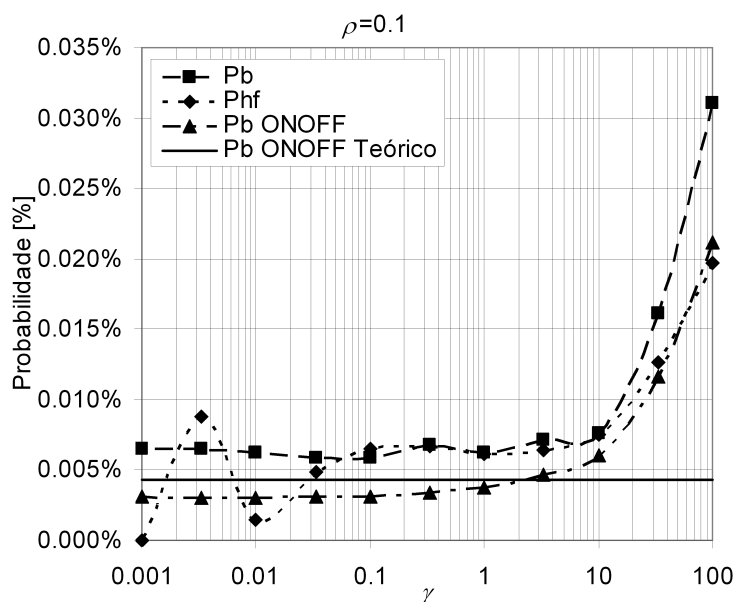


Figura 8.2: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Teórico}}$ como função de γ e $\rho=0.1$.

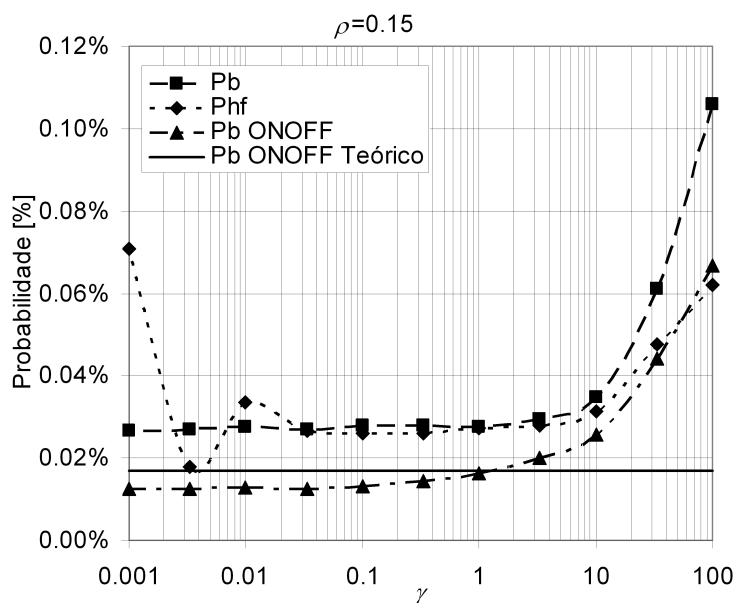


Figura 8.3: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Teórico}}$ como função de γ e $\rho=0.15$.

P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Teórico}}$ em função de ρ para γ constante.

Quando $\gamma = 1$ as probabilidades de bloqueio e falha de *handover* são coincidentes, Figuras 8.6 e 8.7; as probabilidades de bloqueio de *on/off* teórico e simulado também coincidem. Quando γ é maior do que um a probabilidade de bloqueio é sempre maior que a probabilidade de falha de *handover*, Figuras 8.6 e 8.7. Por outro lado, a probabilidade de bloqueio de *on/off* teórico, é menor que a probabilidade de bloqueio *on/off* simulado. Para valores de γ menores do que um, como a probabilidade de bloqueio de *on/off* teórica,

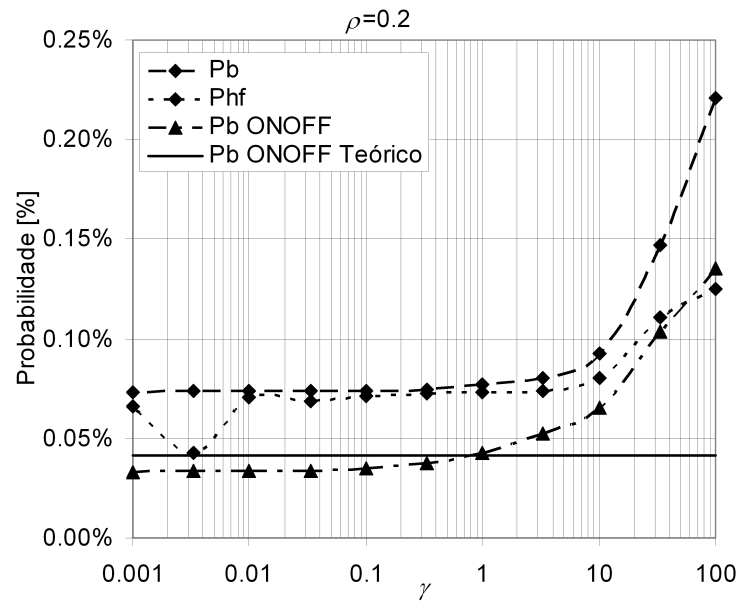


Figura 8.4: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de γ e $\rho=0.2$.

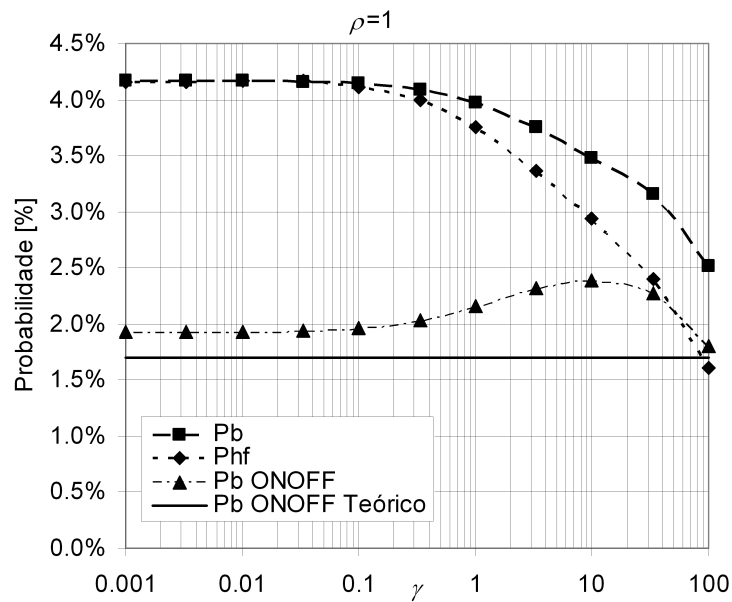


Figura 8.5: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de γ e $\rho=1$.

é sempre maior que a probabilidade de bloqueio de *on/off* simulada, Figuras 8.6 e 8.7, as probabilidades de bloqueio de falha de *handover* apresentam comportamentos idênticos, mas de uma forma não uniforme.

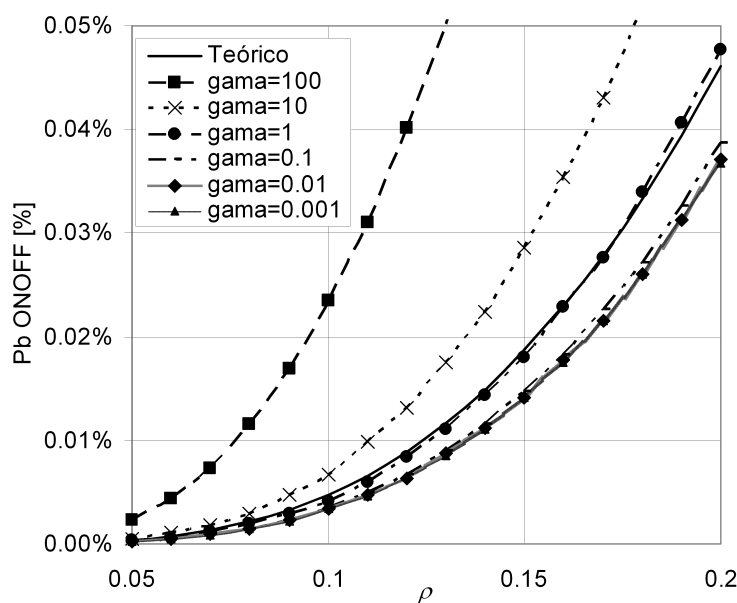


Figura 8.6: $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ .

8.2.2 Alteração das geometrias de simulação: topologia em hexágono com 7 células

Nesta secção tenta-se verificar o impacto das geometrias das células no simulador, com a primeira geometria em forma de rotunda, Figura 7.1, e a segunda geometria com 7 células, Figura 7.2. Nesta comparação as condições de simulação são iguais nos dois casos, na construção do simulador com 7 células foi tomado em atenção que estávamos perante um cenário com reutilização toroidal, para garantir bons resultados estatísticos [64]. Esta condicionante foi também tomada em consideração no cenário de 10 células, no cenário de 7 células o maior desafio reside no número de fronteiras que existe em cada célula, já que se passa de 2 células vizinhas na configuração de 10 células para 6 células vizinhas na configuração de 7 células, para se entender melhor os caminhos das realimentações apresenta-se a Figura do Anexo C.

Da análise das Figuras 8.2 e 8.8, conclui-se que a simulação com uma geometria com 10 células dispostas em rotunda ao contrário do que poderia prever não fornece resultados muito diferentes do que o caso das 7 células, por isso em futuros desenvolvimentos do simulador o cenário com 7 células pode ser dispensado. As pequenas diferenças existentes para $\gamma < 0.01$ tem muito pouca expressão em termos de desempenho do sistema, pois como é referido em [17], a Probabilidade de bloqueio deve ser no máximo 2%. No caso das Figura 8.2 e 8.8 a diferença é de 0.01%, o que está bastante abaixo dos valor máximo admissível.

Para tentar perceber melhor a pequena flutuação de valores na Figura 8.8 foram feitas simulações com $\rho = 0.17$, os resultados são apresentados na Figura 8.9. É fácil observar que este pequeno aumento leva a que os valores sejam mais estáveis, não existindo o mesmo fenómeno que se verifica na Figura 8.8 para $\gamma < 0.01$.

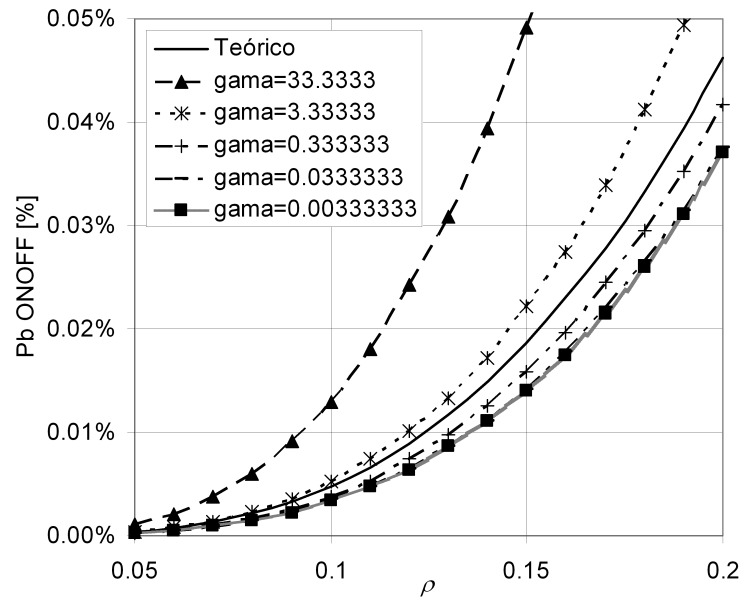


Figura 8.7: $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ .

8.3 Mistura de VOI e VTE

Nas Tabela 8.4 e 8.3 apresentam-se as hipóteses para a mistura de voz e vídeotelefonia. Para a validação do modelo, neste caso, utiliza-se a topologia de três células, dispostas numa geometria de rotunda.

Nas Figuras 8.10-8.17 apresentam-se resultados para o cenário com aplicações VOI e VTE a decorrer em simultâneo. No caso de VOI $P_{b_{onoff} Teórico}$ nunca intersecta o valor de $P_{b_{onoff}}$ simulado; no caso de VTE, no entanto, $P_{b_{onoff} Teórico}$ intersecta $P_{b_{onoff}}$ simulado quando γ é superior a 10, podendo-se considerar que a intersecção ocorre para valores de γ próximos de 100.

Para VTE observa-se que os valores de P_b e $P_{b_{onoff}}$ simulados coincidem; isto deve-se ao facto de VTE ser uma aplicação contínua logo é permanente só tendo um período *on*, e assim P_b e $P_{b_{onoff}}$ coincidem.

Comparando VOI como único serviço ou VOI no caso do multi-serviço, para os valores de ρ simulados, observa-se que os valores das probabilidades de VOI aumentam em qualquer caso; para VTE não se pode tirar qualquer conclusão relativamente a este aspecto, pois VTE nunca foi simulada como único serviço.

Quando se compara P_b e P_{hf} , verifica-se que, para valores de γ mais baixos os resultados para VTE são mais altos do que para VOI, para valores de γ mais elevados verifica-se que os resultados de VTE e VOI se aproximam, no caso em que $\rho=0.2$, os valores de P_b são muito próximos.

As Figuras 8.18 e 8.19 apresentam uma comparação dos resultados entre $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ em função de ρ para todos os γ simulados.

Pode-se concluir que os valores simulados só concordam com o valor teórico para valores de ρ muito baixos, Figuras de 8.18 e 8.19, para valores de ρ mais elevados, no caso de VOI o valor de $P_{b_{onoff} Teórico}$ torna-se muito mais elevado que os valores simulados. No caso de VTE, a situação inverte-se e o valor de $P_{b_{onoff} Teórico}$ é inferior aos valores

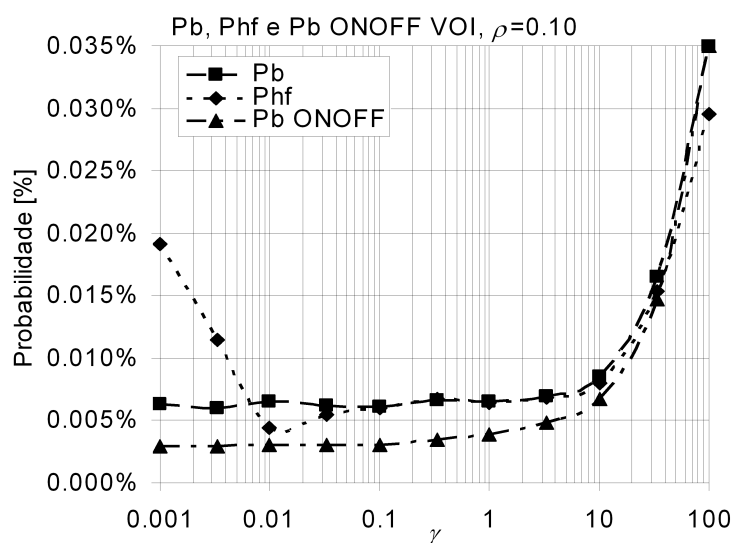


Figura 8.8: P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.1$, com 7 células.

Tabela 8.4: Hipóteses para o multi-seviço com VOI e VTE.

ρ	VOI		VTE	
	BHCA [min^{-1}]	$\bar{\tau}_g$ [s]	BHCA [min^{-1}]	$\bar{\tau}_g$ [s]
0.05	0.4022	149.1713	0.1533	391.3046
0.06	0.4827	124.3094	0.1840	326.0870
0.07	0.5631	106.5509	0.2147	279.5031
0.08	0.6436	93.2320	0.2453	244.5652
0.09	0.7240	82.8729	0.2760	217.3913
0.10	0.8044	74.5856	0.3067	195.6522
0.11	0.8849	67.8051	0.3373	177.8656
0.12	0.9653	62.1547	0.3680	163.0435
0.13	1.0458	57.3736	0.3987	150.5017
0.14	1.1262	53.2755	0.4293	139.7516
0.15	1.2067	49.7238	0.4600	130.4348
0.16	1.2871	46.6160	0.4907	122.2826
0.17	1.3676	43.8739	0.5213	115.0895
0.18	1.4480	41.4365	0.5520	108.6957
0.19	1.5284	39.2556	0.5827	102.9748
0.2	1.6089	37.2928	0.6133	97.8261
1	8.0444	7.4586	3.0667	19.5652

simulados. Nesta mistura VOI e VTE com 3 células e 10 anos de período de simulação, enquanto que $P_{b_{onoff\ Teórico}}$ é sempre mais elevado que o valor simulado para VOI, para VTE o valor de $P_{b_{onoff\ Teórico}}$ toma valores mais baixos que os valores resultantes de simulação para γ s acima de ≈ 50 . Isto quer dizer que na presença de mobilidade, e quando as rajadas de voz são misturadas com o serviço permanente de videotelefonia, o modelo teórico proposto para $P_{b_{onoff}}$ é sempre pessimista relativamente aos resultados de simu-

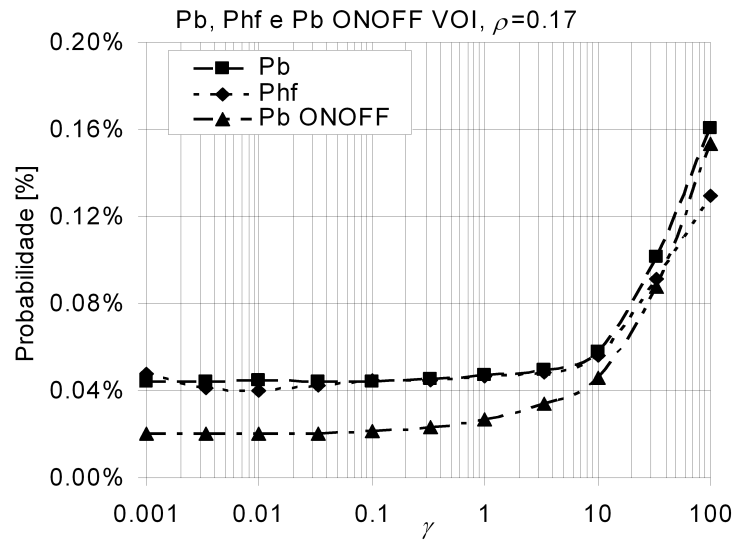


Figura 8.9: P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.17$, com 7 células.

Tabela 8.5: Dados de entrada e simulação do programa de cálculo de $P_{b_{onoff}}$ (Programa em Pascal) para VOI e VTE.

ρ	VOI			VTE		
	$\bar{\tau}_g$ [min]	λ	$P_{b_{onoff} Teórico}$	$\bar{\tau}_g$ [min]	λ	$P_{b_{onoff} Teórico}$
0.05	0.4022	0.5556	1.38104E-05	0.1533	0.5556	8.37207E-05
0.06	0.4827	0.6667	2.60064E-05	0.1840	0.6667	0.000159848
0.07	0.5631	0.7778	4.37754E-05	0.2147	0.7778	0.000272762
0.08	0.6436	0.8889	6.78932E-05	0.2453	0.8889	0.000428774
0.09	0.7240	1.0000	9.89371E-05	0.2760	1.0000	0.000633185
0.10	0.8044	1.1111	0.000137748	0.3067	1.1111	0.000893315
0.11	0.8849	1.2222	0.000184241	0.3373	1.2222	0.001210521
0.12	0.9653	1.3333	0.000238444	0.3680	1.3333	0.001586902
0.13	1.0458	1.4444	0.000300986	0.3987	1.4444	0.002028912
0.14	1.1262	1.5556	0.000371915	0.4293	1.5556	0.002539135
0.15	1.2067	1.6667	0.000449219	0.4600	1.6667	0.003105059
0.20	1.6089	2.2222	0.000943233	0.6133	2.2222	0.00692559

lação, enquanto que para VTE o modelo torna-se otimista. Na prática isto quer dizer que o tráfego de VTE parece ser dominante e tem um impacto muito forte. O tráfego de VOI é formado por períodos muito pequenos e beneficia de um ganho associado de uma multiplexagem estatística e o seu desempenho não é afectado.

8.3.1 Comparação do aumento de canais disponível

Observando as Figuras 8.12 e 8.13, observa-se que valores mais baixos de ρ , $0.001 < \rho < 0.01$, que P_{hf} no caso de VOI é mais baixo aos valores esperados e no caso de VTE os valores de P_{hf} é mais alto que o esperado. Isto significa que para estes valores de ρ , o

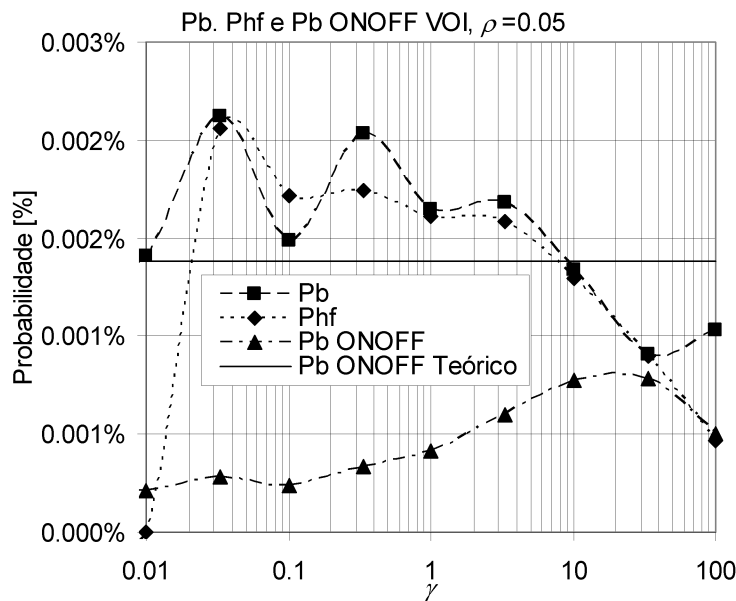


Figura 8.10: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff Teórico}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.05$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.

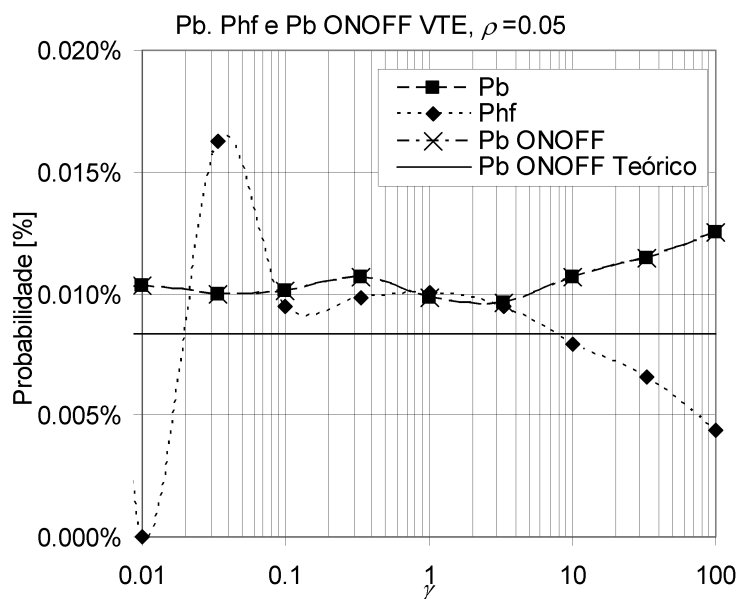


Figura 8.11: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff Teórico}}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.05$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.

serviço de VOI encontra uma possibilidade de aumentar o número de utilizadores suportados em *handover*, logo o número de chamadas bloqueadas por *handover* vai ser mais baixo. De forma a se entender este fenómeno de forma mais detalhada, foram realizadas simulações para as mesmas condições, mas com VOI e VTE a operarem sozinhas, ou seja, não há partilha de canais e cada célula tem 48 canais disponíveis para si.

Da análise da Figura 8.20 conclui-se que um sistema com 48 canais disponíveis para

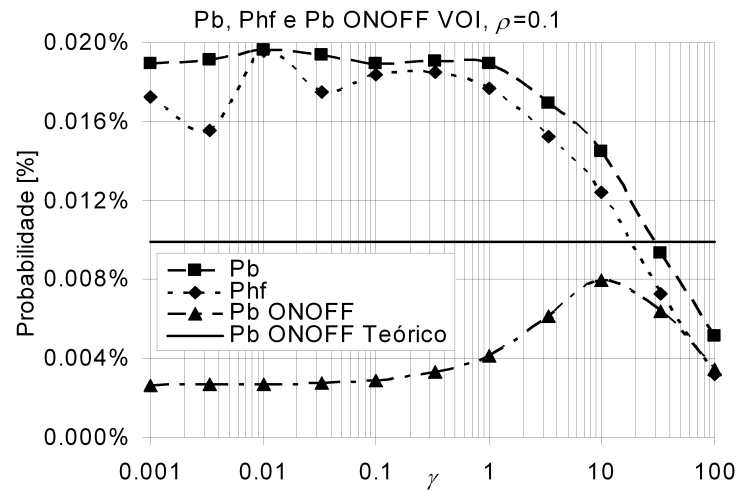


Figura 8.12: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff}Teórico}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.

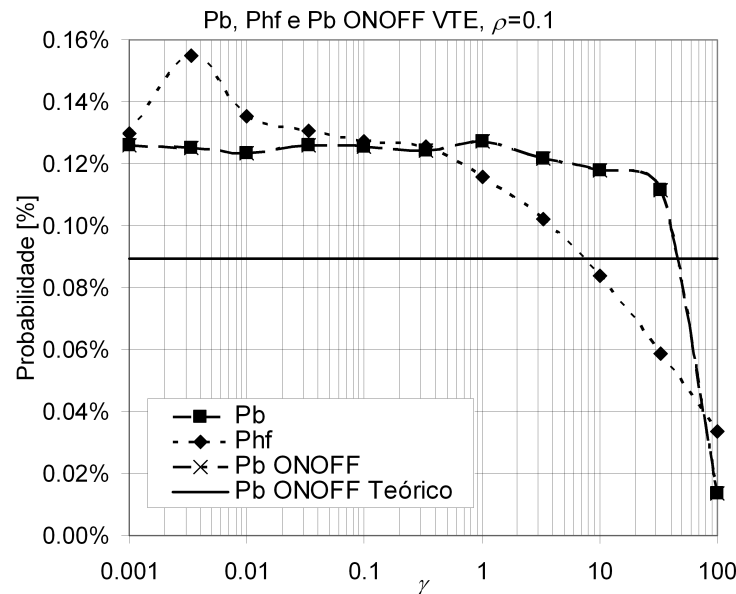


Figura 8.13: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff}Teórico}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.

o serviço de voz estaria sobredimensionado, pois com as cargas do sistema definidas para esta simulação, em 10 anos, nunca são produzidos quaisquer tipos de bloqueios, sejam bloqueio de chamada de *handover* ou de períodos *on/off*.

Comparando as Figuras 8.13 e 8.21 que no próprio serviço de VTE quando ρ é mais pequeno os valores de P_{hf} tendem a ser mais elevados que P_b embora não seja preocupante este fenómeno. Tomando como referência o valor de $\gamma = 1$ como referência observa-se que os valores de P_b e P_{hf} tendem a ser 4.6 vezes mais baixos, neste caso em que se tem somente VTE a operar sozinha o número de clientes bloqueados é 4.6 vezes menos do que no caso em que se tem VTE e VOI a operarem ao mesmo tempo e a partilharem os 48

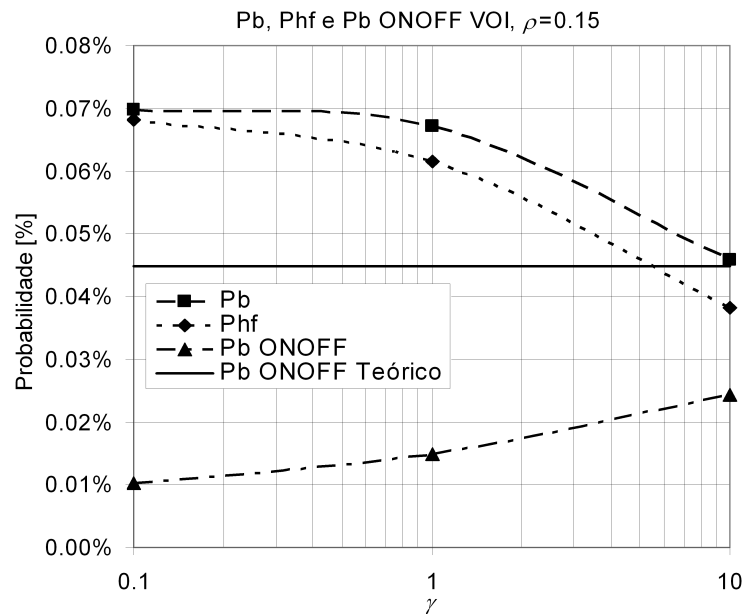


Figura 8.14: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Teórico}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.15$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.

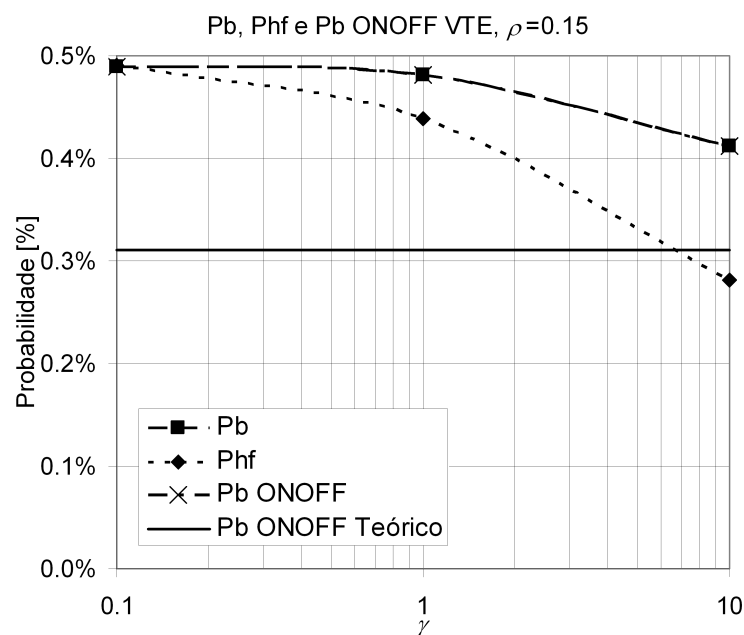


Figura 8.15: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Teórico}}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.15$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.

canais. É também interessante observar os valores obtidos para $\gamma = 100$, verifica-se que os valores são muito aproximados ou seja com a redução do tempo de permanência dos utilizadores nas células os pacotes do serviço de voz e serviço permanente de videotelefonía prejudicam-me menos em relação a tempos de permanência nas células muito mais elevados, ou seja no estudo deste é benéfico o facto dos utilizadores aumentarem a sua

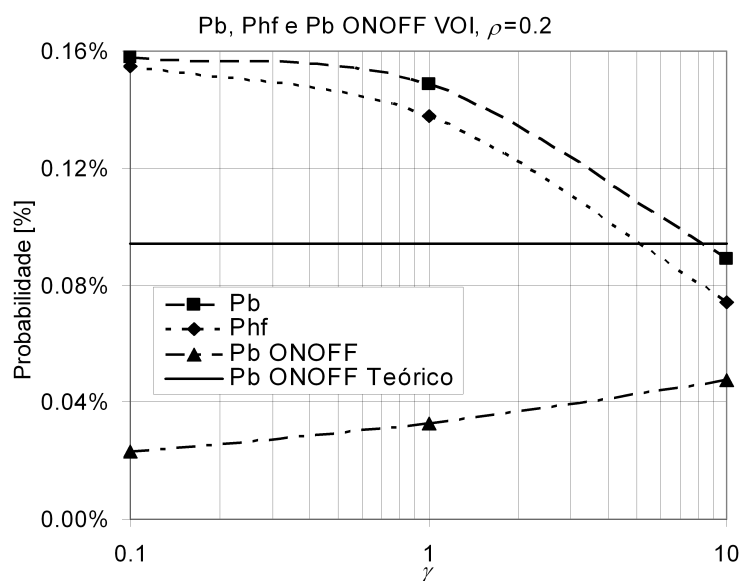


Figura 8.16: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Te\acute{o}rico}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.2$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.

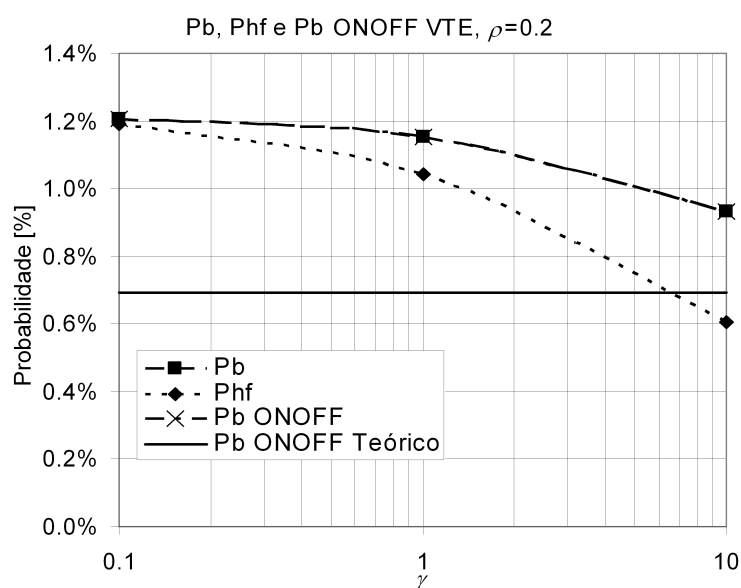


Figura 8.17: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Te\acute{o}rico}}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.2$, em multi-serviço com 48 canais partilhados.

velocidade.

Depois desta análise foi proposto e simulado o aumento ligeiro do número de canais para servir tráfego de voz. Esta decisão foi tomada tendo em atenção que não existem canais de guarda no simulador. Note-se que com 48 canais se podem suportar quatro sessões de VTE simultaneamente, não sobrando quaisquer canais para o serviço de VOI. A proposta foi de mais 4 canais, ou seja, um aumento de 8.3 % no número de canais disponíveis. Este valor teve em conta as simulações anteriores, onde só era simulada a

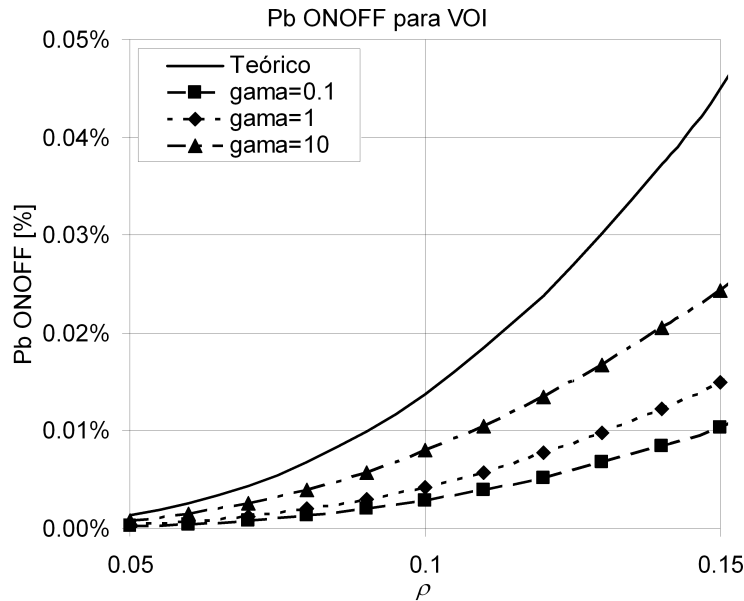


Figura 8.18: $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VOI, como função de ρ , em multi-serviço com 48 canais partilhados.

aplicação de VOI só se disponibilizando 4 canais. Assim, pretende-se verificar se nos valores de γ mais baixos o serviço de voz deixa de prejudicar a aplicação de VTE. Das simulações, obtiveram-se as Figuras 8.22 e 8.23. Observa-se que para ambas as aplicações, as probabilidades de bloqueio e falha de *handover* baixaram. De forma drástica no caso de VOI e com valor de referência de $\gamma = 1$ aproximando-se praticamente do caso em que VOI opera sozinha. Nesta comparação, no caso em que temos 52 canais partilhados, para voz o valor de P_b é mais do que 1000 vezes inferior do que no caso em que temos 48 canais partilhados.

No caso de VTE o aumento de 48 para 52 canais permitiu reduzir no caso de os valores de P_b e P_{hf} . Para $\gamma = 1$ a redução varia entre 4.6 e 4.7 vezes. No entanto, para valores de γ inferiores o comportamento de P_{hf} é oscilatório, ou seja, não constante. Este comportamento pode ser devido ao impacto do serviço de voz, que poderá ter o mesmo comportamento, influenciando a aplicação de VTE.

8.4 Sumário e conclusões

Neste Capítulo, partindo de hipóteses simples para os serviços de voz e vídeotelefonia, foi apresentada a validação do modelo BPP proposto no Capítulo 4. Numa primeira fase, a validação foi feita com um único serviço, o serviço de voz, e numa segunda fase utilizou-se um cenário com duas aplicações, voz e vídeotelefonia, a decorrerem em simultâneo. Apresentaram-se os resultados de P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ no caso em que só temos o serviço de voz a decorrer. Concluiu-se que, com o aumento gradual do tráfego oferecido, as probabilidades de bloqueio, de falha de *handover* e de bloqueio de *on/off* também aumentam. Em todos os casos, a probabilidade de falha de *handover* é aproximadamente igual à probabilidade de bloqueio até a um dado valor de γ ; a partir de $\gamma \approx 10$ a probabili-

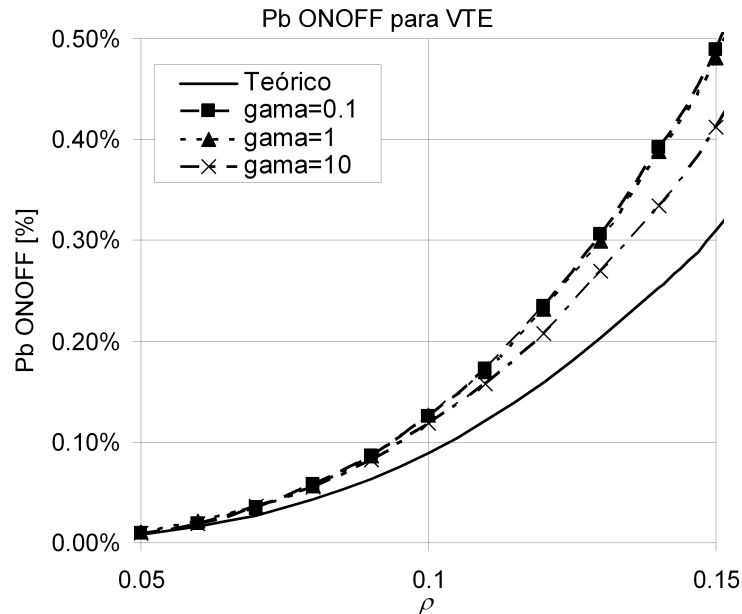


Figura 8.19: $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$, VTE, como função de ρ , em multi-serviço com 48 canais partilhados.

dade de bloqueio é sempre superior à probabilidade de falha de *handover*, o que concorda com os resultados teóricos apresentados na literatura para uni-serviço como serviço permanente (sem ser em rajada [38]). Em todos os casos, a probabilidade de bloqueio dos períodos *on/off* teórica e simulada coincidem (de forma aproximada) quando $\gamma = 1$. Ou seja quando o tempo médio de permanência na célula coincide com o tempo médio de duração da chamada, Figuras 8.6 e 8.7.

No caso apresentado, em que os serviços de VOI e VTE decorreram em simultâneo, para o serviço VOI, $P_{b_{onoff} Teórico}$ nunca intersecta o valor de $P_{b_{onoff}}$ simulado; no caso do serviço VTE, no entanto, $P_{b_{onoff} Teórico}$ intersecta $P_{b_{onoff}}$ simulado quando γ é superior a 10, podendo-se considerar que a intersecção ocorre para valores de γ próximos de 100. Quando se comparam P_b e P_{hf} , verifica-se que, para valores de γ mais baixos os resultados para VTE são superiores aos de VOI; para valores de γ mais elevados verifica-se que os resultados de VTE e VOI se aproximam; no caso em que $\rho=0.2$, os valores de P_b são muito próximos.

Foi apresentada a comparação do aumento de canais disponível no mesmo cenário de simulação. O cenário que serviu de base para esta comparação foi um cenário multi-serviço com 48 canais partilhados em que VOI e VTE competiam entre si para obtenção de canais. Devido ao comportamento assistido em alguns resultados, foram estudados estes comportamentos para isso recorreu-se às Figuras 8.12 e 8.13. Para tentar perceber os resultados obtidos procedeu-se a um cenário de simulação em VOI tinha à sua disposição 48 canais não partilhados e o mesmo foi feito para VTE. Conclui-se que nestas condições aplicação de VOI não apresenta nenhum bloqueio logo o sistema está a ser desaproveitado. No caso de VTE e tomando como referência o valor de $\gamma = 1$ como referência observa-se que os valores de P_b e P_{hf} tendem a ser mais baixos na ordem das 4.6 vezes, neste caso em que se tem somente VTE a operar sozinha o número de de clientes

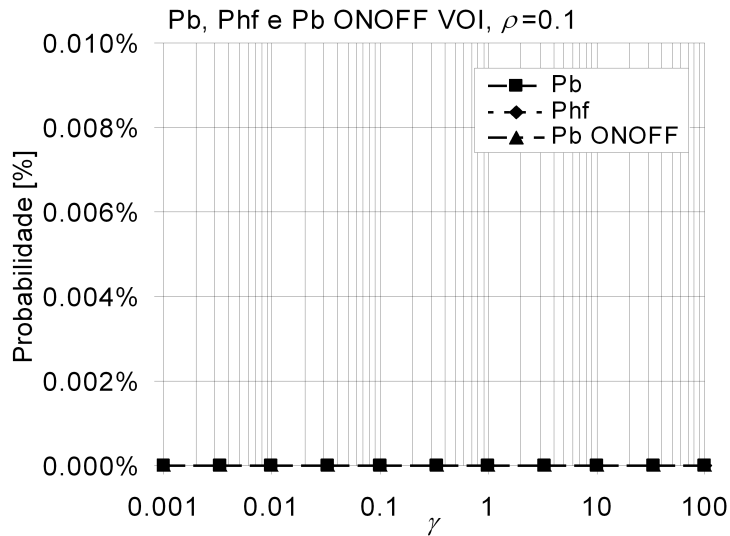


Figura 8.20: P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 48 canais dedicados.

bloqueados é 4.6 vezes menos do que no caso em que se tem VTE e VOI a operarem ao mesmo tempo e a partilharem os 48 canais.

Foi também proposto e simulado um cenário em que VOI e VTE partilham 52 canais ou seja foi proposto o aumento de mais 4 canais o que representa um aumento de 8.3% no número de canais disponíveis. Concluiu-se que observa-se que para ambas as aplicações as probabilidades de bloqueio e falha baixaram no caso de VOI e com valor de referência de $\gamma = 1$ de forma drástica aproximadamente 1000 vezes menos que no caso de 48 canais partilhados. No caso de VTE o aumento de 48 canais para 52 canais permitiu reduzir no caso de $\gamma = 1$ os valores de P_b e P_{hf} entre 4.6 e 4.7 vezes menos. Conclui-se que com a introdução de quatro canais adicionais a presença do serviço de voz deixa de afectar negativamente a aplicação de VTE. Embora o serviço de voz ocupe poucos recursos, ausência de margem adicional afecta drasticamente o desempenho do sistema.

Para a comparação da alteração das geometrias de simulação da análise das Figuras 8.2 e 8.8, conclui-se que a simulação com uma geometria com 10 células dispostas em rotunda ao contrário do que poderia prever não fornece resultados muito diferentes do que o caso das 7 células, por isso em futuros desenvolvimentos do simulador o cenário com 7 células pode ser dispensado.

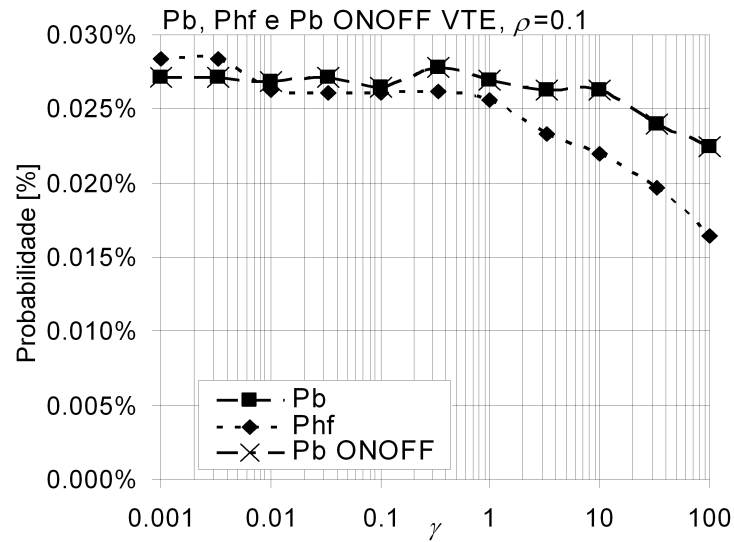


Figura 8.21: P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 48 canais dedicados.

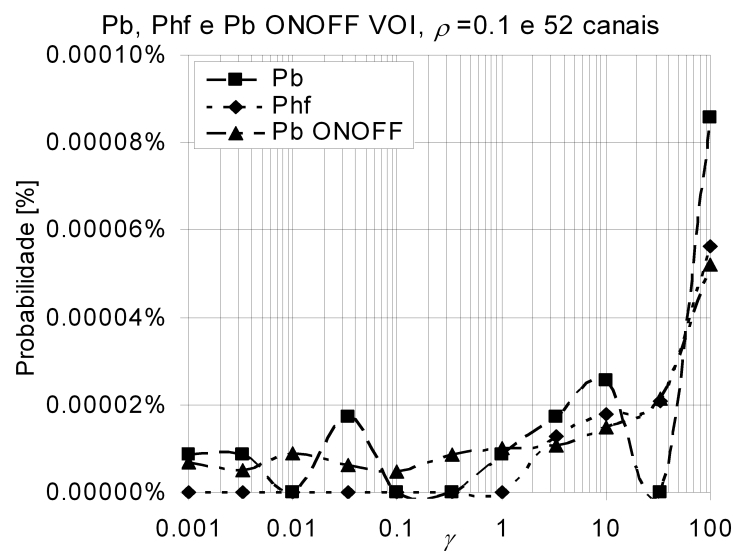


Figura 8.22: P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VOI, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 52 canais compartilhados.

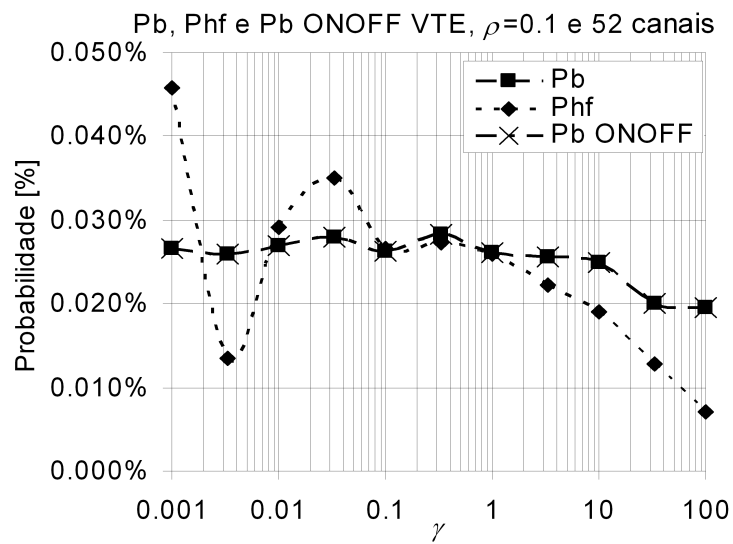


Figura 8.23: P_b , P_{hf} e $P_{b_{onoff}}$, VTE, como função de γ e $\rho=0.1$, em multi-serviço com 52 canais partilhados.

Capítulo 9

Conclusões e Trabalho Futuro

9.1 Conclusões

No princípio desta dissertação apresenta-se uma breve introdução sobre a evolução da segunda geração até ao E-UMTS. A 3G das comunicações móveis caracteriza-se por trazer melhorias em relação às anteriores gerações.

É também apresentada a evolução WCDMA/ Enhanced UMTS que começa pela introdução do *High-Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) nas especificações da *Release 5* da 3GPP/WCDMA, e continua na *Release 6* com a introdução do *High-Speed Uplink Packet Access* (HSUPA), o HSDPA e o HSUPA quando juntos são referidos como o *High Speed Packet Access* (HSPA). Justifica-se também que os requisitos mais importantes para os sistemas celulares que fornecem pacotes de dados são elevados débitos de transmissão e baixos atrasos na entrega dos mesmos, enquanto que ao mesmo tempo deve-se manter uma óptima cobertura e providenciar uma alta capacidade do sistema. Para alcançar estas necessidades, o HSPA introduz diversas técnicas base no WCDMA descritas em [20], tais como modulações de ordem mais elevada, escalonamento mais rápido (dependente do canal) e controlo do ritmo de transmissão, e o H-ARQ rápido, com uma combinação suave. No seu conjunto, o HSPA disponibiliza ritmos de transmissão superiores a aproximadamente 14 e 5.7 Mb/s no *downlink* e *uplink*, respectivamente, reduzindo significativamente o número de ciclos e aumentando a capacidade, em comparação com a *Release 99*.

O processo de simulação do E-UMTS, tecnologias interface no *link* rádio, níveis de rede e sistema, tiveram em estudo durante um tempo razoável no projecto SEACORN (*Simulation of Enhanced UMTS Access and Core Networks*). Em [25] foi proposto que o número de serviços apresentados podem ser simulados ao mesmo tempo é limitado, pela capacidade de cálculo disponível das plataformas, e foi requerida uma optimização do cenários a serem simulados. Conclui-se que só alguns cenários (e com aplicações escolhidas com algum cuidado), podem ser suficiente para produzir resultados de uma forma realísticas nos cenários mais relevantes. Foram também apresentados os parâmetros de de sessão para as aplicações propostas, e foi também apresentado o modelo de voz que é modelada por períodos de *on/off*.

Apresenta-se o modelo de tráfego, as hipóteses iniciais que estão na base do modelo, o processo de chegadas BPP que é uma das maneiras de medir as características de um processo de chegada dos utilizadores. São também apresentados os algoritmos utilizados

que permitem que o tempo no processo de simulação e os recursos computacionais utilizados sejam muito pequenos, em relação ao modelo matemático utilizado. O modelo de utilizador tratado no fim deste capítulo explica como se comportam os utilizadores e como eles utilizam os recursos e as misturas das aplicações disponíveis.

No Capítulo 6, começou-se por apresentar novas formas de encarar o problema do tráfego fonte de multimédia. Embora alguns destes novos modelos já tenham sido incorporados nos trabalhos de simulação do E-UMTS, no projecto IST-SEACORN, esta não é uma abordagem seguida neste trabalho. Assim, com base na definição dos cenários de desenvolvimento do projecto IST-SEACORN de algumas hipóteses de mobilidade e para o número de recursos disponíveis, obtiveram-se resultados de tele-tráfego e capacidade de sistema utilizando o modelo BPP, muito útil para efeitos de planeamento celular. Comparando os cenários com mobilidade crescente (BCC, URB, e ROA), enquanto que na ausência de mobilidade a capacidade de sistema, medida em termos do número de utilizadores suportados por quilómetro, depende da carga média por aplicação em cada cenário, na presença de mobilidade, este comportamento altera-se e o factor crítico é o aumento da velocidade média, que resulta na redução da capacidade de sistema. Comparando os valores das capacidades do sistema entre GSM, UMTS, E-UMTS e MBS, obtém-se uma generalização das leis de *Moore* e *Gilder* para as comunicações móveis multimédia celulares; para além disso, verifica-se que com o E-UMTS serão alcançados os valores para a capacidade de sistema na ordem dos 170-180 Mb/s/km², o que será um passo rumo à 4G.

No Capítulo 7 apresentou-se o cenário físico considerado para efeitos de simulação, composto por um número determinado de células dispostas em forma de rotunda. Cada célula tem uma capacidade de n canais. É também apresentado o modelo para o ritmo de geração de novas chamadas, que segue uma distribuição de *Poisson*, o tempo de permanência das chamadas nas células, as taxas de atravessamentos e de *handover* e o tempo médio de ocupação do canal. Em anexo são apresentados os fluxogramas que serviram de base para a construção do simulador em Visual SLAM, cujos detalhes também são apresentados. De seguida, apresentou-se a geometria dos cenários e a simulação com a voz como um serviço permanente. Conclui-se que o simulador desenvolvido segue, em termos de probabilidade de bloqueio, os resultados apresentados em [41]. O valor apresentado em [41] $P_b = 0.00158$ ($n=4$ canais) é plenamente conseguido, quando se tem uma configuração de 10 células e com um tempo de simulação de 10 anos.

Aqui, apresentou-se também a formulação do cenário de simulação com períodos *on/off*, apresentando-se a formulação/reformulação da probabilidades (probabilidade de bloqueio e probabilidade de falha de *handover*) e introduzindo-se a formulação da probabilidade de bloqueio dos períodos de *on/off*. Quando se passou a utilizar o serviço de voz com rajadas *on/off*, as probabilidade de bloqueio e de falha de *handover* passam a valer apenas 5 % em relação aos valores apresentados quando a voz é serviço contínuo; neste caso, tem a probabilidade de um utilizador não conseguir realizar uma chamada é menor que a probabilidade dele "perder" a chamada por bloqueio das rajadas *on* no decurso da mesma.

No Capítulo 8 foi apresentada a validação do modelo BPP, apresentado no Capítulo 4. Numa primeira fase considerou-se um único serviço, o serviço de voz, e numa segunda fase utilizou-se um cenário com duas aplicações, voz e vídeotelefonia, a decorrerem em simultâneo. Apresentaram-se também as hipóteses para ambos os serviços,

voz e vídeotelefonia. Apresentaram-se os resultados de P_b , P_{hf} , P_{bonoff} e $P_{bonoff\ Teórico}$, no caso em que só temos o serviço de voz a decorrer. Concluiu-se que com o aumento gradual do tráfego oferecido, as probabilidades de bloqueio, de falha de *handover* e de bloqueio de *on/off* também aumenta. Em todos os casos, a probabilidade de falha de *handover* é aproximadamente igual à probabilidade de bloqueio até a um dado valor de γ ; a partir de $\gamma \approx 10$ a probabilidade de bloqueio é sempre maior que a probabilidade de falha de *handover*, o que concorda com os resultados teóricos apresentados na literatura para uni-serviço como serviço permanente (sem ser em rajada [38]). Em todos os casos a probabilidade de bloqueio dos períodos *on/off* teórica e simulada coincidem (de forma aproximada) quando $\gamma = 1$. Ou seja, quando o tempo de permanência na célula coincide com o tempo da chamada, Figuras 8.6 e 8.7.

No caso em que os serviços de VOI e VTE decorrem em simultâneo, para o serviço VOI, $P_{bonoff\ Teórico}$ nunca intersecta o valor de P_{bonoff} simulado; no caso de VTE, no entanto, $P_{bonoff\ Teórico}$ intersecta P_{bonoff} simulado quando γ é superior a 10, podendo-se considerar que a intersecção ocorre para valores de γ próximos de 100. Quando se compara P_b e P_{hf} , verifica-se que, para valores de γ mais baixos, os resultados para VTE são mais altos do que para VOI; para valores de γ mais elevados verifica-se que os resultados de VTE e VOI se aproximam; no caso em que $\rho=0.2$, os valores de P_b são muito próximos.

Foi apresentada a comparação do aumento de canais disponível no mesmo cenário de simulação. O cenário que serviu de base para esta comparação foi um cenário multi-serviço com 48 canais partilhados em que VOI e VTE competiam entre si para obtenção de canais. Devido ao comportamento assistido em alguns resultados, foram estudados estes comportamentos para isso recorreu-se às Figuras 8.12 e 8.13. Para tentar perceber os resultados obtidos procedeu-se a um cenário de simulação em VOI tinha à sua disposição 48 canais não partilhados e o mesmo foi feito para VTE. Conclui-se que nestas condições aplicação de VOI não apresenta nenhum bloqueio logo o sistema está a ser desaproveitado. No caso de VTE e tomando como referência o valor de $\gamma = 1$. Observa-se que os valores de P_b e P_{hf} tendem a ser mais baixos na ordem das 4.6 vezes, neste caso em que se tem somente VTE a operar sozinha o número de clientes bloqueados é 4.6 vezes menos do que no caso em que se tem VTE e VOI a operarem simultaneamente e a partilharem os 48 canais.

Foi também proposto e simulado um cenário em que VOI e VTE partilham 52 canais ou seja foi proposto o aumento de mais 4 canais o que representa um aumento de 8.3% no número de canais disponíveis. Concluiu-se que para ambas as aplicações as probabilidades de bloqueio e falha de *handover* baixaram no caso de VOI e com valor de referência de $\gamma = 1$ de forma drástica aproximadamente 1000 vezes menos que no caso de 48 canais partilhados. No caso de VTE o aumento de 48 canais para 52 canais permitiu reduzir no caso de $\gamma = 1$ os valores de P_b e P_{hf} entre 4.6 e 4.7 vezes menos. Conclui-se que com a introdução de quatro canais adicionais a presença do serviço de voz deixa de afectar negativamente a aplicação de VTE. Embora o serviço de voz ocupe poucos recursos, ausência de margem adicional afecta drasticamente o desempenho do sistema.

Para a comparação da alteração das geometrias de simulação da análise das Figuras 8.2 e 8.8, conclui-se que a simulação com uma geometria com 10 células dispostas em rotunda ou circular urbana, ao contrário do que se poderia prever, não fornece resultados muito diferentes do que o caso das 7 células, por isso em futuros desenvolvimentos do simulador o cenário com 7 células não precisa necessariamente considerado.

9.2 Sugestões para trabalho futuro

Para trabalho futuro é proposto o refinamento e desenvolvimento do simulador ou a proposta de um novo simulador de forma a reduzir o tempo de cálculo e de estudo dos resultados produzidos. Tendo em atenção todos os fenómenos adjacentes a estas propostas, pretende-se também implementar a partilha de canais proposto em [65], onde se pretende integrar voz e serviços de dados, considerando um *buffer* finito para armazenar pacotes de dados, Figura 9.1, e adaptando-se as fronteiras dos recursos disponíveis ao número de utilizadores. É também proposta a exploração e a optimização e interoperabilidade entre diversos sistemas de comunicação móvel de modo a poder-se estudar um cenário de *Always Best Connect*.

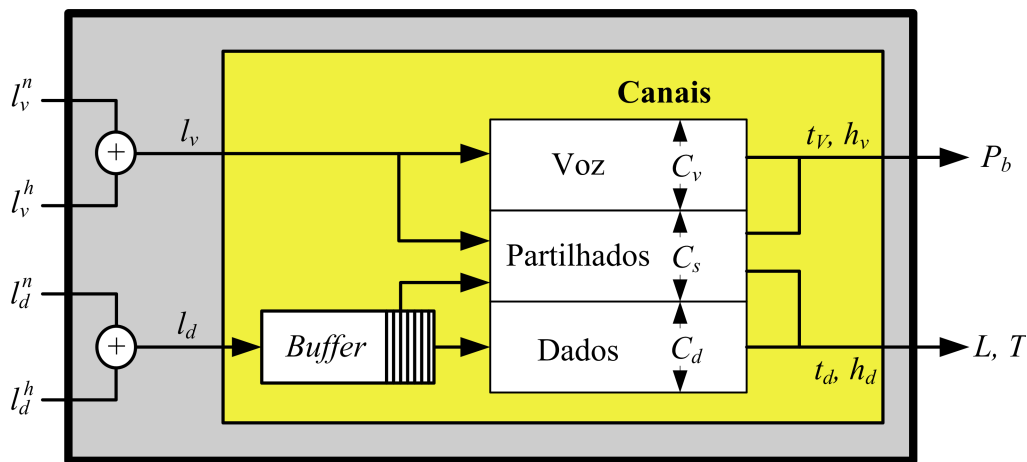


Figura 9.1: Modelo de tráfego para a estação base (adaptado de [65]).

Referências

- [1] <http://seacorn.ptinovacao.pt/>
- [2] A. Alan B. Pritsker and Jean J. O'Reilly, *Simulation with Visual SLAM and AweSim*, John Wiley & Sons, New York, New York, USA, 1999.
- [3] F. J. Velez and R. R. Paulo, "High Capacity Wideband Traffic in Enhanced UMTS: a Step Towards 4G," in *Proc. of 3G 2004 - 5th IEE International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*, London, UK, Oct. 2004.
- [4] F. J. Velez and R. R. Paulo, "High Capacity Wideband Traffic in Enhanced UMTS: a Step Towards 4G," 9th Meeting of the Management Committee of COST273 - Towards Mobile Broadband Multimedia Networks, TD-04-094, Gothenburg, Sweden, Jun. 2004.
- [5] R. R. Paulo. and F. J. Velez, "Tráfego Multi-Serviço de Elevada Capacidade em UMTS Melhorado: Um Passo Rumo à 4G," *Actas das Conf. da Engenharia - UBI-Engenharias*, Covilhã, Portugal, Vol. 1, November, 2005.
- [6] J. M. Juárez, R. R. Paulo, Eva Reguera San José and F. J. Velez, "Modelling and Simulation of Multi-rate Multi-service Traffic in the Presence of Mobility," in *Proc. of IEEE VTC2006-Fall - IEEE Semi Annual Vehicular Technology Conference*, Montreal, Canada, Sep. 2006.
- [7] J. M. Juárez, R. R. Paulo, Eva Reguera San José and F. J. Velez, "MODELLING OF MULTI-RATE MULTI-SERVICE TRAFFIC IN THE PRESENCE OF MOBILITY," in *Proc. of MPTP-3rd International Workshop on Mathematical Techniques and Problems in Telecommunications*, Leiria, Portugal, Sep. 2006.
- [8] J. M. Juárez, R. R. Paulo and F. J. Velez, "Event-based Simulation for Multi-rate Multi-service Traffic Validation in B3G Systems," 2nd Management Committee Meeting of COST 2100 - Pervasive Mobile & Ambient Wireless Communications, Lisbon, Portugal, Feb.2007.
- [9] J. M. Juárez, R. R. Paulo and F. J. Velez, "Event-based Simulation for Multi-rate Multi-service Traffic Validation in B3G Systems," in *Proc. of IEEE VTC2007-Spring - IEEE Semi Annual Vehicular Technology Conference*, Dublin, Ireland, Apr. 2007.
- [10] J. M. Juárez, R. R. Paulo and F. J. Velez, "Event-Based Tele-Traffic Simulation of Mobile Communication Systems Beyond 3G," in *Proc. of ConfTele 2007 - 7th Conference on Telecommunications*, Peniche Portugal, May 2007.

- [11] R. R. Paulo and F. J. Velez, "Validação de modelos de tráfego multi-serviço para sistemas de comunicações móveis de 3.5G com suporte de mobilidade", *Actas das Conf. da Engenharia - UBIEngenharias*, Covilhã, Portugal, Vol. 1, November, 2007.
- [12] J. M. Juárez, R. R. Paulo and F. J. Velez, "Tele-Traffic Simulation for Mobile Communication Systems Beyond 3G," *Actas das Conf. da Engenharia - UBIEngenharias*, Covilhã, Portugal, Vol. 1, November, 2005.
- [13] J. M. Juárez Valero, R. R. Paulo and F. J. Velez, "Tele-Traffic Simulation for Mobile Communication Systems Beyond 3G," 5th Management Committee Meeting of COST 290 - Wi-QoS: Traffic and QoS Management in Wireless Multimedia Networks, Delft, The Netherlands, Feb. 2006.
- [14] J. M. Juárez, R. R. Paulo and F. J. Velez, "Tele-Traffic Simulation for Mobile Communication Systems Beyond 3G," in *Proc. Advanced International Conference on Telecommunications*, Guadeloupe (French West Indies), France, February, 2006.
- [15] J. M. Juárez, R. R. Paulo and F. J. Velez, "Simulação de Tele-tráfego para Sistemas de Comunicações Móveis pós-3G," 3º Seminário da RTCM - Rede Temática de Comunicações Móveis, ERICSSON, Lisboa, Portugal, 07 Fev. 2006.
- [16] J. M. Juárez, R. R. Paulo and F. J. Velez, "Modelling and Simulation of B3G Multi-service Traffic in the Presence of Mobility," *Wireless Networks*, submitted April 2008.
- [17] R. R. Paulo, *Cenários de Desenvolvimento e Engenharia de Tráfego em Sistemas de Comunicação Móveis 3G e Futuros*, Relatório de Licenciatura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, Out. 2003.
- [18] J. Ferreira (Editor), *Enhanced UMTS deployment and mobility scenarios*, IST SEACORN CEC Deliverable 34900/PTIN/DS/011/b1, IST Central Office, Brussels, Belgium, 2002.
- [19] H. Holma and A. Toskala, *HSDPA/HSUPA for UMTS : High Speed Radio Access for Mobile Communications*, John Wiley & Sons, West Sussex, Chichester, England, 2006.
- [20] E. Dahlman and S. Parkvall and J. Sköld and P. Beming, *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*, Elsevier Ltd, London, UK, 2007.
- [21] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS - HSPA evolution and LTE*, John Wiley & Sons, West Sussex, Chichester, England, UK, 2007.
- [22] <http://www.hspa.rohde-schwarz.com/>
- [23] Josephine Antoniou and George Hadjipollas, "Final Report on Simulation of Enhanced UMTS," IST SEACORN CEC Deliverable 34900/UCY/DS/046/f1, IST Central Office, Brussels, Belgium, Mar. 2004.
- [24] J. Ferreira (Editor), *Enhanced UMTS deployment and mobility scenarios*, IST SEACORN CEC Deliverable 34900/PTIN/DS/013/b1, IST Central Office, Brussels, Belgium, 2002.

- [25] J. Ferreira (Editor), *Enhanced UMTS deployment and mobility scenarios*, IST SEACORN CEC Deliverable 34900/PTIN/DS/014/d6, IST Central Office, Brussels, Belgium, 2003.
- [26] J. Ferreira (Editor), *Enhanced UMTS deployment and mobility scenarios*, IST SEACORN CEC Deliverable 34900/PTIN/DS/012/d6, IST Central Office, Brussels, Belgium, 2002.
- [27] 3rd Generation Partnership Project TS 26.093: Source Controlled Rate operation (Release 5).
- [28] 3rd Generation Partnership Project TS 26.101 AMR Speech Codec Frame structure (Release 5).
- [29] R. Cuny and A. Lakaniemi, *VoIP in 3G Networks: An End-to-End Quality of Service Analysis*, *Proc. of 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC 2003 Spring)*, Vol. 2, Jeju, Korea, Apr. 2003, pp. 930- 934.
- [30] G. A. Awater and H. A. van de Vlag, "Exact Computation of Time and Call Blocking Probabilities in Large, Multi-traffic, Multi-resource Loss Systems," *Performance Evaluation*, Vol. 25, No. 1, Mar 1996, pp. 41-58.
- [31] B. Jabbari, "Teletraffic Aspects of Evolving and Next-generation Wireless Communications Networks," *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol. 3, No. 6, Dec. 1996, pp. 4-9.
- [32] J. S. Kaufman, "Blocking in a Shared Resource Environment," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 29, No. 10, Oct. 1981, pp. 1474-1481.
- [33] R. I. Wilkinson, "Theories for Toll Traffic engineering in the USA," *Bell System Technical Journal*, Vol35, N^o. 2, Mar. 1956, pp. 421-514.
- [34] L. E. Delbrouck, "On the Steady -States Distribution in a Service Facility Carrying Mixtures of Traffic with Different Peakness Factors and Capacity Requirements," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 31, No. 11, Nov. 1983, pp. 1209-1211
- [35] R. M. Carvalho and J. M. Brázio, "Multi-service Traffic Model for the Sharing of a Resource by a Homogeneous Population of Users with Stochastically Heterogeneous Demands (in Portuguese)", in *Proc. of 6th conference of the Portuguese Statistic Society*, Tomar, Portugal, June 1998.
- [36] R. M. Carvalho, *Multi-service Traffic Models for Cellular Mobile and Personal Communication Systems* (in portuguese), Graduation Report, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal, Jan. 1998.
- [37] M. D. Yacoub, *Foundations of Mobile Radio Engineering*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 1993.
- [38] M. Sidi and D. Starobinski, "New call blocking versus handoff blocking in cellular networks," *Wireless Networks*, Vol. 3, No. I, Feb. 1997, pp. 15-27.

- [39] F. P. Kelly, *Reversibility and Stochastic Networks*, John Wiley & Sons, New York, New York, USA, 1979.
- [40] R. W. Wolff, *Stochastic Modelling and the Theory of Queues*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1989.
- [41] F. J. Velez and L. M. Correia, "Modelos de Tráfego de Mobilidade em Sistemas de Comunicações Móveis Microcelulares", *Actas do MTQP Workshop - Matemática e Telecomunicações. Que Problemas?*, Coimbra, Portugal, Set. 1998.
- [42] M. T. Hills, *Telecommunications systems design, Volume 3, Telecommunications Switching Principles*, George Allen & Unwin LTD, London, 1979.
- [43] Dipankar Raychaudhuri, Topics in 4G Wireless Networks: Ad-Hoc Nets, Adaptive Services & QoS, in *Proc. of WIRELESS, MOBILE and ALWAYS BEST CONNECTED 1st International ANWIRE Workshop*, Glasgow, UK, Apr. 03.
- [44] Eva Gustafson and Annika Jonsson, "Always Best Connected," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 10, No. 1, Feb. 03, pp. 49-55.
- [45] Peter Stuckman, *The GSM Evolution - Mobile Packet Data Services*, John Wiley and Sons, Chichester, UK, 2003.
- [46] P. Wirth, "The Role of Teletraffic Modelling in the New Paradigm," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 35, No. 8, Aug. 1997, pp. 86-92.
- [47] F. J. Velez and L. M. Correia, "Impact of Mobility in Mobile Broadband Systems Multi-service Traffic," in *Proc. of PIMRC' 2001-12th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, San Diego, CA, USA, Oct. 2001.
- [48] A. Jamalipour, *The Wireless Mobile Internet: Architectures, Protocols and Services*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2003.
- [49] Paul T. Brady, "A Model for Generating On-off Speech Patterns in Two-way Conversation," *The Bell System Technical Journal*, Vol. 48, No. 9, Sep. 1969, pp. 2445-2472.
- [50] Y. Yatsuzuka, "Highly Sensitive Speech Detector and High-Speed Voiceband Discrimination in SDI-ADPCM System," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 30, No. 4, Apr. 1982, pp. 739-750.
- [51] Shuang Deng, "Traffic Characteristics of Packet Voice," in *Proc. of ICC'95 - IEEE International Conference on Communications*, Seattle, USA, June 1995.
- [52] V. Paxson, "Empirically-Derived Analytic Models of Wide-Area TCP Connections," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 2, No. 4, Aug. 1994, pp. 316-336.
- [53] P. Stuckmann, H. Finck and T. Bahls, "A WAP Traffic Model and its Appliance for the Performance Analysis of WAP over GPRS," in *Proc. of the IEEE International Conference on Third Generation Wireless and Beyond (3Gwireless '01)*, San Francisco, USA, June 2001.

- [54] ETSI 3GPP, Selection Procedures for the *Choice of Radio Transmission Technologies of the Universal Mobile Telecommunication System UMTS (3G TR 101 112)*, Technical Report ETSI TR 101112, European Telecommunications Standards Institute, Apr. 1998.
- [55] H. K. Choi and J.O. Limb, "A Behavioral Model of Web Traffic," in *Proc. of ICNP 99 - The 7th International Conference on Network Protocols*, Ontario, Canada, Oct. 1999.
- [56] I. Elsen, F. Hartung, U. Horn, M. Kampmann and L. Peters, "Streaming Technology in 3G Mobile Communication Systems," *IEEE Computer*, Vol. 34, No. 9, 2001, pp. 46-52.
- [57] <http://www.e-projects.ubi.pt/multiplan/>
- [58] F. J. Velez and L. M. Correia, "New Calls Traffic Performance in Microcellular Mobile Broadband Systems", in *Proc. of ConfTele'99 - II Conference on Telecommunications*, Sesimbra, Portugal, Apr. 1999.
- [59] M. A. Clemente and F. J. Velez, "Parameters for Tele-traffic Characterisation in Enhanced UMTS", in *Proc. of 4th Conference on Telecommunications - ConfTele 03*, Aveiro, Portugal, June 2003.
- [60] E. R. San José and F. J. Velez, "Tele-traffic Engineering for Enhanced UMTS Multi-rate Applications", in *Proc. of EPMCC' 2003 - 5th European Personal Mobile Communications Conference*, Glasgow, Scotland, Apr. 2003.
- [61] M. C. Garcia, F. J. Velez and L. M. Correia, "Teletraffic Engineering in UMTS FDD Mode Networks," in *Proc. of EPMCC' 2001 - 4th European Personal Mobile Communications Conference*, Vienna, Austria, Feb. 2001.
- [62] Acácio M. P. Nova, *Apontamentos de Simulação*, Lic. em Eng. e Gestão Industrial, Lic. em Matemática Aplicada e Computação, IST, Portugal, Mar. 1995.
- [63] J. M. J. Valero, *Tele-Traffic Simulation for Mobile Communication Systems Beyond 3G*, Graduation Thesis, University of Beira Interior, Covilhã, Portugal, Sep. 2005.
- [64] D. E. Everitt, "Traffic engineering of the radio interface for cellular mobile networks", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 82, No. 9, Sep. 1994, pp. 1371-1382.
- [65] Y.-R. Haung, Y.-B Lin and J.-M. Ho, "Performance Analysis vor Voice/Data Intregation on a Finite-Buffer Mobile System," *IEEE Transactions on Veicular Technology*, Vol. 49, No. 2, Mar 2000, pp. 367-378.

Apêndice A

**P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff}Teórico}$ como
função de ρ para γ constante.**

Neste apêndice apresentam-se os resultados das simulações de VOI para diferentes valores de γ .

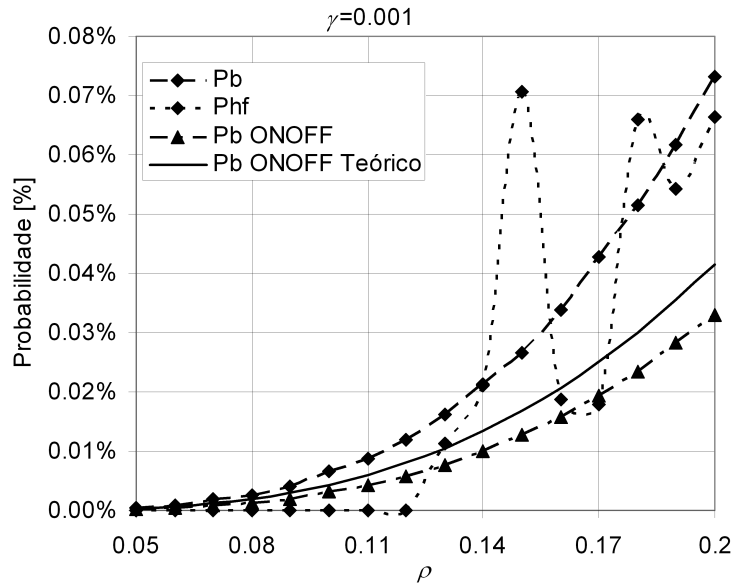


Figura A.1: $P_b, P_{hf}, P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ e $\gamma=0.001$.

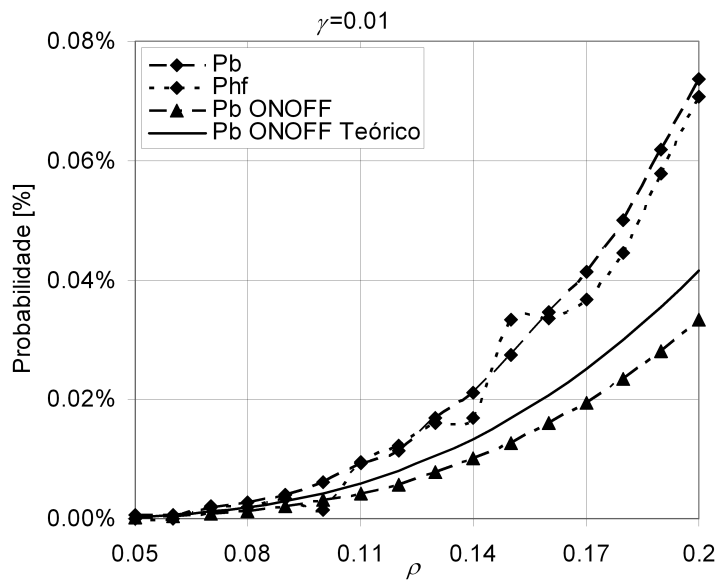


Figura A.2: $P_b, P_{hf}, P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ e $\gamma=0.01$.

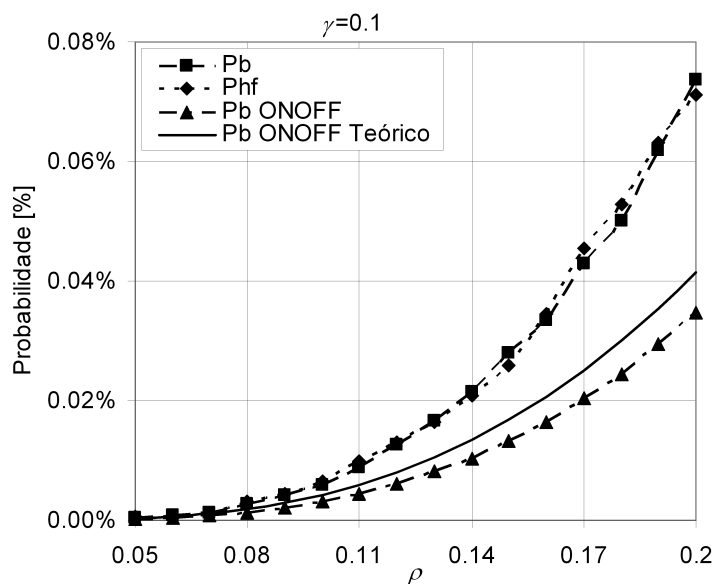


Figura A.3: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ e $\gamma=0.1$.

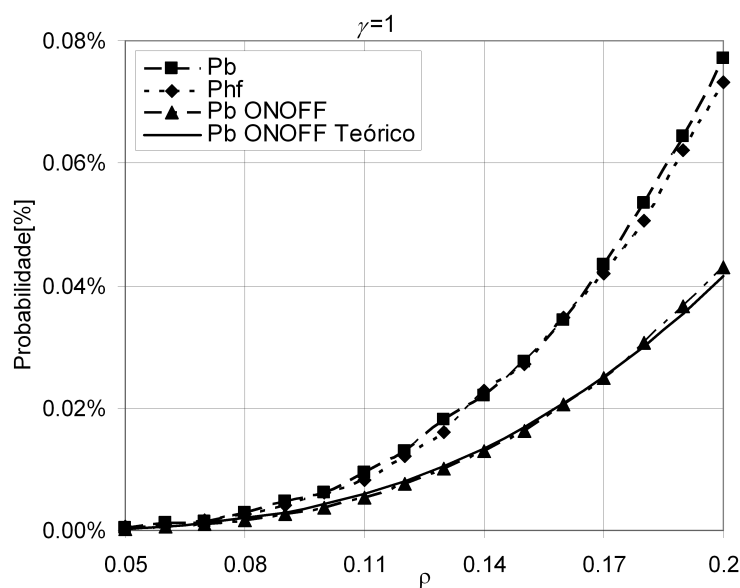


Figura A.4: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff} Teórico}$ como função de ρ e $\gamma=1$.

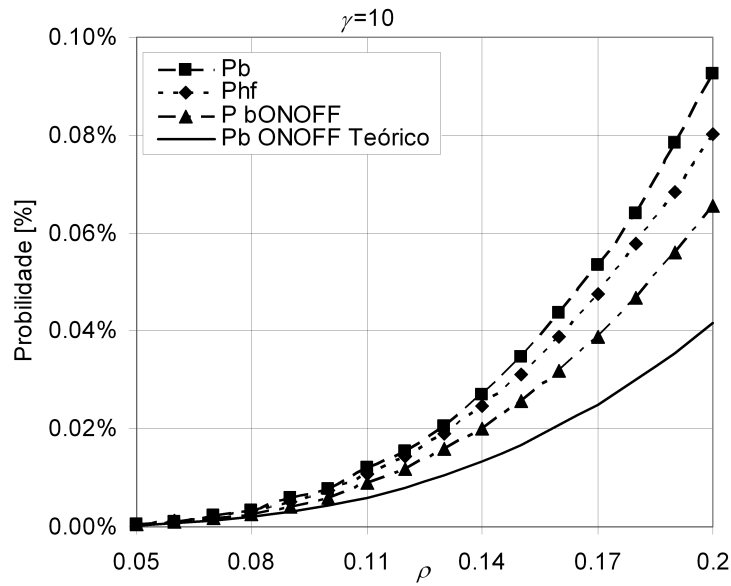


Figura A.5: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Teórico}}$ como função de ρ e $\gamma=10$.

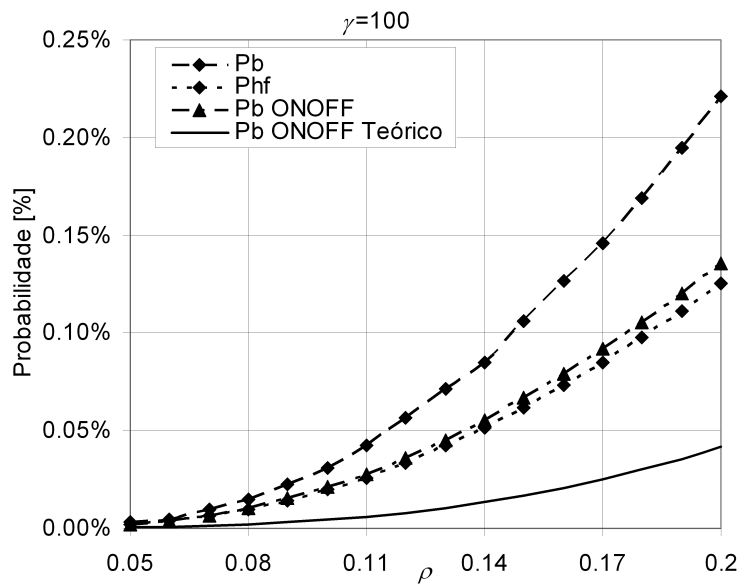


Figura A.6: P_b , P_{hf} , $P_{b_{onoff}}$ e $P_{b_{onoff\ Teórico}}$ como função de ρ e $\gamma=100$.

Apêndice B

Fluxogramas

Neste apêndice apresentam-se os fluxogramas que serviram para construir o simulador.

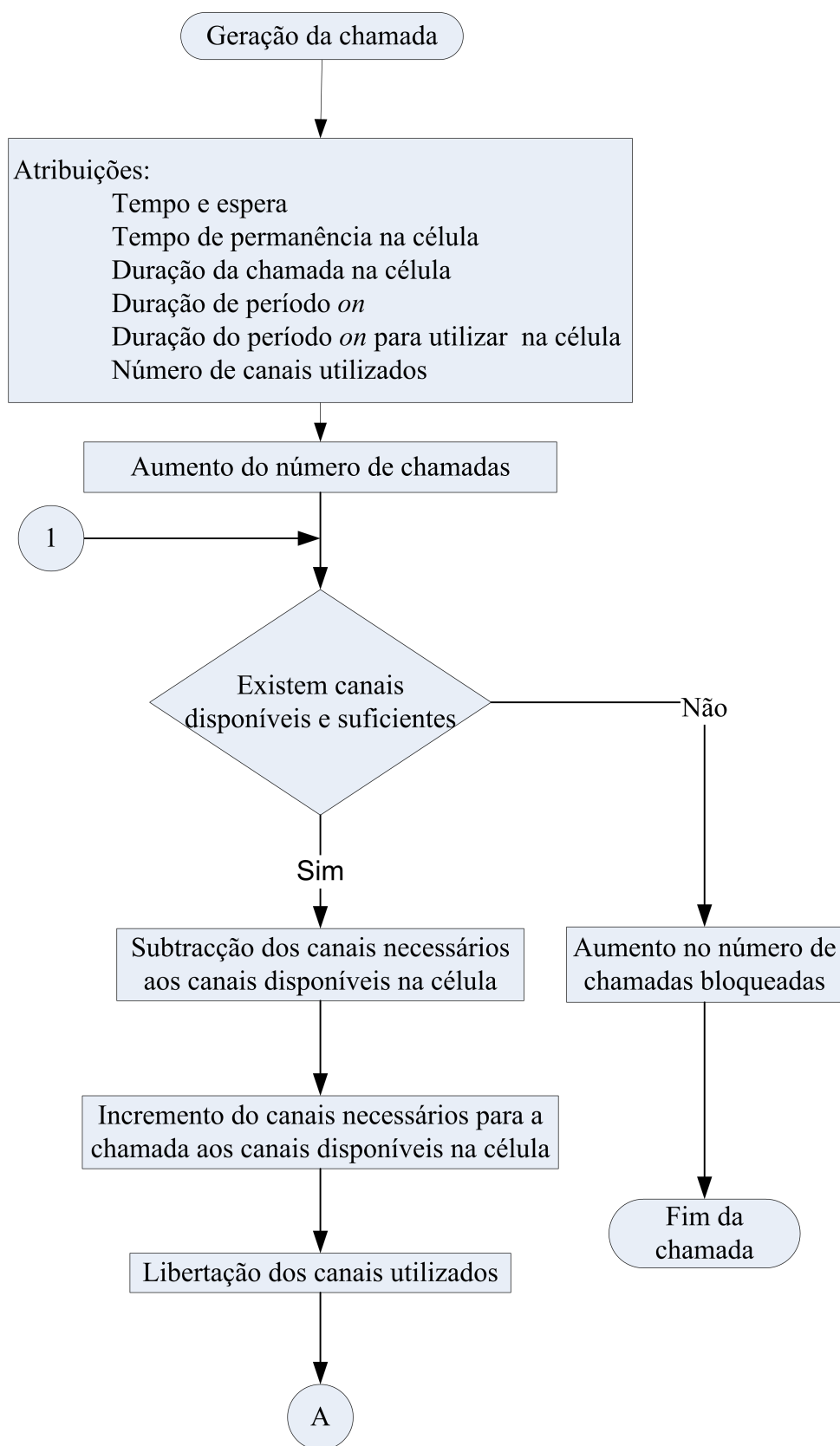


Figura B.1: Fluxograma (I).

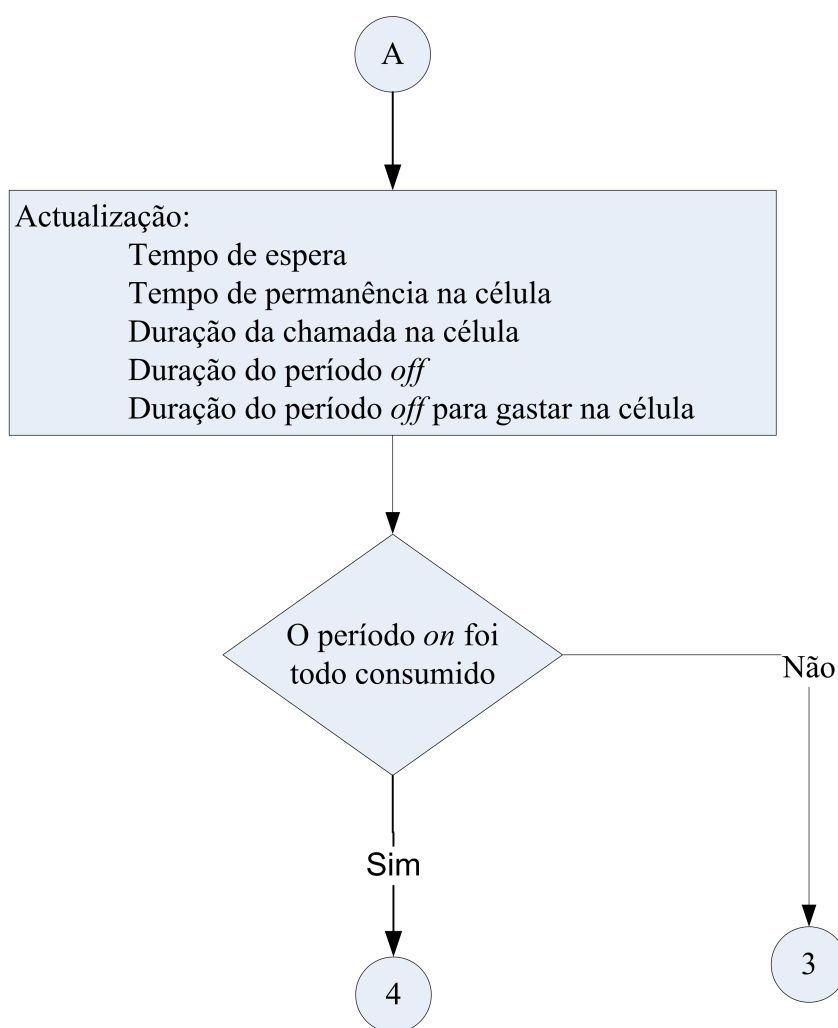


Figura B.2: Fluxograma (II).

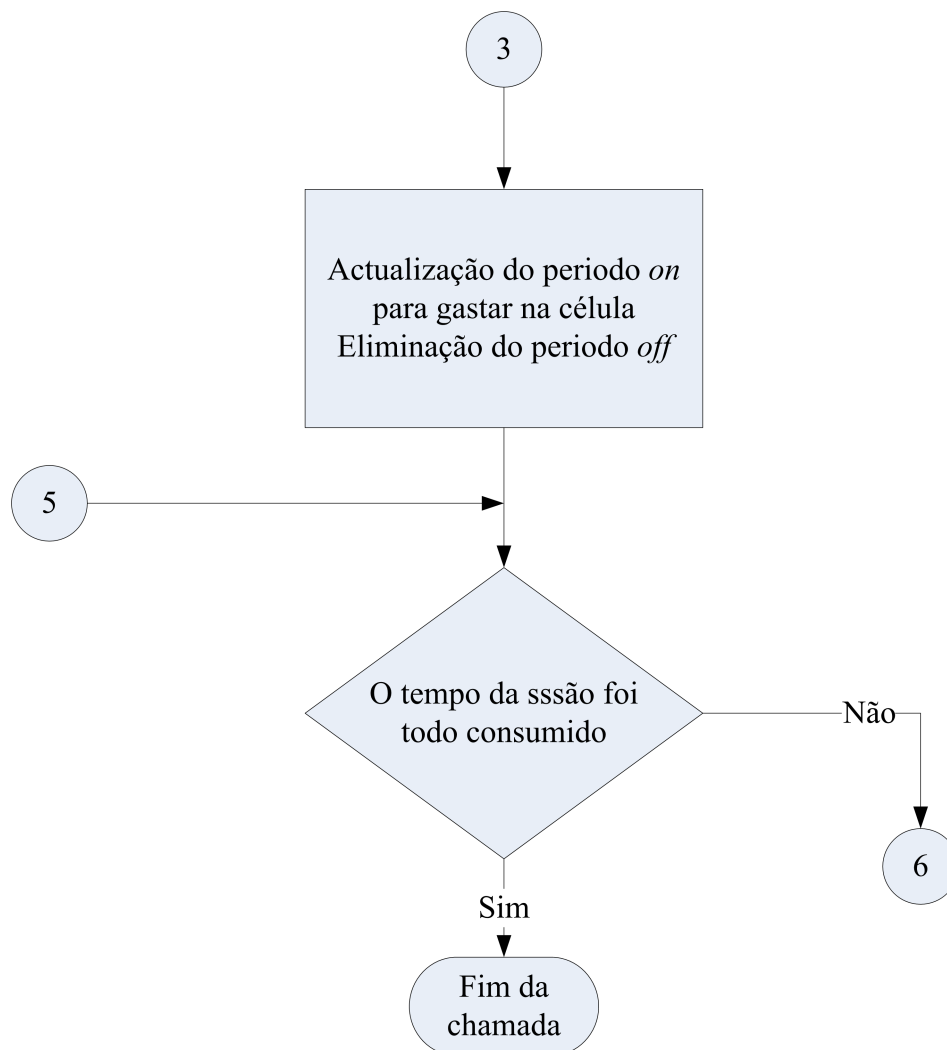


Figura B.3: Fluxograma (III).

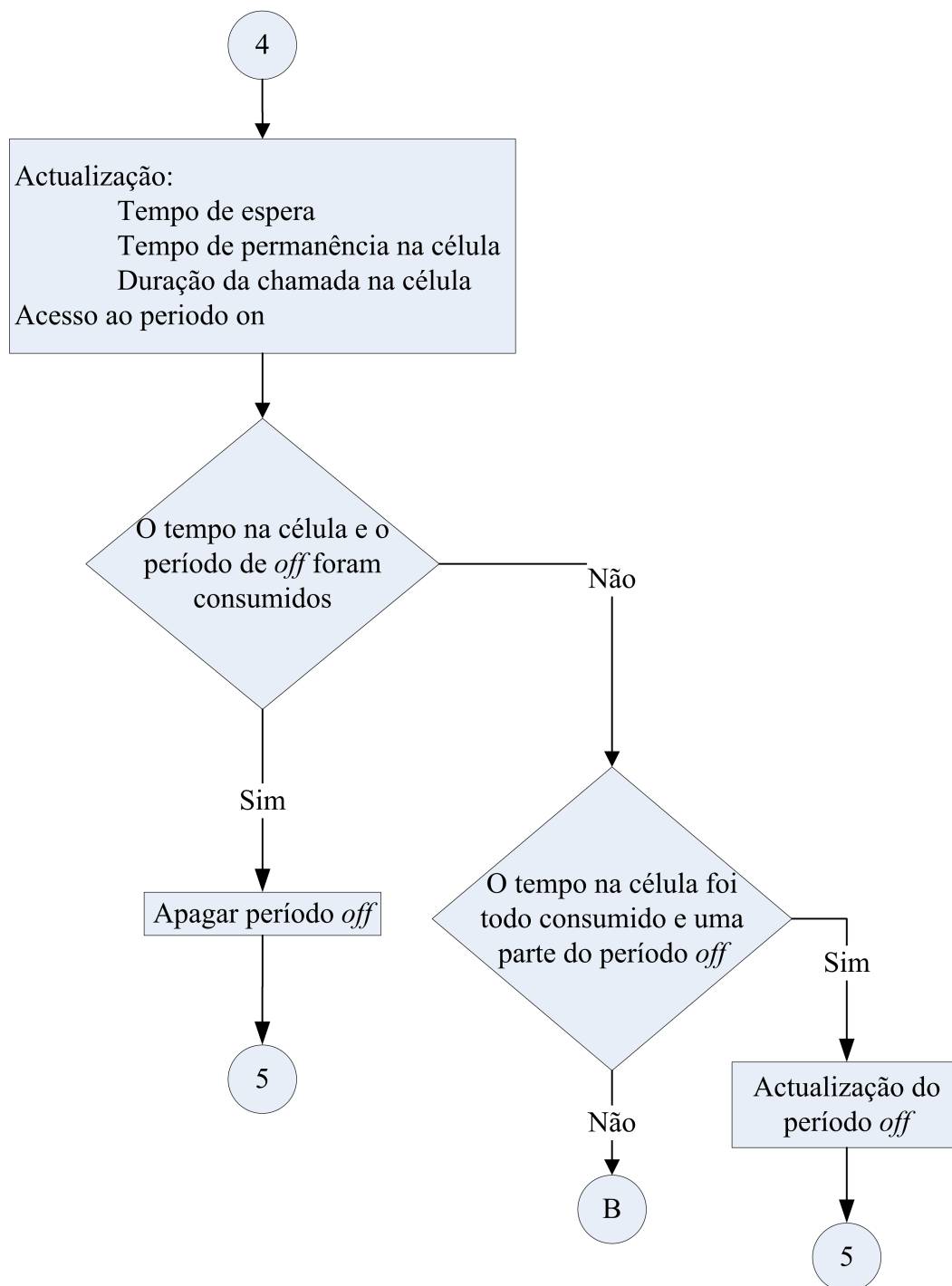


Figura B.4: Fluxograma (IV).

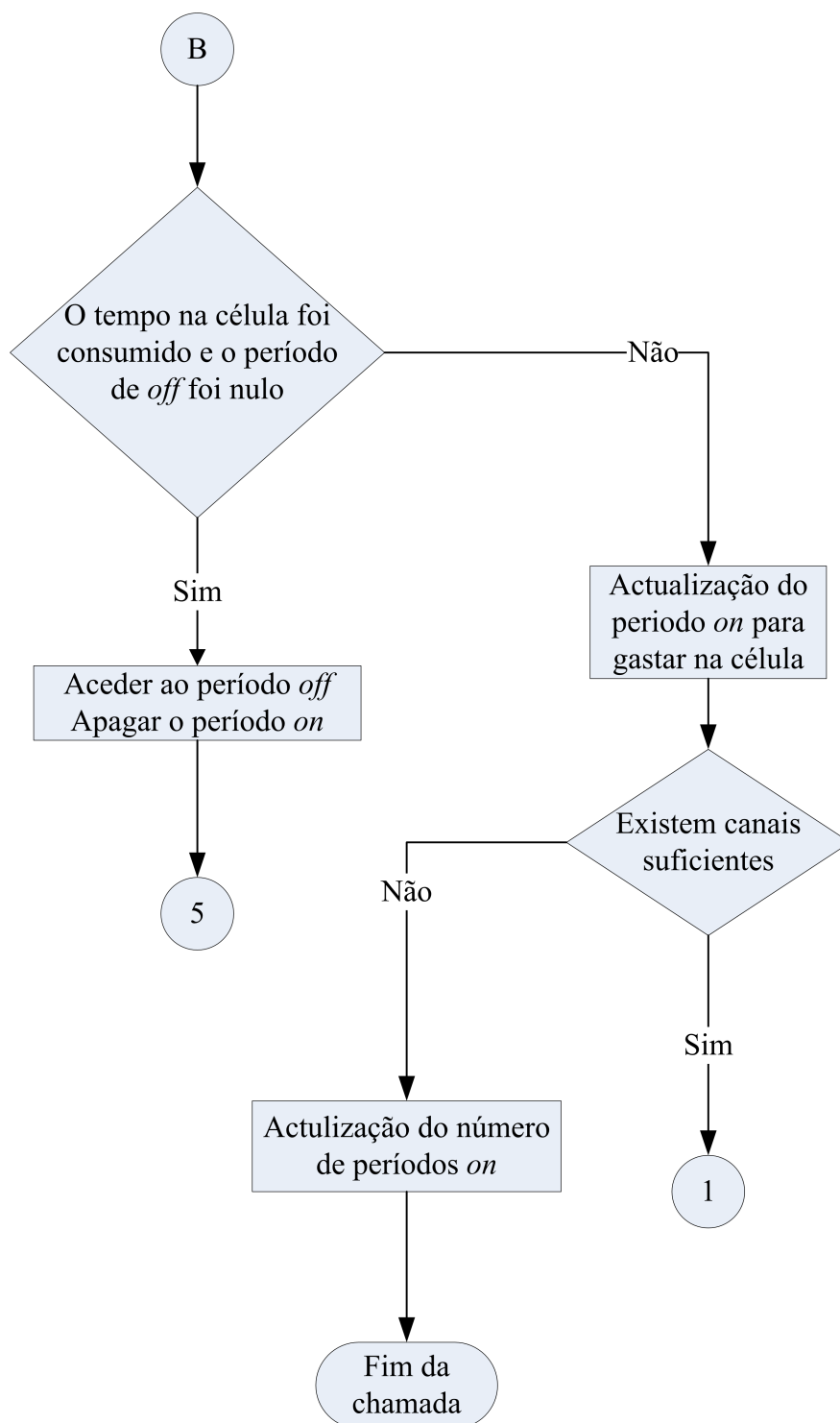


Figura B.5: Fluxograma (V).

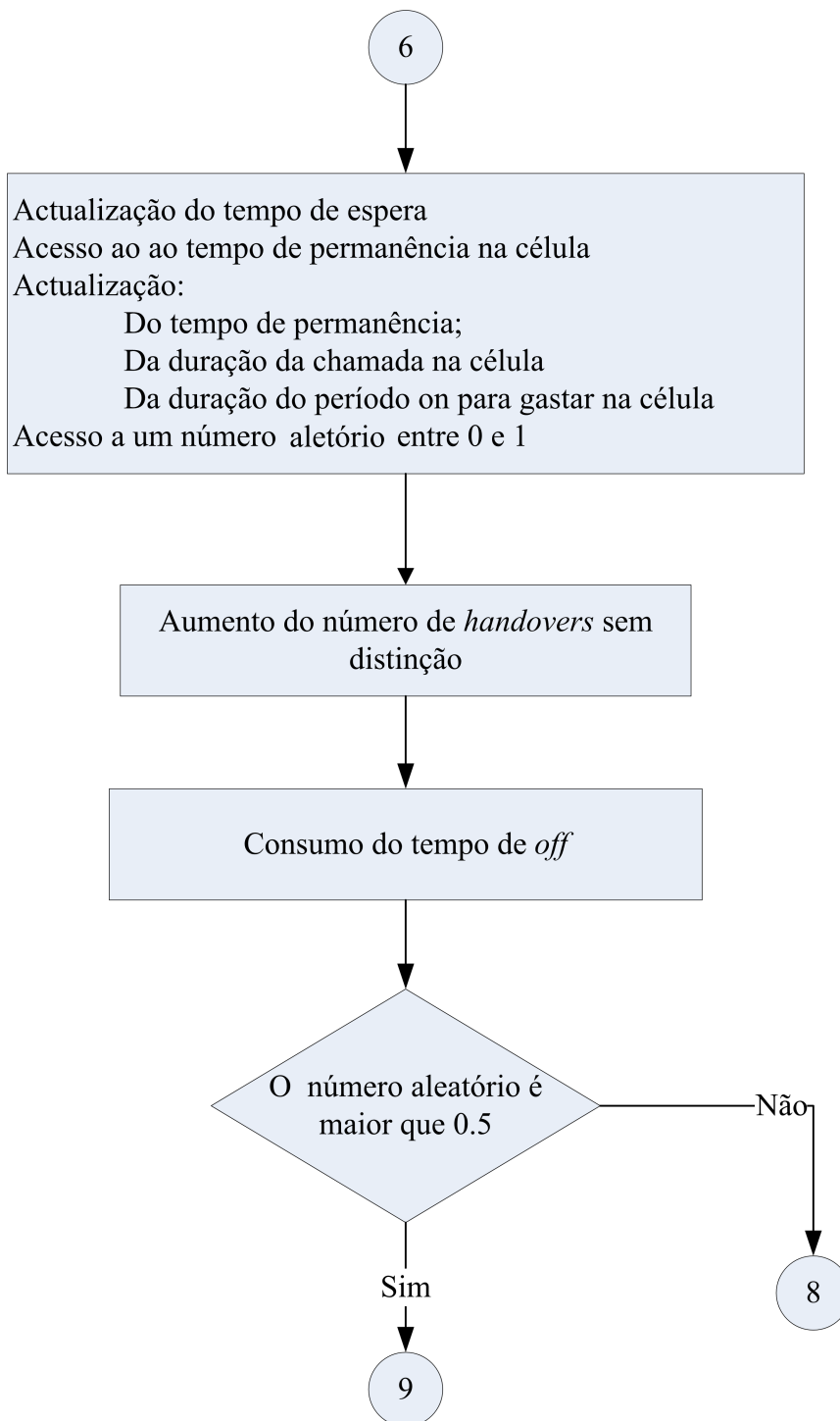


Figura B.6: Fluxograma (VI).

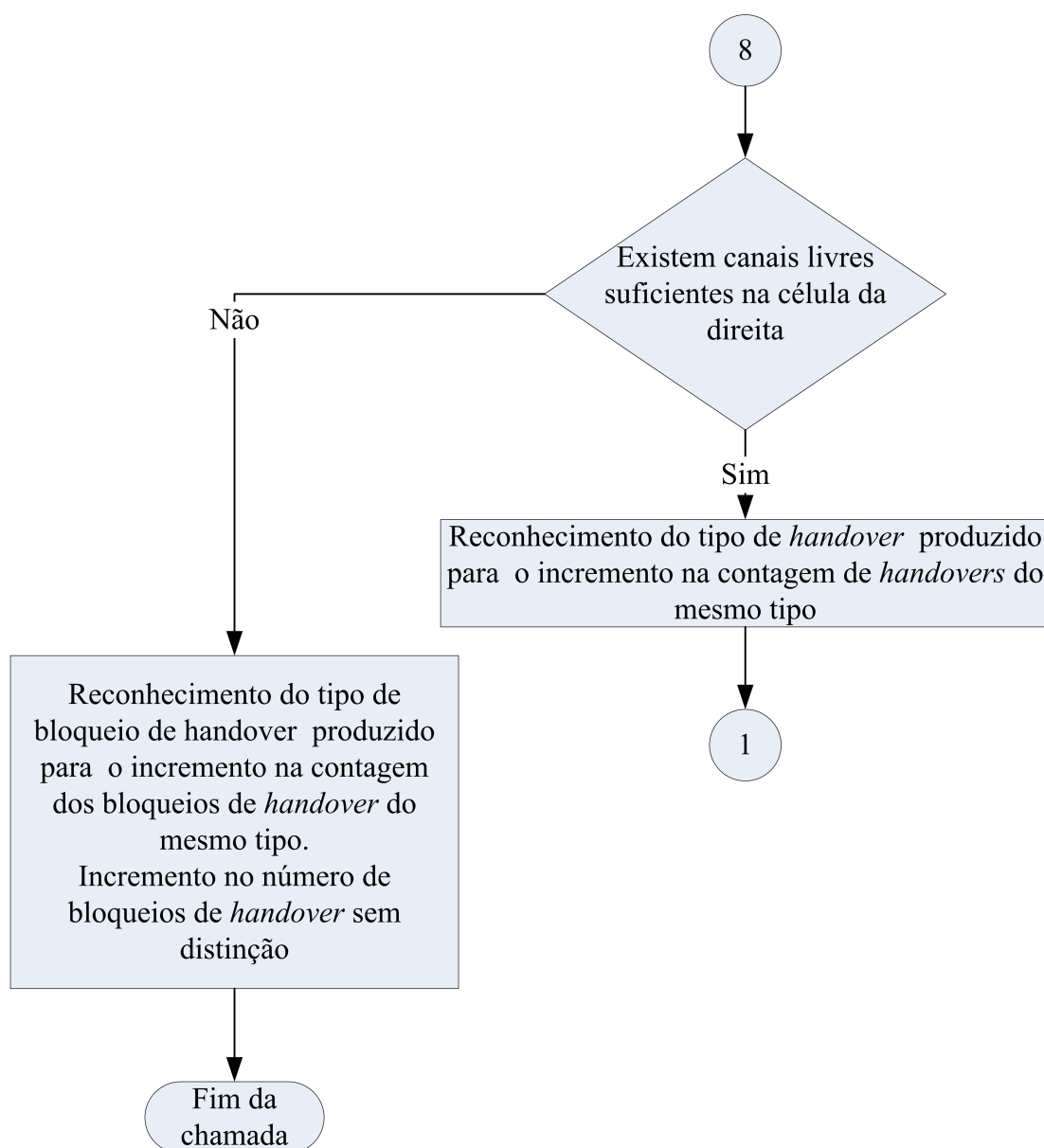


Figura B.7: Fluxograma (VII).

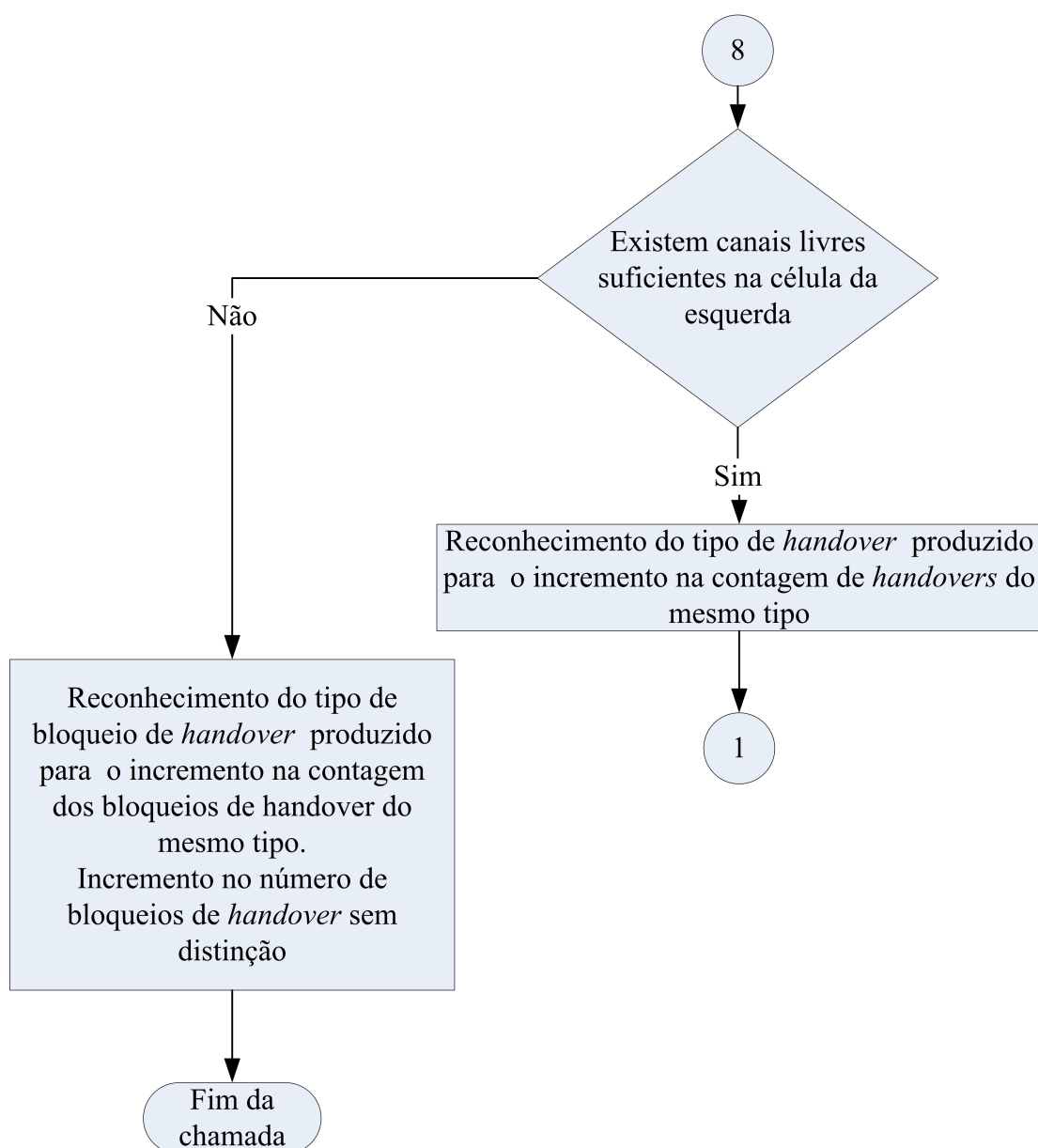


Figura B.8: Fluxograma (VIII).

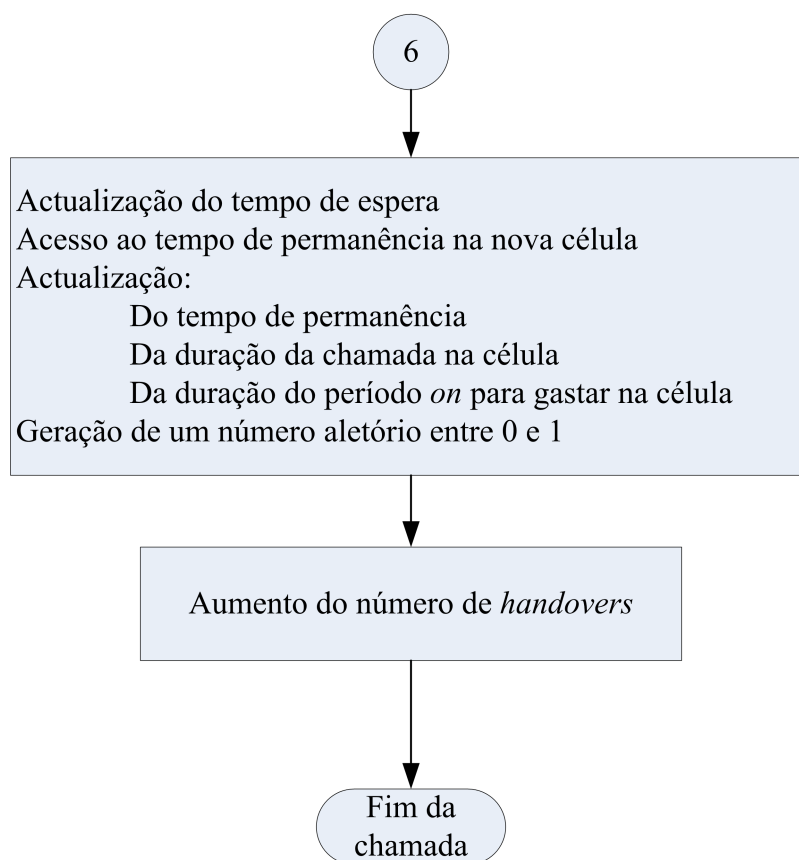


Figura B.9: Fluxograma (IX).

Apêndice C

7 células

Neste apêndice apresentam-se a combinação de 7 células. A Figura C.1 serviu de suporte para construir o simulador com 7 células e foi necessário para garantir o correcto reencaminhamento dos *handovers*.

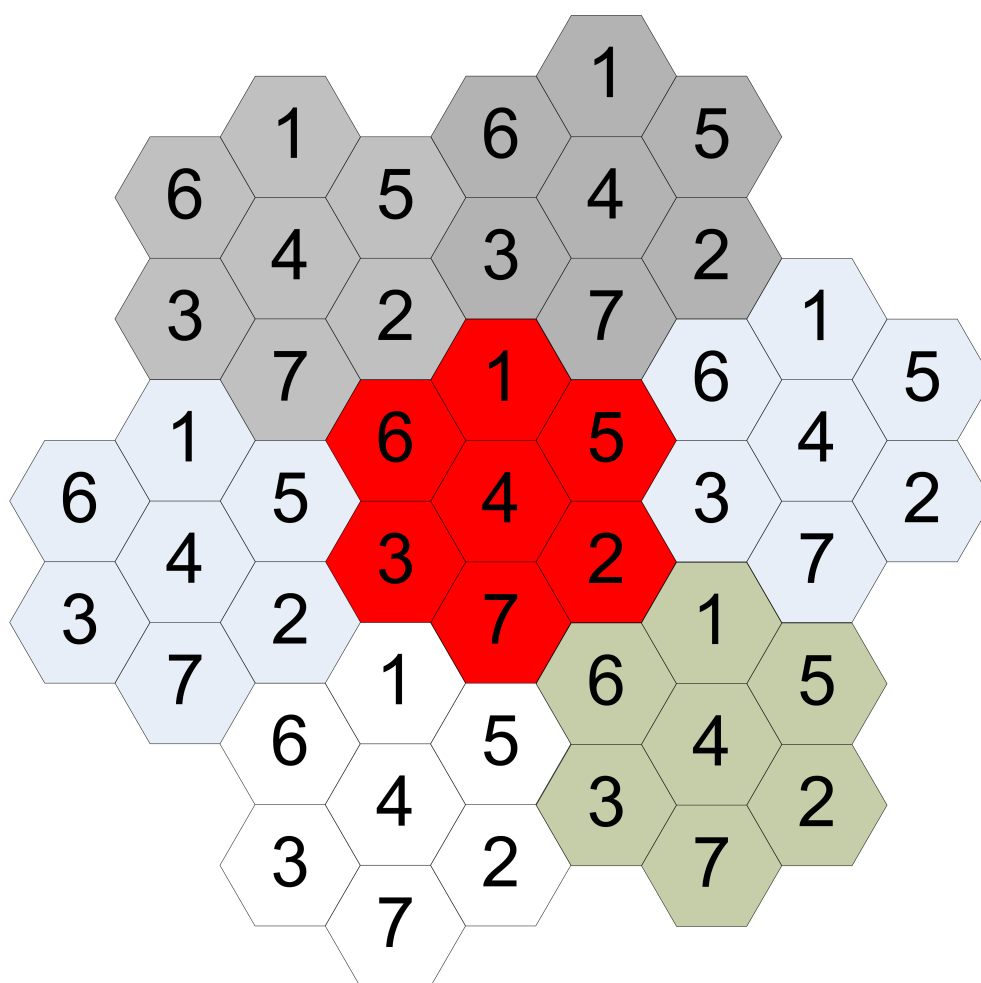


Figura C.1: 7 células.