

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

ADRIANA MARIANO

ANÁLISE E PLANEJAMENTO DE SISTEMAS UMTS

NITERÓI
2012

ADRIANA MARIANO

ANÁLISE E PLANEJAMENTO DE SISTEMAS UMTS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. JULIO CESAR RODRIGUES DAL BELLO

Niterói
2012

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

M333 Mariano, Adriana
Análise e planejamento de sistemas UMTS / Adriana Mariano. –
Niterói, RJ : [s.n.], 2012.
163f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) -
Universidade Federal Fluminense, 2012.
Orientador: Julio Cesar Rodrigues Dal Bello.

1. Sistema de comunicação móvel. 2. Tecnologia 3G. 3.
Telefonia celular. 4. Qualidade de serviço. I. Título.

CDD 621.38456

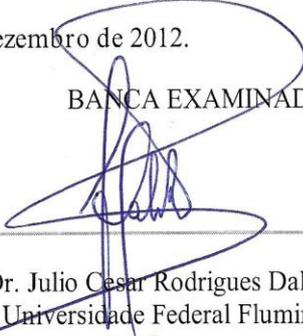
ADRIANA MARIANO

ANÁLISE E PLANEJAMENTO DE SISTEMAS UMTS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Telecomunicações.

Aprovada em 12 de Dezembro de 2012.

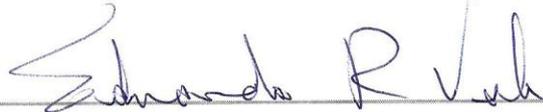
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Julio Cesar Rodrigues Dal Bello - Orientador
Universidade Federal Fluminense - UFF



Prof. Dr. Leni Joaquim de Matos
Universidade Federal Fluminense - UFF



Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Vale
Universidade Federal Fluminense - UFF



Dr. Eduardo Esteves Vale
IEAPM - Marinha do Brasil

Niterói
2012

Brilhando como Estrelas

“...Pois é Deus quem efetua em vós tanto o querer quanto o realizar, de acordo com a boa vontade Dele.”

Filipenses - Cap 2 .13

Bíblia Sagrada - Nova Versão Internacional - NVI.

Dedico esta Dissertação de Mestrado

Ao meu querido Pai, Pedro Mariano Filho, por todo seu amor e carinho no decorrer da minha Graduação em Engenharia de Telecomunicações nesta Instituição até o presente momento.

À minha querida Mãe, Leda Maria Mariano, pelo seu amor incondicional e todo zelo para com a nossa família.

À minha querida Irmã, Valéria e ao meu Sobrinho Marcelo Pedro pelos momentos felizes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por todas as bênçãos e pela conclusão com êxito desta Dissertação de Mestrado.

À minha família por todo amor e compreensão.

Ao meu orientador, Professor Julio Cesar Rodrigues Dal Bello, por toda base científica lecionada na Graduação e no Mestrado e pelas orientações claras, objetivas e concisas.

À Professora Leni Joaquim de Matos, pelo seu exemplo de Humanidade e Solidariedade perante seus alunos na Universidade Federal Fluminense - UFF.

Ao Professor Carlos Eduardo Salles Ferreira, pelo incentivo para cursar o Mestrado em Engenharia de Telecomunicações.

À Capes, pelo auxílio concedido no decorrer deste período.

Finalmente, agradeço à coordenação do curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da UFF por toda a ajuda dispensada.

RESUMO

Neste trabalho, é apresentado o processo de evolução da telefonia móvel no mundo, ressaltando o desenvolvimento do processo de padronização proposto pela UIT (União Internacional de Telecomunicações) - padrão IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications 2000*) - que teve seu início na Europa em 1990. Este padrão de telefonia móvel caracteriza-se pela convergência entre as redes fixa, móvel e componente satélite, proporcionando serviços multimídia de alta qualidade.

As redes 2.5G (GPRS - *General Packet Radio Service* / EDGE - *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), apesar de ter inserido o serviço de dados e mobilidade para seus usuários, não ofereciam o padrão de qualidade das redes 3G.

O sistema UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) marcou o início de uma nova era, exigida pelos usuários de telefonia móvel, de oferta de serviços de dados a elevadas taxas de transmissão.

Esta Dissertação de Mestrado tem como objetivo a análise e o planejamento de Sistemas UMTS, visando o aprimoramento da qualidade de serviço destes sistemas. Para tanto, foi realizado um estudo aprofundado sobre a arquitetura do Sistema UMTS, seus elementos e interfaces para entendimento da convergência entre a rede fixa e móvel.

Subsequentemente, é feita uma abordagem sobre a interface aérea WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) definida como tecnologia de transmissão rádio (RTT - *Radio Transmission Technology*) sendo compatível com as redes legadas GSM (*Global System for Mobile Communications*) possibilitando, assim, *handovers* entre estes sistemas.

O planejamento de sistemas UMTS é realizado através de métodos científicos e expressões matemáticas implementadas no *software* Matlab para uma análise de parâmetros qualitativos com o objetivo de proporcionar melhor custo-benefício ao usuário final.

Palavras-Chave:

UMTS, sistemas UMTS, sistemas móveis, sistemas celulares, qualidade de serviço

ABSTRACT

In this work presents the process of evolution of mobile telephony in the world, emphasizing the development of the standardization process proposed by the ITU (International Telecommunication Union) - IMT 2000 - (International Mobile Telecommunications 2000) - that began in Europe in 1990. This mobile phone standard is characterized by the convergence between fixed networks, mobile and satellite component, providing high-quality multimedia services.

The 2.5G networks (GPRS - General Packet Radio Service / EDGE - Enhanced Data Rates for GSM Evolution), despite having entered the data services and mobility to its users, did not offer the quality standard of 3G networks.

The UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) marked the beginning of a new era demanded by mobile phone users, offering services at high data transmission rates.

This Dissertation aims analysis and planning of UMTS systems in order to improve the quality of service these systems. Therefore, a detailed study of the UMTS architecture system, its elements and interfaces for understanding the convergence between fixed and mobile network was performed.

Subsequently, an approach is made on the WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) air interface defined as RTT - Radio Transmission Technology is compatible with legacy networks GSM (Global System for Mobile Communications) thus enabling handovers between these systems.

The planning of UMTS systems is accomplished through scientific methods and mathematical expressions implemented in Matlab software for an analysis of qualitative parameters with the goal of providing better cost-effective to the end user.

Keywords:

UMTS, UMTS systems, mobile systems, cellular systems, quality of service (QoS)

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Histórico.....	1
1.2	Revisão Bibliográfica.....	3
1.3	Objetivo.....	7
1.4	Estrutura da Dissertação.....	7
2	O Sistema UMTS.....	9
2.1	Introdução.....	9
2.2	Arquitetura do Sistema UMTS.....	21
2.2.1	Elementos relacionados à GERAN.....	22
2.2.1.1	MS - Mobile Sation.....	22
2.2.1.2	GERAN.....	22
2.2.1.2.1	BTS.....	22
2.2.1.2.2	BSC.....	23
2.2.1.2.3	TRAU.....	23
2.2.1.3	INTERFACES.....	23
2.2.2	Elementos relacionados à UTRAN.....	24
2.2.2.1	UE.....	24
2.2.2.1.1	UICC.....	25
2.2.2.1.2	ME.....	26
2.2.2.1.3	INTERFACES DO ME.....	27
2.2.3	UTRAN.....	27
2.2.3.1.1	Node B (<i>Base Station</i>).....	28
2.2.3.1.2	RNC.....	29
2.3	INTERFACES.....	30
2.4	Interface Iur-g.....	31
2.5	Rede de <i>Core</i> (CN).....	32
2.5.1	Domínio do CS.....	34

2.5.1.1	MSC.....	34
2.5.1.2	VLR.....	36
2.5.1.3	GMSC.....	37
2.5.2	Domínio do PS.....	38
2.5.2.1	SGSN.....	38
2.5.2.2	GGSN.....	39
2.5.3	Entidades comuns aos domínios CS e PS.....	41
2.5.3.1	HSS.....	41
2.5.3.1.1	HLR.....	41
2.5.3.1.2	AuC.....	42
2.5.3.2	EIR.....	42
2.5.4	Subsistema de Multimédia baseado em IP - IMS.....	43
2.6	Arquitetura de Protocolos do Sistema UMTS.....	43
2.6.1	Modelo Geral de Protocolo.....	43
2.6.1.1	Camadas Horizontais.....	44
2.6.1.2	Planos Verticais.....	45
2.6.1.2.1	Plano de Controle.....	45
2.6.1.2.2	Plano de Usuário.....	45
2.6.1.2.3	Plano de Controle de Rede de Transporte.....	45
2.7	Protocolos de Aplicação das Interfaces.....	46
2.7.1	Interface Aérea de Rádio - Uu.....	46
2.7.2	Interface Iub.....	47
2.7.3	Interface Iur.....	47
2.7.4	Interface Iu.....	48
3	Interface Aérea WCDMA.....	50
3.1	Conceitos Básicos.....	50
3.2	Parâmetros Principais.....	55
3.3	Códigos do WCDMA.....	59
3.4	Características Específicas.....	60

3.5 Canais do WCDMA.....	73
3.6 HSDPA (<i>High Speed Downlink Packet Access</i>) e HSUPA (<i>High Speed Uplink Packet Access</i>).....	88
4 Planejamento de Sistemas UMTS.....	94
4.1 Dimensionamento.....	97
5 Análise Quantitativa e Qualitativa de Sistemas UMTS.....	114
5.1 Simulação Interativa para Planejamento de Sistemas UMTS com foco na interface aérea WCDMA.....	114
5.2 Gráficos para Análise Quantitativa e Qualitativa.....	123
5.2.1 Gráficos para Serviços de Voz para Frequência de Operação - 2100 MHz	123
5.2.2 Gráficos para Serviços de Dados em Tempo Real para Frequência de Operação - 2100 MHz.....	128
5.2.3 Gráficos para Serviços de Dados em Tempo Não Real para Frequência de Operação - 2100 MHz.....	133
6 Conclusão.....	139
7 Referências Bibliográficas.....	141

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Habilitações de Celulares no Brasil.....	1
Figura 1.2 - Evolução da Telefonia Móvel.....	3
Figura 2.1 - Quantidade de Redes 3G no Mundo.....	10
Figura 2.2 - Quantidade de Celulares 3G no Brasil.....	11
Figura 2.3 - Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência - FDMA.....	12
Figura 2.4 - Acesso Múltiplo por Divisão no Tempo - TDMA.....	12
Figura 2.5 - Triangulação Hiperbólica.....	15
Figura 2.6 - Arquitetura do Sistema UMTS.....	21
Figura 2.7 - Visão detalhada da GERAN.....	22
Figura 2.8 - Interface Iur-g.....	23
Figura 2.9 - Interface Um, Abis e Asub.....	24
Figura 2.10 - Arquitetura - <i>User Equipment</i> - UE.....	26
Figura 2.11 - Arquitetura da UTRAN.....	27
Figura 2.12 - Elementos de rede de uma PLMN (<i>Public Land Mobile Network</i>).....	28
Figura 2.13 - Arquitetura Lógica da RNC.....	29
Figura 2.14 - Arquitetura da Interface Iu.....	31
Figura 2.15 - Arquitetura do CN.....	32
Figura 2.16 - Arquitetura detalhada do CN.....	33
Figura 2.17 - Modelo Geral de Protocolos das Interfaces UTRAN.....	44
Figura 2.18 - Visão Geral dos Protocolos de Aplicação.....	49
Figura 3.1 - Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA).....	51
Figura 3.2 - Largura de Banda da Interface Aérea WCDMA.....	53
Figura 3.3 - Variação da Capacidade de Dados com os Quadros.....	53
Figura 3.4 - Modulação Adaptativa em Redes WIMAX.....	54
Figura 3.5 - Espalhamento do Sinal.....	58
Figura 3.6 - Propagação Multipercurso gerando um perfil de atraso.....	62
Figura 3.7 - Desvanecimento Rápido.....	63
Figura 3.8 - Diagrama de blocos de um receptor Rake.....	65

Figura 3.9 - Controle de Potência do CDMA através de uma malha Fechada.....	66
Figura 3.10 - Controle de Potência em malha Fechada - Enlace Reverso.....	68
Figura 3.11 - Controle de Potência com malha Externa.....	69
Figura 3.12 - Cenário de <i>Softer Handover</i>	71
Figura 3.13 - Cenário de <i>Soft Handover</i>	72
Figura 3.14 - Organização dos Canais no WCDMA.....	74
Figura 3.15 - Canais Físicos, de Transporte e Lógicos.....	76
Figura 3.16 - Mapeamento dos Canais de Transporte em Canais Físicos.....	79
Figura 3.17 - Canais Físicos do WCDMA.....	80
Figura 3.18 - DPDCH e DPCCH nos enlaces direto e reverso.....	81
Figura 3.19 - Procedimento de Acesso Aleatório.....	83
Figura 3.20 - Estrutura do Quadro WCDMA.....	85
Figura 3.21 - Estrutura do quadro em um canal dedicado do enlace reverso.....	86
Figura 3.22 - Estrutura do quadro em um canal dedicado do enlace direto.....	86
Figura 3.23 - Princípios Gerais de Operação do HSDPA.....	89
Figura 4.1 - Processo de Planejamento de Sistemas UMTS.....	96
Figura 4.2 - Direções de <i>Downlink</i> e <i>Uplink</i>	98
Figura 4.3 - Aumento de Ruído do <i>Uplink</i>	104
Figura 4.4 - Interferência x Capacidade.....	106
Figura 4.5 - E_b/N_0 combinado no modelo de <i>soft handover</i>	108
Figura 4.6 - Relação entre a Perda de Percurso Máxima e a Perda de Percurso Média.....	109
Figura 4.7 - Relação da capacidade de uma célula para o <i>uplink</i> e o <i>downlink</i>	110
Figura 4.8 - Cálculos Iterativos de Cobertura e Capacidade.....	112
Figura 5.1 - Fator de Carga no <i>Uplink</i> para Voz x Número de Usuários.....	124
Figura 5.2 - Aumento de Ruído no <i>Uplink</i> para Voz x <i>Throughput</i>	125
Figura 5.3 - Raios das Células para Áreas Urbanas, Suburbanas e Rurais em Ambiente Externo x Número de Usuários.....	125
Figura 5.4 - Raios das Células para Ambiente Interno, Ambiente Externo e Dentro de um Carro x Número de Usuários.....	126

Figura 5.5 - Fator de Carga no <i>Downlink</i> para Voz x Número de Usuários.....	126
Figura 5.6 - Aumento de Ruído no <i>Downlink</i> para Voz x <i>Throughput</i>	127
Figura 5.7 - Aumento de Ruído no <i>Uplink</i> e no <i>Downlink</i> para Voz x <i>Throughput</i>	127
Figura 5.8 - Perda Máxima de Percurso no <i>Uplink</i> e no <i>Downlink</i> para Voz x Número de Usuários.....	128
Figura 5.9 - Fator de Carga no <i>Uplink</i> para Dados em Tempo Real x Número de Usuários.....	129
Figura 5.10 - Aumento de Ruído no <i>Uplink</i> para Dados em Tempo Real x <i>Throughput</i>	130
Figura 5.11 - Raios das Células para Áreas Urbanas, Suburbanas e Rurais em Ambiente Externo x Número de Usuários.....	130
Figura 5.12 - Raios das Células para Ambiente Interno, Ambiente Externo e Dentro de um Carro x Número de Usuários.....	131
Figura 5.13 - Fator de Carga no <i>Downlink</i> para Dados em Tempo Real x Número de Usuários.....	131
Figura 5.14 - Aumento de Ruído no <i>Downlink</i> para Dados em Tempo Real x <i>Throughput</i>	132
Figura 5.15 - Aumento de Ruído no <i>Uplink</i> e no <i>Downlink</i> para Dados em Tempo Real x <i>Throughput</i>	132
Figura 5.16 - Perda Máxima de Percurso no <i>Uplink</i> e no <i>Downlink</i> para Dados em Tempo Real x Número de Usuários.....	133
Figura 5.17 - Fator de Carga no <i>Uplink</i> para Dados em Tempo Não Real x Número de Usuários.....	134
Figura 5.18 - Aumento de Ruído no <i>Uplink</i> para Dados em Tempo Não Real x <i>Throughput</i>	135
Figura 5.19 - Raios das Células para Áreas Urbanas, Suburbanas e Rurais em Ambiente Externo x Número de Usuários.....	135
Figura 5.20 - Raios das Células para Ambiente Interno, Ambiente Externo e Dentro de um Carro.....	136
Figura 5.21 - Fator de Carga no <i>Downlink</i> para Dados em Tempo Não Real x Número de Usuários.....	136
Figura 5.22 - Aumento de Ruído no <i>Downlink</i> para Dados em Tempo Não Real x <i>Throughput</i>	137
Figura 5.23 - Aumento de Ruído no <i>Uplink</i> e no <i>Downlink</i> para Dados em Tempo Não Real x <i>Throughput</i>	137

Figura 5.24 - Perda Máxima de Percurso no *Uplink* e no *Downlink* para Dados em Tempo Não Real x Número de Usuários..... 138

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Espectro para Sistemas UMTS.....	16
Tabela 3.1 - Enlace Reverso.....	56
Tabela 3.2 - Enlace Direto.....	57
Tabela 3.3 - Funcionalidades dos Códigos.....	60
Tabela 4.1 - Variáveis e Parâmetros do <i>link budget</i> relacionados ao transmissor.....	98
Tabela 4.2 - Variáveis e Parâmetros do <i>link budget</i> relacionados ao receptor.....	99

LISTA DE ACRÔNIMOS

3GPP	Third Generation Partnership Project
ACK	Acknowledgement
AICH	Acquisition Indication Channel
ALCAP	Access Link Control Application Part
AM	Amplitude Modulation
AMC	Adaptative Modulation and Coding
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AMR	Adaptative Multi-Rate Codec
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
API	Application Programming Interface
AuC	Authentication Centre
BCCH	Broadcast Control Channel
BCD	Binary Coded Decimal
BCH	Broadcast Channel
BER	Bit Error Rate
BG	Border Gateway
BLER	Block Error Rate
BMC	Broadcast/Multicast Control Protocol
BoD	Band on Demand
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CA - ICH	Channel Assignment Indication Channel
CAC	Call Admission Control
CAMEL	Customised Application for Mobile Network Enhanced Logic
CCC	Central de Comutação e Controle
CCCH	Common Control Channel
CCH - FP	Frame Protocol for Common Channel
CD - ICH	Collision Detection Indication Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CI	Cell ID
CM/SM	Connection Management/ Session Management
CN	Core Network
CPC	Continuous Packet Connectivity
CPCH	Common Packet Channel
CPICH	Common Pilot Channel
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRNC	Controlling RNC
CS	Circuit Switched

CS- MGW	Circuit Switched - Media Gateway Function
CSICH	CPCCH Status Indication Channel
DCCH	Dedicated Control Channel
DCH	Dedicated Channel
DCH - FP	Frame Protocol for Dedicated Channel
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
DPCH	Dedicated Physical Channel
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel
DRNC	Drift RNC
DS	Direct Sequence
DS - CDMA	Direct Sequence - Code Division Multiple Access
DSCH	Downlink Shared Channel
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DTCH	Dedicated Traffic Channel
E - DPCCH	Enhanced Dedicated Physical Control Channel
E - DPDCH	Enhanced Dedicated Physical Data Channel
E-DCH	Enhanced Dedicated Channel
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
EM	Estação Móvel
EMC	Electromagnetic Compatibility
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ERB	Estação Rádio - Base
EUTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
FACH	Forward Access Channel
FBI	Feedback Information
FCC	Federal Communication Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FER	Frame Error Rate
FH	Frequency Hopping
FH - CDMA	Frequency Hopping - Code Division Multiple Access
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FM	Frequency Modulation
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GLR	Gateway Location Register
GMSC	Gateway Mobile services Switching Centre
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications

HARQ	Hybrid Automatic Retransmission Request
HLR	Home Location Register
HM - CDMA	Hybrid Modulation - Code Division Multiple Access
HOM	Higher Order Modulations
HS - DSCH	High Speed - Downlink Shared Channel
HS - SCCH	High Speed - Shared Control Channel
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMS	IP Multimedia Service Subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT - 2000	International Mobile Telecommunications 2000
IP	Internet Protocol
IR	Incremental Redundancy
IS - 136	Interim Standard - 136
IS - 95	Interim Standard - 95
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISIM	IMS Identity Module
ISM	Industrial, Scientific, Medical
ITU	International Telecommunication Union
IWF	Interworking Function
LA	Location Area
LAI	Location Area Identity
LCS	Location Service
LMSI	Local Mobile Station Identity
LMU	Location Measurement Unit
LOS	Line of Sight
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MBMS	Multimedia Broadcast/ Multimedia Services
MC - CDMA	Multicarrier CDMA
ME	Mobile Equipment
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MM/MGM	Mobility Management / GPRS Mobility Management
MRC	Maximal Ratio Combining
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Services Switching Centre
MSISDN	Mobile Subscriber ISDN Number
MSRN	Mobile Station Roaming Number

MSS	Mobile Satellite Service
MT	Mobile Termination
NACK	Unacknowledged
NBAP	Node B Application Part
NMT	Nordic Mobile Telephone
NT	Network Termination
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor
P - SCH	Primary Synchronisation Channel
PCCH	Paging Control Channel
P-CCPCH	Primary Common Control Physical Channel
PCH	Paging Channel
PCPCH	Physical Uplink Common Packet Channel
PDC	Personal Digital Cellular
PDN	Public Data Network
PDP	Packet Data Protocol
PDPC	Packet Data Convergence Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PDU	Protocol Data Unit
PICH	Paging Indicator Channel
PLMN	Public Land Mobile Network
PoC	Push-to-Talk over Cellular
PRACH	Physical Random Access Channel
PS	Packet Switched
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RA	Routing Area
RAB	Radio Access Bearer
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RANAP	Radio Access Network Application Part
RAP	Random Access Procedure
RFC	Request for Comments
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystems
RNSAP	Radio Network System Application Part
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RT	Radio Termination
RTT	Radio Transmission Technology

S - SCH	Secondary Synchronisation Channel
SABP	Service Area Broadcast Protocol
SAE	System Architecture Evolution
SAP	Service Access Point
S-CCPCH	Secondary Common Control Physical Channel
SCH	Synchronisation Channel
SCR	System Chip Rate
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SIR	Signal to Interference Ratio
SLA	Service Level Agreement
SMS	Short Message Service
SRNC	Serving RNC
TACS	Total Access Communications Systems
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Terminal Equipment
TFCI	Transport Format Combination Indicator
TH - CDMA	Time Hopping - Code Division Multiple Access
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
TPC	Transmit Power Control
TRAU	Transcoding and Rate Adaptation Unit
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
U-RNTI	UTRAN Radio Network Temporary Identity
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
VOIP	Voice over IP
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

1 Introdução

1.1 Histórico

O processo de evolução da telefonia móvel teve seu início no ano de 1983 com a comercialização do primeiro celular aprovado pela FCC (*Federal Communication Commission*). No Brasil, a introdução da telefonia móvel ocorreu na década de 90.

O mercado de comunicações móveis cresceu excessivamente desde a introdução dos sistemas digitais. Existem indicações de que o número de assinantes continuará crescendo nos próximos anos, com um aumento bastante significativo no número de usuários e dos minutos de uso. Para que o Brasil acompanhe a evolução mundial dos sistemas usados em comunicações móveis, é necessária uma maior agilidade nas negociações entre Governo e operadoras para o desenvolvimento e implantação de novas tecnologias facilitando o acesso dos usuários a melhores serviços.

Segundo a Anatel, o Brasil fechou janeiro de 2012 com quase 245,2 milhões de linhas ativas na telefonia móvel. O número absoluto de novas habilitações chegou a 2,9 milhões, sendo o maior registrado em um mês de janeiro nos últimos 13 anos e representa um crescimento de 1,22% em relação ao mês de dezembro de 2011, conforme ilustra a figura 1.1. Os terminais 3G totalizaram mais de 50,8 milhões de acessos.

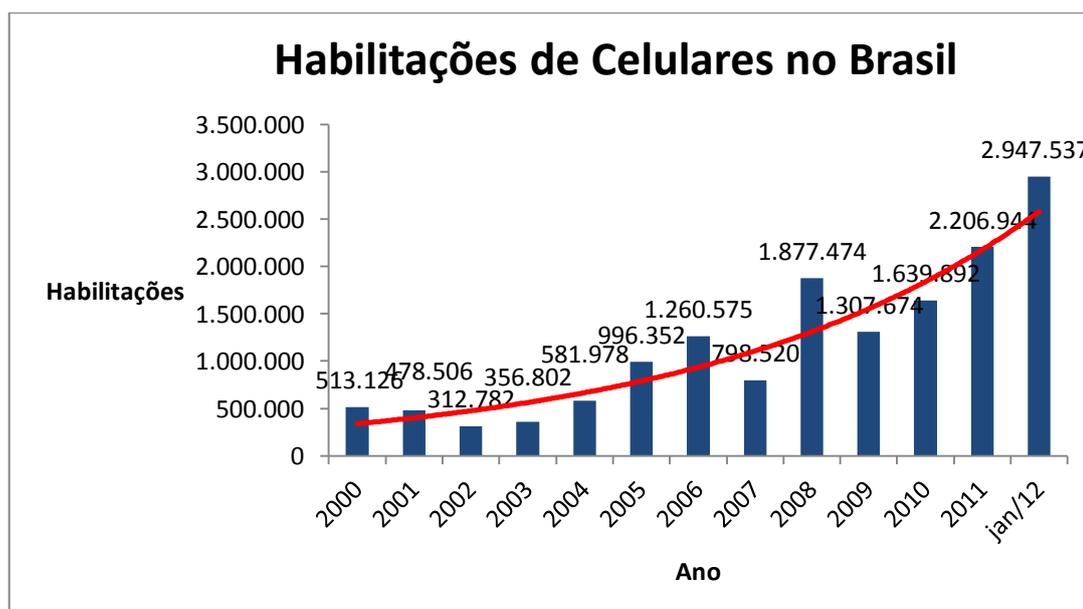


Figura 1.1 - Habilitações de Celulares no Brasil - (Fonte: www.anatel.gov.br)

Para entender o processo de evolução da telefonia móvel é necessário conhecer as tecnologias desenvolvidas e as que estão em processo de implantação. As gerações das redes de telefonia móvel são: 1G, 2G, 2.5G, 3G e 4G; sendo as redes 3G em operação comercial no Brasil e no mundo e as redes 4G em fase de implantação. Estas gerações são classificadas de acordo com suas características como: acesso múltiplo, modulação, serviços, capacidade e perfil dos usuários.

O padrão AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), assim como o TACS (*Total Access Communications Systems*), o PDC (*Personal Digital Cellular*) e o NMT (*Nordic Mobile Telephone*) foram definidos como primeira geração (1G). A primeira geração utilizava tecnologia analógica, inicialmente com modulação em amplitude (AM), porém a qualidade do sinal não era satisfatória, então, passou a ser utilizada a modulação em frequência (FM). O Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA - *Frequency Division Multiple Access*) também é uma das características desta geração; que apresentava baixa capacidade de transmissão de voz, pouca segurança da informação e alto consumo de bateria dos aparelhos.

Com o advento da tecnologia digital, surgiram os padrões de segunda geração (2G). O Acesso Múltiplo por Divisão no Tempo (TDMA - *Time Division Multiple Access*) e o Acesso Múltiplo por Divisão no Código (CDMA - *Code Division Multiple Access*) são as principais características dos padrões desta geração. Estas redes de segunda geração suportavam serviços de SMS (*Short Message Service*), porém não eram capazes de suportar serviços básicos de *internet* e serviços de dados a elevadas taxas de transmissão. O GSM (*Global System for Mobile Communications*), o padrão IS-136 (TDMA) e o padrão IS-95 (CDMA) fazem parte desta geração.

As redes 2.5G marcaram o início dos serviços de dados por pacote. O GPRS (*General Packet Radio Service*) e o EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) são exemplos de redes 2.5G para acesso TDMA e o CDMA 2000 ou 1xRTT (*Radio Transmission Technology*) para acesso CDMA.

A migração para redes 3G para suprir a crescente demanda de tráfego por novos serviços de dados a elevadas taxas de transmissão [1] faz parte da realidade no mundo das telecomunicações atualmente.

As redes 3G ou Sistemas UMTS tiveram seu desenvolvimento iniciado através do processo de padronização proposto pela UIT (União Internacional de

Telecomunicações) - padrão IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications 2000*), na Europa em 1990 [1]. Em 1998, em um acordo firmado entre organizações, foi definido que a tecnologia de transmissão rádio (RTT - *Radio Transmission Technology*), ou seja, a interface aérea do sistema UMTS seria a WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) marcando o início do 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*).

Os sistemas UMTS possuem como principais características a mobilidade (*roaming global*) e a transmissão em conexões de comutação de circuitos e comutação de pacotes, onde as informações trafegam em pacotes IP (*Internet Protocol*) caracterizando a convergência entre a rede fixa e a rede móvel.

As redes 4G representam uma evolução do HSPA (*High Speed Packet Access*) e são denominadas LTE - (*Long Term Evolution*) sendo baseadas no acesso OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). A taxa de dados para o enlace direto (ERB→EM) é de 100 Mbits/s com uma largura de faixa do canal de 20 MHz.

A figura 1.2 representa o processo de evolução da telefonia móvel no mundo.

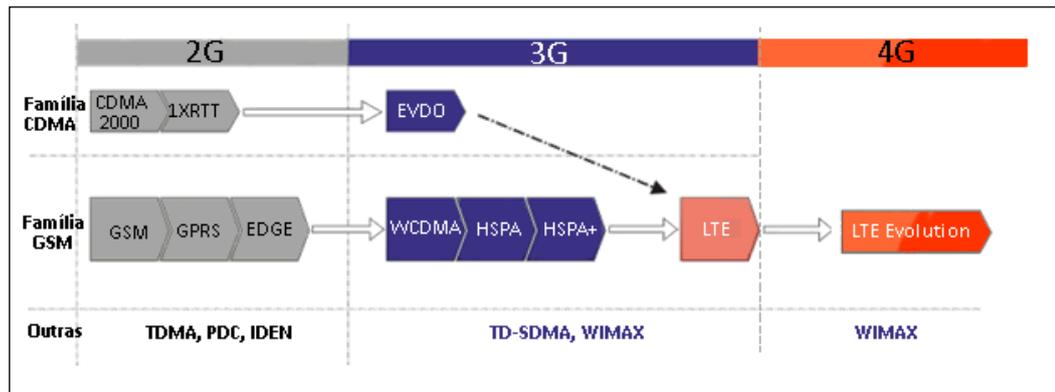


Figura 1.2 - Evolução da Telefonia Móvel - (Fonte: www.teleco.com.br)

1.2 Revisão Bibliográfica

Para que se possa ter uma visão geral das pesquisas realizadas sobre o tema até o presente momento, as principais referências bibliográficas para elaboração desta Dissertação de Mestrado serão apresentadas sumariamente como, também, uma pesquisa detalhada foi realizada em artigos do IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) sobre as inovações tecnológicas para os Sistemas UMTS.

AGHVAMI, H.; JAFARIAN, B. [1] apresentam uma visão detalhada contemporânea dos Sistemas UMTS ao processo de padronização IMT-2000.

HAYKIN, Simon *et al* [2] propuseram esmiuçar as técnicas de acesso múltiplo por sequência direta (DSSS) e por salto em frequência (FHSS); assim como também o Código de Alamouti fazendo uma introdução à diversidade de espaço e antenas inteligentes (MIMO - *Multiple Input Multiple Output*).

ZREIKAT, Aymen I.; AL-BEGAIN, Khalid [3] realizam uma abordagem sobre Controle de Admissão de Chamadas (CAC- *Call Admission Control*); e resalta sobre o caráter estático da cobertura e capacidade das células em redes GSM, de forma paradoxal em Sistemas UMTS em que a cobertura e capacidade das células são dinâmicas.

MASON, P. C.; CULLEN, J. M.; LOBLEY, N. C. [4] propuseram destrinçar a Arquitetura dos Sistemas UMTS mencionando características de operacionalidades funcionais das plataformas de dados, como tarifação em redes 3G proporcionada pelo protocolo CAMEL (*Customised Application for Mobile Network Enhanced Logic*).

SVERZUT, José Umberto [5] faz um detalhamento sobre a arquitetura do Sistema UMTS, suas interfaces e seus protocolos. A estrutura dos canais físicos, lógicos e de transporte também são analisadas.

HOLMA, Harri *et al* [6] desenvolveram um estudo da tecnologia de transmissão rádio para sistemas UMTS onde são considerados: controle de interferência e robustez caracterizados pela alta eficiência espectral e ortogonalidade proposto por esta técnica de acesso múltiplo banda larga (WCDMA).

YACOUB, Michel Daoud [7] proporciona um estudo detalhado sobre os métodos de diversidade no espaço e suas propriedades estatísticas.

CHENG, Shin-Ming *et al* [8] ressaltam o conceito de segurança das informações do perfil dos assinantes concentradas no elemento de rede (HSS - *Home Subscriber Server*).

COTA, Nuno [9] concentra-se na descrição da tecnologia GSM, sendo uma das principais referências bibliográficas que auxilia no entendimento do CN - *Core Network* dos sistemas UMTS devido à semelhança com a arquitetura da rede GSM.

TANENBAUM, Andrew S [10] auxilia no entendimento dos serviços de voz e dados proporcionados pelas redes 3G, no que diz respeito ao domínio da comutação de circuito e de pacotes, respectivamente, como também, os esquemas de modulação adaptativa em redes WIMAX.

LATHI, B. P. *et al* [11] é uma das principais referências bibliográficas que proporcionam o entendimento das técnicas de modulação nos sistemas de comunicações analógicos e digitais modernos.

SEUNGHWAN, Kim *et al* [12] realizam neste artigo o estudo de técnicas baseadas no Fator de Espalhamento Ortogonal Variável (OVSF - *Orthogonal Variable Spreading Factor*), que influenciam em diversos fatores como a potência requerida e a taxa de dados dos Sistemas UMTS.

BERTONI, Henry L. [13] concentra-se em um estudo aprofundado sobre Ganho de Percurso (*Path Gain*) para desvanecimentos em ambientes urbanos, onde podemos fazer analogias com as redes sem fio metropolitanas e geograficamente distribuídas WIMAX (IEEE 802.16), pois esta é a tecnologia utilizada nas redes 3G.

Um estudo detalhado das especificações técnicas do 3GPP foi realizado nesta Dissertação de Mestrado, a referência bibliográfica [23] abrange de uma forma geral a rede de acesso rádio dos Sistemas UMTS, assim como, também, suas funcionalidades relativas à mobilidade como: controle de potência e *handover*. Em [16] é feita uma abordagem sobre multiplexação; e também podemos ressaltar no estudo desta especificação técnica o protocolo HARQ - *Hybrid Automatic Retransmission Request*, que realiza retransmissões de pacotes com erros em até 10 ms.

Em [14], é feita uma análise da técnica de espalhamento espectral nos Sistemas UMTS, proporcionando o entendimento da assimetria das técnicas de modulação para os enlaces direto e reverso, o que irá influenciar na capacidade de

transmissão dos respectivos enlaces. A referência bibliográfica [24] concentra-se no estudo da Arquitetura de Protocolos de Aplicação dos Sistemas UMTS, enfatizando os protocolos utilizados no processamento das camadas física, de transporte e rádio.

A referência bibliográfica [25] concentra-se nos aspectos gerais da interface Iub, responsável pela interligação entre a Node B e a RNC (*Radio Network Controller*). Em [26], uma abordagem complementar sobre a sinalização utilizada pela interface Iub é realizada.

Em [27] é feito um detalhamento dos aspectos gerais da interface Iur que realiza a conexão lógica entre duas RNCs distintas. De forma complementar ao estudo realizado nesta Dissertação de Mestrado, a referência bibliográfica [28] faz uma abordagem sobre os procedimentos de sinalização nesta interface.

A referência bibliográfica [29] concentra-se nos aspectos gerais da interface Iu que faz a interligação entre o CN e a UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Em [30], uma abordagem sobre os procedimentos de sinalização desta interface é realizado.

A referência bibliográfica [20] propõe dissecar sobre os canais físicos e o mapeamento dos canais de transporte em canais físicos dos Sistemas UMTS.

MONSERRAT, Jose F. *et al* [15] concentram-se no estudo de técnicas de mitigação aos desvanecimentos lento e rápido como o ganho de macrodiversidade.

LAIHO, Jaana *et al* [17] concentram-se em um dos principais estudos para esta Dissertação: Análise e Planejamento de Sistemas UMTS, em que pré-requisitos de capacidade, como números de usuários e serviços utilizados, e cobertura, onde os cálculos de enlace (*link budget*) dos serviços de altas taxas de dados, devem proporcionar uma eficiente Qualidade de Serviço (QoS).

OPPERMANN, Ian; LATVA-AHO, Matti; KUMPUMAKI, Timo [18] propuseram estudar neste artigo, capacidade, cobertura e controle de potência em múltiplas células que utilizam a tecnologia WCDMA.

LIU, Tuo; EVERITT, David [19] concentram-se no estudo das interferências nos Sistemas UMTS como: a interferência de células adjacentes,

onde podemos exemplificar operadoras de telefonia móvel operando em portadoras adjacentes, assim como o efeito do desvanecimento lento ou sombreamento em ambientes urbanos ocasionados por construções na linha de visada (LOS - *line of sight*) das ondas eletromagnéticas.

HATA, Masaharu [21] descreve, minuciosamente, o Modelo de Propagação para diferentes ambientes de propagação como áreas urbanas, suburbanas e rurais provenientes de métodos de predição computacionais de Okumura, auxiliando nos cálculos das simulações no Matlab do Capítulo 5 desta Dissertação de Mestrado.

DREBLER, Hans-Joachin [22] faz um detalhamento sobre as expressões matemáticas, no que diz respeito aos pré-requisitos para cálculos de enlace-rádio para determinar capacidade e cobertura de uma célula, referentes às simulações no *software* Matlab apresentadas nesta Dissertação de Mestrado.

KAARANEN, H *et al* [31] concentram-se no estudo detalhado da arquitetura de rede de acesso rádio dos Sistemas UMTS, complementando o estudo realizado em [6].

1.3 Objetivo

O objetivo desta Dissertação de Mestrado é fazer uma análise quantitativa e qualitativa do planejamento de sistemas UMTS através de simulações computacionais utilizando o *software* Matlab levando em consideração parâmetros como: frequência de operação, serviços utilizados, classificados como: voz, dados em tempo real, dados em tempo não real, ambiente de simulação e pré-requisitos para análise de capacidade e cobertura dos Sistemas UMTS, sempre visando qualidade e melhor custo-benefício ao usuário final.

1.4 Estrutura da Dissertação

O primeiro capítulo desta Dissertação apresenta o processo de evolução da telefonia móvel no mundo.

O segundo capítulo analisa a arquitetura dos Sistemas UMTS, onde é apresentado um estudo direcionado aos componentes básicos tanto da rede de

acesso quanto da rede de *Core*, assim como as interfaces que interligam estes elementos.

O terceiro capítulo realiza um estudo aprofundado sobre a interface aérea WCDMA e suas principais características como o espalhamento espectral e a ortogonalidade como técnica de mitigação da interferência. O controle de potência e de *handover* também são estudados neste capítulo.

O quarto capítulo faz uma análise detalhada do planejamento de Sistemas UMTS através de expressões matemáticas em que pré-requisitos como capacidade e cobertura das células são estudados.

O quinto capítulo apresenta uma simulação de desempenho realizada no *software* Matlab, em que foram gerados gráficos através de diversos parâmetros de entrada com o objetivo de obter conclusões qualitativas dos Sistemas UMTS.

O sexto capítulo apresenta a conclusão desta Dissertação de Mestrado; e os possíveis trabalhos futuros que poderão ser realizados tendo como base este tema.

2 O Sistema UMTS

2.1 Introdução

A primeira rede WCDMA a entrar em operação comercial foi a da NTT DoCoMo (Japão) em 2001, seguida da *Softbank* (antiga *Vodafone*) também no Japão. A partir de 2003, entraram em operação as primeiras redes WCDMA na Europa. Nos Estados Unidos, a primeira a entrar em operação foi a da AT&T (antiga *Cingular*) em 2004.

A primeira rede HSDPA a entrar em operação comercial foi a da AT&T em 2005. Em 2006, 70% das redes existentes em 2005 implantaram o HSDPA e 31 das 48 redes WCDMA, que iniciaram operação neste ano, também implantaram o HSDPA em 2006. Em 2007, apenas 4 das 53 novas redes WCDMA, que iniciaram operação neste ano, não eram também HSDPA.

A primeira rede HSPA+ a entrar em operação comercial foi a da *Telstra* com taxa de pico de *download* de 21 Mbits/s, em fevereiro de 2009, na Austrália. No mesmo ano mais 45 entraram em operação. No mundo, já são 163 redes HSPA+ em operação comercial.

A primeira rede LTE a entrar em operação comercial foi a da *TeliaSonora*, em dezembro de 2009, na Suécia e na Noruega. Atualmente, estão em operação comercial 37 redes LTE no mundo, em 23 países.

A AT&T lançou em setembro de 2008 os primeiros serviços LTE em 5 cidades dos Estados Unidos. A operadora espera cobrir 10 cidades até o final do ano.

A empresa SKY lançou em dezembro de 2011 os primeiros serviços LTE no Brasil, em Brasília, porém, segundo o cronograma da Anatel, a rede de telefonia 4G deverá ser implantada definitivamente no Brasil, em abril/2013 com o objetivo de contemplar grandes eventos como a Copa do Mundo em 2014.

As redes 4G irão utilizar a frequência de 2.5 GHz, pois a licitação ocorreu em Junho/2012 pelo valor de R\$ 2,930 bilhões. Essa faixa é pouco utilizada no mundo, o que dificulta a importação e aumenta o preço final dos modems.

Para promover a interoperabilidade com os Estados Unidos (EUA) e o Canadá, o governo pretende licitar a faixa de 700 MHz para a banda larga móvel, porém o espectro é ocupado pelo sinal analógico das emissoras de televisão.

As redes 3G continuarão em operação por um longo período de tempo, visto que as redes 4G exigem uma grande demanda por investimentos em infraestrutura, onde podemos exemplificar a aquisição de antenas para atender a cobertura requisitada. As redes 3G plus já são uma realidade para operadoras que fizeram o *upgrade* das redes para se adaptarem às constantes atualizações da tecnologia. A figura 2.1 ilustra o quantitativo de redes 3G e 4G no mundo.

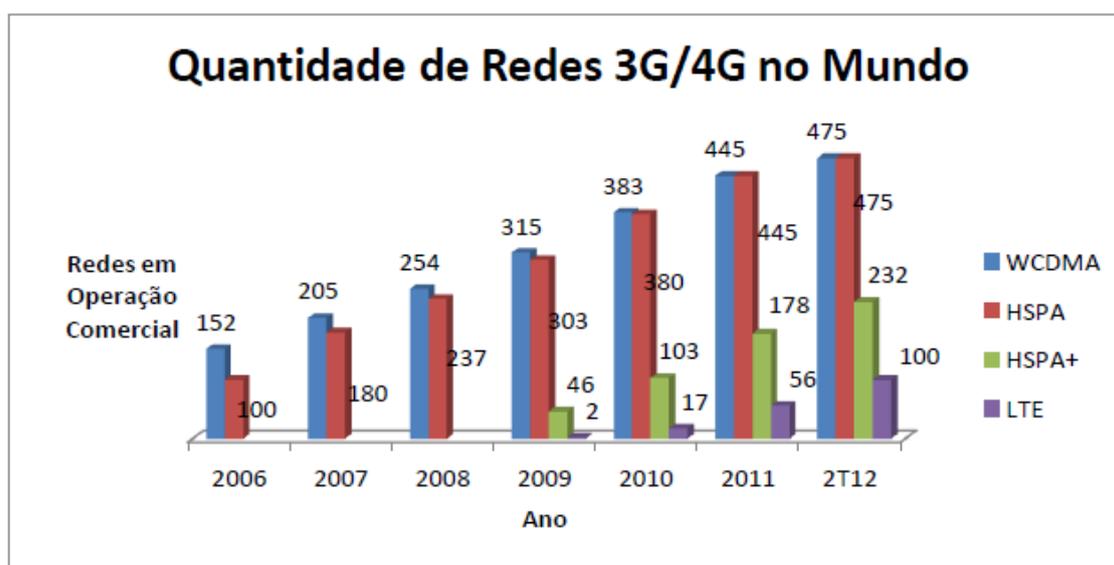


Figura 2.1 - Quantidade de Redes 3G no Mundo - (fonte: GSA - *The Global Mobile Suppliers Association e 4G Américas*)

Segundo dados da Anatel, o Brasil terminou Junho de 2012 com 53,8 milhões de celulares 3G, sendo 42,6 milhões aparelhos WCDMA e 11,2 milhões de terminais de dados 3G. Conforme estatísticas, 21% dos celulares do Brasil são 3G.

A Anatel considera banda larga móvel a soma dos acessos WCDMA com todos os terminais de dados, sejam eles 3G ou não. Os terminais de dados, a partir de Jun/2012, passaram a ser detalhados como: terminais de dados banda larga (modems 3G) e terminais de dados M2M (máquinas de cartões de crédito e débito habilitados nas redes das operadoras). A figura 2.2 representa a quantidade de celulares 3G habilitados no Brasil.

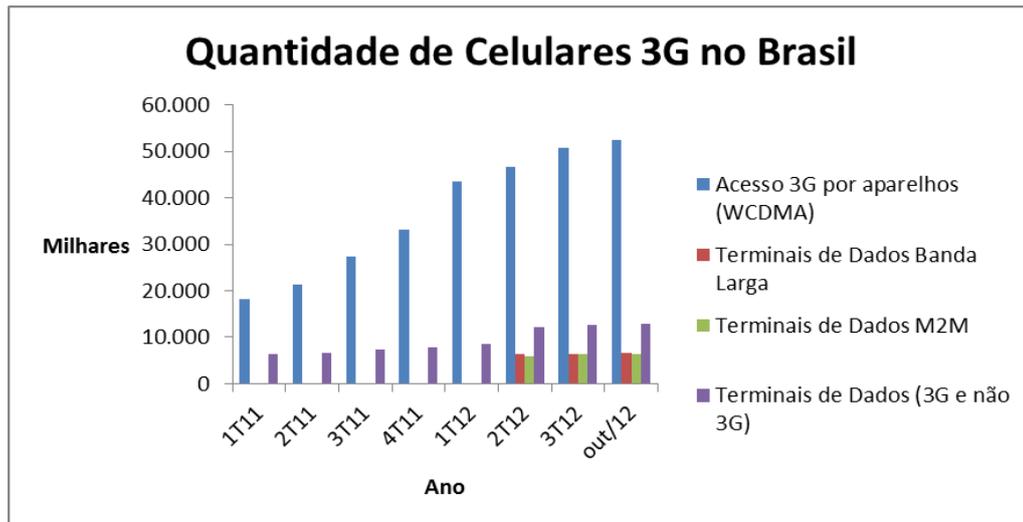


Figura 2.2 - Quantidade de Celulares 3G no Brasil

A definição da interface aérea WCDMA foi um dos importantes pré-requisitos para análise qualitativa dos Sistemas UMTS.

As células que compõem as redes 3G fazem parte de um sistema de comunicação para múltiplos usuários que compartilham o mesmo canal ou faixa de frequência do espectro radioelétrico. O principal fator motivador para a tecnologia de transmissão rádio das redes 3G possuir espalhamento espectral foi a demanda cada vez maior por serviços de dados a elevadas taxas de transmissão como *streaming* de vídeos em que requisitos de qualidade são extremamente necessários. A característica deste tipo de serviço é o tráfego em rajadas, que possui como consequências para técnicas de Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA), a ociosidade da faixa de frequência a ser utilizada pelo usuário, pois nesta técnica o espectro é dividido em múltiplos canais onde trafegam informações para o receptor. A separação entre as frequências do enlace direto (ERB→EM) e do enlace reverso (EM→ERB) é chamada de duplexação por divisão de frequência (FDD - *Frequency Division Duplex*), sendo possível comunicação simultânea nos dois sentidos (*full-duplex*), portanto, não havendo informações sendo emitidas do transmissor para o receptor em um determinado período de tempo (períodos de silêncio), ocorre um desperdício da capacidade de utilização da rede. A figura 2.3 representa a técnica de acesso múltiplo por divisão de frequência.

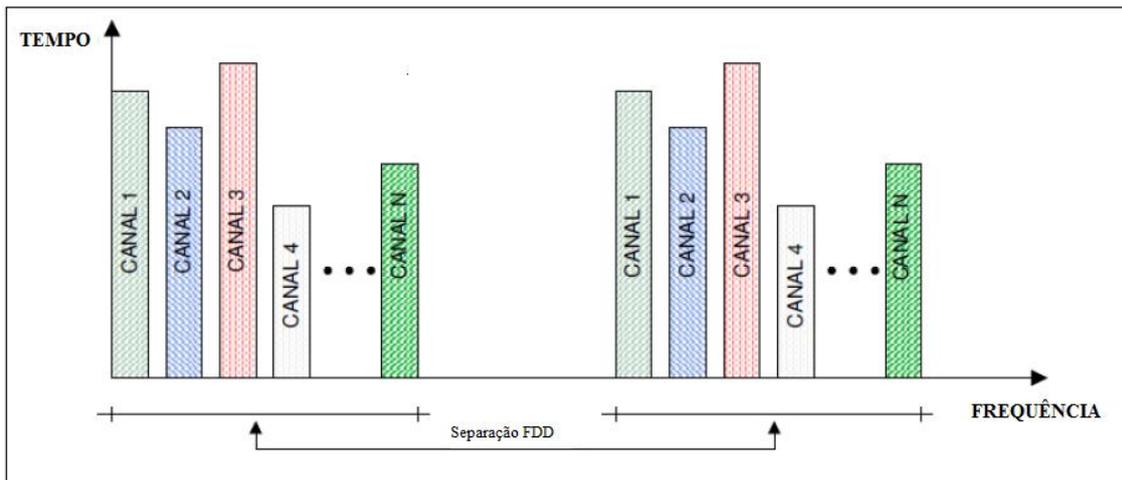


Figura 2.3 - Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência - FDMA

Para a técnica de Acesso Múltiplo por Divisão no Tempo (TDMA) esta situação de ociosidade em períodos de silêncio acontece de forma similar, porém o canal utilizado pelo usuário é dividido em períodos de tempo (*time-slots*). A figura 2.4 representa a técnica de acesso múltiplo por divisão no tempo.

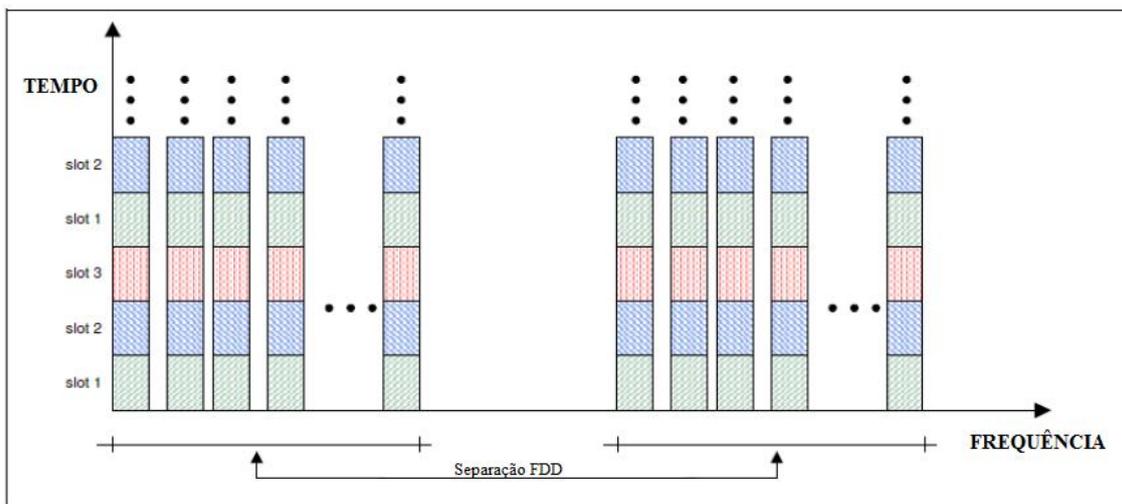


Figura 2.4 - Acesso Múltiplo por Divisão no Tempo - TDMA

Segundo, HAYKIN, Simon *et al* [2], fazendo uma análise comparativa entre as técnicas de acesso múltiplo FDMA e TDMA, a finalidade de um sistema de acesso múltiplo por divisão no tempo é permitir a um número de usuários N , acessar um canal *wireless* de largura de banda B e compartilhamento no tempo. Cada usuário acessa o canal por apenas uma fração de tempo ao longo de um período e de forma ordenada, com a taxa de transmissão sendo N vezes a taxa

necessária ao usuário. No sistema FDMA, cada usuário tem acesso a toda a largura de banda B do canal, de forma que nesta técnica de acesso, cada usuário está associado a uma fração da largura de banda do canal, ou seja, B/N . Neste sistema o usuário acessa o canal durante um tempo contínuo. Podemos, então, concluir, que um sistema de acesso múltiplo utilizado de forma ineficiente limita o número de usuários simultâneos do canal de comunicação comum. A solução encontrada foi o espalhamento espectral (*spread-spectrum*), que permite múltiplos usuários compartilhando o sub-canal (FDMA) ou canal (TDMA) pelo uso de sinais do espectro espalhado.

Os sistemas de espalhamento espectral envolvem técnicas de modulação nas quais o sinal de interesse, com uma largura de banda de informação R_b , é espalhado de forma a ocupar uma largura de banda de transmissão R_c muito maior.

Para comparar um sistema de espalhamento espectral com um sistema FDMA, considere um serviço para o qual a largura de banda disponível é $W = R_c$. Um sistema FDMA dividiria essa largura de banda em N canais de largura $R_b = R_c/N$, sendo que cada usuário seria alocado em um canal de largura de banda R_b . Normalmente, R_b seria um valor próximo da largura de banda mínima requerida pelo usuário. Com o uso de técnicas de espalhamento espectral, o espectro não seria dividido, ou seja; para cada usuário é permitido ocupar qualquer parte do espectro, ou todo ele, na transmissão, sendo que é permitido a mais de um usuário transmitir simultaneamente.

As técnicas de espalhamento espectral foram desenvolvidas, originalmente, para aplicações militares, porém interesses comerciais nestas técnicas cresceram devido à sua característica de grande tolerância a interferências. O ímpeto para estes interesses foram pelos seguintes motivos: o crescimento dos sistemas de telefonia celular, e decisões regulatórias que têm permitido o uso não licenciado de algumas bandas de frequências para transmissores de baixa potência – bandas ISM (*Industrial, Scientific, Medical*), enquanto o sinal é espalhado para diminuir interferências.

Existem duas técnicas de espalhamento espectral: sequenciamento direto (DS - *Direct Sequence*) e salto de frequência (FH - *Frequency Hopping*); assim como também uma variedade de técnicas híbridas que usam diferentes combinações dessas duas técnicas básicas. Com o espalhamento por sequência direta, o sinal

original é multiplicado por um sinal conhecido de largura de banda muito maior. No espalhamento por salto de frequência, a frequência central do sinal transmitido sofre uma variação pseudo-aleatória.

As técnicas de espalhamento espectral possuem diversas vantagens:

- Maior tolerância à interferência;
- Baixa probabilidade de detecção ou interceptação;
- Maior tolerância a multipercursos;
- Maior capacidade de alcance;

Os moduladores de sequência direta promovem o espalhamento de um sinal de banda estreita por uma grande largura de banda, então, cada terminal de usuário é associado a uma única assinatura de espalhamento que torna cada comunicação de usuário ortogonal para outros usuários. Este procedimento é similar à forma nas quais frequências de portadoras distintas e *slots* de tempo distintos tornam as transmissões dos usuários aproximadamente ortogonais em FDMA e TDMA, respectivamente.

O espalhamento do sinal retira a sensibilidade do sinal de banda estreita original a algumas degradações de canais potenciais e à interferência. Essa propriedade se torna uma vantagem, conforme a demanda, pelo fato do reuso do espectro aumentar. A energia transmitida permanece a mesma, porém devido à largura de banda ser bem maior, o espectro do sinal fica abaixo do limiar de ruído dos receptores. O sinal se assemelha ao ruído para qualquer receptor que não conheça a estrutura do sinal. Por esta razão, o sinal se torna difícil de ser detectado, mesmo se houver um receptor tentando detectá-lo. Esta é uma das principais características da utilização desta tecnologia em aplicações militares. Como o multipercurso pode ser visto como uma forma de interferência, uma maior tolerância à interferência pode significar uma maior tolerância ao multipercurso.

Podemos exemplificar algumas estruturas de receptores; receptores *Rake*, em que a energia do multipercurso pode ser usada como vantagem para melhorar o desempenho.

A quarta vantagem, maior capacidade de alcance, é devido ao fato de que o erro de temporização Δt é inversamente proporcional à largura de banda do sinal,

$$\Delta t \propto \frac{1}{R_c} \quad (2.1)$$

e que o erro de temporização corresponde diretamente ao erro de distância. Essa propriedade permite que algumas técnicas de espalhamento espectral meçam a distância ou a localização do terminal, através de um método conhecido por triangulação. A largura das hipérboles, na figura 2.5, corresponde ao erro de medida no tempo.

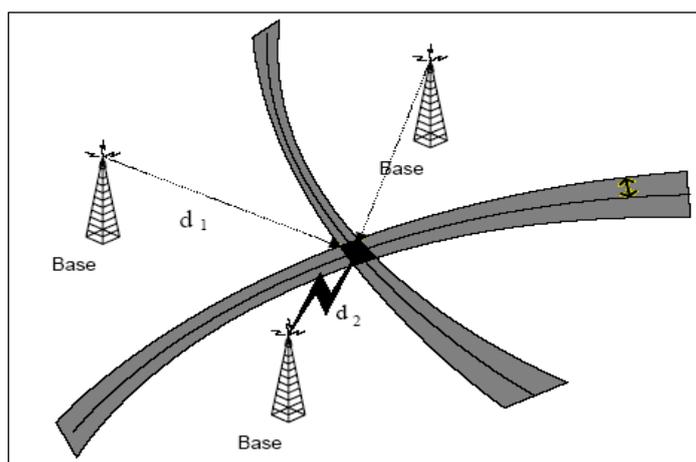


Figura 2.5 - Triangulação Hiperbólica

Os sistemas de salto de frequência têm uma abordagem diferente. Os moduladores destes sistemas processam o sinal de banda estreita e mudam a frequência da portadora a cada conjunto de símbolos. Um padrão de salto pseudo-aleatório, que é conhecido pelo receptor, é usado pelo transmissor. Para um observador externo, o sinal parece estar sendo transmitido com frequências selecionadas aleatoriamente, embora o salto de tempo em cada frequência seja geralmente constante.

Os transmissores FH múltiplos compartilham a mesma faixa de frequências usando diferentes padrões de salto. Se os transmissores são sincronizados, então os padrões de salto podem ser selecionados de forma que existam poucas ou nenhuma colisão em comunicações com transmissores na mesma frequência e ao mesmo tempo. Em situações que os transmissores não estejam sincronizados, então as colisões ocorrerão, porém, para uma largura de banda de salto suficientemente ampla, muito raramente, os erros resultantes poderão ser corrigidos por um código de correção direta de erros.

A proposta das simulações realizadas no *software* Matlab é para o cenário das frequências utilizadas para a implantação do 3G no Brasil. As frequências de

1885 MHz à 2025 MHz e de 2110 MHz à 2200 MHz foram identificadas para uso do IMT - 2000. Para serviços de satélite, uma sub-banda própria dentro do espectro do Sistema UMTS foi alocada: (1980 MHz - 2010 MHz para *uplink* e 2170 MHz - 2200 MHz para *downlink*).

Para operações no modo FDD, existem duas bandas iguais, sendo uma para o enlace reverso (EM→ERB): 1920 MHz - 1980 MHz; e para o enlace direto (ERB→EM): 2110 MHz - 2170 MHz separadas por uma banda de guarda. No modo TDD, os enlaces direto e reverso não são divididos por diferentes portadoras de frequências, mas pelo uso de diferentes *slots* de tempo na mesma portadora. Na Tabela 2.1, temos uma descrição do espectro do Sistema UMTS:

Tabela 2.1 - Espectro para Sistemas UMTS

Espectro para Sistemas UMTS	
1920 MHz - 1980 MHz	FDD - enlace reverso (EM→ERB)
2110 MHz - 2170 MHz	FDD - enlace direto (ERB→EM)
1900 MHz - 1920 MHz	TDD
2010 MHz - 2025 MHz	
1980 MHz - 2010 MHz	MSS (<i>Mobile Satellite Service</i>) - <i>Uplink</i>
2170 MHz - 2200 MHz	MSS - <i>Downlink</i>

A principal vantagem dos Sistemas UMTS em relação ao Sistema GSM é a utilização do espectro de forma dinâmica pelos usuários; ou seja, nos Sistemas GSM esta utilização ocorre de forma estática, a capacidade final é limitada pelo número de usuários e o bloqueio irá acontecer quando todos os sub-canais ou *slots* de tempo estiverem ocupados para as técnicas de acesso FDMA e TDMA, respectivamente [3]. Já nas redes 3G, o compartilhamento do espectro faz com que os limites de capacidade da rede degrade a um limiar de 20 dB proporcionando uma queda na Qualidade de Serviço (QoS), conforme mencionado no Capítulo 3 desta Dissertação.

A seguir, é feita uma breve apresentação da evolução dos trabalhos técnicos proposto pelo 3GPP.

Em Dezembro/1999 ocorreu o lançamento da primeira *Release* do 3GPP, a *Release 99 (Rel-99)*. Devido à semelhança do *Core Network* dos Sistemas UMTS às redes legadas GSM, esta *release* apresentou uma consolidação das especificações

básicas do GSM e a apresentação do desenvolvimento da nova rede de acesso, a UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*), visando assim futuras transferências de dados a altas velocidades. As principais características da *Release 99* foram:

- Componentes básicos do UTRA (WCDMA FDD);
- Arquitetura da UTRAN (interfaces e protocolos Iu/Iur/Iub; a serem descritos na seção 2.7 desta Dissertação);
- UMTS AMR (*Adaptative Multi-Rate Codec*), em que a taxa de codificação de voz pode ser controlada pela rede de acesso rádio, promovendo, assim, interoperabilidade com redes já existentes;
- Controle de Ligações Evoluído;
- GLR (*Gateway Location Register*);
- QoS (*Quality of Service*) Avançado para UMTS. Foram definidas quatro classes de QoS: Conversação, *Streaming*, Interatividade e *Background*;
- Na teoria, a velocidade das taxas de dados alcançam 2 Mbits/s [4]. Na prática, temos taxas de 384 kbits/s e fazendo uma comparação com as redes ISDN (*Integrated Services Digital Network*) - Rede Digital de Serviços Integrados – 64 kbits/s, o valor desta taxa é seis vezes maior.

Em Março de 2001, foi divulgada a *Release 4 (Rel-4)*, que continha apenas alguns ajustes em relação à *release* anterior e algumas características novas:

- Componentes básicos do UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) (WCDMA TDD);
- Arquitetura da UTRAN (interfaces e protocolos Iu/Iur/Iub para a parte TDD);
- Transporte e Controle separados no domínio de CS (*Circuit Switched*);
- LCS (*Location Service*);
- *Streaming*;
- Mensagens Multimídia;
- GERAN (*GSM/EDGE Radio Access Network*).

A *Release 5 (Rel-5)* foi divulgada, em Março de 2002, e suas principais características são:

- IMS (*IP Multimedia Service Subsystem*);
- HSDPA;
- QoS;
- AMR banda larga;
- Evoluções na segurança;
- Conexões intra-domínio dos nós da RAN (*Radio Access Network*) para os nós múltiplos do CN (*Core Network*);
- Aplicações de *streaming*, móvel e transparente no domínio PS (*Packet Switched*).

Como podemos observar, foram introduzidas características significativas como o IMS que possibilitou a operação de serviços multimídia de alta qualidade baseados em IP constituindo um novo mercado de aplicações para as operadoras de telefonia.

Outra característica de grande relevância da *Rel-5* foi a melhoria da tecnologia de acesso rádio, com a introdução do HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Nesta tecnologia, o *throughput* do enlace direto chega a atingir 10 Mb/s, teoricamente. Praticamente, esta taxa de transmissão pode chegar a 2 Mb/s.

A *Release 6 (Rel-6)* do 3GPP foi divulgada, em Dezembro de 2004, e define diversas características novas:

- E-DCH (*Enhanced Dedicated Channel*);
- Receptores avançados nos equipamentos dos usuários;
- *Multimedia Broadcast/Multicast Services* (MBMS);
- Melhorias para suportar a integração com WLAN's;
- Melhorias no IMS;
- Melhorias de QoS.

O E-DCH (*Enhanced Dedicated Channel*) é uma das principais características da *Rel-6*, pois oferece capacidade e velocidade de dados para o enlace reverso muito maiores que as disponibilizadas anteriormente. Os usuários podem transmitir dados

em aplicações que exigem um elevado *throughput* como transferências de *e-mails* com anexos e vídeos, que esta tecnologia será capaz de suportar.

Uma outra característica muito interessante, introduzida com a *Rel-6*, é o MBMS (*Multimedia Broadcast/Multicast Services*). Esta tecnologia é capaz de prover o envio de um conteúdo específico a um grande número de usuários, que podem estar em grupos seletos (*Multicast*), ou promover a difusão para todos os usuários (*Broadcast*).

No início do segundo semestre de 2007, foi divulgada a *Release 7 (Rel -7)* que teve como objetivo prover melhoras no desempenho para conversação e interatividade em tempo real, tais como, PoC (*Push-to-talk over Cellular*), VOIP (*Voice over IP*) e o compartilhamento de vídeos e fotos. As principais características da *Rel-7* serão relacionadas, a seguir:

- *Multiple Input Multiple Output (MIMO)*;
- Melhorias na RAN (*Continuous Packet Connectivity - CPC*) e otimizações para atraso (redução da latência);
- Melhorias na rede IMS/*Core*;
- *Higher Order Modulations (HOM's)*;
- *High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)*;
- Evolução do EDGE.

Simultaneamente aos progressos no estudo da tecnologia HSDPA, o lançamento da tecnologia HSUPA ocorreu na *Rel-7* do 3GPP. A combinação do HSDPA com o HSUPA foi denominada HSPA (*High Speed Packet Access*) com o objetivo de proporcionar uma solução sem fio muito eficiente no quesito espectral. Com estas melhorias que foram introduzidas na *Rel-7*, o HSPA passou a ser chamado de HSPA Evoluído ou HSPA+. O CPC (*Continuous Packet Connectivity*) foi um dos principais avanços desta *Release*, pois ele permite uma maior capacidade de usuários em termos de dados que podem estar conectados ao mesmo tempo ao sistema, além de proporcionar uma melhoria em atrasos de transição de estados diminuindo, assim, atrasos iniciais que ocorrem no estabelecimento ou reativação de serviços. A introdução da técnica de diversidade de espaço MIMO contribui para o aumento do número de serviços de banda larga oferecidos aos usuários finais.

A *Rel-7* proporcionou inovações para o IMS e para rede de *Core*. O conceito de IMS foi estendido para “assinantes com fio”, com o intuito de tornar a plataforma comum para as redes fixa e móvel.

O HOM (*Higher Order Modulations*) proporciona uma melhora na taxa de bits para os usuários com alto poder aquisitivo, enquanto a evolução do EDGE melhora o desempenho de todos os usuários.

A *Release 8* do 3GPP foi marcada pela introdução de uma nova rede de *Core*, a SAE (*System Architecture Evolution*). A SAE também é denominada *Evolved Packet Core* (EPC), que operando em conjunto, o LTE/SAE, abrange o EPS (*Evolved Packet System*). O EUTRAN/LTE (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network/ Long Term Evolution*) é uma interface rádio inovadora e evoluída baseada na tecnologia OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), que associa diferentes sub-canais para usuários diferentes, evitando problemas causados por reflexões multipercursos, enviando bits de um dado a baixas velocidades, combinados no receptor para formar uma mensagem de alta velocidade. O SAE é uma rede *All-IP* desenvolvida para suportar o EUTRAN; ou seja, a rede básica e o acesso rádio são completamente comutados por pacotes.

A *Release 9* (*Rel-9*) foi divulgada no final do ano de 2009 e definiu de forma mais precisa algumas integrações do LTE e aprimorou ainda mais alguns componentes das redes 3G, promovendo melhorias nas taxas de transmissão de dados em dispositivos baseados em HSPA+. Desta forma, foi obtida a interoperabilidade entre as duas tecnologias, não havendo a necessidade de migrar do UMTS (3G/3.5G) para o LTE (3.9G/4G) por algum tempo.

A *Release 10* (*Rel-10*) lançou o “*LTE Advanced*” em Março de 2011, que possui a capacidade de combinar diversas portadoras em diversas faixas de frequência e alocando, assim, 100 MHz de banda oferecendo 1 Gbits/s para transmissão de dados, atingindo a especificação mínima proposta pela ITU (*International Telecommunication Union*) para a quarta geração de telefonia móvel.

A *Release 11* (*Rel-11*) está prevista para ser divulgada no final do ano de 2012, e tem como base de estudos a serem implementados, uma camada de serviços IP avançados.

A *Release 12* (*Rel-12*) ainda possui o seu conteúdo de estudo em aberto, com data de divulgação a ser definida.

2.2 Arquitetura do Sistema UMTS

A arquitetura do Sistema UMTS pode ser analisada de acordo com a figura 2.6 abaixo:

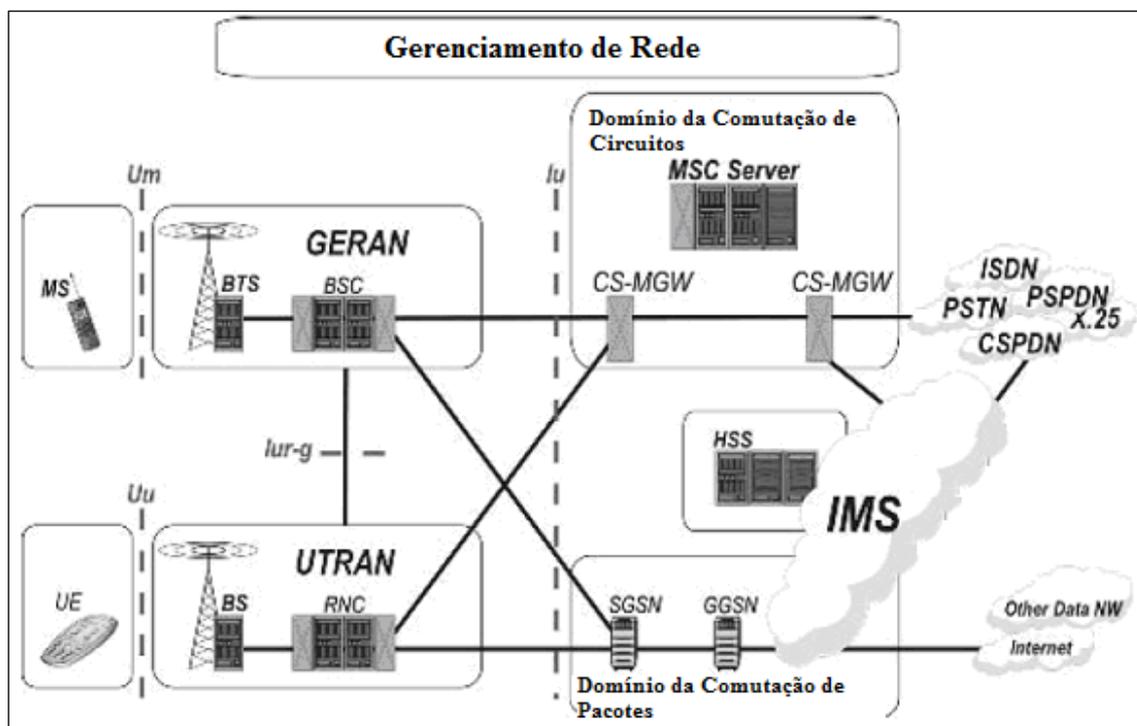


Figura 2.6 - Arquitetura do Sistema UMTS

Este sistema pode ser dividido em diversos subsistemas que se interligam através de interfaces. Os subsistemas são exemplificados a seguir:

- Estações Móveis (*MS - Mobile Station*).
- Equipamentos de Usuários (*UE - User Equipment*).
- Rede de Acesso Rádio GSM/EDGE (*GERAN - GSM/EDGE Radio Access Network*).
- Rede de Acesso Rádio UMTS (*UTRAN - UMTS Radio Access Network*).
- Nó Central de Rede ou Rede de Core (*CN - Core Network*). O *Core Network* é dividido em dois domínios: domínio da comutação de circuitos (*CN- CS (Circuit Switched) Domain*) e o domínio da comutação de pacotes (*CN- PS (Packet Switched) Domain*).
- *IMS (IP Multimedia Service Subsystem)*.

Podemos observar, na figura 2.6, que existem duas redes de acesso, a GERAN e a UTRAN, que se comunicam através de uma interface que será

estudada no decorrer deste capítulo. Ambos estão interligados com o mesmo CN, ou seja, há apenas um CN, sendo que este possui dois domínios em comum para as duas redes de acesso.

2.2.1 Elementos relacionados à GERAN

Conforme citações em SVERZUT [5], os elementos relacionados à GERAN são:

2.2.1.1 MS - *Mobile Station*

O MS é a combinação de um terminal (telefone celular) e um cartão SIM (*Subscriber Identity Module*). Os terminais são chamados de *Mobile Equipment* (ME) e os dados do assinante são armazenados no cartão SIM, onde a origem do nome MS, $ME+SIM = MS$.

2.2.1.2 GERAN

A figura 2.7 mostra uma visão detalhada da GERAN. Ela é composta pela BTS (*Base Transceiver Station*), pela BSC (*Base Station Controller*) e pelo TRAU (*Transcoding and Rate Adaptation Unit*). Existem as interfaces que interligam estes elementos da GERAN que também serão exemplificadas.

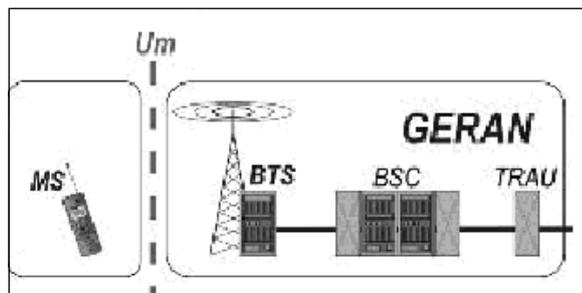


Figura 2.7 - Visão detalhada da GERAN

2.2.1.2.1 BTS

A BTS provê as conexões na interface aérea com a MS. Basicamente, os elementos que formam a BTS são:

- *Hardware* de radiofrequência.
- Antenas

A BTS sempre está interligada ao BSC e ambos realizam as funções dos canais de tráfego e controle da interface aérea. A BTS também é responsável pela criptografia e pelo processamento de voz, que corresponde a todos os métodos para garantir uma conexão sem erros entre ela e o MS.

2.2.1.2.2 BSC

A BSC é o elemento central da rede GERAN. Este elemento controla esta rede, o que significa que suas principais responsabilidades são: manter as ligações rádio do MS e as conexões com o CN.

A área de uma determinada BSC é definida como área de cobertura rádio compreendida por uma ou mais células controladas por esta BSC.

2.2.1.2.3 TRAU

O TRAU é o elemento de rede que faz o processamento da codificação e decodificação de voz, ou seja, ele converte a voz de um formato de codificação digital para outro e também promove a decodificação do mesmo.

2.2.1.3 INTERFACES

Conforme mencionado anteriormente, a interface que promove a interligação entre a GERAN e a UTRAN é a interface Iur-g. Esta interface também é responsável pela interligação entre duas BSCs.

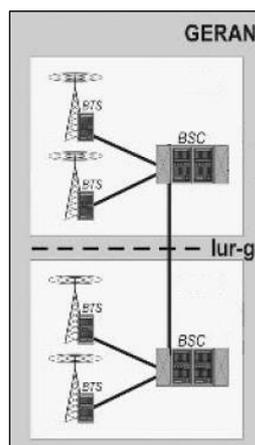


Figura 2.8 - Interface Iur-g

A interface Um é responsável pela interligação entre o MS e a BTS. Outra interface padronizada que promove a interconexão entre a BTS e a BSC é a interface Abis, enquanto a interface Asub interliga a BSC ao TRAU. Podemos visualizar estas três interfaces na figura 2.9.

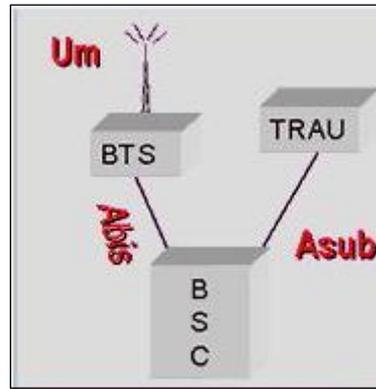


Figura 2.9 - Interfaces Um, Abis e Asub

A interface Iu que interconecta a GERAN ao CN será detalhada mais adiante, pois ela também é responsável pela conexão da UTRAN ao CN.

2.2.2 Elementos relacionados à UTRAN (HOLMA, Harri *et al*, [6])

2.2.2.1 UE

Os terminais móveis dos usuários no UMTS são oficialmente denominados de “*User Equipment*”. O UE é frequentemente também chamado de “terminal” ou “terminal móvel”. A funcionalidade obrigatória de um terminal UMTS está relacionada principalmente à interação deste com a rede. As seguintes funções são consideradas primordiais para todos os terminais UMTS :

- Interface para um circuito integrado permitindo a inserção de um cartão, o UICC (*Universal Integrated Circuit Card*), que contém o USIM (*Universal Subscriber Identity Module*) e, opcionalmente, o aplicativo ISIM (*IMS Identity Module*);
- Prestador de serviços e registrador de rede;
- Mecanismo de atualização de localização;
- Função para originar e receber serviços orientados à conexão e não orientados à conexão;

- Identificação de Equipamento Inalterável – IMEI (*International Mobile Equipment Identity*);
- Identificação básica das capacidades do terminal;
- Capacidade de originar chamadas de emergência sem um USIM;
- Suporte para execução de algoritmos necessários à autenticação e criptografia.

Com o objetivo de facilitar uma possível evolução na tecnologia, os terminais UMTS devem suportar as seguintes aplicações:

- Interface API (*Application Programming Interface*);
- Um mecanismo para *download* de informações relacionadas ao serviço (parâmetros, *scripts* ou *softwares*), a novos protocolos, a outras funções ou a novos APIs;
- Inserção opcional de vários cartões UICC.

O UE é composto pelo ME (*Mobile Equipment*) e pelo UICC, a serem descritos a seguir:

2.2.2.1.1 UICC

O UICC é a parte do UE dependente do usuário. Ele pode conter um ou mais USIM, além de adequado *software* de aplicação. O USIM é basicamente uma função lógica fisicamente implementada no UICC. Opcionalmente, aplicativos ISIM para serviços IMS podem estar presentes.

As operadoras mantêm sigilosamente os dados do USIM dos seus usuários, sendo estes dados chamados de perfis de serviços, também destinados à autenticação de assinantes na rede e a acordos essenciais para serviços IMS.

2.2.2.1.2 ME

A figura 2.10 descreve os componentes essenciais do ME (*Mobile Equipment*):

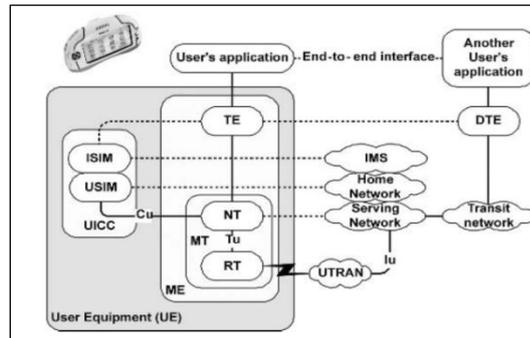


Figura 2.10 - Arquitetura - *User Equipment* - UE

O ME é a parte do UE independente do usuário, constituída por diversos módulos. A parte do ME denominada TE (*Terminal Equipment*) realiza funções para os usuários como controle de chamadas e gerenciamento de sessões. Este equipamento também é responsável pela finalização de serviços na plataforma..

O MT (*Mobile Termination*) é responsável por finalizar as transmissões rádio tanto para rede quanto do ponto de vista da rede. Ele tem a capacidade de adaptar as características do TE com o objetivo de obter a transmissão rádio.

Para as aplicações em sistemas de comunicações móveis, o MT é o próprio terminal. Ele pode se mover dentro da sua área de cobertura, ou seja, para uma mesma CCC (Central de Comutação e Controle), ou, para uma área de cobertura de outra rede de acesso que utilize a mesma tecnologia.

O grupo funcional do MT denominado NT (*Network Termination*) é a parte dependente do CN. O NT realiza o gerenciamento de mobilidade / mobilidade do GPRS (MM/MGM - *Mobility Management / GPRS Mobility Management*) como, também, o gerenciamento de comunicação / sessão (CM/SM - *Connection Management / Session Management*), portanto, o NT pode ser visto como terminal sob o ponto de vista do CN.

Outro grupo funcional do MT, o RT (*Radio Termination*), está relacionado unicamente à rede de acesso. Ele usa protocolos como o MAC (*Medium Access Control*), o RLC (*Radio Link Control*) e o RRC (*Radio Resource Control*) na conexão rádio, portanto, para rede de acesso rádio UTRAN, o RT é um terminal.

2.2.2.1.3 INTERFACES DO ME

O ponto de referência Tu, na figura 2.10, conecta as partes específicas relativas à UTRAN e ao CN, ao final do terminal da mesma forma que a interface Iu faz no fim da rede. O Tu é proprietário, ou seja, é implementado pelo fornecedor no *hardware* do UE, enquanto que a interface Iu é padronizada podendo existir em dispositivos de diferentes fornecedores interligando a UTRAN ao CN.

2.2.3 UTRAN

A figura 2.11 ilustra a arquitetura UTRAN sob a perspectiva dos elementos de rede:

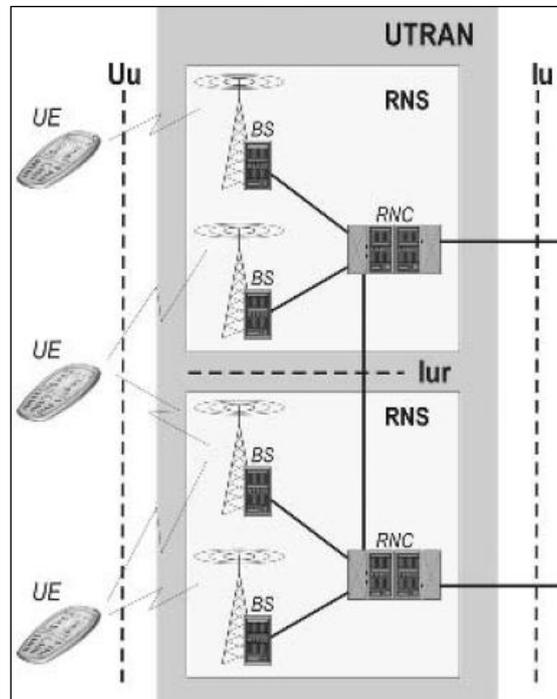


Figura 2.11 - Arquitetura da UTRAN

Conforme podemos analisar na figura 2.11, a UTRAN é uma rede de acesso formada pelo conjunto de diversas RNSs (*Radio Network Subsystems*). Cada RNS destes subsistemas possui uma RNC (*Radio Network Controller*) e um número variável de *Nodes B*, que são as estações rádio-base (BS - *Base Station*).

2.2.3.1.1 Node B (*Base Station*)

A Node B é a unidade física de transmissão e recepção rádio. Ela é responsável pela conversão de dados, enviados pela RNC, em sinais eletromagnéticos e o envio destes sinais para o meio de transmissão. Outra principal funcionalidade da Node B é o controle de potência dos terminais móveis e a captura de dados para o processo de gerenciamento da rede, tais como qualidade e robustez da conexão, que está relacionada à taxa de erro de bit BER (*Bit Error Rate*), e à taxa de erro de quadro FER (*Frame Error Rate*). Os envio destas informações para a RNC estão em um relatório de medidas para que se possa tomar decisões como *handover*, por exemplo.

Do ponto de vista da rede rádio, cada Node B é formada por diversas unidades lógicas denominadas células. Uma célula é a menor entidade da rede e possui um número de identificação próprio chamado CI (*Cell ID*), que constitui um dos métodos de rádio-localização baseado na identidade da célula, porém este método possui baixa precisão comparado a outros métodos mais complexos.

Conforme será estudado no capítulo 3 desta Dissertação, toda célula está associada a um *scrambling code*, que em conjunto com o CI, permite que o UE reconheça aquela célula.

Como mostrado na figura 2.12, a Node B está localizada entre as interfaces Uu e Iub. Ela é conectada ao UE através da interface Uu, que utiliza o WCDMA como tecnologia de acesso rádio, enquanto a comunicação com a RNC é feita via interface Iub.

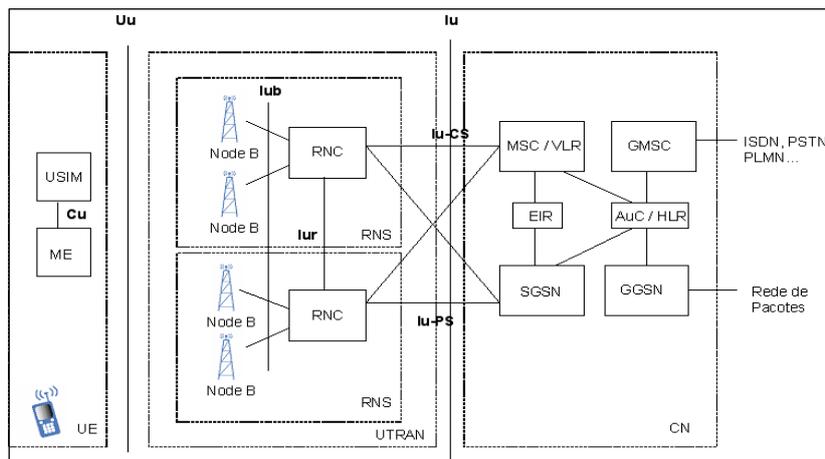


Figura 2.12 - Elementos de rede de uma PLMN (*Public Land Mobile Network*)

Embora as principais funções da Node B estejam relacionadas com a transmissão e recepção do sinal rádio, existem também outras funções como: geração de código e o controle de potência, conforme mencionado anteriormente.

2.2.3.1.2 RNC

A RNC é o elemento responsável pelo controle, comutação e gerenciamento dos recursos rádio da UTRAN. Ela se situa entre as interfaces Iub e Iu, apresentando ainda uma terceira interface, Iur, que faz a interligação entre RNCs.

Quando a interface Iur está implementada na rede, o UE pode se conectar à rede através de diversas RNCs, cada qual desempenhando um certo papel lógico durante a conexão rádio. Assim, de acordo com o papel desempenhado pela RNC em uma determinada conexão, ela poderá ser classificada da seguinte forma: RNC Servidora - SRNC, RNC de *Drift* (*Drift RNC*) - DRNC e RNC de Controle (*Controlling RNC*) - CRNC; conforme ilustra a figura 2.13.

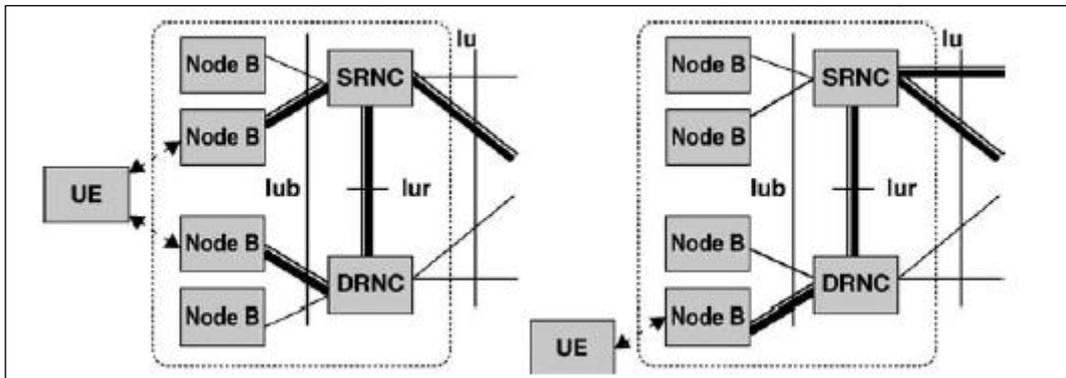


Figura 2.13 - Arquitetura Lógica da RNC

A SRNC é a RNC responsável por finalizar um enlace Iu para o transporte de tráfego do usuário, assim como, para sinalização entre a UTRAN e o CN. A sinalização RRC (*Radio Resource Control*) é também finalizada, e esta é o protocolo de sinalização entre o UE e a UTRAN. A SRNC realiza o processamento da camada 2, gerenciamento de recursos rádio (*Radio Resource Management - RRM*), decisão de *handover* e o controle de potência via *Outer Loop* (*Outer Loop Power Control*). A SRNC pode ser ou não a CRNC que foi utilizada pelo UE para conectar com a UTRAN. Um UE possui somente uma SRNC conectada a ele.

A *Drift* RNC (DRNC) é qualquer RNC, com exceção da SRNC, que controla o uso da célula pelo UE. A DRNC não realiza o processamento de camada 2, porém faz o roteamento transparente entre as interfaces Iub e Iur, exceto quando o UE está usando um canal de transporte comum e compartilhado. A DRNC também realiza macrodiversidade, que será estudado no capítulo 3 desta Dissertação, conforme YACOUB, Michel Daoud [7]. Um UE pode conter uma ou mais DRNCs como, também, pode não existir qualquer DRNC.

A CRNC, por sua vez, é responsável por controlar os recursos lógicos dos pontos de acesso da rede, que neste caso são as Nodes B.

Um último e importante conceito a ser estudado sobre a RNC é o de área da RNC, conforme mencionado anteriormente como CCC (Central de Comutação e Controle). A área da RNC pode ser entendida como a área de cobertura formada por uma ou mais células constituídas por diferentes ERBs.

2.3 INTERFACES

A UTRAN possui diversas interfaces que serão exemplificadas, a seguir:

- Interface Uu - é a interface aberta entre o UE e a Node B, que no UMTS é fisicamente realizada com a tecnologia WCDMA. Na GERAN, a interface equivalente a esta é a interface Um.
- Interface Iub - é a interface lógica entre a Node B e a RNC. Esta interface possui diversas funções de operação e manutenção lógicas da node B, tais como: gerenciamento de recursos rádio; configurações de células; medidas de desempenho da rede rádio; gerenciamento de sistemas de informações; gerenciamento de tráfego de canais comuns, dedicados e compartilhados e, também, gerenciamento de sincronização.
- Interface Iu - a interface Iu é uma interface aberta especificada como fronteira entre o CN e a UTRAN. A Figura 2.14 ilustra a arquitetura desta interface. A interface Iu para o domínio do PS (*Packet Switched*) é denominada de Iu-PS, para o domínio do CS (*Circuit Switched*) é denominada Iu-CS, assim como o domínio de *broadcast* é denominada Iu-BC. Somente deve haver uma única interface Iu-PS, Iu-CS e Iu-BC derivadas de uma RNC. Podemos concluir, então, que as sinalizações e conexão de dados para os domínios da comutação de circuitos e pacotes são

independentes, porém existe o compartilhamento da infraestrutura de transporte entre a Iu-PS e a Iu-CS.

O funcionamento integrado com o CN do GSM e a evolução independente das tecnologias do CN e da UTRAN estão presentes na arquitetura como, também, a migração de alguns serviços do domínio do CS para o domínio do PS.

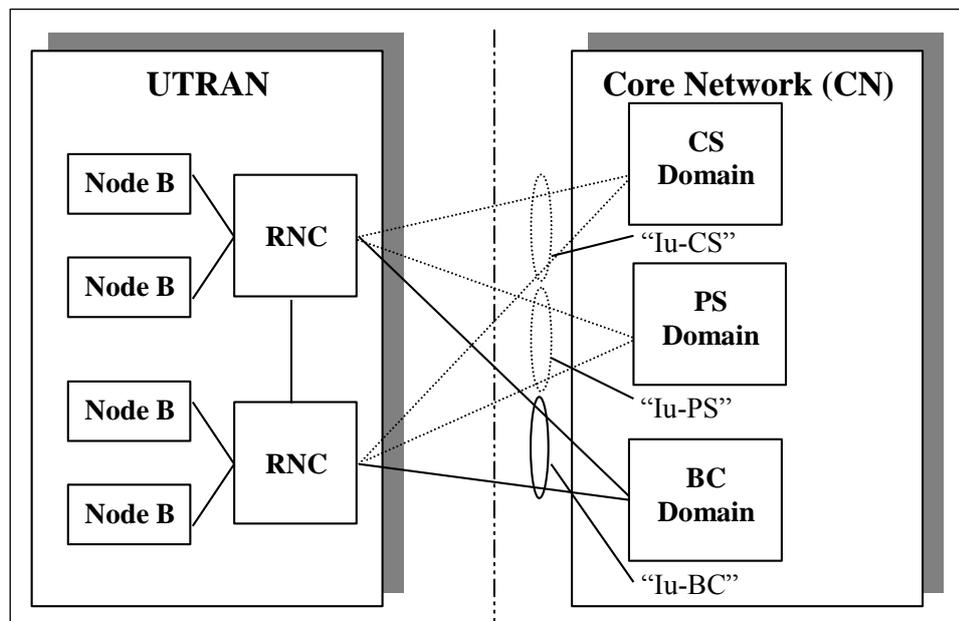


Figura 2.14 - Arquitetura da Interface Iu

- Interface Iur - a conexão lógica que existe entre duas RNCs na UTRAN é denominada Interface Iur. Não existe interface similar a esta no CN GSM. A Iur possui características completamente novas como: macrodiversidade, gestão de recursos rádio e mecanismos de mobilidade eficientes. Esta interface transporta tanto sinalização quanto dados de usuários. Por se tratar de uma interface lógica, ela deve ser viável mesmo na ausência de conexão física direta entre RNCs.

2.4 Interface Iur-g

As redes de acesso GERAN e UTRAN também possuem conexões entre si, sendo estas conexões feitas pela interface Iur-g. Esta interface promove a transferência de informações relacionadas ao gerenciamento de recursos rádio. A

diferença entre a Iur e a Iur-g é que a primeira interface transporta tanto sinalização quanto dados de usuário, enquanto a Iur-g transfere apenas sinalização. Esta interface também é responsável pela interconexão entre BSCs na GERAN.

2.5 Rede de Core (CN)

O CN pode ser visto como a plataforma básica para todos os serviços de comunicação fornecidos pelo UMTS para seus assinantes. O CN do UMTS é totalmente baseado na rede legada (CN) GSM.

Conforme já mencionado anteriormente, o CN é dividido em duas partes: o domínio da comutação de circuitos (CS) e o domínio da comutação de pacotes (PS). Estes domínios se diferenciam pela forma como transferem os dados do usuário. Eles também possuem entidades em comum que se sobrepõem. Uma operadora de telefonia móvel pode implementar os dois domínios ou apenas um deles, ficando este critério a sua escolha. A arquitetura do CN é mostrada na figura 2.15:

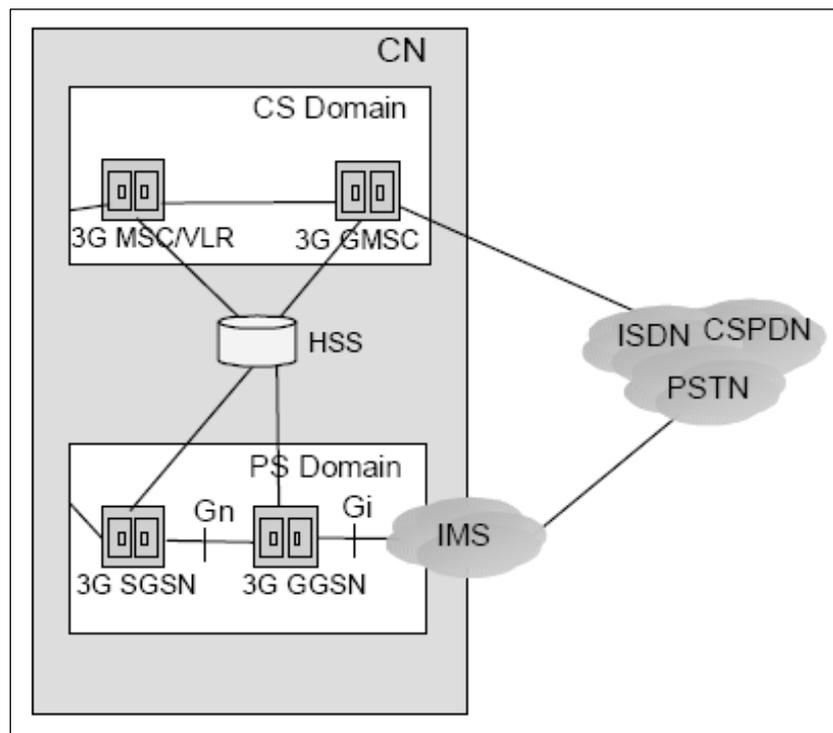


Figura 2.15 - Arquitetura do CN

A figura 2.16 apresenta uma visão detalhada do CN, seus elementos, interfaces e interligação com a UTRAN. Nesta figura, as linhas em negrito representam interfaces que suportam tráfego de usuários e as tracejadas são utilizadas para sinalização.

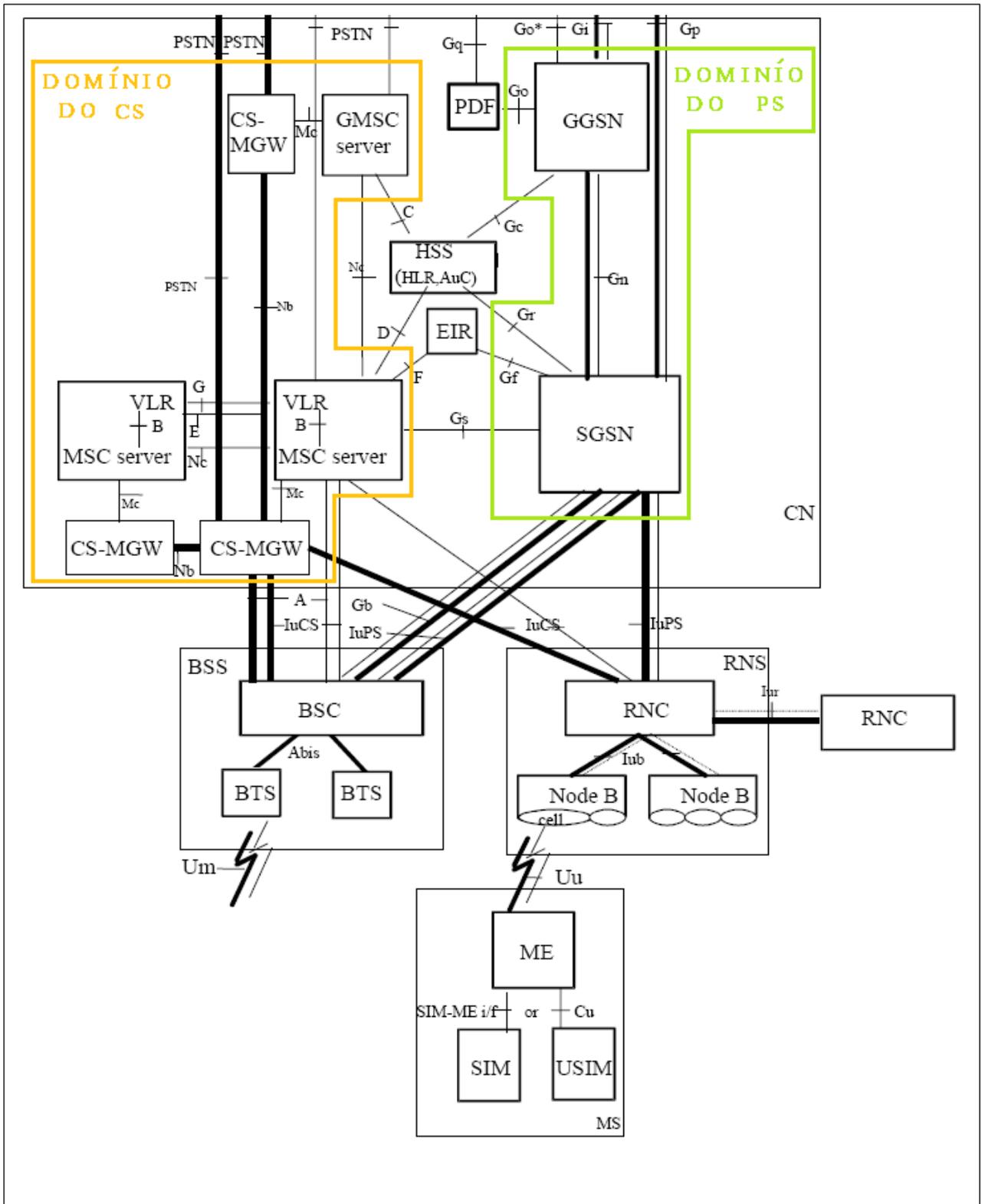


Figura 2.16 - Arquitetura detalhada do CN

As características de cada um dos domínios do CN serão expostas, a seguir. O domínio CS, terá como referência bibliográfica SVERZUT [5].

2.5.1 Domínio do CS

Este domínio se refere tanto ao conjunto de elementos do CN que oferecem conexão por comutação de circuitos para o tráfego de usuário como, também, ao conjunto de elementos que suportam sinalização relacionada a este tipo de conexão.

Estes elementos específicos ilustrados na figura 2.16 são: MSC (*Mobile Services Switching Centre*), VLR (*Visitor Location Register*) e GMSC (*Gateway MSC*).

2.5.1.1 MSC

A MSC constitui a interface entre o sistema rádio e as redes fixas. Ela executa todas as funções necessárias para os serviços de comutação de circuitos provenientes das estações móveis, bem como os que são direcionados a elas.

Certo número de BSSs (*Base Station Subsystem*) e/ou RNSs (*Radio Network Subsystems*) é necessário para prover cobertura em uma determinada área geográfica. Existe uma comunicação bidirecional entre as BSSs e/ou RNSs e a MSC, de forma que cada uma das BSSs e/ou RNSs se comunica com uma MSC, e esta por sua vez, se comunica com uma ou mais BSSs e/ou RNSs. Deste modo, para cobrir uma rede geograficamente distribuída, são necessárias diversas MSCs.

A MSC é responsável por todas as funções de comutação de chamadas entre terminais móveis, e também entre um terminal móvel e um terminal fixo, além da sinalização para as estações móveis localizadas na sua área geográfica, ou seja, na área que foi designada como área da MSC. A área da MSC é a parte da rede coberta por uma determinada MSC, podendo abranger uma ou mais áreas de BSCs/RNCs ou ainda uma ou diversas área de localização (*LA - Location Area*).

A principal diferença entre uma MSC e um nó de comutação de rede fixa é que a MSC tem que levar em consideração o gerenciamento de recursos rádio e a natureza do móvel, tendo que executar as seguintes atividades:

- Procedimentos para registro, autenticação e atualização de localização;
- Procedimento para gerenciar um assinante em *roaming*;
- Procedimentos necessários para *handover*.

A MSC pode ser implementada em dois elementos distintos: A MSC Servidora, que executa a sinalização e o CS-MGW (*Circuit Switched – Media Gateway Function*), que transporta dados do usuário.

A MSC Servidora compreende, principalmente, as partes de controle de chamadas e mobilidade de uma MSC. Ela é responsável, também, pela conversão de sinalização usuário-rede para uma sinalização rede-rede. A MSC Servidora possui todas as capacidades de controle de chamadas requisitadas pelo MGW, podendo controlar diversos deles ao mesmo tempo.

Esta característica apresenta uma vantagem em termos de modularidade, pois quando uma capacidade extra é necessária, é possível adicionar um MGW novo utilizando a MSC Servidora existente.

O CS-MGW é o ponto de terminação de transporte entre a rede fixa e a rede móvel, e também interliga a UTRAN e o CN através da interface Iu. Ele também é responsável pela conexão de chamadas, codificação/decodificação de voz e o efeito *echo canceler*, que é a retirada do eco causado por: atraso de propagação na interface aérea em função da distância, atraso de propagação causado pelo processo de transcodificação (*speech encoding/decoding*) e, também, eco gerado na bobina híbrida que transforma dois fios em quatro fios e vice-versa. Além disso, o CS-MGW interage com o GMSC e com a MSC Servidora para efetuar o controle de recursos.

A MSC Servidora, além de se comunicar com o CS-MGW, também está relacionada ao VLR, cujas características são apresentadas a seguir.

2.5.1.2 VLR

O registro de localização de visitante (*Visitor Location Register*) é responsável pela manutenção de uma cópia dos principais dados presentes no perfil de um assinante armazenados no HLR (*Home Location Register*). Podemos ter como exemplo, a modalidade tarifação na plataforma de dados modificada, segundo protocolos especificados pelo 3GPP, como o CAMEL (*Customised Application for Mobile Network Enhanced Logic*) [4] e o Diameter que promove a isenção de tráfego de dados ocasionando a redução de tarifas para o usuário final.

As principais características mantidas pelo VLR são:

- Estado da estação móvel (livre, ocupado, não responde e outros);
- Identidade de área de localização (*Location Area Identity - LAI*);
- Um número de 15 dígitos para identificar o usuário mundialmente - IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*);
- O MSISDN (*Mobile Subscriber ISDN Number*) que representa o número do telefone do assinante;
- Identidade temporária do assinante móvel (*Temporary Mobile Subscriber Identity - TMSI*). O TMSI pode ser utilizado a critério da operadora, para um assinante móvel que efetua seu processo de autenticação, evitando o envio do IMSI pela interface aérea;
- Número da estação móvel visitante (*Mobile Station Roaming Number -MSRN*);
- O LMSI (*Local Mobile Station Identity*) que representa um número único temporário designado a um assinante móvel visitante usado para acelerar o processo de busca de dados do assinante no VLR.

O VLR mantém a cópia dos dados associados ao perfil do assinante durante um intervalo de tempo definido pelo operador de rede. Esse intervalo de tempo pode ser especificado em minutos ou horas.

O VLR é um banco de dados provisório, que contém as informações especificadas acima sobre os terminais móveis relacionadas à área de atuação dentro de uma MSC, assim como sua mobilidade para uma MSC vizinha. Quando esta situação ocorre, a estação móvel inicia um procedimento de registro. A MSC responsável por aquela área percebe o registro e transfere para o VLR a identidade

da área de localização em que o terminal está situado. Se o terminal móvel não possuir um registro no VLR daquela área, este troca informações com o HLR (*Home Location Register*) tendo como objetivo permitir que o tratamento necessário seja realizado quando uma chamada envolvendo o terminal móvel for requisitada.

A definição de LA (*Location Area*) está relacionada à área em que o terminal móvel pode se locomover sem que haja atualização do VLR. Esta área pode englobar uma ou mais células.

Se uma rede que deseja entregar uma chamada para uma determinada operadora de telefonia móvel não puder interrogar o HLR, essa ligação é encaminhada para uma MSC. Essa MSC irá interrogar o HLR apropriado e, depois, rotear a chamada para a MSC onde a estação móvel está localizada. A MSC responsável por essa função de roteamento para a localização real do MS é chamada de GMSC. A seguir, uma visão detalhada deste elemento do domínio CS.

2.5.1.3 GMSC

A GMSC (*Gateway MSC*) é responsável pelas chamadas que chegam ao domínio CS, e as que saem deste domínio para outras redes.

As operadoras podem escolher quais MSCs devem desempenhar o papel de uma GMSC, podendo ser todas ou apenas algumas. Geralmente, as GMSCs encontram-se nas bordas do domínio do CS.

A GMSC pode ser implementada em duas diferentes entidades, assim como uma MSC comum: a GMSC Servidora que transporta somente sinalização e o CS-MGW, que já foi definido anteriormente. A GMSC Servidora compreende, principalmente, as partes relativas ao controle de chamadas e de mobilidade de uma GMSC.

Podemos, ainda, mencionar, uma outra entidade que faz parte do CS, denominada IWF (*Interworking Function*). O IWF é uma função de interfuncionamento responsável pela interface da rede GSM com demais tipos de redes de dados públicas e privadas. Suas principais funções são: adaptação da taxa dos dados e conversão de protocolos da rede móvel em protocolos da rede fixa. O *hardware* do IWF é formado por um conjunto de modems, os quais realizam as funções de adaptação da taxa de dados entre a rede GSM e a *Internet*, por exemplo.

Devido ao fato do IWF realizar a conversão de protocolos entre rede móvel e fixa, ele não possui nenhuma funcionalidade onde as implementações dos serviços de rede móvel sejam diretamente compatíveis com a rede fixa.

2.5.2 Domínio do PS

Este domínio se refere tanto ao conjunto de todas as entidades do CN, que oferecem conexão por comutação de pacotes para o tráfego de usuários, como ao conjunto de todas as entidades que suportam sinalização relacionada a este tipo de conexão.

Os elementos específicos do domínio do PS estão ilustrados na figura 2.16 e são entidades específicas do GPRS (*General Packet Radio Services*): SGSN (*Serving GPRS Support Node*) e GGSN (*Gateway GPRS Support Node*).

2.5.2.1 SGSN

A função do SGSN é similar a de uma MSC, mas no contexto de serviços orientados a conexão por comutação de pacotes. Existe, também, uma semelhança entre o SGSN e a MSC quanto ao conceito de área de cobertura. Esta parte da rede consiste de uma área a ser servida por um SGSN abrangendo uma ou mais áreas de BSCs/RNCs. Esta área é de roteamento (RA - *Routing Area*), sendo definida como a área em que um móvel, em determinados modos de operação, pode se locomover sem atualizar o SGSN, estando ele contido em uma (LA - *Location Area*).

O SGSN é responsável pela função de roteamento de pacotes para as RNCs e registro de localização através da manutenção de dados necessários para o início e término de transferências de pacotes de dados. Para isso, são armazenados os seguintes tipos de dados dos assinantes:

- IMSI;
- Uma ou mais identidades temporárias;
- Endereços PDPs (*Packet Data Protocol*), que podem existir ou não;
- Informações de localização: Célula ou RA onde o MS está localizado dependendo do modo de operação do terminal móvel, número VLR do VLR associado e endereço de GGSN de cada GGSN para o qual existe um contexto PDP.

A ferramenta para transferência de dados no domínio do PS é chamada de “contexto PDP”. Para transferir dados, o SGSN deve saber com qual GGSN o contexto PDP de um determinado usuário final está ativo. É com este objetivo que o SGSN armazena o endereço do GGSN para cada contexto PDP ativo. Um SGSN pode ter contextos PDPs ativos através de vários GGSNs.

Após este estudo do SGSN, podemos concluir com um resumo as funções primordiais, segundo SVERZUT [5] :

- Detecção de novos usuários GPRS (serviços orientados a pacote) na área de serviço;
- Processamento de registro de novos usuários;
- Criptografia, utilizando os mesmos algoritmos das redes GSM (2G);
- Manutenção dos registros de localização dos usuários dentro da área de serviço;
- Gerenciamento de mobilidade;
- Compressão de dados, de acordo com a RFC (*Request For Comments*) 1144. É importante ressaltar que a RFC 1144 só pode ser usada para comprimir o cabeçalho das unidades de dados TCP/IP;
- Tarifação das transações efetuadas na rede local;
- Processamento de operações de solicitação e resposta para o HLR, visando manter os dados dos usuários da rede móvel.

2.5.2.2 GGSN

O GGSN tem a responsabilidade de manter contato com o equipamento de um assinante móvel à medida que ele se locomove na rede. A funcionalidade do GGSN é semelhante a do GMSC, porém o domínio é da comutação de pacotes. Ele possui uma função de registro de localização, guardando dados do usuário recebidos do HLR e do SGSN. Existem dois tipos de dados de assinantes para executar o início e o término da transferência de dados:

- Informações de assinatura: IMSI e endereços PDPs, que podem existir ou não;

- Informações de localização: o endereço do SGSN onde a estação móvel está registrada.

O SGSN e o GGSN interagem do seguinte modo: O GGSN é responsável por conectar o domínio do PS a outras redes, como por exemplo, a *Internet*. Ele realiza o mecanismo de tunelamento, procedimento feito para rotear pacotes para o SGSN; ou seja, o GGSN recebe os pacotes IP da rede externa e verifica onde o móvel para o qual o pacote é destinado está localizado. O roteamento é feito para o SGSN responsável pela área onde o móvel foi localizado.

O roteamento de pacotes IP originou-se em redes estáticas, porém agora existe uma mobilidade do ponto de destino, que é o terminal móvel. O pacote destinado ao terminal móvel é encapsulado e enviado ao SGSN Servidor, que executa o enlace final para que o usuário possa receber a informação. O endereço do ponto final somente irá mudar, caso o móvel venha a se locomover para área de cobertura de outro SGSN, então, o GGSN recebe o novo endereço do HLR assim que houver atualização de área de roteamento. O endereço IP do terminal móvel não precisa ser modificado.

Com esta descrição acima, podemos concluir que o SGSN e o GGSN facilitam o interfuncionamento da rede móvel com outras redes de dados.

A seguir um resumo das principais funções do GGSN:

- Manutenção das informações de roteamento, visando encaminhar a unidade de protocolo de dados (PDU - *Protocol Data Unit*) ao SGSN que serve uma determinada MS (*Mobile Station*);
- Mapeamento dos endereços de rede e assinante;
- Mapeamento das classes de qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) nas classes utilizadas nas redes *Internet* e PDN (*Public Data Network*);
- Tarifação das transações efetuadas na rede externa.

Outro elemento que pertence ao domínio PS é o BG (*Border Gateway*). O BG é um *gateway* que interliga duas operadoras que suportam serviço GPRS. Seu objetivo é proporcionar um nível de segurança para proteger as operadoras e seus assinantes.

2.5.3 Entidades comuns aos domínios CS e PS

Os elementos comuns aos domínios CS e PS são: o HSS (*Home Subscriber Server*) e o EIR (*Equipment Identity Register*).

2.5.3.1 HSS

O HSS é um sistema de base de dados, que contém informações de assinatura dos usuários [8] para dar suporte às entidades que realizam chamadas e gerenciamento de sessão. O HSS contempla a seguinte execução de atividades: promove suporte aos servidores de controle de voz para que procedimentos de roteamento possam ser completados através da autenticação, autorização e localização.

Uma determinada rede pode conter diversos HSSs, dependendo do número de assinantes, da capacidade do equipamento e da organização da rede. Ele é responsável por armazenar as seguintes informações relacionadas aos assinantes:

- Identificação do usuário e informações de numeração e endereçamento;
- Informações de segurança do usuário, tais como informações de controle de acesso de rede para autenticação e autorização;
- Informações de perfis de usuários.

O HSS oferece suporte e serviços a diferentes entidades dos domínios CS e PS como: MSC Server, GMSC Server, SGSN e GGSN. A heterogeneidade e a transparência para interagir com os diferentes domínios é uma das suas principais características.

Ele engloba dois importantes elementos de uma rede UMTS: o HLR (*Home Location Register*) e o AuC (*Authentication Centre*).

2.5.3.1.1 HLR

Segundo COTA, Nuno [9], o HLR é uma base de dados central que contém os dados permanentes associados a um determinado conjunto de assinantes, tais como: sua identificação (MSISDN), IMSI, categoria da estação móvel (pré-pago e pós-pago), estado, lista de serviços de rede, localização e chave de autenticação.

Para a característica de localização, alguns destes dados são transferidos para o VLR visitado.

É importante ressaltar que o HLR e o GMSC estão sempre localizados na rede de origem, enquanto a MSC Servidora e a rede UTRAN Servidora conectada a esta MSC estão localizadas na rede visitante, que pode ser diferente da rede de origem, em caso de *roaming*.

O terminal móvel mantém sempre o HLR atualizado através de um procedimento de atualização de localização. Com estas informações, o HLR é o único elemento que desempenha o papel capaz de saber onde o móvel está localizado.

2.5.3.1.2 AuC

Utilizando como referência bibliográfica, COTA, Nuno [9], o AuC provê um conceito de segurança dos sistemas celulares com a utilização de uma chave secreta para todos os assinantes da rede, com o objetivo de evitar duplicações de cartões SIM (*Subscriber Identity Module*) e fraudes na faturação de serviços. A criptografia no canal rádio-móvel permite a privacidade nas chamadas.

A proteção das chaves de segurança concentra-se, no AuC, uma base de dados segura e centralizada.

As funcionalidades de segurança do AuC são:

- Privacidade da comunicação;
- Privacidade da localização e identidade do assinante;
- Controle de acesso à rede em relação ao assinante;
- Controle de acesso à rede em relação ao equipamento.

2.5.3.2 EIR

COTA, Nuno [9] define o EIR como o elemento que armazena o número de identificação internacional do equipamento móvel (IMEI - *International Mobile Equipment Identity*). O EIR é periodicamente atualizado, promovendo restrições nos sistemas UMTS conforme a classificação das listas de IMEIs:

- **Lista Branca** - Contém todos os números de série dos equipamentos móveis que estão aptos a utilizarem a rede.
- **Lista Negra** - Contém todos os números de série dos equipamentos móveis cujo acesso à rede está bloqueado.
- **Lista Cinza** - Contém todos os números de série dos equipamentos móveis que estão defeituosos e sem aprovação das entidades competentes para terem acesso à rede.

2.5.4 Subsistema de Multimídia baseado em IP – IMS

Com o crescimento acelerado da tecnologia e a exigência cada vez maior por serviços de dados a elevadas taxas de transmissão, o sistema UMTS apresenta diversas vantagens como a utilização de portadoras IP flexíveis, além de excelente capacidade de dados integrada às redes legadas GSM, GPRS e EDGE.

Um subsistema do CN, dos sistemas UMTS, possibilitou aos seus assinantes o acesso a serviços de multimídia interativa, *download* de *streaming* de vídeos, imagens de alta qualidade e outras tecnologias baseadas na Web caracterizando, assim, a convergência de serviços de voz, dados e imagens.

Este subsistema baseado no protocolo IP foi introduzido pelo 3GPP na sua *Release 5*, porém na *Release 7*, a definição do IMS foi modificada, permitindo que ele também fosse utilizado por tecnologias de acesso não-celular, pois sua versatilidade é adaptável a outras tecnologias, e não apenas às redes móveis.

2.6 Arquitetura de Protocolos do Sistema UMTS

2.6.1 Modelo Geral de Protocolo

Com base na referência bibliográfica HOLMA, Harri *et al* [6] e nas especificações técnicas do 3GPP, o item 2.6 deste trabalho irá descrever a arquitetura de protocolos das interfaces UTRAN: Uu, Iub, Iur e Iu.

A arquitetura de protocolos das interfaces UTRAN é projetada de acordo com o modelo geral de protocolos ilustrado na figura 2.17. Esta estrutura é baseada nas principais camadas e planos, que são logicamente independentes um dos outros,

ou seja: se for necessário, uma parte da estrutura do protocolo poderá ser modificada no futuro, enquanto outras partes poderão permanecer intactas.

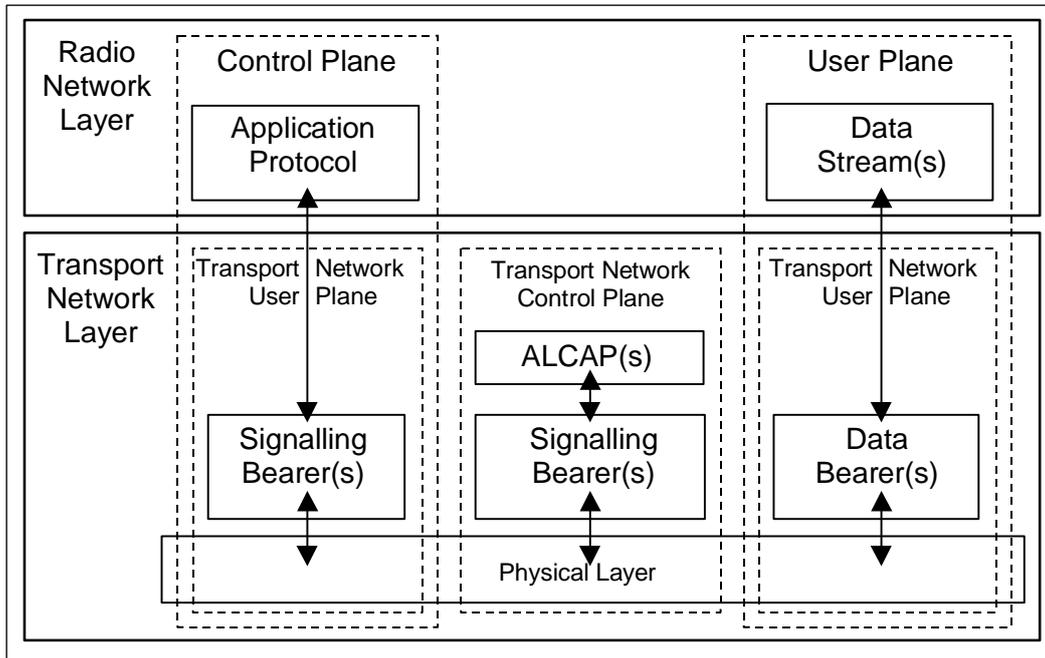


Figura 2.17 - Modelo Geral de Protocolos das Interfaces UTRAN

Como podemos observar na figura 2.17, o modelo geral de protocolos consiste em um conjunto de camadas horizontais e planos verticais. As camadas horizontais são constituídas pela: camada rádio (*Radio Network Layer*) e camada de transporte (*Transport Network Layer*). Os planos verticais são constituídos por: Plano de Controle (*Control Plane*), Plano de Usuário (*User Plane*) e Plano de Controle de Rede de Transporte (*Transport Network Control Plane*).

2.6.1.1 Camadas Horizontais

Na camada rádio estão localizadas todas as aplicações relacionadas à UTRAN. A camada de transporte representa a tecnologia de transporte padrão que foi selecionada para ser usada pela UTRAN, porém nenhuma modificação específica na UTRAN poderá ocorrer.

2.6.1.2 Planos Verticais

2.6.1.2.1 Plano de Controle

O plano de controle é usado para o controle de todas as sinalizações do sistema UMTS. Ele inclui um protocolo de aplicação para cada interface, isto é, RANAP (*Radio Access Network Application Part*) para interface Iu, RNSAP (*Radio Network Subsystem Application Part*) para interface Iur e NBAP (*Node B Application Part*) para interface Iub, além de portadoras de sinalização para transportarem as mensagens do protocolo de aplicação. As portadoras de sinalização serão transmitidas de acordo com a tecnologia de transporte escolhida pela UTRAN e através dos protocolos da camada de transporte (*Transport Network Layer*) no plano de controle.

2.6.1.2.2 Plano de Usuário

No plano de usuário toda informação enviada e recebida pelo usuário como, por exemplo, voz (para uma chamada de voz) e dados (em uma conexão com a *Internet*), são transportadas via plano de usuário. O plano de usuário inclui *stream* de dados e a portadora de dados com a finalidade de transportar o *stream* de dados. Cada *stream* de dados é caracterizado por um ou mais protocolos de quadros (*frames*) específicos para aquela interface.

2.6.1.2.3 Plano de Controle de Rede de Transporte

O Plano de Controle de Rede de Transporte é usado com a finalidade de controlar toda sinalização dentro da camada de transporte e não inclui qualquer informação da camada de rede rádio.

O protocolo ALCAP (*Access Link Control Application Part*) é necessário para transportar dados para o plano de usuário. O Plano de Controle de Rede de Transporte é um plano que atua entre o plano de controle e o plano de usuário. A introdução do ALCAP no Plano de Controle de Rede de Transporte tem por finalidade fazer com que o protocolo de aplicação do Plano de Controle de Rede Rádio seja completamente independente da tecnologia escolhida para transportar

dados no plano de usuário. O funcionamento ocorre da seguinte forma: o protocolo de aplicação envia mensagens de sinalização para o ALCAP solicitando a transmissão de dados do usuário. O ALCAP, por sua vez, reage a esta demanda, e cria, mantém e finaliza a portadora de dados para transportar estes dados do usuário.

2.7 Protocolos de Aplicação das Interfaces

2.7.1 Interface Aérea de Rádio - Uu

Os protocolos existentes na interface rádio Uu são necessários para iniciar, configurar e finalizar serviços de rádio. A arquitetura de protocolos da interface Uu possui três camadas: camada física (camada 1), camada de enlace (camada 2) e a camada de rede (camada 3).

A camada de enlace, no plano de controle, possui duas subcamadas: O protocolo de controle de acesso ao meio (MAC - *Medium Access Control Protocol*) e o protocolo de controle do enlace rádio (RLC - *Radio Link Control Protocol*). No plano de usuário, a camada 2 possui dois protocolos adicionais dependentes do serviço que são: o protocolo de convergência dos pacotes de dados PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) e o protocolo de controle BMC (*Broadcast/Multicast Control Protocol*).

A camada de rede possui apenas um protocolo denominado de Controle de Recursos de Rádio (RRC - *Radio Resource Control*).

Segundo a referência bibliográfica, TANENBAUM, Andrew S. [10], o meio de transmissão acessa a camada física através dos canais de transporte, que tem como papel desempenhar a função de determinar a forma e quais características dos dados serão transferidos. A camada MAC, por sua vez, fornece serviços à camada RLC pelo conceito de multiplexação através dos pontos de acesso de serviço (SAP - *Service Access Point*) dos canais lógicos. Os canais lógicos determinam qual será o tipo de dados a serem transmitidos.

2.7.2 Interface Iub

O protocolo de aplicação da interface Iub é o NBAP (*Node B Application Part*). O NBAP consiste em duas partes: NBAP comum (C-NBAP) e o NBAP dedicado (D-NBAP).

As principais funções do C-NBAP são:

- Criar um primeiro enlace de rádio de um UE e selecionar um ponto de terminação de tráfego;
- Configuração da célula;
- Controle dos canais RACH (*Random Access Channel*) /FACH (*Forward Access Channel*) / CPCH (*Common Packet Channel*) e PCH (*Paging Channel*);
- Relatório de medidas específicas da Node B e célula;
- LMU (*Location Measurement Unit*), responsável por realizar medidas na interface aérea em redes legadas GSM. Ela é uma unidade composta por um terminal móvel e um GPS (*Global Positioning System*), porém, na interface aérea WCDMA não é necessária esta sincronização com um GPS;
- Gerenciamento de falhas na Node B.

As principais funções do D-NBAP são:

- Adição, liberação e reconfiguração de enlaces rádio de um UE;
- Controle de canais dedicados e compartilhados;
- Relatório de medidas específicas de um enlace rádio e
- Gerenciamento de falhas no enlace rádio.

2.7.3 Interface Iur

O protocolo de aplicação da interface Iur é o RNSAP (*Radio Network Subsystem Application Part*). Este protocolo consiste em quatro módulos diferentes, de acordo com as quatro funções atribuídas, sendo estas:

- Suporte à mobilidade entre RNCs;
- Suporte ao tráfego de canais dedicados entre RNCs. O tráfego é definido pelo protocolo DCH-FP (*Frame Protocol for Dedicated Channel*);
- Suporte ao tráfego de canais comuns entre RNCs. O tráfego é definido pelo protocolo CCH-FP (*Frame Protocol for Common Channel*);
- Suporte ao gerenciamento global de recursos.

2.7.4 Interface Iu

Conforme mencionado anteriormente, a interface Iu, que conecta a UTRAN ao CN, é dividida em três domínios : Iu - CS (*Circuit Switched*), para a rede comutada por circuitos; Iu - PS (*Packet Switched*), para rede comutada por pacotes; e Iu - BC (*Broadcast*), que suporta o serviço de difusão entre a UTRAN e o CN.

O RANAP (*Radio Access Network Application Part*) é o protocolo de aplicação referente a dois domínios: Iu - CS e Iu - PS. As principais funções do protocolo RANAP são:

- Gerenciamento de conexões Iu, ou seja, a criação e a finalização de conexões dos respectivos domínios;
- Gerenciamento da portadora RAB (*Radio Access Bearer*). A RAB é a portadora que transporta os dados entre a UTRAN e o CN. O RANAP é responsável pela criação, manutenção e eliminação da RAB;
- *Paging* - é utilizado pelo CN quando este deseja realizar uma comunicação com um terminal móvel. Uma mensagem de *paging* (*Paging Message*) é enviada do CN para a UTRAN com a identificação permanente do UE e a área em que o terminal é esperado está localizado (*Paging Area*). Caso exista uma conexão aberta de sinalização com o terminal, a UTRAN irá utilizar a conexão existente para enviar a mensagem de *paging* com o pedido de início da comunicação, senão, ela irá enviar uma mensagem via *Broadcast* para *Paging Area*. Quando o terminal recebe a mensagem de *paging*, ele verifica se o ID da mensagem

corresponde ao seu. Se for, ele responde a mensagem indicando seu *status* de disponível ou não para iniciar uma comunicação;

- Gerenciamento de *Common - ID* - A identificação permanente do UE é enviada do CN para a UTRAN com a finalidade de permitir *paging* entre dois domínios distintos;
- Transporte de forma transparente de mensagens de sinalização entre o UE e o CN, pois em alguns casos, não são interpretadas pela UTRAN;
- Controle do modo de segurança - Ativar ou desativar o *Ciphering* e a verificação da integridade;
- Controle de *overhead* e situações de erro em geral;
- Informações de localização de um determinado UE;
- Re-alocação da SRNC (*Serving RNC*) e *Hard-Handover*.

O protocolo de aplicação da interface Iu-BC é o SABP (*Service Area Broadcast Protocol*). As principais funções do SABP são:

- Envio de mensagens *Broadcast*;
- Prevenção de mensagens *Broadcast* indesejadas;
- Controle de carga;
- *Reset* - terminar um pedido de *Broadcast* em uma ou mais áreas.

A figura 2.18 ilustra uma visão geral dos protocolos de aplicação das interfaces dos Sistemas UMTS.

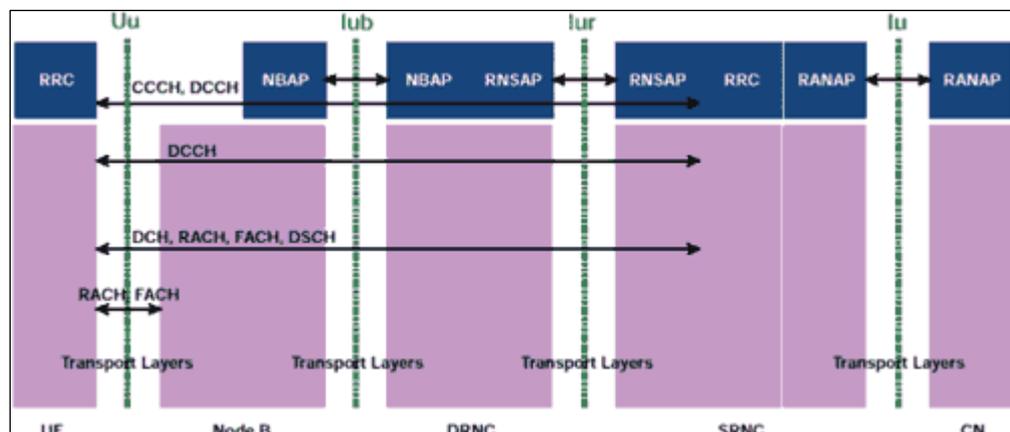


Figura 2.18 - Visão Geral dos Protocolos de Aplicação

3 Interface Aérea WCDMA

3.1 Conceitos Básicos

Conforme mencionado no Capítulo 1, a interface aérea WCDMA foi definida como a tecnologia de transmissão rádio (RTT - *Radio Transmission Technology*) dos sistemas UMTS, em 1998, devido à grande aceitação na Europa e no Brasil, por parte dos fornecedores, promovendo interoperabilidade e assim marcando o início do 3GPP.

O WCDMA é chamado pelos grupos de trabalho do 3GPP de UTRA FDD e UTRA TDD, sendo o nome WCDMA usado para designar ambos os modos de operação FDD e TDD. No modo FDD, portadoras de frequência separadas de 5 MHz são utilizadas para o enlace reverso (EM→ERB), assim como para o enlace direto (ERB→EM), enquanto no modo TDD somente uma banda de 5 MHz é dividida no tempo entre os enlace reverso e direto.

O WCDMA foi desenvolvido para ser empregado em conjunto com o GSM, já que o CN do UMTS é todo baseado no CN do GSM, assim possibilitando, *handovers* entre os sistemas GSM e UMTS, o que facilita a implantação do UMTS, pois é possível aproveitar a cobertura já existente do GSM enquanto o WCDMA é introduzido, provendo uma coexistência de ambos sistemas.

O WCDMA é uma tecnologia de terceira geração baseada em tecnologias da segunda geração. Após uma breve introdução, no Capítulo 2, sobre a técnica de acesso múltiplo DS-CDMA, um estudo aprofundado desta tecnologia será feito, pois o modo de operação do WCDMA apresenta semelhanças com a tecnologia DS-CDMA.

O CDMA (*Code Division Multiple Access*) é uma técnica de acesso múltiplo por divisão de códigos utilizada com propósitos semelhantes aos do FDMA e do TDMA, que também são tecnologias 2G, porém a forma de compartilhamento de espectro destas tecnologias são distintas.

O CDMA é uma técnica de acesso rádio baseada no espalhamento do espectro com a utilização de diferentes códigos, conforme a figura 3.1:

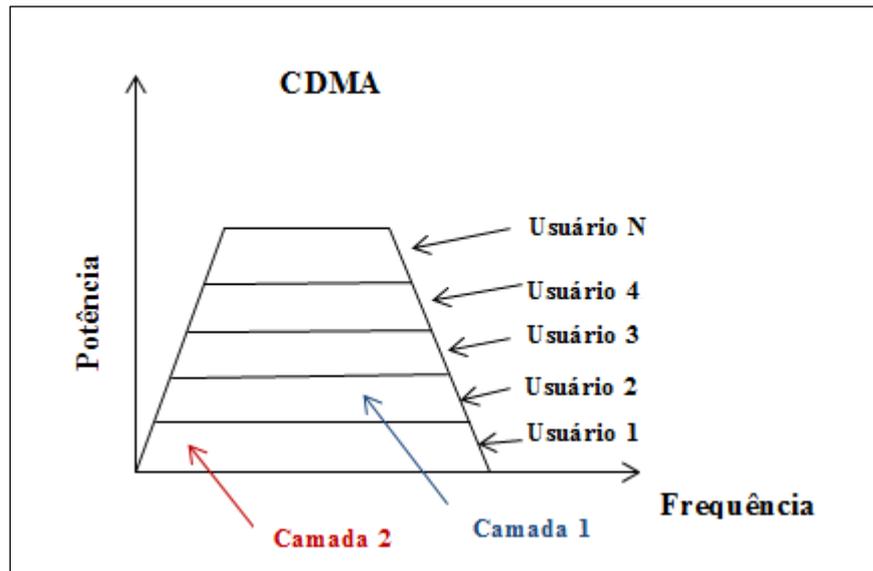


Figura 3.1 - Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA)

A figura 3.1 ilustra a técnica de acesso múltiplo por divisão de código, e podemos visualizar que todos os usuários utilizam a mesma banda de frequência simultaneamente, ou seja, não há *time slots* como na técnica TDMA ou alocação de frequência como na técnica FDMA.

Após um estudo detalhado na referência bibliográfica LATHI, B. P. *et al* [11] sobre teoria da codificação do canal, observa-se a seguinte conclusão:

- Se a taxa de bits original é baixa, ela pode ser bem espalhada e temos um maior fator de espalhamento e a potência requerida para transmissão é menor (camada 2, na figura 3.1).
- Se a taxa de bits original é alta, ela não pode ser bem espalhada e temos um menor fator de espalhamento, o que requer uma potência de transmissão maior (camada 1, na figura 3.1).

Os códigos de espalhamento usados no WCDMA são chamados de Fatores de Espalhamento Variáveis Ortogonais (OVSF - *Orthogonal Variable Spreading Factor*) e podem variar de $SF = 4$ a $SF = 512$ para o modo de operação FDD, enquanto para o modo de operação TDD podem variar de $SF = 2$ a $SF = 16$ [12]. Esses códigos são formados de uma árvore de códigos, onde todos os códigos são ortogonais uns aos outros. O uso de códigos OVSF permite que vários comprimentos de códigos sejam ortogonais uns aos outros.

Estocasticamente, o sinal na técnica de acesso múltiplo CDMA será multiplicado por um código ou sequência pseudo-*noise* (PN) na transmissão, porém, este mesmo sinal será multiplicado pela mesma sequência PN, na recepção, e serão separados por correlação cruzada, onde o produto interno entre as duas variáveis aleatórias ortogonais é nulo.

Segundo BERTONI, Henry L. [13], diferentemente das técnicas de múltiplo acesso com largura de banda limitada como TDMA e o FDMA, que sofrem interferência co-canal devido ao elevado reuso de frequências, nos sistemas CDMA o reuso de frequência devido ao espalhamento do sinal no espectro é igual a 1. A interferência no sistema CDMA é, porém, mais perceptível no enlace reverso devido ao grande número de usuários, e o desempenho de cada usuário na célula é menor devido ao número de usuários simultâneos.

Dependendo do sinal de espalhamento utilizado na modulação, o esquema CDMA pode ser dividido nos seguintes grupos, sendo os dois primeiros grupos, mencionados no capítulo 2 :

- *Direct Sequence* CDMA (DS-CDMA);
- *Frequency Hopping* CDMA (FH-CDMA);
- *Time Hopping* CDMA (TH-CDMA);
- *Hybrid Modulation* CDMA (HM-CDMA);
- *MultiCarrier* CDMA (MC-CDMA).

Conforme mencionado anteriormente, o WCDMA é baseado na técnica DS-CDMA, e uma das vantagens desta técnica é a sua tolerância ao desvanecimento multipercurso, onde podemos caracterizar o WCDMA como mais robusto, flexível e resistente a interferências.

A largura de banda efetiva da interface aérea WCDMA é igual a 3,84 MHz e, acrescida das bandas de guarda, cresce para 5 MHz, como ilustra a figura 3.2. Fazendo uma análise comparativa com a tecnologia de acesso múltiplo CDMA, que possui 1,25 MHz de largura de banda; a largura de banda do WCDMA é 4 vezes maior.

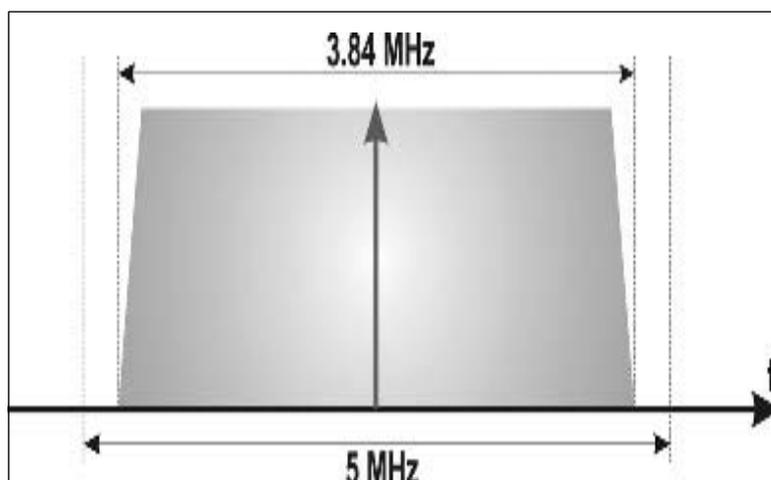


Figura 3.2 - Largura de banda da Interface Aérea WCDMA

Dependendo da sua licença de operação, uma operadora pode empregar diversas portadoras de 5 MHz com o objetivo de aumentar a capacidade de sua rede através da utilização hierárquica de camadas de células classificadas em diversas classes de serviços como, por exemplo, na figura 3.3, onde temos: usuários com taxa de bits variável e usuários com altas taxas de bits.

O conceito de Largura de Banda sob Demanda - (BoD - *Band on Demand*) está presente na tecnologia WCDMA, ou seja, a taxa de dados dos usuários é mantida constante durante um período (latência) de 10 ms denominado quadro, porém, a capacidade de dados entre os usuários pode mudar de quadro para quadro, conforme a figura 3.3.

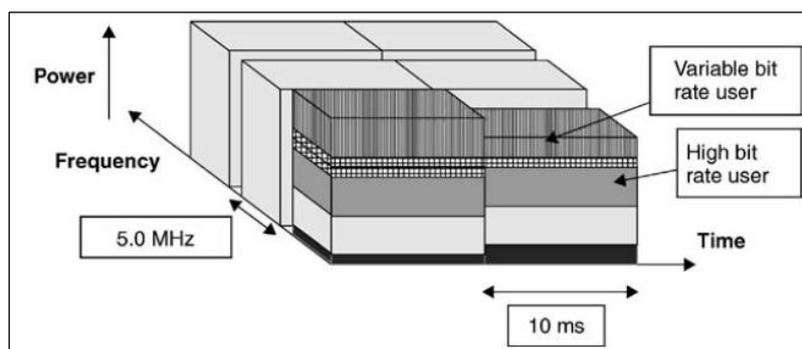


Figura 3.3 - Variação da Capacidade de Dados com os Quadros

Seguindo os princípios básicos da teoria da informação, segundo LATHI, B. P. *et al* [11], podemos chegar as seguintes conclusões sobre o processamento dos sinais:

- A informação a ser transferida representa uma densidade espectral de potência;
- Quanto maior a banda para a transferência da informação, menor a potência que a informação transferida representa na banda. Podemos exemplificar a função *gate*, que possui como transformada de Fourier, a função cosseno levantado, prevalecendo as características de dualidade para os domínios do tempo e da frequência. Quanto mais robusta for a modulação, menor será a ambiguidade de fase nos pontos da constelação e, conseqüentemente, menor a potência requerida. A função cosseno levantado possui uma largura de banda maior, representando a transferência de informação mencionada acima;
- Por outro lado, quanto mais informação houver para ser transferida, maior será a potência requerida. Analogamente ao conceito de teoria da informação e codificação, mencionado anteriormente, quanto menos robusta for a modulação, maior será a taxa de erro de bit e será relevante a ambiguidade de fase nos pontos da constelação, por esta razão a potência requerida será maior.

A modulação adaptativa faz-se necessária na tecnologia *wireless*, padrão IEEE 802.16, utilizado nos sistemas UMTS, conforme a figura 3.4 abaixo [10]:

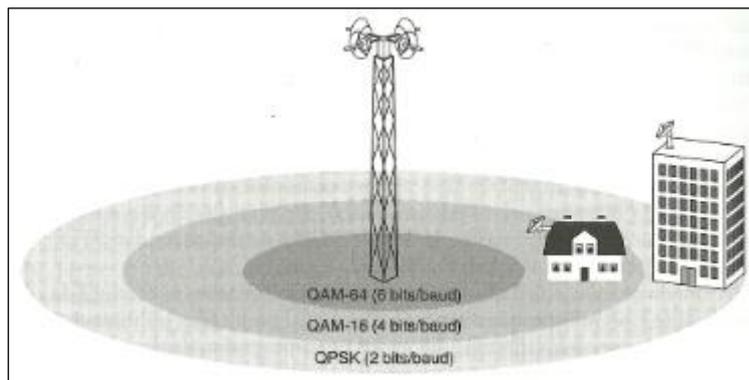


Figura 3.4 - Modulação Adaptativa em Redes WIMAX [10]

Podemos concluir conforme a figura acima, que quanto mais robusta for a modulação, menor será a taxa de erro de bit (BER- *Bit Error Rate*); e portanto maior será o alcance do sinal.

3.2 Parâmetros Principais

Um dos parâmetros principais para entendimento da interface aérea WCDMA é o conceito de representação da informação, classificado em: *bit*, símbolo e *chip*.

Conforme mencionado anteriormente, o sinal digital original em banda básica, na tecnologia WCDMA, é multiplicado por uma sequência pseudo-aleatória também em *bits*, porém, quando este sinal é transmitido na interface aérea, o mesmo passa por um processamento que é composto das seguintes etapas: codificação do canal, codificação convolucional e alinhamento de taxa, resultando, ao final do processo, um conjunto de símbolos. Assim, de acordo com a modulação utilizada, um símbolo pode ser representado por diferentes números de *bits*.

Conforme referência bibliográfica [14], no UTRA FDD, um símbolo representa um *bit* no enlace reverso, enquanto um símbolo é representado por dois *bits* no enlace direto, caracterizando a assimetria na capacidade de transmissão do enlace.

O conceito de *chip* está relacionado ao conjunto de *bits* usado no código de espalhamento. Esta taxa de *chips* possui um valor constante de 3,84 M chips/s para o enlace reverso e, para o enlace direto, 7,68 M chips/s, sendo denominada (SCR - *System Chip Rate*). Para SCR do enlace reverso a duração de um *chip* é calculada da seguinte forma:

$$\frac{1}{3.840.000} = 2,6041 \times 10^{-7} \text{ s} \quad (3.1)$$

O fator de espalhamento indica quantas vezes o sinal será espalhado. Ele é um multiplicador que atribui um número de *chips* por símbolo e pode ser expresso por:

$$K = 2^k, \text{ onde } k = 0,1,2,\dots,8 \quad (3.2)$$

Para $K = 64$, o fator de espalhamento será 64, indicando que um símbolo é representado por 64 *chips*.

O fator de espalhamento também é denominado Ganho de Processamento (G_p), podendo ser expresso em função das largura de banda utilizadas:

$$G_p = \frac{B_{Uu}}{B_{portadora}} = \frac{\text{Taxa de chip do sistema}}{\text{Taxa de Bit da portadora}} = \text{Fator de Espalhamento} \quad (3.3)$$

Em dB : $G_p \text{ (dB)} = 10 \times \log_{10} (G_p)$

Na equação (3.3), B_{Uu} representa a largura de banda da interface Uu e $B_{portadora}$ representa a largura de banda do sinal em banda básica, sendo considerados fatores como: a codificação do canal e informações de proteção a erros.

As tabelas 3.1 e 3.2 fazem uma análise comparativa entre o enlace direto e o enlace reverso, no que diz respeito ao fator de espalhamento, taxa de símbolos e taxa de *bit* do canal, conforme os esquemas de modulação mencionados anteriormente:

Tabela 3.1: Enlace Reverso

Fator de Espalhamento	Taxa de Símbolos (k chips/s)	Taxa de Bit do Canal (k bits/s)
256	15	15
128	30	30
64	60	60
32	120	120
16	240	240
8	480	480
4	960	960

Tabela 3.2: Enlace Direto

Fator de Espalhamento	Taxa de Símbolos (k chips/s)	Taxa de Bit do Canal (k bits/s)
512	7.5	15
256	15	30
128	30	60
64	60	120
32	120	240
16	240	480
8	480	960
4	960	1920

Com os valores relacionados na Tabela 3.1, podemos calcular a taxa de *bit* da portadora para o enlace reverso, utilizando como exemplo o fator de espalhamento 256:

$$256 = \frac{3,84 \times 10^6}{\text{taxa de bit da portadora}} \quad \therefore \quad (3.4)$$

$$\text{taxa de bit da portadora} = \frac{3,84 \times 10^6}{256} = 15 \text{ kbits/s}$$

A figura 3.5 ilustra o espalhamento do sinal na transmissão e o seu procedimento na recepção, quando o sinal é multiplicado por um fator de espalhamento igual a oito, isto significa que para um sinal de dados com taxa original igual a R, após o espalhamento sua taxa será igual a 8 x R. Na recepção, o sinal é recuperado a uma taxa proporcional a R.

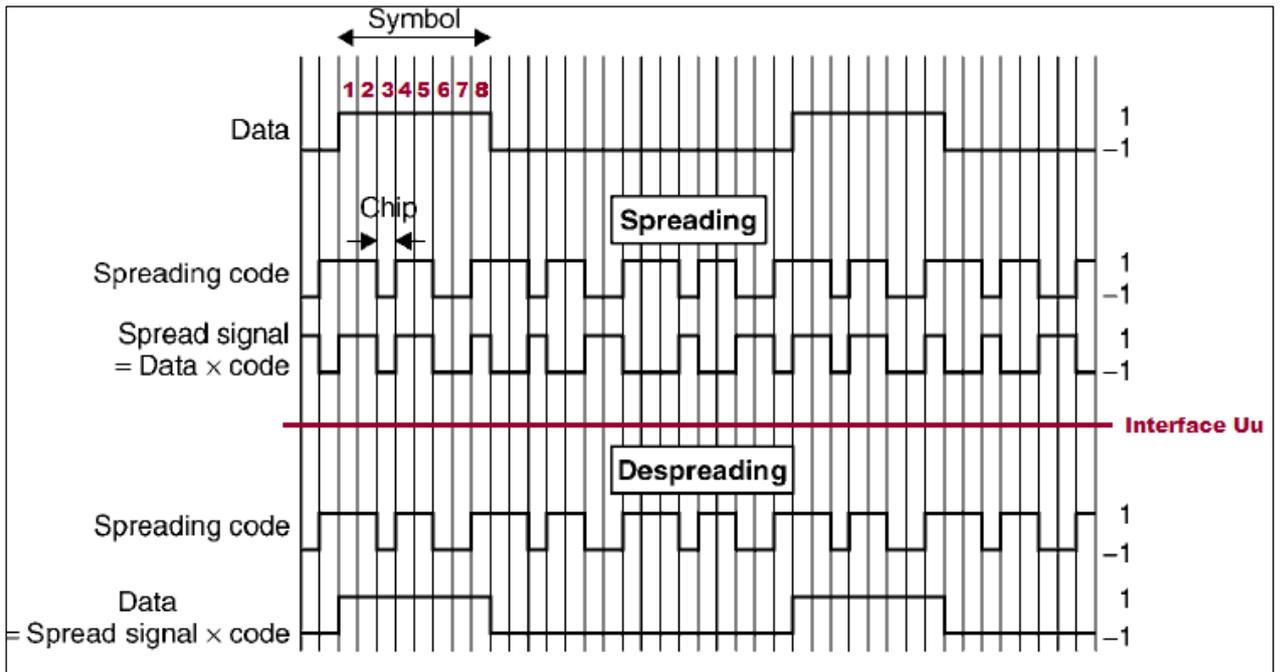


Figura 3.5 - Espalhamento do Sinal

O Ganho de Processamento é responsável pela robustez contra interferências próprias do sistema.

Podemos exemplificar em termos práticos, o Ganho de Processamento de um sinal de voz com taxa de 12,2 kbits/s, então aplicando à equação (3.3) em dB, temos:

$$G_p = 10 \times \log_{10} \frac{3,84 \times 10^6}{12,2 \times 10^3} = 25 \text{ dB} \quad (3.5)$$

Ocorre na recepção o processo inverso ao de espalhamento, a potência do sinal deve ser alguns decibéis maior que a potência do ruído e interferência. A relação entre a densidade de potência requerida e a densidade de potência de interferência, após o processo inverso de espalhamento, é designada por $\frac{E_b}{N_0}$, onde E_b é a energia ou densidade de potência por bit de usuário e N_0 é a densidade de potência de ruído e interferência.

Para serviços de voz a relação $\frac{E_b}{N_0}$ é, geralmente, da ordem de 5 dB menos o ganho de processamento, ou seja, é igual a -20 dB (5dB – 25 dB). Podemos concluir que a potência do sinal pode ser 20 dB abaixo da potência do ruído térmico e interferência, pois o receptor do WCDMA será capaz de detectar o sinal. Esta

conclusão é análoga ao que foi exemplificado no Capítulo 2, conforme a referência bibliográfica, HAYKIN, Simon *et al* [2] .

A razão entre o sinal de banda larga e a interferência é também denominada relação portadora-interferência (*C/I-Carrier/Interference*). Devido ao espalhamento e, conseqüentemente, o ganho de processamento, a relação *C/I* pode ser mais baixa no WCDMA em comparação às redes GSM. Uma conexão GSM, para ter boa qualidade de voz deve possuir uma margem de desvanecimento entre 9 dB e 12 dB.

Conforme mencionado no início do Capítulo 3, é possível notar que para uma largura de banda do canal (taxa de *chips*), o ganho de processamento será maior para taxas de bits de dados de usuários mais baixas do que para taxa de bits maiores. Em particular, para 2 Mbits/s [4], que é a taxa de transmissão utilizada no WCDMA comum (sem HSDPA e HSUPA), o ganho de processamento, segundo a equação (3.6) será menor que 2.

$$G_p = \frac{3,84 \times 10^6}{2 \times 10^6} \therefore G_p = 1,92 \therefore G_p \cong 2,8 \text{ dB} \quad (3.6)$$

Para esta taxa de bits, a robustez da forma de onda do WCDMA contra interferência fica em uma situação desfavorável.

3.3 Códigos do WCDMA

Após o estudo do código de espalhamento no item 3.2, temos que ressaltar o estudo de outros códigos na interface aérea WCDMA. Cada código a ser estudado possui características diferentes para determinados propósitos, porém, características como ortogonalidade e auto-correlação deverão ser preservadas. Existem basicamente três tipos de códigos: códigos de canalização (*channelisation codes*), códigos de embaralhamento (*scrambling codes*) e códigos de espalhamento (*spreading codes*). A Tabela 3.3 ilustra as funcionalidades dos códigos:

Tabela 3.3: Funcionalidades dos Códigos

Códigos	Enlace Reverso	Enlace Direto
Códigos de Embaralhamento	Separação de Usuários	Separação de Células
Códigos de Canalização	Canais de Controle e Dados provenientes do mesmo terminal móvel	Usuários dentro de uma única célula
Códigos de Espalhamento	Código de Canalização x Código de Espalhamento	Código de Canalização x Código de Espalhamento

Conforme ilustrado na Tabela 3.3, a funcionalidade do código de embaralhamento é separar células / setores no enlace direto e separar usuários no enlace reverso. O código de embaralhamento também é denominado “*gold code*” ou “*long code*”.

O código de espalhamento possui a funcionalidade de separar diferentes transmissões (*streams* de dados) na banda de frequência, com o objetivo de recuperá-las com uma distorção mínima. O grau de exatidão para recuperação do sinal na recepção é determinado pelo código de espalhamento, que possui uma identidade única, pois o sinal transmitido pode conter diversas conexões de rede.

A capacidade de uma célula é determinada pela quantidade de códigos de embaralhamento no enlace direto que podem operar conjuntamente nesta célula. O valor mínimo é um e cada código de embaralhamento no enlace direto requer um código de canalização sob ele, ou seja, toda chamada ou envio de informações requer um código de canalização para operar. Em termos práticos, um código de espalhamento é a operação conjunta de um código de embaralhamento e um código de canalização.

3.4 Características Específicas

Uma característica importante da interface aérea WCDMA é a sua capacidade de suportar a operação de estações rádio-base assíncronas, diferentemente do sistema CDMA (IS-95) síncrono de segunda geração, ou seja, não é exigido uma referência de tempo global como um GPS.

Esta característica é de extrema relevância para recepção de sinais em ambientes *indoor*, pois facilita o emprego de (*Base Station* - BS) em micro-células, pois nenhum sinal de GPS precisa ser recebido.

Segundo BERTONI, Henry L. [13], a propagação multipercurso também deve ser analisada, pois a propagação em canais rádio móveis é constituída por múltiplas reflexões, difrações e atenuações da energia do sinal. Estes fenômenos são causados por obstáculos naturais como relevos e, principalmente, em ambientes urbanos por prédios, ocasionando o desvanecimento lento também denominado de (*shadow fading*) ou sombreamento. As amostras para aquisição de medidas no receptor devem estar descorrelacionadas de $0,5 \lambda$, onde c é a velocidade da luz e f é a frequência em Hz. Desta forma, o sinal irá degradar a um limiar de 20 dB.

Segundo MONSERRAT, Jose F. *et al* [15], a macrodiversidade é um dos fatores que proporcionam ganho de percurso. Esta é um fator diferencial em relação às redes GSM, que possuem tecnologia TDMA, e somente seriam capazes de suportar este fenômeno a custo de alta complexidade. Os sistemas UMTS, pelo fato de realizarem a multiplexação por código na rede de acesso, facilitam o uso desta tecnologia. A tecnologia base de segunda geração possibilita o UE se comunicar com antenas de mais de uma célula, desde que estas células pertençam à mesma hierarquia, ou seja, operem na mesma frequência. De forma paradoxal, em redes GSM, a implementação de macrodiversidade se torna difícil, pois as células operam em frequências distintas.

Segundo HAYKIN, Simon *et al* [2], o Código de Alamouti caracteriza esta macrodiversidade, pois este é um código de bloco espaço-tempo ortogonal dois por um, ou seja, duas antenas transmitem na estação rádio-base e uma única antena receptora é usada pelo usuário.

Segundo YACOUB, Michel Daoud [7], existem diversas técnicas de combinação na diversidade de espaço, com suas respectivas propriedades estatísticas. Podemos exemplificar: Combinação de Seleção, Combinação de Relação Máxima, Combinação de Ganho Igual e Combinação de Lei Quadrática [2].

A energia do sinal pode chegar ao receptor em instantes distintos, esta energia espalhada caracteriza um perfil de atraso de multipercurso, conforme ilustra a figura 3.6:

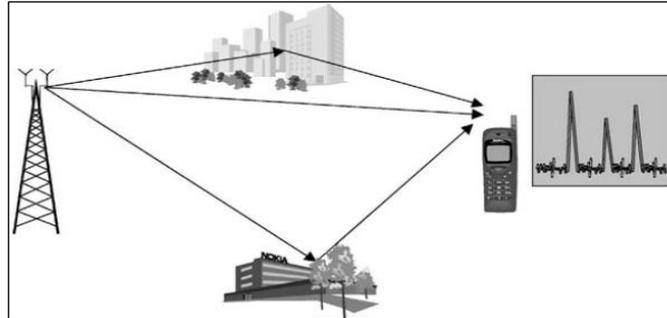


Figura 3.6: Propagação Multipercurso gerando um perfil de atraso

Esse perfil de atraso dura de 1 a 2 μs em áreas urbanas e suburbanas, embora atrasos de 20 μs de sinais significantes já tenham sido observados em regiões montanhosas. Conforme equação (3.1), a duração do *chip* é 0,26 μs para 3,84 Mchips/s, ou seja, podemos concluir que se a diferença mínima entre as componentes multipercurso for de 0,26 μs , o receptor WCDMA pode separar essas componentes e combiná-las coerentemente para obter uma diversidade multipercurso. O atraso de 0,26 μs pode ser obtido se a diferença do comprimento dos percursos for no mínimo 78 m.

$$D = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3,84 \times 10^6 \text{ chips/s}} = 78 \text{ m} \quad (3.7)$$

Fazendo uma análise comparativa com o padrão de segunda geração CDMA, que possui uma taxa de chips de 1,2288 Mchips/s, a seguinte conclusão foi obtida, considerando uma taxa de 1 Mchips/s:

$$D = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1 \times 10^6 \text{ chips/s}} = 300 \text{ m} \quad (3.8)$$

A diferença dos comprimentos de percursos das componentes, na equação (3.8) foi de 300 m, o que torna inviável prover uma diversidade multipercurso em micro-células para o padrão CDMA de segunda geração.

Além disso, para uma certa posição de atraso de tempo há, normalmente, diversos percursos aproximadamente iguais em comprimento, através do qual o sinal rádio se propaga. Para percursos com uma diferença de comprimento de meio

comprimento de onda, aproximadamente 7 cm para 2 GHz, estes chegam praticamente no mesmo instante quando comparado com a duração de um *chip*, ou seja, 78 ns para 3,84 M chips/s. Como resultado, o cancelamento do sinal, para pequenas escalas, denominado “*fast fading*” ou desvanecimento rápido é observado quando o receptor se locomove em pequenas distâncias. O cancelamento do sinal pode ser entendido como um somatório de diversos fasores que representam o deslocamento de fase e a atenuação ao longo de um determinado percurso em certo instante de tempo. Segundo a Teoria Eletromagnética, uma forma de mitigar reflexões em superfícies dielétricas é a utilização de polarização elíptica para onda eletromagnética, esta é caracterizada como uma contramedida que será estudada adiante. A figura 3.7 ilustra o desvanecimento de um sinal em pequena escala medido à velocidade do móvel de 3 km/h.

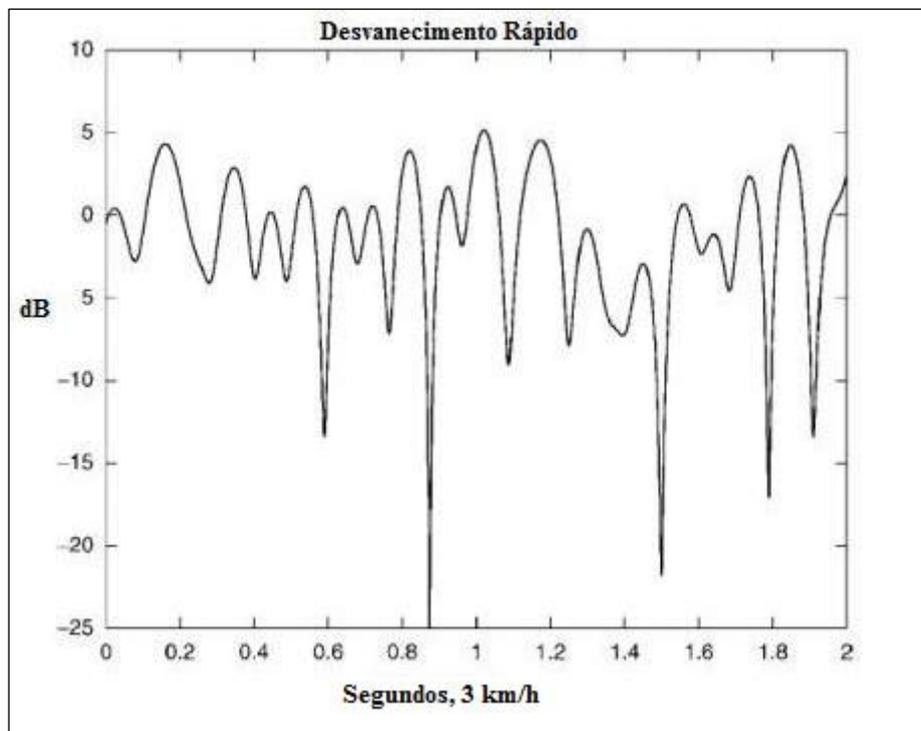


Figura 3.7 - Desvanecimento Rápido

A potência do sinal irá decair de 20 dB a 30 dB quando o cancelamento de fase por reflexões de multipercursos ocorre. Essas variações de desvanecimento tornam a recepção de *bits* de dados livre de erros como uma situação difícil de acontecer, por este motivo contramedidas são necessárias.

A energia das componentes que chegam atrasadas é combinada através da utilização de múltiplos receptores denominados *Rake fingers*, alocados nas posições de atraso, nas quais significantes componentes de energia do sinal chegam. O controle de potência e a recepção em diversidade intrínseca do receptor *Rake* são usados para atenuar o problema de desvanecimento da potência do sinal.

Conforme teoria da informação e da codificação, uma codificação e um entrelaçamento robustos são necessários com o objetivo de minimizar a taxa de erro de bit - BER (*Bit Error Rate*).

O protocolo de retransmissão HARQ [16] é utilizado para adicionar redundância e diversidade de tempo ao sinal auxiliando o receptor a reconhecer os *bits* de usuários.

A dinâmica de propagação do sinal rádio na interface aérea WCDMA sugere os seguintes princípios de operação para que a recepção seja eficaz:

- As antenas dos receptores *Rake* devem estar descorrelacionadas de $0,5 \lambda$, com o objetivo de capturar amostras construtivas do sinal.
- Localizar, em cada receptor de correlação, rápidas mudanças de fase e de valores de amplitude provenientes do processo de desvanecimento rápido e removê-las. Esta localização deve ser rápida com taxa de atualização da ordem de 1 ms ou menos.
- Combinar símbolos e ajustar suas respectivas fases realizando após este processo, a demodulação e, a seguir, decodificá-los.

A utilização de símbolos piloto faz-se necessária para que seja possível estimar o canal, ou seja, a rotação do fasor é estimada e contramedidas para compensar esta rotação são efetuadas. Esses símbolos compensados pelo canal podem ser somados, recuperando a energia de todas as posições de atraso. Este processo é chamado de Combinação de Taxa Máxima - MRC (*Maximal Ratio Combining*).

Segundo HAYKIN, Simon *et al* [2], o combinador de relação máxima é mais vantajoso que a técnica de combinação por seleção, pois esta ignora a informação disponível de todos os ramos de diversidade, exceto para o ramo em

particular que produz a maior potência instantânea do seu próprio sinal demodulado. Essa limitação do combinador de seleção é atenuada pelo combinador de relação máxima, que consiste em N receptores lineares seguidos por um combinador linear. Diversas ponderações são feitas nas variações do sinal dos N receptores dos ramos de diversidade ao longo de um processo de desvanecimento de curto prazo. Esta medida constitui um pré-requisito para projetar o combinador linear de forma a maximizar a sua relação sinal-ruído a cada instante de tempo.

A figura 3.8 ilustra o diagrama em blocos de um receptor *Rake* :

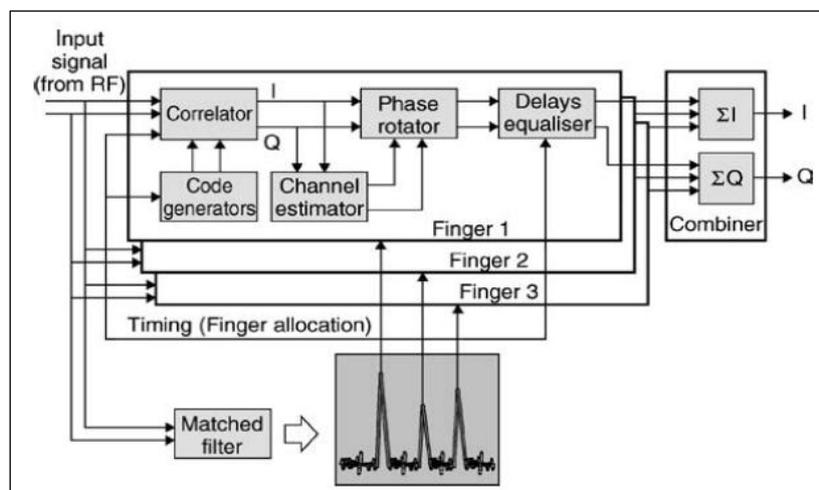


Figura 3.8 - Diagrama de blocos de um receptor *Rake*

Nesta figura, amostras de entrada digitalizadas são recebidas de um circuito de RF (radiofrequência) na forma de componentes em quadratura I e Q. Os geradores de código e o correlador realizam o desespalhamento e a integração dos símbolos dos dados do usuário. O estimador do canal utiliza os símbolos piloto para estimar o canal, que depois serão removidos dos símbolos recebidos pelo rotador de fase. O atraso é compensado pela diferença nos tempos de chegada dos símbolos em cada ramo. O combinador *Rake*, então, soma os símbolos já compensados pelo canal, proporcionando, assim, uma diversidade multipercursos contra o desvanecimento. O filtro casado (*matched filter*) é responsável pela determinação e atualização do perfil de atraso de multipercursos atual do canal. Esse perfil médio medido é posteriormente usado para alocar os ramos do receptor *Rake* para os maiores picos.

É importante ressaltar que existem diferenças entre os receptores *Rake* das estações rádio-base e dos terminais móveis, mas os princípios básicos são os mesmos apresentados na figura 3.8.

Outro aspecto importante da interface aérea WCDMA é o controle de potência, especialmente no enlace reverso. Na ausência do controle de potência, um único terminal poderia até mesmo bloquear uma célula inteira, caso a sua potência estivesse muito alta. A figura 3.9 representa o controle de potência de transmissão com malha fechada, no CDMA da segunda geração.

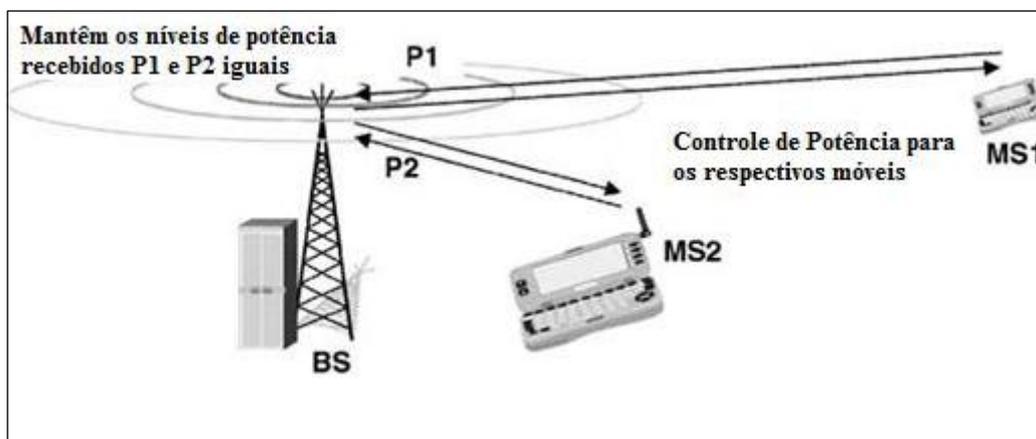


Figura 3.9 - Controle de Potência do CDMA através de uma malha Fechada

As estações móveis MS1 e MS2 operam na mesma frequência, sendo separadas pelo código de espalhamento na transmissão. Podemos exemplificar a eficácia do controle de potência, pois pode ocorrer que a MS1 na borda da célula sofra uma perda de percurso de 70 dB acima da MS2, que está perto da BS (*Base Station*) ou ERB (estação rádio-base). Se não houver mecanismos para que as potências da MS1 e MS2 sejam controladas para o mesmo nível na BS, a MS2 poderia facilmente exceder a MS1 e, assim, bloquear grande parte da célula originando a interferência “perto-distante” do CDMA. A estratégia de otimização do controle de potência é igualar a potência recebida de todas as estações móveis durante todo tempo.

É possível efetuar o controle de potência com malha aberta. Nesta abordagem, é feita uma estimativa de perda percurso através de um sinal no enlace

direto, porém estes métodos são imprecisos. O motivo primordial para esta imprecisão é o desvanecimento rápido descorrelatado entre os enlaces direto e reverso devido à ampla separação das bandas dos enlaces direto e reverso no modo FDD do WCDMA.

Conforme LAIHO, Jaana *et al* [17], a solução para o controle de potência no WCDMA é utilizar uma malha fechada, como exemplificado na figura 3.9. OPPERMANN, Ian *et al* [18] faz um estudo aprofundado sobre este tipo de controle de potência.

No controle de potência de malha fechada, no enlace reverso, a BS executa estimativas frequentes da Relação Sinal-Interferência – SIR (*Signal-to-Interference Ratio*) e a compara com uma SIR alvo previamente estabelecida. Se a SIR medida é maior que SIR alvo, a BS irá comandar a MS para diminuir sua potência, de forma contrária, se a SIR estiver abaixo da SIR alvo, a BS irá comandar a MS para aumentar sua potência. Este ciclo de medida comando-reação é executado a uma taxa de 1500 vezes por segundo, ou seja, 1,5 kHz para cada terminal móvel e, deste modo, opera mais rápido do que qualquer mudança significativa que possa ocorrer na perda percurso.

Assim, o controle de potência com malha fechada é capaz de prever qualquer desbalanceamento de potência entre todos os sinais emitidos dos móveis para a BS, no enlace reverso.

O controle de potência em malha fechada é também utilizado no enlace direto, embora a motivação seja diferente do enlace reverso. No enlace direto não existe o problema da interferência “perto-distante”, pois todos os sinais de uma célula são originados de uma mesma estação rádio-base para todos os terminais, entretanto, esse controle é desejado com o objetivo de fornecer uma quantidade adicional de potência para as estações móveis na borda da célula, pois elas sofrem altas interferências de outras células. Além disso, é necessário, no enlace direto, um método para reforçar o desvanecimento de sinal ocasionado pelo desvanecimento de Rayleigh, através de uma potência adicional para baixas velocidades, pois outros métodos de correção baseados em entrelaçamento e códigos corretores de erros não são eficientes.

A figura 3.10 ilustra o controle de potência em malha fechada no enlace reverso, para canais que sofrem desvanecimentos em baixas velocidades. A potência transmitida irá compensar o desvanecimento do canal, e a potência recebida estará controlada promovendo, assim, a equalização do sinal.

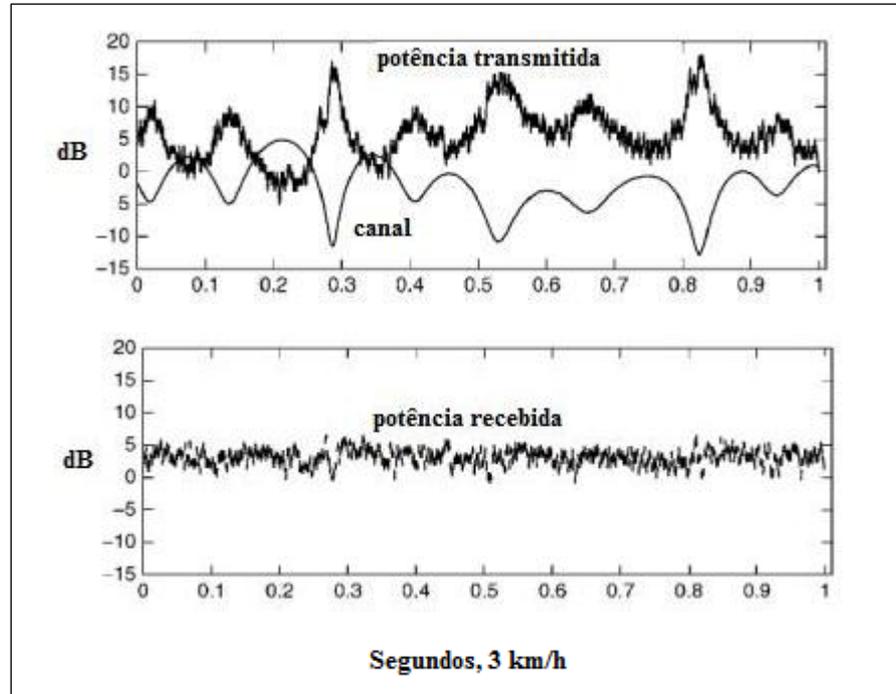


Figura 3.10 - Controle de Potência em malha Fechada - Enlace Reverso

O controle de potência com malha fechada comanda o terminal para usar uma potência de transmissão inversa da potência recebida (ou SIR). Com esse processo, somente uma pequena parte de desvanecimento residual permanece no canal, sendo assim, em termos práticos temos um canal sem desvanecimento, do ponto de vista do receptor da estação rádio-base.

Enquanto essa remoção do desvanecimento é altamente desejada do ponto de vista do receptor, um problema surge devido ao aumento da potência média transmitida. Isto significa que uma MS em um canal com alto desvanecimento irá aumentar sua potência interferindo em outras células. A figura 3.10, também ilustra esta situação.

Um estudo aprofundado na referência bibliográfica de LIU, Tuo *et al* [19] realiza uma abordagem sobre interferências em sistemas UMTS considerando ambientes urbanos. Este artigo detalha métodos que definem a capacidade do sistema levando em consideração: a interferência do próprio sistema, a interferência

de outras células, ou seja, células adjacentes; e o desvanecimento lento ou sombreamento característico de ambientes urbanos.

Outro tipo de controle de potência também muito importante é o controle de potência com malha externa. Esse controle de potência ajusta o valor da SIR alvo na BS, de acordo com a necessidade de cada enlace rádio individual e almeja obter uma qualidade constante, geralmente definida com uma certa taxa de erro de bit - BER limite, ou seja, a ser alcançada; ou uma taxa de erro de bloco - BLER (*Block Error Rate*) previamente estabelecida. A mudança de valor da SIR alvo ocorre, pois a SIR requerida proporcional a $\frac{E_b}{N_0}$, para uma dada BLER (1%, por exemplo) depende da velocidade do móvel e do perfil multipercurso. Se a SIR alvo for ajustada para o pior caso, altas velocidades, haveria um grande desperdício de capacidade para as conexões a baixas velocidades. Podemos concluir que a melhor estratégia é oscilar o valor da SIR alvo em torno de um valor mínimo que atenda os pré-requisitos da qualidade almejada. O valor da SIR alvo irá mudar ao longo do tempo, de acordo com mudanças na velocidade e no ambiente de propagação. Este processo está representado na figura 3.11.

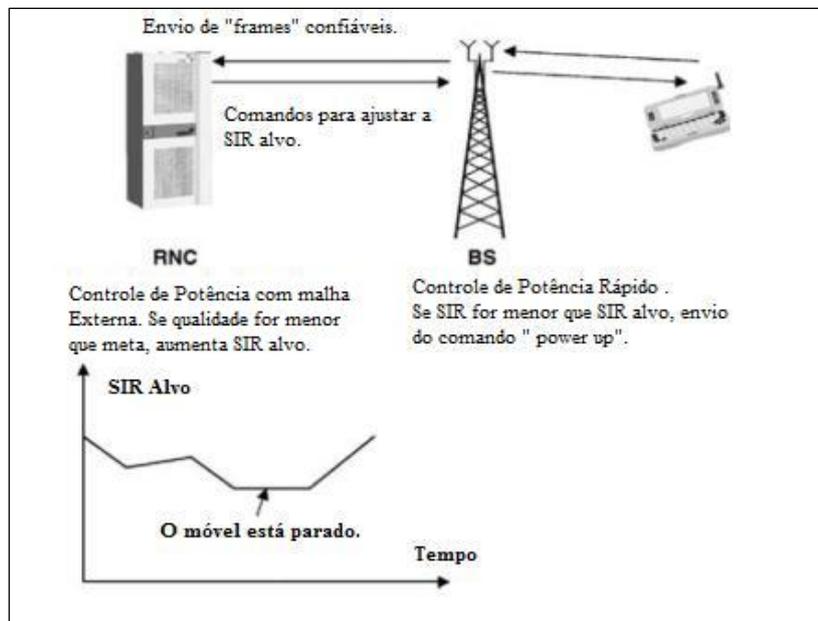


Figura 3.11 - Controle de Potência com malha Externa

O controle de potência com malha externa é geralmente implementado fazendo com que a estação rádio-base marque cada quadro de dados do usuário no enlace reverso com um indicador de confiabilidade de quadro como um resultado

de verificação de CRC (*Cyclic Redundancy Check*) obtido durante a decodificação daquele quadro de dados específico. O indicador de qualidade de quadro indica à RNC que a qualidade da transmissão está diminuindo. A RNC, por sua vez, irá mandar a BS aumentar o valor da SIR alvo de uma determinada quantidade. A razão para ter o controle com malha externa residindo na RNC, é que essa função deve ser realizada depois de uma possível combinação de *soft handover*.

Existem três modos de *handovers* na UTRAN - FDD: O *handover* intra modo (*intra mode handover*), o *handover* entre modos (*inter mode handover*) e o *handover* entre sistemas (*inter system handover*).

O *Intra Mode Handover* são classificados em: *Hard Handover*, *Soft Handover* e *Softer Handover*.

O *Inter Mode Handover* é caracterizado pela mudança do modo UTRA/FDD para UTRA/TDD, assim como também do UTRA/TDD para o UTRA/FDD, por exemplo, a transferência de um UE de uma frequência portadora para outra dentro do WCDMA.

O *Inter System Handover* é caracterizado pela mudança de um UE de um sistema UMTS para uma rede GSM ou de modo inverso.

A seguir, uma abordagem específica sobre *Intra Mode Handover*: O conceito de *soft handover* é de essencial importância no WCDMA, assim como o de *softer handover*. O *softer handover* ocorre quando um terminal móvel está em uma área de sobreposição de cobertura de dois setores adjacentes assistidos por uma única estação rádio-base. As comunicações entre a MS e a BS ocorrem simultaneamente através de dois canais da interface aérea, um para cada setor separadamente. Isso requer o uso de códigos separados para o enlace direto, para que a estação móvel possa distinguir os sinais. Os dois sinais são recebidos pelo terminal por meio de processamento *Rake*, de forma semelhante à recepção por multipercursos, exceto pelo fato de que os ramos precisam gerar os respectivos códigos para cada setor para realização de espalhamento adequada. A figura 3.12 representa o cenário de *softer handover*:

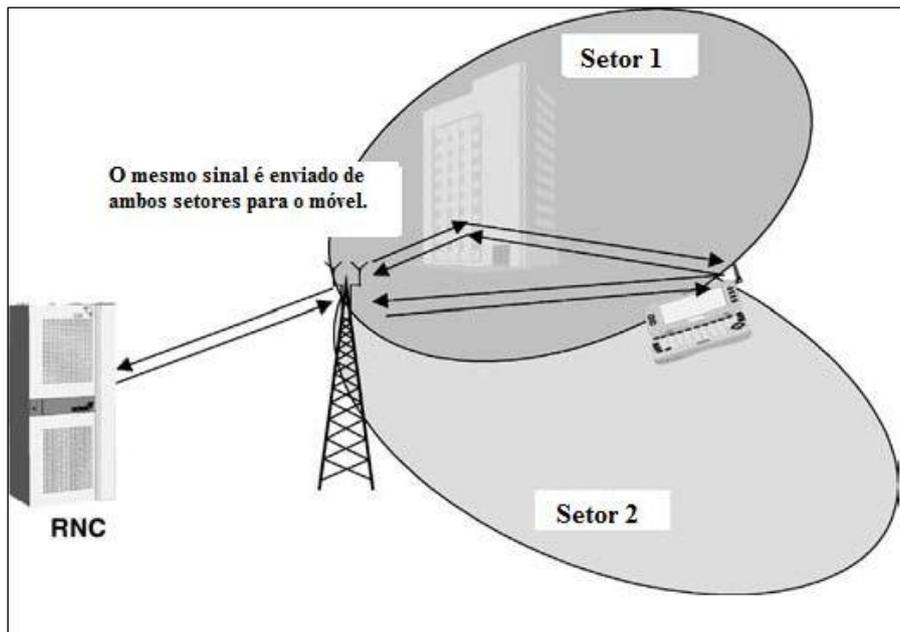


Figura 3.12 - Cenário de *Softer Handover*

No enlace reverso, um processo similar ocorre na BS: o canal de código da MS é recebido em cada setor, depois ele é roteado para o mesmo *Rake* em banda básica e a relação máxima é combinada de maneira usual. Durante o *softer handover* um controle de potência com *loop* por conexão fica ativo. O *softer handover* ocorre em, aproximadamente, de 5% a 15% das conexões.

A figura 3.13 ilustra o *soft handover*. Durante sua ocorrência, a estação móvel está na área de sobreposição de cobertura de dois setores, assistida por duas estações rádio-base distintas. De forma similar ao *softer handover*, as comunicações entre a MS e a BS ocorrem, simultaneamente, através de dois canais na interface aérea, cada um pertencente a uma das estações rádio-base que participam do *soft handover*. Além disso, os dois canais são recebidos pelo terminal móvel através da utilização da máxima relação de combinação do processamento *Rake*, assim como ocorre no *softer handover*. Do ponto de vista da MS, há muito poucas diferenças entre o *softer handover* e o *soft handover*.

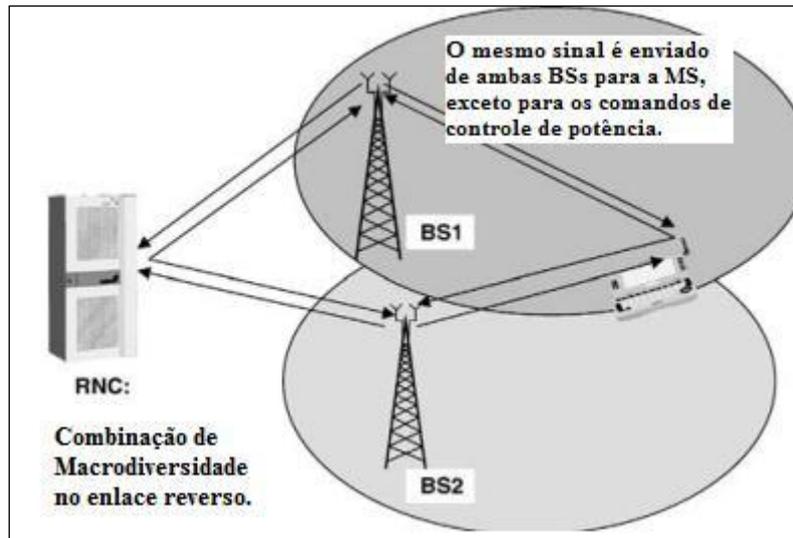


Figura 3.13 - Cenário de *Soft Handover*

Entretanto, na direção do enlace reverso, o *soft handover* difere significativamente do *softer handover*: o canal de código da MS é recebido de ambas BSs, mas os dados posteriormente são roteados para a RNC, a fim de que esta realize o processo de combinação. Isto é realizado de forma que o mesmo indicador de confiabilidade de quadro usado para controle de potência com malha externa seja utilizado para selecionar o melhor quadro entre os dois possíveis candidatos na RNC. Esta seleção ocorre após cada período de entrelaçamento, isto é, entre o intervalo 10ms a 80 ms.

É importante observar que durante o *soft handover*, dois *loops* de controle de potência permanecem ativos por conexão, um para cada BS.

O *soft handover* ocorrem aproximadamente em 20% a 40% das conexões. Para satisfazer as conexões do *soft handover*, os seguintes recursos adicionais necessitam ser considerados como pré-requisitos na fase de planejamento:

- Canais adicionais nos receptores *Rake* das BSs;
- Enlaces de transmissão adicionais entre a estação rádio-base e a RNC;
- *Rake fingers* adicionais nos terminais móveis.

Outra característica importante destes dois modos de operação: *softer handover* e *soft handover* é que eles podem operar combinados. Entretanto, tipos específicos de *handover* para o CDMA são necessários por razões similares às da

necessidade de controle de potência com malha fechada; ou seja, sem o *soft handover* e o *softer handover* haveriam cenários com o problema “perto-distante” para os terminais móveis que viessem intervir de uma célula em outra adjacente, sem que houvesse o controle de potência por esta última.

A utilização de *hard handovers* rápidos e frequentes poderiam evitar esses problemas em muitas situações, porém eles só podem ser executados com certos atrasos, durante os quais o problema “perto-distante” poderia ocorrer. Então podemos concluir que, assim como o controle de potência, o *soft/softer handover* é uma ferramenta essencial para atenuação de interferências no WCDMA.

Além do *soft/softer handover*, o WCDMA permite a utilização de outros tipos de *handover*, como já mencionado anteriormente. O *hard handover* entre frequências pode ser usado, por exemplo, para transferir um móvel de uma portadora de frequência para outra. Uma aplicação para este procedimento são BSs de alta capacidade com diversas portadoras. O *hard handover* entre sistemas, conforme mencionado anteriormente, ocorre entre um WCDMA - FDD e outro sistema WCDMA - TDD, ou com as redes GSM.

3.5 Canais do WCDMA

O termo “canal” foi diversas vezes citado neste trabalho, por este motivo, uma análise dos conceitos básicos relacionados a esse assunto auxilia no entendimento de um sistema WCDMA.

O acesso rádio da interface aérea WCDMA aloca uma largura de banda para os usuários, esta largura de banda e as funções de controle implementadas nessa largura de banda são tratadas como “canal”. A classificação dos canais é realizada através das suas funcionalidades no WCDMA. A seguir, temos a forma como estes canais são organizados.

Como pode ser visto, a figura 3.14 representa como os canais da interface aérea WCDMA são organizados:

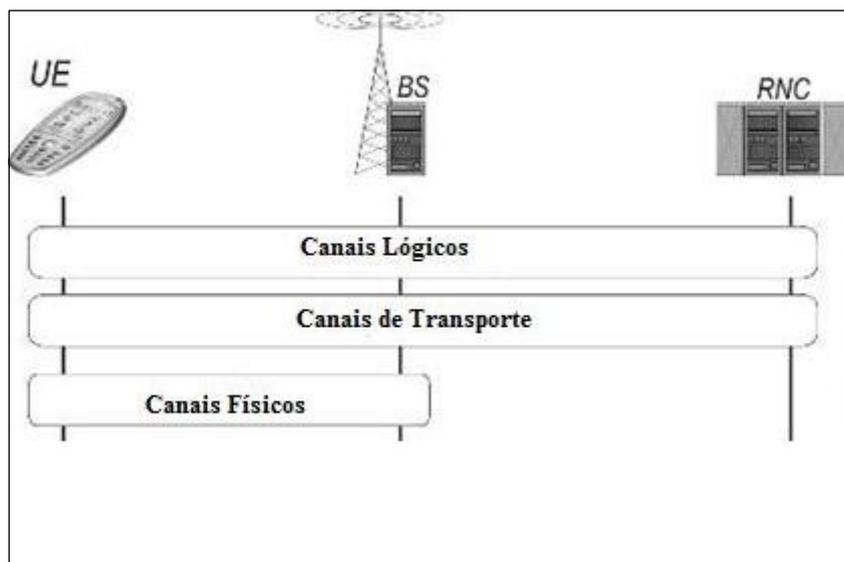


Figura 3.14 - Organização dos Canais no WCDMA

A estrutura dos canais e suas utilizações diferem muito da estrutura adotada no GSM. Na interface aérea WCDMA, o termo “canais físicos” significa tipos diferentes de largura de banda alocadas para propósitos diferentes na interface Uu. Os canais físicos representam, de fato, uma existência física da interface Uu entre o domínio do equipamento do usuário (UE) e o domínio do acesso rádio.

Enquanto nas redes GSM, os canais físicos e suas estruturas são reconhecidos pela BSC, no WCDMA, eles existem na interface Uu, e a RNC, ao contrário das redes GSM, não reconhecem toda esta estrutura.

No domínio da RNC, em vez de canais físicos, temos canais de transporte. Os canais de transporte transferem diferentes fluxos de informações através da interface Uu, e o elemento físico que faz o mapeamento desses fluxos para os canais físicos é a estação rádio-base. A referência bibliográfica [20] representa a especificação técnica do 3GPP que realiza o estudo do mapeamento dos canais de transporte em canais físicos.

Os canais lógicos não são necessariamente canais, ou seja, eles são implementações lógicas que a rede e o terminal precisam realizar em momentos distintos. Essas funções lógicas são mapeadas para os canais de transporte que realizam a verdadeira transferência da informação entre o domínio do UE e o domínio do acesso rádio.

Em relação aos canais lógicos, o UE e a rede têm diferentes tarefas para realizar. A estrutura dos canais lógicos, de transporte e físico são diferentes em ambas as direções. A seguir um resumo das tarefas a serem efetuadas do ponto de vista da rede:

- A rede deve informar o terminal sobre o ambiente rádio. Essas informações consistem, por exemplo, por valores de códigos usados pela célula ou por células vizinhas, níveis de potência permitidos e outras. Esse tipo de informação é fornecido pela rede para o UE através do canal lógico conhecido como BCCH (*Broadcast Control Channel*);
- Quando existe a necessidade de localizar uma determinada estação móvel para realizar comunicação, o UE deve ser procurado com o intuito de encontrar sua exata localização. Esse pedido de busca feito pela rede é entregue ao canal lógico denominado PCCH (*Paging Control Channel*);
- A rede tem certas tarefas para realizar, que são ou podem ser comuns a todos os terminais móveis que estejam em uma determinada célula. Com este objetivo é utilizado o canal CCCH (*Common Control Channel*). Como o CCCH é compartilhado por diversos terminais móveis simultaneamente, o UE deve usar uma identidade temporária de rede chamada U-RNTI (*UTRAN Radio Network Temporary Identity*) com o intuito de facilitar sua identificação. Investigando a U-RNTI recebida, o UTRAN é capaz de rotear mensagens recebidas para a RNC servidora correta;
- Quando há uma conexão dedicada ativa, a rede envia informações de controle referentes a essa conexão através de um canal lógico denominado DCCH (*Dedicated Control Channel*);
- O tráfego dedicado de usuários para um determinado serviço na direção do enlace direto é enviado através do canal lógico conhecido por DTCH (*Dedicated Traffic Channel*);

- O CTCH (*Common Traffic Channel*) é um canal unidirecional que existe somente na direção do enlace direto. Ele é utilizado para transmitir informações para todos os terminais, assim como para um grupo específico de terminais em uma célula.

A figura 3.15 ilustra a organização dos canais no WCDMA:

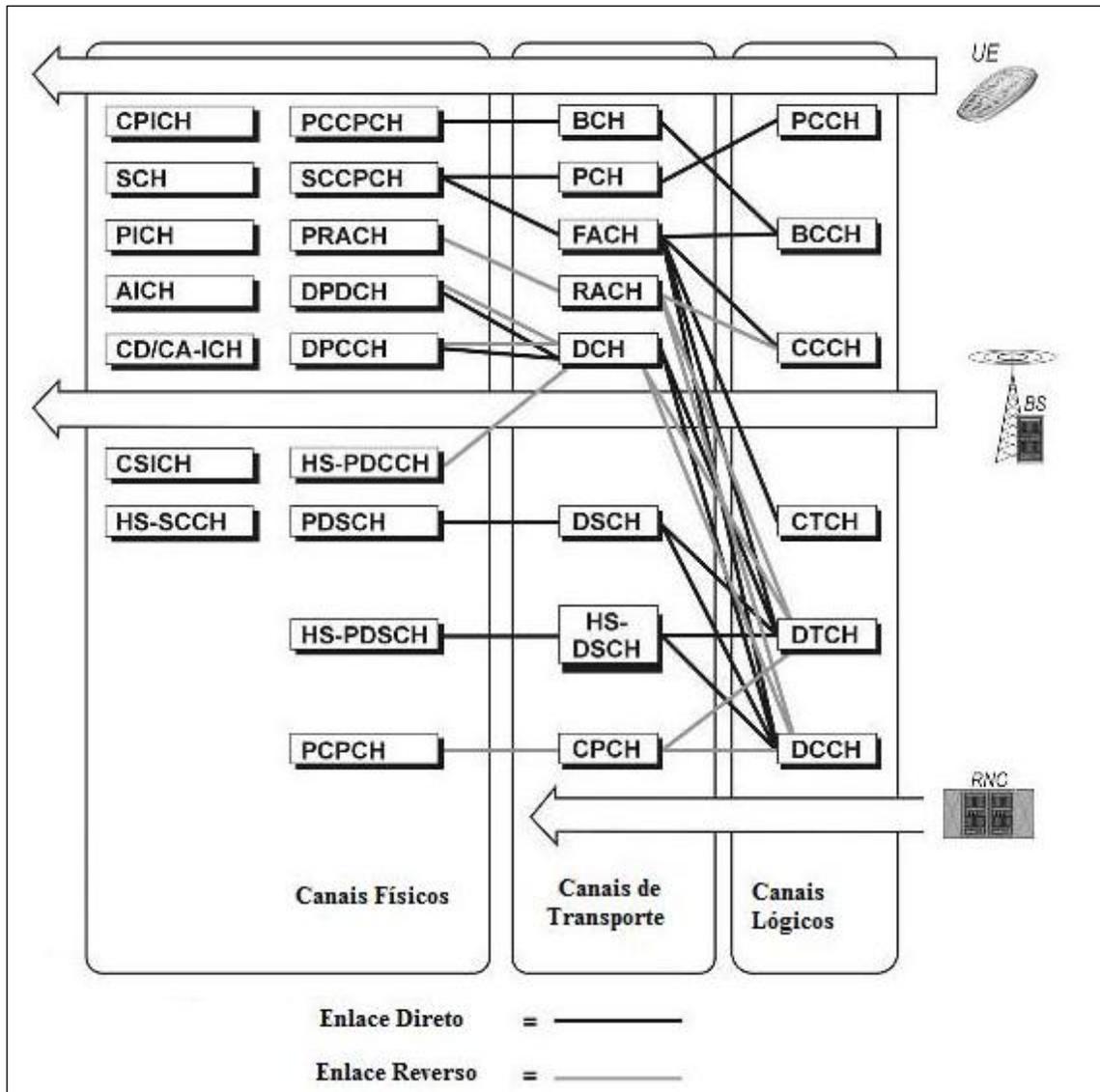


Figura 3.15 - Canais Físicos, de Transporte e Lógicos

Os canais de transporte ilustrados na figura 3.15, com uma exceção, são canais obrigatórios. Os canais de transporte obrigatórios são: BCH (*Broadcast Channel*), PCH (*Paging Channel*), FACH (*Forward Channel*) e o DCH (*Dedicated Channel*). Além desses canais de transporte mencionados, a operadora pode

configurar o acesso rádio para usar o DSCH (*Downlink Shared Channel*) e o HS-DSCH (*High Speed Downlink Shared Channel*).

O único canal de transporte dedicado é o DCH, os demais são comuns. O termo “dedicado” significa que a UTRAN alocou o canal para ser usado entre ela e outros terminais, enquanto o termo “comum” significa que diversos terminais podem usar o canal simultaneamente.

O BCH transporta o conteúdo do BCCH, isto é, informações do UTRA a ser entregue na célula. Essa informação consiste de códigos aleatórios de acesso, informação de *slot* de acesso e informação sobre células vizinhas. O terminal móvel deve ser capaz de decodificar o BCH com o objetivo de se registrar na rede. O BCH é transmitido com potência relativamente alta para que todo terminal na área de cobertura seja capaz de “ouvi-lo”.

O PCH transporta a informação de *paging*. Ele é utilizado quando a rede deseja iniciar uma conexão com um determinado UE. O FACH transfere a informação de controle para o UE cuja presença é conhecida em determinada célula. Por exemplo, quando a RNC recebe uma mensagem de acesso aleatório de um terminal, a resposta é entregue através do FACH. O FACH também transporta tráfego de pacotes na direção do enlace direto. Uma célula pode conter vários FACHs, mas um deles é configurado com uma taxa de bits baixa, para que todos os terminais localizados na área da célula sejam capazes de recebê-lo.

O DCH transporta tráfego dedicado e informações de controle, ou seja, os canais lógicos DTCH e DCCH. Podemos notar que, um canal DCH pode transferir vários DTCHs dependendo da situação. Por exemplo, um usuário pode ter uma chamada de voz e uma de vídeo ativas simultaneamente. A chamada de voz usa um canal lógico DTCH e a chamada de vídeo requer outro canal DTCH. Contudo, ambos usam o mesmo DCH. Do ponto de vista da capacidade do UTRA, o objetivo é utilizar canais de transporte sempre que possível, já que canais dedicados irão ocupar os recursos da rede.

O canal opcional DSCH é alvo de interesse constante, pois ele transporta informações dedicadas de usuários, isto é, os canais lógicos DTCH e DCCH para

tráfego de pacotes, e diversos usuários podem compartilhá-lo. Nesse ponto, o DSCH é melhor do que o DCH, pois economiza recursos de rede relacionados ao tráfego de pacotes na direção do enlace direto. Outro ponto relevante, é que a taxa máxima de *bits* para o DSCH e o HS-DSCH pode ser modificada mais rapidamente do que no DCH. O uso cada vez maior de serviços de dados que exigem um elevado “*burst*” de pacotes como: uma navegação na Web, tem aumentado o interesse em relação ao DSCH, e especificamente, em relação ao canal HS-DSCH.

Com a finalidade de melhorar a capacidade de dados dos sistemas WCDMA, o 3GPP tem especificado vários canais físicos de transporte novos: o HS-DSCH, mencionado anteriormente, é um canal de transporte que pode ser compartilhado por diversos terminais móveis. Ele está associado a um DPCH (*Dedicated Physical Channel*) no enlace direto, a um ou vários HS-SCCH (*High Speed Shared Control Channel*), que também é um canal novo e ao HS-DPCH (*High Speed Dedicated Physical Channel*) no enlace reverso, para a transferência de informações de *feedback* relacionadas ao HS-DSCH. O canal HS-DSCH pode estar disponível em toda a célula ou em parte da célula utilizando antenas diretivas. Os canais HS-SCCH que têm uma taxa fixa de 60 kbits/s e fator de espalhamento - SF = 128 são utilizados para transferir sinalização no enlace direto necessária para um HS-DSCH.

Na camada física, um HS-PDSCH (*High Speed Physical Downlink Shared Channel*) com um fator de espalhamento constante e igual a SF = 16 é utilizado para transportar o HS-DSCH. Quando uma MS tem a capacidade necessária para usar múltiplos códigos de canalização no mesmo sub-quadro HS-PDSCH, a taxa de *bits* é consideravelmente aumentada.

No enlace reverso, a quantidade de canais lógicos necessários é menor. Existem somente três canais lógicos: CCCH, DTCH e DCCH. Esses canais possuem as mesmas funcionalidades utilizadas no enlace direto.

Existem três canais de transporte obrigatórios no enlace reverso: RACH (*Random Access Channel*), DCH e CPCH (*Common Packet Channel*). O RACH transporta informações de controle da MS para a UTRAN, como: pedidos de configuração de conexão. O RACH também transporta pequenas quantidades de

pacotes de dados. O DCH é o mesmo mencionado no enlace direto, isto é, um canal de transporte dedicado que transporta informações do DCCH e DTCH. O CPCH é um canal de transporte comum destinado à transmissão de pacotes de dados. Pode-se dizer que ele é um tipo de extensão do RACH, e o seu complemento no enlace direto é o FACH.

Quando as informações são retiradas dos canais lógicos e organizadas para uso pelos canais de transporte, as mesmas já estão em formato e prontas para serem transferidas. Antes de transmiti-las, os canais de transporte são mapeados nos canais físicos [20], conforme ilustra a figura 3.16. Os demais canais físicos presentes são para controle, acesso ao meio e outros propósitos de modificação.

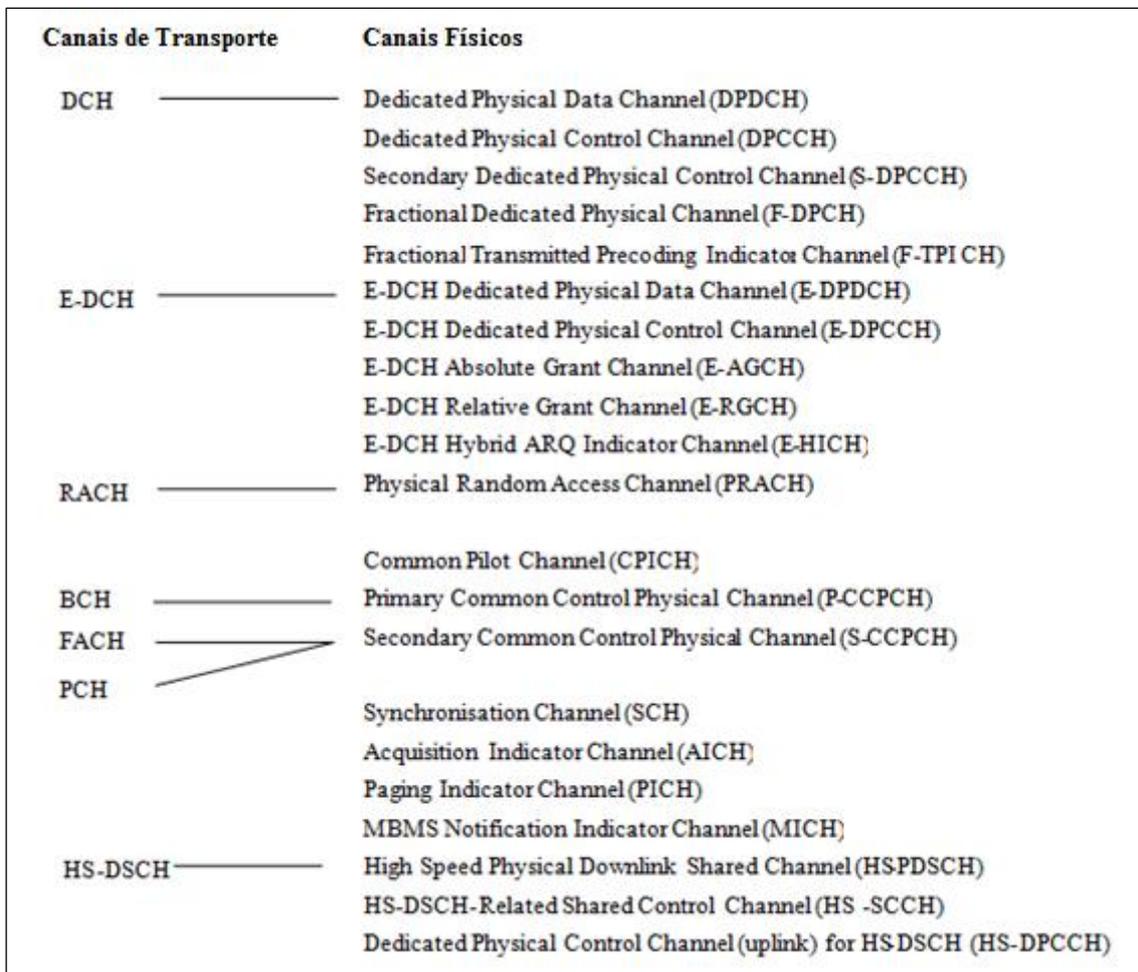


Figura 3.16 - Mapeamento dos Canais de Transporte em Canais Físicos [20]

Conforme representado na figura 3.17, os canais físicos são utilizados entre o terminal móvel e a BS.

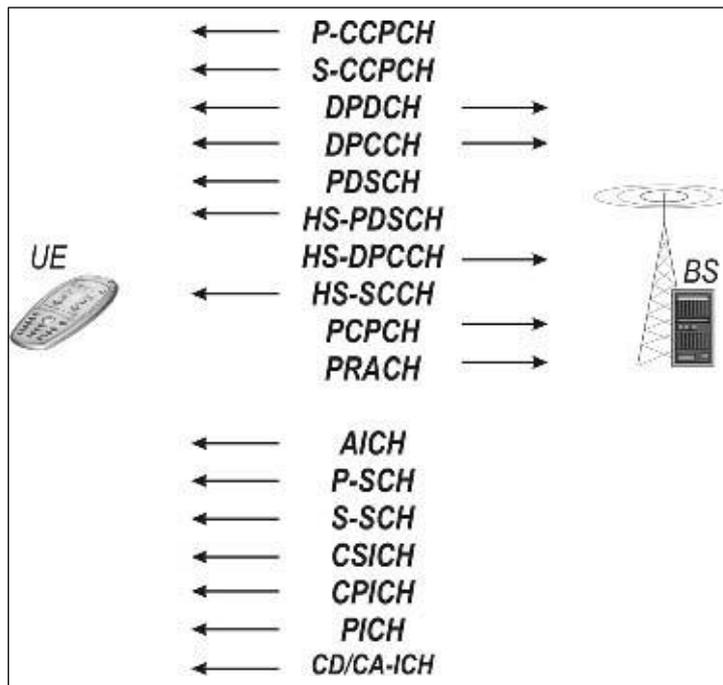


Figura 3.17 - Canais Físicos do WCDMA

O P-CCPCH (*Primary Common Control Physical Channel*) transporta o canal de transporte BCH no enlace direto. Este canal fica disponível, de forma que, todos os terminais móveis em uma determinada área de cobertura de uma célula são capazes de demodular o seu conteúdo. Devido a essa característica, o P-CCPCH possui certas limitações quando comparado a outros canais físicos do sistema. Ele utiliza um código de canalização fixo, e por esta razão, o seu código de espalhamento também é fixo. Essas características são imprescindíveis, porque caso contrário, os terminais não são capazes de “ver” e demodular o P-CCPCH. A taxa de *bits* desse canal é 30 kbits/s com um código de espalhamento de 256. A taxa de *bits* tem que ser baixa, pois esse canal requer uma potência de transmissão relativamente alta. Se taxas de *bits* maiores forem utilizadas, a interferência irá aumentar, limitando assim, a capacidade do sistema. Portanto, nesse caso específico, a relação entre o código de espalhamento, a potência transmitida e a taxa de *bits* pode ser vista como uma exceção aos princípios básicos do WCDMA.

O S-CCPCH (*Secondary Common Control Physical Channel*) transporta dois canais: PCH e o FACH. Esses canais de transporte podem usar o mesmo ou um S-CCPCH separado; ou seja, uma célula sempre contém pelo menos um S-CCPCH. A taxa de *bits* de um S-CCPCH é fixa e relativamente baixa, devido às mesmas razões que às do P-CCPCH. A taxa de bit do S-CCPCH pode ser

aumentada através de mudanças nas definições do sistema. A configuração S-CCPCH é variável, dependendo do caso, S-CCPCH pode ser configurado diferentemente, com o objetivo de otimizar o desempenho do sistema. Por exemplo, símbolos piloto podem ser incluídos ou não. Em relação às alternativas de configuração variáveis do S-CCPCH, podemos exemplificar a multiplexação da informação do PCH de forma conjunta com a do FACH no S-CCPCH, otimizando assim, o desempenho do sistema. As indicações de *paging* relacionadas ao PCH são transportadas em um canal físico separado denominado PICH (*Paging Indicator Channel*).

O DPDCH (*Dedicated Physical Data Channel*) transporta tráfego dos usuários de forma dedicada. O tamanho do DPDCH é variável, e ele pode transportar diversas conexões. Como especificado em sua abreviatura, o canal é dedicado entre a rede e o usuário. Canais físicos dedicados são sempre alocados em pares em uma conexão: um canal é disponibilizado para transferência de informações de controle e o outro para tráfego real. O DPDCH transfere informações de controle durante a conexão dedicada. A figura 3.18 representa como o DPDCH e o DPCCH são tratados nos enlaces direto e reverso.

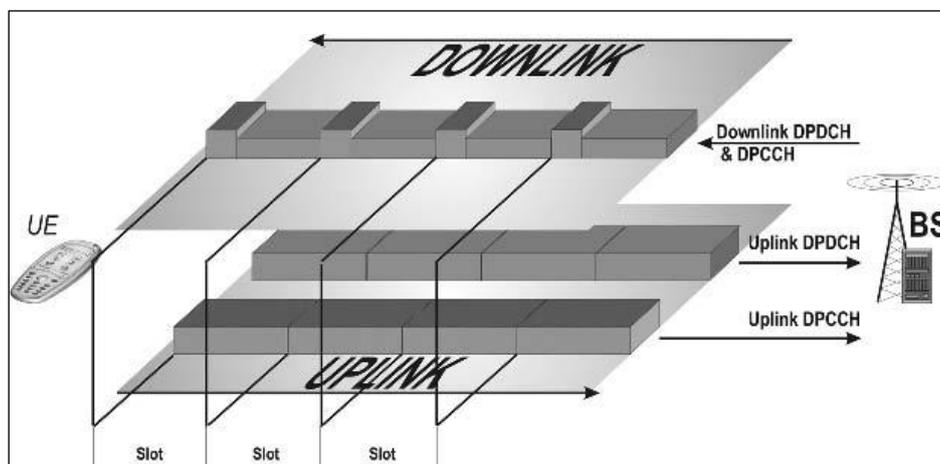


Figura 3.18 - DPDCH e DPCCH nos enlaces direto e reverso

No enlace direto, o DPDCH transporta dados de usuários e o DPCCH transporta informação de taxa de dados e de controle de potência, estes canais são multiplexados no tempo. Caso não haja nada a ser transmitido pelo DPDCH, o sinal terá o formato de um pulso causando perturbações do tipo EMC (*Electromagnetic Compatibility*) - compatibilidade eletromagnética - que não representam problemas

na direção do enlace direto. No enlace reverso, o DPDCH e o DPCCH são separados pela modulação I/Q. Se não houver qualquer dado a ser transportado pelo DPDCH nenhuma perturbação do tipo EMC existe. O resultado da modulação I/Q no terminal móvel constitui, em termos práticos, um canal apenas, porém, transportando informação nos dois ramos do circuito.

Os canais DPDCH e DPCCH transportam juntos os conteúdos do canal de transporte DCH. Quando a conexão dedicada usa uma taxa de *bits* de alto pico, o sistema começa a sofrer a falta de códigos de canalização na célula. Nesse caso há duas opções: adicionar códigos de embaralhamento à célula ou utilizar canais comuns para a transmissão de dados dedicados. Não é recomendável adicionar códigos de espalhamento, pois a ortogonalidade é perdida. A solução de utilizar canais comuns para transmissão de pacotes de dados é a melhor maneira de aumentar a capacidade do sistema.

O DCH no enlace direto é capaz de proporcionar informações sobre como a MS receptora deve decodificar o PDSCH (*Physical Downlink Shared Channel*) para obter informações de usuários adicionais. O PDSCH transporta o canal de transporte DSCH, e como mencionado anteriormente, para este canal ser utilizado, fica a critério da operadora.

Se houver a necessidade de enviar pacotes de dados no enlace reverso e a capacidade de transferência de pacotes do RACH não for suficiente, o UE pode usar o CPCH do enlace reverso. O canal físico correspondente no enlace reverso é o PCPCH (*Physical uplink Common Packet Channel*). O correspondente do CPCH no enlace direto é o DPCCH. O PRACH (*Physical Random Access Channel*) transmite informações sobre o Procedimento de Acesso Aleatório - (RAP - *Random Access Procedure*). Esse procedimento é ilustrado na figura 3.19.

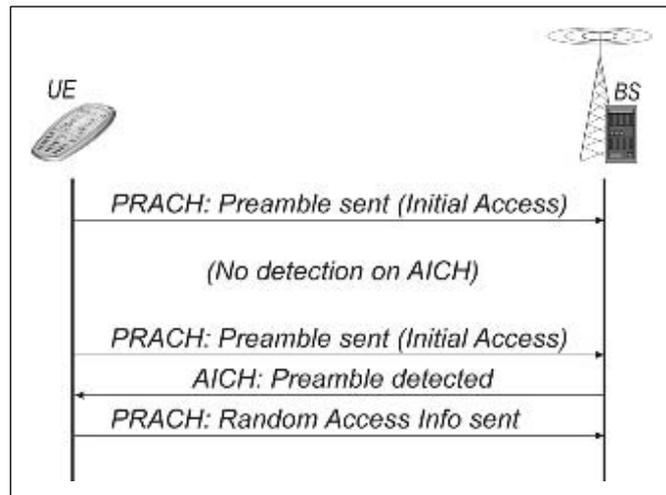


Figura 3.19 - Procedimento de Acesso Aleatório

Com esse procedimento, o terminal acessa a rede, e pequenas quantidades de dados podem ser transferidas. O RAP possui as seguintes fases:

- O UE decodifica a informação do BCD (*Binary Coded Decimal*) no P-CCPCH e localiza quais *slots* de RACH e códigos de embaralhamento estão disponíveis;
- O UE seleciona aleatoriamente um slot de RACH para usar;
- O terminal configura o nível de potência inicial a ser utilizado, este nível de potência é baseado no nível de potência recebido no enlace direto, e envia o “preâmbulo” para a rede;
- O terminal decodifica o AICH (*Acquisition Indication Channel*) para certificar-se de que a rede foi notificada sobre o envio do “preâmbulo”. Caso não tenha sido, a MS envia o preâmbulo novamente, mas com um nível de potência mais alto;
- Quando o AICH indica que a rede foi notificada do preâmbulo, o terminal envia a informação do RACH no PRACH. O tamanho da informação do RACH enviada pode ser de um ou dois quadros WCDMA, com duração de 10 ms a 20 ms.

O SCH (*Synchronisation Channel*) proporciona à célula informações de pesquisa para o UE dentro de uma determinada área de cobertura da célula. Este canal é uma combinação de dois canais: P-SCH (*Primary Synchronisation Channel*) e o S-SCH (*Secondary Synchronisation Channel*). O P-SCH utiliza um código de canalização fixo, cujo tamanho é 256 e o seu código de canalização é o

mesmo em todas as células do sistema. Quando o terminal demodula o P-SCH, ele obtém a sincronização de quadro e de *slot* do sistema e fica ciente, de qual grupo de códigos de embaralhamento pertence a célula a ser acessada.

O CPICH (*Common Pilot Channel*) é um canal com código não modulado, que é embaralhado usando código de embaralhamento específico da célula. O CPICH é utilizado para estimativa de canal dedicado pelo móvel e para oferecer referências de estimativas de canal quando canais comuns estão envolvidos. Geralmente, uma célula possui somente um CPICH, mas pode haver dois deles. Nesse caso, esses canais são chamados de “CPICH primário” e “CPICH secundário”. A célula pode conter um CPICH secundário, por exemplo, quando ela contém uma antena diretiva com o objetivo de fornecer serviços em uma área “*hot spot*” dedicada.

Desse modo, uma área dedicada utiliza o CPICH secundário, e o CPICH primário oferece um piloto para toda área de cobertura da célula. Os terminais “escutam” o sinal piloto continuamente, e é por isso que ele é utilizado para alguns propósitos vitais do sistema, como por exemplo, medidas de *handover* e balanceamento de carga da célula. O móvel sempre procura células mais atrativas, e diminuindo o nível de potência do CPICH, a célula se torna menos atrativa.

Os demais canais físicos ilustrados anteriormente na figura 3.17 são: CSICH (CPCH *Status Indication Channel*), CD-ICH (*Collision Detection Indication Channel*) e o CA-ICH (*Channel Assignment Indication Channel*). O CSICH usa o espaço livre que ocorre no AICH, e também é utilizado para informar a MS sobre a existência e configuração do CPCH. Para evitar colisões, por exemplo, dois terminais usando o mesmo padrão de identidade e os dois canais: CD-ICH e CA-ICH são canais físicos que transferem a informação de detecção de colisão para o UE.

O quadro de dados é um “*burst*” de dados previamente estruturado. Para que o acesso rádio seja capaz de realizar ações de controle como: *timing*, sincronização e garantia de transmissão entre a rede e o terminal móvel, os quadros devem ser estruturados de um modo bem definido.

O WCDMA contém uma estrutura de quadro que é dividida em 15 *slots*, cada um com comprimento igual a 2/3 ms. Então podemos concluir que, o tamanho do quadro é de 10 ms, como pode ser observado na figura 3.20.

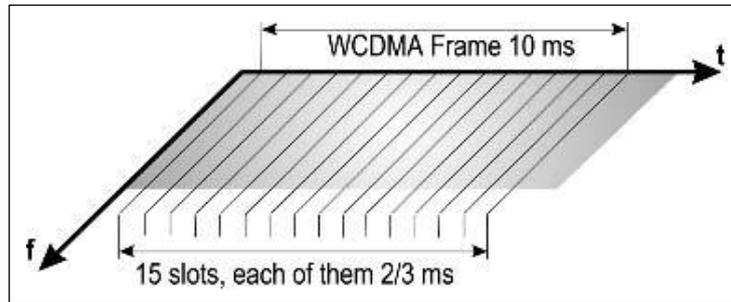


Figura 3.20 - Estrutura do Quadro WCDMA

Então um quadro WCDMA é capaz de suportar:

$$\text{chips} = \frac{0,010 \text{ ms}}{0,00000026041 \text{ s}} = 38,400 \text{ chips} \quad (3.9)$$

Portanto, o número de chips em um slot é:

$$\text{chips/slot} = \frac{38,400 \text{ chips}}{15 \text{ slots}} = 2,560 \text{ chips} . \quad (3.10)$$

Diferentemente do GSM, o WCDMA não possui estruturas de multiquadros. Os quadros no WCDMA são numerados por um Número de Quadro do Sistema - SFN (*System Frame Number*). Um SFN é utilizado para a sincronização interna da UTRAN e para o *timing* da transmissão da informação do BCCH.

As figuras 3.21 e 3.22 apresentam as estruturas de quadro para os enlaces reverso e direto.

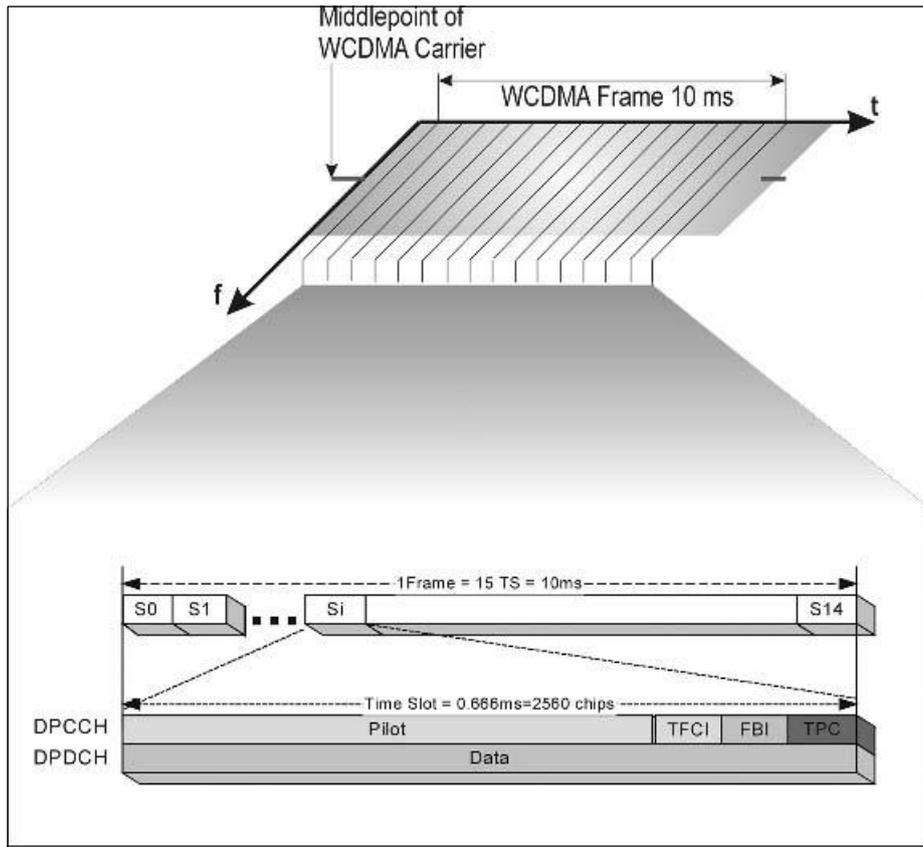


Figura 3.21 - Estrutura do quadro em um canal dedicado do enlace reverso

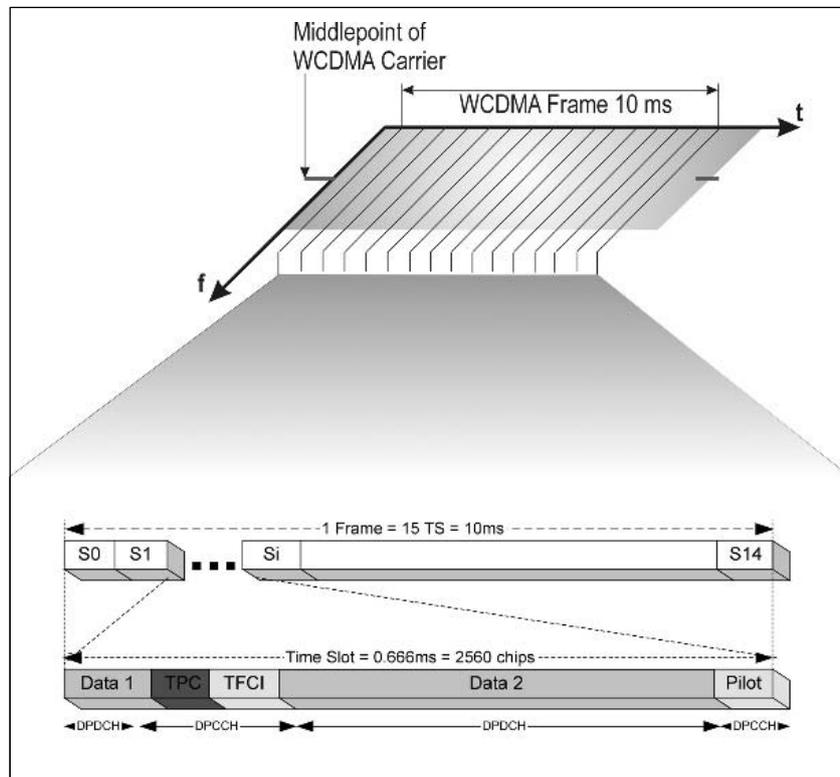


Figura 3.22 - Estrutura do quadro em um canal dedicado do enlace direto

Como representado nas figuras acima, os canais físicos dedicados possuem diferentes estruturas para os enlaces reverso e direto. No enlace reverso, a estrutura de quadro básica do canal físico dedicado segue a estrutura de quadro do enlace direto, porém a principal diferença é que os canais dedicados no enlace reverso não podem ser considerados como uma multiplexação no tempo do DPDCH (*Dedicated Physical Data Channel*) e do DPCCH (*Dedicated Physical Control Channel*). Uma operação com multicódigos faz-se necessária para os canais físicos dedicados do enlace reverso. Esta operação é caracterizada por diversos canais DPDCHs paralelos transmitidos por diferentes códigos de canalização com apenas um DPDCH por conexão.

O DPCCH consiste de *bits* piloto com a função de suportar a estimação de canal para detecção coerente: comandos de TPC (*Transmit Power Control*), para ajustar a potência transmitida, o FBI (*Feedback Information*) e o opcional TFCI (*Transport Format Combination Indicator*) informam ao receptor sobre os parâmetros instantâneos dos diferentes canais de transporte multiplexados no DPDCH do enlace reverso e correspondem aos dados transmitidos no mesmo quadro.

No caso de enlace direto, todos os slots incluem bits piloto, bits de controle de potência transmitida, um indicador de quadro de transporte e os dados.

É importante ressaltar que em um canal DPCH de enlace direto, os dados dedicados gerados na camada 2 e acima desta como, por exemplo, os do DCH, são transmitidos através da multiplexação no tempo com informações de controle geradas na camada 1 como: os *bits* piloto, comandos TPC e o opcional TFCI. Portanto, o DPCH do enlace direto pode ser visto como uma multiplexação no tempo do DPDCH e do DPCCH do enlace direto. Além das convenções do processo de padronização existem outras razões para essa abordagem:

- Minimizar transmissões contínuas em terminais móveis;
- Utilizar códigos ortogonais no enlace direto de forma mais eficaz;
- Minimizar o atraso do controle de potência utilizando um *offset* de *slot* entre os slots do enlace reverso e os do enlace direto.

Para os canais comuns, a estrutura é a mesma e a principal diferença entre os canais comuns e dedicados é que nos canais comuns os bits TPC não são usados.

3.6 HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) e HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*)

Nas primeiras fases do sistema UMTS, já haviam sido mencionadas ideias de que o tráfego de dados seguiria a tendência ocorrida nas redes fixas, nas quais o compartilhamento do tráfego IP estava se tornando dominante. O 3GPP já havia iniciado o conceito de “*All IP*”, que levaria o tráfego IP a emergir no CN do UMTS através da introdução de blocos como o IMS.

Com o objetivo de promover a capacidade de dados da rede, os critérios de inovações dos sistemas UMTS deveriam focar na evolução da UTRAN, e em particular da sua interface aérea. Por outro lado, algumas melhorias na UTRAN e na sua interface aérea já estavam sendo implantadas: o DSCH (*Downlink Shared Channel*) já havia sido desenvolvido, proporcionando melhores caminhos para se obter uma rede com altas taxas de *bits*. A introdução do DSCH provou que a interface aérea tinha o potencial para novos aprimoramentos. Portanto, avançar com o desenvolvimento que já estava em curso proporcionava tanto melhorias tecnológicas quanto no setor de negócios. Nesse contexto, surgiu então, o HSDPA.

Como consequência de tais esforços, o 3GPP, na sua *Release 5*, especificou o HSDPA para servir usuários de altas taxas de dados. O conceito de HSDPA foi feito para aumentar o *throughput* de pacote de dados no enlace direto através de combinações e retransmissões rápidas na camada física, assim como a adaptação rápida do enlace controlada pela Node B. O HSDPA visa também a redução do atraso, ou seja, latência; e o canal de transporte que transporta dados do usuário é o HS-DSCH, que já foi mencionado anteriormente nesta Dissertação.

Para atingir seus objetivos, o HSDPA emprega técnicas como a AMC (*Adaptive Modulation and Coding*) que consiste em uma adaptação da rede quanto à variação da qualidade do sinal de cada usuário. De acordo com a qualidade do sinal do usuário, a modulação pode variar da QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) para 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), o que

dobra a taxa de transmissão. O HARQ (*Híbrido Automatic Repeat Request*) também é uma técnica empregada, e consiste na retransmissão rápida de pacotes com erros em até 10 ms. O usuário, ao receber um pacote com erro, o salva e depois o combina com as suas retransmissões. Esse modelo permite que mesmo que as retransmissões possuam erros, a combinação destas pode gerar pacotes sem erros. A figura 3.23 ilustra as principais funcionalidades do HSDPA.

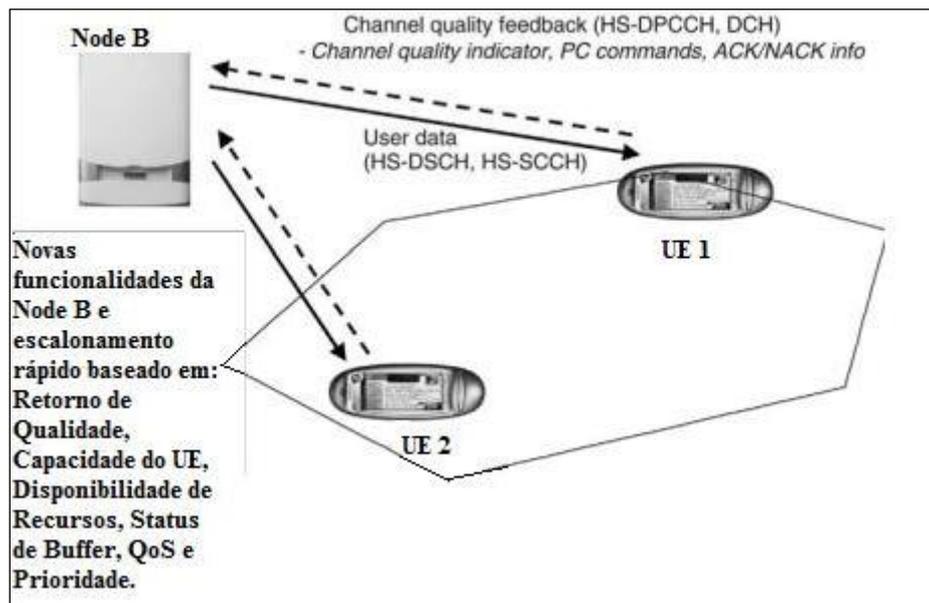


Figura 3.23 - Princípios Gerais de Operação do HSDPA

A Node B estima a qualidade do sinal de cada usuário HSDPA ativo baseando-se, por exemplo, no controle de potência, taxa de ACK/NACK (Acknowledgement/Unacknowledged) e *feedback* de usuários específicos do HSDPA. Adaptações de planejamento e enlace são posteriormente conduzidas de maneira rápida dependendo do algoritmo de planejamento ativo e do esquema de prioridades de usuários.

Com o HSDPA, duas das principais características do WCDMA como: o fator de espalhamento variável e o rápido controle de potência são desabilitados, e substituídos por modulação e codificação adaptativas (AMC), por operações extensivas de multicódigo e por uma estratégia de retransmissão rápida e eficiente do ponto de vista do espectro. No enlace direto, a dinâmica do controle de potência do WCDMA é da ordem de 20 dB comparado com a dinâmica de controle do enlace reverso, que é da ordem de 70 dB. A dinâmica do enlace direto é limitada

pela interferência inter-célula, ou seja, interferência entre usuários em canais de código paralelos, e pela implementação da Node B. Isso significa que para um usuário que está próximo à BS, o controle de potência não consegue reduzir ao máximo a potência, e por outro lado, reduzi-la para uma dinâmica além de 20 dB teria apenas impacto marginal na capacidade. Com o HSDPA, essa propriedade é utilizada pela função de adaptação do enlace e pela AMC para selecionar uma combinação de codificação e modulação que requer um $\frac{E_b}{N_0}$ mais alto, que fica disponível ao usuário que se encontra próximo à Node B. Isso leva a um *throughput* adicional para o usuário, e basicamente sem custo.

Para habilitar uma ampla faixa dinâmica de adaptação do enlace HSDPA e manter uma boa eficiência espectral, um usuário deverá utilizar simultaneamente até 15 multicódigos em paralelo. A utilização de uma codificação mais robusta, o rápido HARQ e a operação multicódigo removem a necessidade de um fator de espalhamento variável.

Com o objetivo de permitir que o sistema se beneficie de variações rápidas, as decisões de planejamento são feitas na BS. A ideia do HSDPA é habilitar um planejamento de modo que, caso seja requisitado, a maior parte da capacidade da célula pode ser alocada para um usuário por um período de tempo muito curto, conforme as condições favoráveis. Em um cenário preciso, o planejamento é capaz de localizar o desvanecimento rápido dos usuários.

A combinação de pacotes da camada física significa basicamente que os terminais móveis guardam os pacotes de dados recebidos na sua memória *soft* e se a decodificação falhar, a nova transmissão é combinada com a antiga antes da decodificação do canal. A retransmissão pode ser igual à anterior ou pode conter *bits* diferentes comparados com a saída do canal que foi recebida durante a última transmissão. Com essa estratégia de redundância incremental, pode-se conseguir um ganho de diversidade, assim como a melhoria na eficiência de decodificação.

Os principais benefícios do HSDPA percebidos diretamente pelo usuário final são as, aproximadamente, cinco ordens de magnitude do *throughput* de dados com uma taxa máxima de até 10 Mbits/s com 15 multicódigos. Essa taxa pode

chegar até 14 Mbits/s com os avanços planejados para o HSDPA. Esses benefícios dependem da modulação utilizada para a configuração de recursos.

A taxa de pico máxima pode ser afetada por muitos fatores como: cobertura da célula, mobilidade do terminal, distância do terminal móvel para a BS e o número de usuários simultâneos. A taxa de pico máxima pode ficar muito abaixo da taxa alvo, mas a melhoria é bastante perceptível quando comparada com a capacidade de dados da UTRAN sem o HSDPA. Outros benefícios que o HSDPA introduziu foram: redução da latência usuário-usuário e grandes melhorias na capacidade da célula. Todos esses fatores contribuem para eficiência espectral do sistema e promovem melhorias na capacidade do mesmo de se adequar às ofertas de serviços direcionados aos pacotes de dados. O foco principal é o *streaming* de vídeos e interatividade.

O HSDPA possui algumas desvantagens, visto que, apesar de ser compatível com os sistemas baseados nas *releases* anteriores do 3GPP, *upgrades* e melhorias na interface aérea e arquitetura do sistema são necessárias.

Em 2009, os dispositivos mais comuns atingiam de 3,6 Mbits/s a 7,2 Mbits/s, porém já foram anunciadas velocidades superiores a estas, como 14 Mbits/s.

As mudanças implementadas na arquitetura de rede dos sistemas UMTS devido ao HSDPA, e em especial na interface aérea são resumidas abaixo:

- Arquitetura de Rede: o HSDPA requer que uma parte significativa da função de tratamento de pacotes seja transferida para a borda da rede proporcionando uma arquitetura mais distribuída do que a implementada na *Release 4* e anteriores;
- Camada Física: novos métodos de modulação e codificação ocasionam modificações significantes na arquitetura da camada física em termos de estruturas de canais, multiplexação, “*timing*” e procedimentos necessários para a operação do HSDPA;
- Programação rápida significa uma operação mais eficiente do Controle de Acesso ao Meio (MAC) e uma interação mais

próxima da camada física. Algumas operações podem exigir uma maior capacidade de processamento da BS e também do terminal móvel;

- Retransmissões rápidas podem ser realizadas empregando-se mais sinalizações de controle e um mecanismo de retransmissão avançado.

Podemos concluir que, o HSDPA proporcionou melhorias para os sistemas UMTS, apesar das implicações no sistema requisitadas para adaptação a esta nova tecnologia.

Outra tecnologia de grande importância nos sistemas UMTS é o HSUPA, por esta razão uma explicação sobre os aspectos básicos desta tecnologia faz-se necessária.

Na *Release 5* do 3GPP, na qual o HSDPA foi apresentado, a taxa de dados máxima que o sistema poderia prover no enlace reverso era de 384 kbits/s. Desde que os serviços baseados em IP tornaram-se cada vez mais importante, houve uma demanda crescente para reduzir o atraso no enlace reverso, pois assim determinadas aplicações como: dados multimídia, streaming de vídeo, e-mail e VOIP, entre outros, se beneficiariam de uma capacidade de transmissão no enlace reverso eficaz.

O trabalho do 3GPP denominado E-DCH (*Enhanced Dedicated Channel*), mais conhecido como HSUPA, introduziu aprimoramentos que podem ser aplicados no UTRA com o objetivo de melhorar o desempenho nos canais de transporte do enlace reverso.

Os propósitos primordiais do HSUPA eram reduzir o atraso no enlace reverso, melhorar a cobertura e aumentar o *throughput* para serviços de pacotes de dados. A máxima taxa possível para o E-DCH pode chegar a 5,76 Mbits/s.

Alguns dos aspectos principais do E-DCH são:

- Operação do canal dedicado;
- Programação rápida baseada na Node B;
- Capacidade de operar com ou sem HSDPA no enlace direto;
- Redução significativa da latência, devido à programação rápida da Node B, ao rápido HARQ e ao TTI (*Transmission Time Interval*).

A programação rápida na Node B refere-se à funcionalidade que deve ser implementada nela com o objetivo de permitir o controle do aumento de ruído no enlace reverso causado pelos diferentes terminais.

Para a operação do HSUPA, a Node B controla um limite da relação entre os canais E-DPDCH (*Enhanced Dedicated Physical Data Channel*) e E-DPCCH (*Enhanced Dedicated Physical Control Channel*) no UE. A relação entre o E-DPDCH e o E-DPCCH depende da taxa de dados selecionada, do perfil do HARQ e do controle de potência com malha externa. Para a operação normal do DCH no sistema UMTS, somente a RNC é capaz de controlar o aumento de ruído do enlace reverso e executar a programação. Devido ao atraso da interface Iub, uma programação rápida com base no TTI não é possível para o DCH.

Analogamente ao HSDPA, o HARQ também é utilizado no HSUPA. Ele é síncrono, ou seja, as posições de retransmissão de um determinado processo são conhecidas. O controle de retransmissão HARQ é controlado pela Node B, enquanto reorganizações relacionadas ao HARQ são feitas pela SRNC. Para retransmissões, a potência do terminal é fixada de acordo com o E-DPDCH e o E-DPCCH da primeira transmissão. Além disso, critérios para transmissões com redundância como o IR (*Incremental Redundancy*) são suportados e o UE indica a redundância através do E-DPCCH.

Quando comparada à Release 99, as seguintes melhorias no desempenho são notadas no HSUPA:

- Aumento da capacidade do sistema em até 85 %;
- Redução no atraso das chamadas de dados dos usuários em até 50 %;
- Aumento do *throughput* dos usuários em até 50 %.

Podemos concluir que, essa abordagem significa que terminais e redes HSDPA/HSUPA devem oferecer serviços de *upload* e *download* cada vez mais rápidos. A combinação do HSDPA com o HSUPA, devido ao modo que ambos se complementam, foi lançada na *Release 7* do 3GPP, conhecida como HSPA (*High Speed Packet Access*) ou redes 3.5G, proporcionando assim, uma solução *wireless* com grande eficiência espectral.

4 Planejamento de Sistemas UMTS

Para se construir uma rede, qualquer que seja a sua natureza, com alta qualidade e relação custo-benefício ótima é primordial a obtenção de informações para que seja realizado o desenvolvimento de um plano de rede, pois esse caracteriza a parte principal da construção de qualquer rede.

Para desenvolver uma rede WCDMA, um grande número de diferentes informações é necessário para elaborar o plano de rede inicial, também denominado *roll-out*. Algumas definições são necessárias:

- **Plano de negócios da operadora** - Esse plano deve definir quais tipos de serviço a operadora planeja oferecer, como eles serão implementados e o montante necessário para realizar o *roll-out*;
- **Seção Técnica do Plano de Negócios** - Esse plano deve conter os planos de cobertura, capacidade, qualidade, características dos serviços agregados e entrada de clientes desejados;
- **Acordo de Licença UMTS** - Geralmente, contém os planos de implantação de cobertura, capacidade e serviços, assim como as exigências para admitir uma quantidade pré-determinada de mão-de-obra e, também, a quantidade necessária de mercadorias e serviços requisitados;
- **Plano de Consolidação** - Este plano deve fornecer as diretrizes de como o *roll-out* deve progredir;
- **Relatórios de Consultores** - Nos últimos anos, as operadoras têm solicitado diversos consultores para realizar relatórios de análise do *roll-out* do 3G. Embora essas informações fiquem ultrapassadas rapidamente, esses relatórios podem conter alguns fatos a serem utilizados;
- **Estudos internos da operadora sobre a utilização dos sistemas móveis** - Informações sobre o uso dos sistemas móveis é imprescindível, pois com elas pode-se identificar onde os clientes 3G e clientes corporativos importantes se encontram. Além disso, deve-se determinar se a rede 3G será utilizada como uma plataforma para outras tecnologias *wireless* ou não. Outra

informação importante é determinar os perfis de uso das redes móveis e informações sobre a distribuição dos clientes com o objetivo de simular a carga da rede;

- **Estatística do Governo** - Fontes do Governo podem prover estatísticas como o tipo de população e suas condições sócio-econômicas para determinar os perfis de serviço em determinadas áreas.

Estas informações estão compreendidas na solicitação de cotação feita pela operadora para o fornecedor de rede. Esta solicitação, tipicamente, exige de cada fornecedor uma estimativa de quantas estações rádio-base serão necessárias para se construir uma rede. As operadoras e os fornecedores, com objetivo de obter serviços de qualidade, estão em acordo concretizado pelo SLA (*Service Level Agreement*). Desta forma, certo nível de cobertura está garantido para um determinado nível de carga do sistema utilizando o mínimo de BSs proporcionado o menor custo possível. Os fornecedores, através do SLA, têm que se comprometer com essas pré-definições, mesmo quando a maioria dos sites (BSs) ainda serão adquiridos e alguns dos parâmetros definidos posteriormente.

Os parâmetros iniciais para a realização de um *roll-out* são:

- **Requisitos de Capacidade** - Os usuários planejados e a utilização dos serviços em cada área da rede, assim como o cálculo da capacidade do *site* devem ser conhecidos com a finalidade de determinar a quantidade necessária de estações rádio-base para prover cobertura.
- **Requisitos de Cobertura** - Os cálculos do enlace também denominados de “*link budget*” dos serviços com altas taxas de dados devem ser realizados para estimar a quantidade de BSs serão necessárias em cada área da rede para se obter a cobertura total almejada.

O número total de *sites* da rede é determinado pela seleção do maior número de BSs de cada área, que promovem maior capacidade ou qualidade, e realizar a adição destas quantidades de BSs. Para se obter a quantidade total de BSs necessárias, os seguintes procedimentos podem ser utilizados:

- Adicionar 10 % de *sites* de qualidade para prover cobertura especial em determinado local ou um servidor dominante em dificuldades, ou ainda para cobrir áreas importantes;
- Adicionar 10 % de sites para serem redundantes e consertar problemas, pois alguns sites planejados podem ser adquiridos;
- O total conduzirá à quantidade de sites necessária para construir uma rede 3G inicial.

O processo de planejamento de uma rede rádio WCDMA é ilustrado na figura 4.1, na qual o termo RRM (*Radio Resource Management*) significa Gerenciamento de Recursos Rádio.

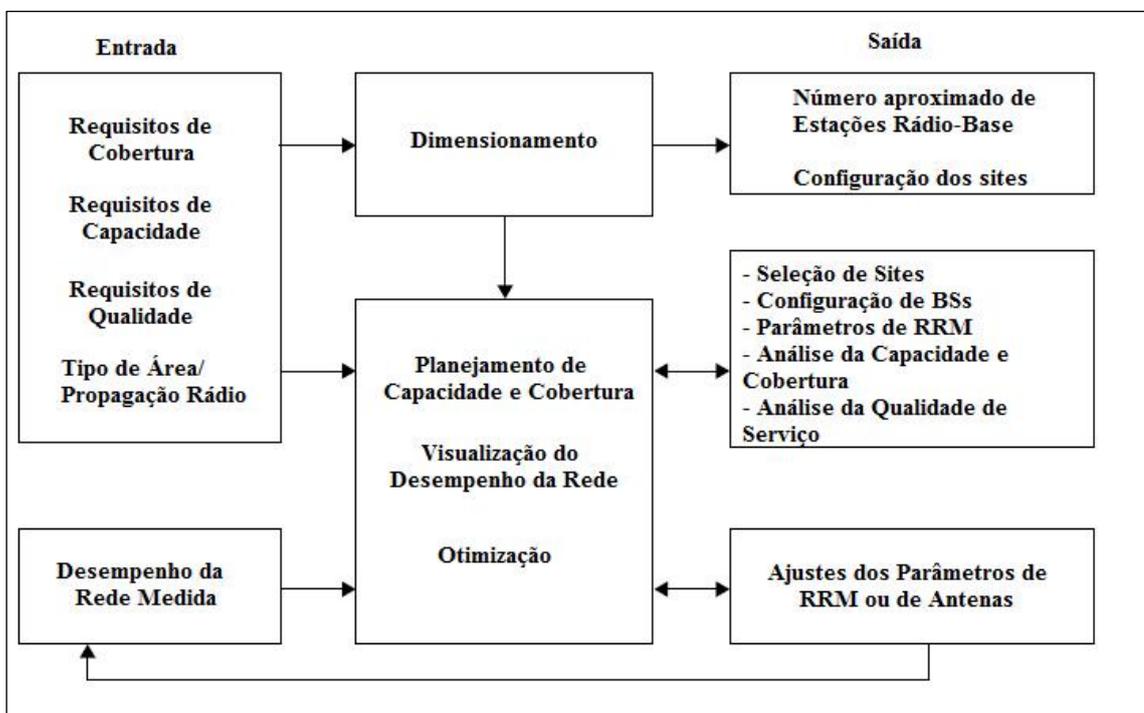


Figura 4.1 - Processo de Planejamento de Sistemas UMTS

Como pode ser observado na figura 4.1, diversos tópicos já foram abordados nesta Dissertação de Mestrado como, por exemplo: requisitos de cobertura e capacidade.

Um estudo mais abrangente sobre estes tópicos será feito na Seção 4.1.

4.1 Dimensionamento

Na fase de dimensionamento, as possíveis considerações e a quantidade de equipamentos da rede são estimadas baseando-se nos requisitos solicitados pela operadora. Esses requisitos são os seguintes:

- Requisitos de Cobertura
 - Regiões de Cobertura;
 - Informações do tipo de área;
 - Condições de Propagação.
- Requisitos de Capacidade
 - Espectro disponível;
 - Previsão de crescimento do número de assinantes;
 - Informações sobre a densidade de tráfego.
- Requisitos de Qualidade de Serviço (QoS)
 - Probabilidade de Cobertura;
 - Probabilidade de Bloqueio;
 - *Throughput* do usuário final.

Esses requisitos irão compor diversos planos, mencionados anteriormente, como: plano de negócios, seção técnica do plano de negócios, acordo de licença para os sistemas UMTS, estudos internos da operadora, entre outros; que serão utilizados como dados na criação do planejamento de rede inicial.

As atividades de dimensionamento de uma rede incluem o cálculo do *link budget*, a análise da cobertura, a estimativa da capacidade e, finalmente, estimativas de quantidades de *sites*, aquisições de *hardware* para as BSs, RNCs, equipamentos para as diferentes interfaces e elementos do CN.

A partir desta seção, será mencionado como enlace direto, o termo *downlink*; assim como para o enlace reverso, o termo *uplink*; conforme semelhanças com as literaturas técnicas estudadas que abordam este tópico.

Os cálculos do *link budget* da interface aérea WCDMA são realizados primeiramente, para a direção de *uplink*, pois a interferência ocasionada por outros móveis no *uplink* é normalmente o fator limitante nos sistemas WCDMA. Ambas direções, *uplink* e *downlink*, serão, entretanto, analisadas, pois a cobertura de uma célula é determinada pela direção de *uplink*, já que a potência do terminal móvel é muito menor que a da BS, enquanto a capacidade da célula é determinada pela

direção de *downlink*, pois melhores técnicas de recepção, como diversidade em espaço, podem ser usadas na BS.

Para realizar o cálculo de *link budget* serão consideradas as seguintes situações: terminal móvel 1 operando na direção de *downlink* e o terminal móvel 2 operando na direção de *uplink*, conforme ilustrado na figura 4.2.

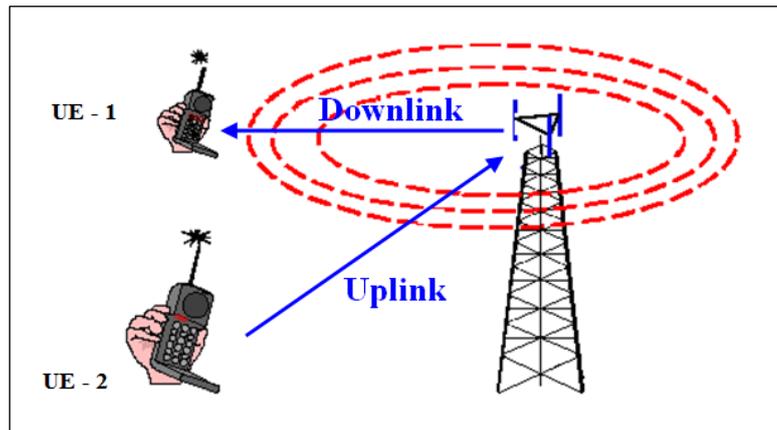


Figura 4.2 - Direções de *Downlink* e *Uplink*

Para efetuar o cálculo do *link budget* é necessário que as seguintes características da rede sejam determinadas:

- Perda de Percurso Máxima;
- Limite da área de cobertura;
- Estimativa do raio da célula.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os parâmetros e as variáveis utilizadas para o cálculo do *link budget* no WCDMA:

Tabela 4.1 - Variáveis e Parâmetros do *link budget* relacionados ao transmissor

TRANSMISSOR				
Parâmetros e Variáveis	Unidades	Número	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
Taxa de Dados do Usuário	k bits/s	(1)	$R_{b,j}$	$R_{b,j}$
Taxa de Chip	M chips/s	(2)	$R_c = 3,84$ Mchips/s	$R_c = 3,84$ Mchips/s
Máxima Potência de Transmissão	W (Watts)	(3)	Potência P_T transmitida pela Node B	Cada UE_j possui potência de saída $P_{t,j}$

β (“Porção” de potência dos canais comuns)		(4)	β	
Potência para canais dedicados	W	(5)	$P_{cd} = (1-\beta) P_T$	
	dBm	(6)	$10\log [(5) / 10^{-3}]$	
Perda do Cabo	dB	(7)	L_c	L_c
Perda pela proximidade do corpo	dB	(8)	L_b	L_b
Ganho da Antena	dB	(9)	G_a	G_a
Potência Efetivamente Transmitida (EIRP)	dBm	(10)	$P_{T,e} = (6) - (7) - (8) - (9)$	$P_{T,e} = (6) - (7) - (8) - (9)$

Tabela 4.2 - Variáveis e Parâmetros do *link budget* relacionados ao receptor

RECEPTOR				
Parâmetros e Variáveis	Unidades	Número	Downlink	Uplink
Densidade de Ruído Térmico	dBm/Hz	(11)	$10\log KT$, onde K é a constante de Boltzman.	$10\log KT$, onde K é a constante de Boltzman.
Banda	Hz	(12)	R_c em Hz	R_c em Hz
	dBHz	(13)	$10\log (12)$	$10\log (12)$
Figura de Ruído	dB	(14)	F_{DL}	F_{UL}
Potência de Ruído Recebido	dBm	(15)	$P_{N=} (11) + (13) + (14)$	$P_{N=} (11) + (13) + (14)$
E_b/N_0	dB	(16)	Depende do serviço e do canal	Depende do serviço e do canal
Ganho de Processamento	dB	(17)	$G_{pj} = 10\log \left(\frac{R_c}{R_{bj}} \right)$	$G_{pj} = 10\log \left(\frac{R_c}{R_{bj}} \right)$
Sensibilidade	dBm	(18)	$P_{r,min} = (15) + (38) + (16) - (17)$	$P_{r,min} = (15) + (38) + (16) - (17)$
Ganho da Antena	dB	(19)	G_a	G_a
Ganho de Diversidade da Antena	dB	(20)	G_{div}	G_{div}

Máxima Perda Percurso no Espaço Livre	dB	(21)	$L_0=(10) - (18) + (19) + (20) - (23)$	$L_0=(10) - (18) + (19) + (20) - (23)$
Ganho de <i>Soft Handover</i>	dB	(22)	G_{SHO}	G_{SHO}
Margem de Desvanecimento Rápido	dB	(23)	$F_{Fast Fading}$	$F_{Fast Fading}$
Margem de Desvanecimento Lento (log-normal)	dB	(24)	$F_{Shadow Fading}$	$F_{Shadow Fading}$
Perda Indoor	dB	(25)	L_{indoor}	L_{indoor}
Perda dentro do Carro	dB	(26)	$L_{in - car}$	$L_{in - car}$
Perda Outdoor	dB	(27)	$L_{outdoor}$	$L_{outdoor}$
Perda de Percurso tolerável considerando Margens, Ganhos e características do usuário.	dB	(28)	$L_0=(21) + (22) - (24) - (25)\{\text{ou}(26) \text{ ou}(27)\}$	$L_0=(21) + (22) - (24) - (25)\{\text{ou} (26) \text{ ou} (27)\}$
Fator de Atividade (uso)		(29)	v_j	v_j
Fator de Ortogonalidade (α)		(30)	Não são ortogonais, porque os UEs não são sincronizados no tempo	Canal Ideal ($\alpha = 1$) Pedestre - ITU ($\alpha = 0,9$) Veicular - ITU ($\alpha = 0,6$)
Potência Total Recebida da Própria Célula	W	(31)	I_{own}	I_{own}
Potência Total Recebida das Células Adjacentes	dBm	(32)	I_{other}	I_{other}
Potência Total Recebida (Apenas o sinal desejado)	dBm	(33)	P_{rj}	P_{rj}
Potência Total Recebida	dBm	(34)	$I_{total} = I_{own} + I_{other} + P_N$	
Razão de Interferência (I_{other} / I_{own})		(35)	i É um valor fixo para área desejada	i É um valor fixo para área desejada
Fator de Carga específico do serviço		(36)	$\lambda_j^{(DL)}$	$\lambda_j^{(UL)}$

Fator de Carga específico da célula		(37)	η_{DL}	η_{UL}
Margem de Interferência	dB	(38)	F_{int}	F_{int}
Capacidade de Pólo (n° de conexões simultâneas por célula)		(39)	$C_{max}^{(DL)}$	$C_{max}^{(UL)}$
Throughput da célula	k bits/s	(40)	$R_{cell}^{(DL)} = \sum_{j=1}^N R_{b,j}^{DL}$	$R_{cell}^{(UL)} = \sum_{j=1}^N R_{b,j}^{UL}$
Tamanho da Célula	km	(41)	R	R
Aumento do Ruído (Noise Rise)	dB	(42)	NR_{DL}	NR_{UL}

Na tabela 4.2: $K= 1,38 \times 10^{-23}$ J/K , assim como o valor de E_b/N_0 requerido depende da taxa de bits do usuário, do serviço, do perfil de multipercurso, da velocidade do móvel, de algoritmos do receptor e da estrutura de antenas da estação rádio-base. Para velocidades baixas, o E_b/N_0 requerido é baixo, mas, por outro lado, uma margem de desvanecimento rápido é necessária. Geralmente, as velocidades baixas dos terminais móveis são o fator limitante no dimensionamento da cobertura devido à margem de desvanecimento rápida exigida.

De acordo com a Tabela 4.2, a perda de percurso máxima é determinada pela equação 28. O limite da área de cobertura é definido como o mínimo sinal requerido, para que mesmo após todas as perdas, haja um nível de sinal suficiente na antena do móvel para garantir uma comunicação confiável e de qualidade. Esse nível de sinal limite depende do tipo de terminal, da tecnologia, do serviço e da área de cobertura, entre outros parâmetros. Geralmente, são utilizadas ferramentas de predições (*software* de planejamento celular), onde o limite de cobertura é utilizado para determinar o raio da célula.

A estimativa do raio da célula tem como objetivo determinar o número de células necessárias para fornecer cobertura em uma determinada área. Assim, para este cálculo é necessário determinar a perda de percurso máxima permitida (L_0), de acordo com o modelo de propagação do sinal na respectiva área.

O modelo de propagação que será utilizado, nesta análise, é o modelo de Okumura-Hata para áreas urbanas, onde é possível determinar o raio da célula

através da seguinte fórmula, segundo BERTONI, Henry L. [13] e HATA, Masaharu. [21].

$$L_0^{\text{urbana}} = 69,55 + 26,16 \log(f_c) - 13,82 \log(h_b) + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log R - a(h_m) \quad (4.1)$$

Onde:

h_b = altura efetiva da antena da ERB (m);

f_c = frequência da portadora;

h_m = altura efetiva da antena do móvel;

L_0^{urbana} = perda de percurso máxima para áreas urbanas (dB);

$a(h_m)$ = fator de correção para altura das estações móveis (para $h_m=1,5m$, $a(h_m) = 0dB$);

R = raio da célula (Km).

O modelo de Okumura-Hata abrange as previsões para as áreas suburbanas e rurais, e a propagação do sinal depende de fatores como: vegetação e água.

Assim, para áreas suburbanas:

$$L_0^{\text{suburbana}} = L_0^{\text{urbana}} - 2(\log(f_c/28))^2 - 5,4 \quad (4.2)$$

Para áreas rurais, temos:

$$L_0^{\text{rural}} = L_0^{\text{urbana}} - 4,78(\log(f_c))^2 + 18,33 \log(f_c) - 40,94 \quad (4.3)$$

A segunda fase do dimensionamento é estimar a quantidade de tráfego suportado por cada estação rádio-base. Como o fator de reuso da interface aérea WCDMA é 1, o sistema é tipicamente limitado pela interferência, então a quantidade de interferência e a capacidade da célula devem ser estimadas.

A eficiência espectral teórica de uma célula WCDMA pode ser calculada a partir da equação de carga. Todos os termos apresentados nas equações a seguir, constam nas Tabelas 4.1 e 4.2, porém alguns que não estão terão seus significados expostos.

Primeiramente, a relação E_b/N_0 (energia por bit de usuário dividida pela densidade de ruído espectral) deve ser definida. Assim:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \text{ganho de processamento do usuário } j \times \frac{\text{ sinal do usuário } j}{\text{potência total recebida (excluindo o próprio sinal)}}$$

Essa equação pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = \frac{P_{r,j} \cdot G_{p,j}}{(I_{total} - P_{r,j}) \cdot v_j} \quad (4.4)$$

e obtém-se $P_{r,j}$, a partir da equação (4.4) :

$$P_{r,j} = \left(\frac{1}{1 + \frac{G_{p,j}}{v_j \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j}} \right) \cdot I_{total} = \lambda_j \cdot I_{total} \quad (4.5)$$

Onde,

$$\lambda_j = 1 + \frac{G_{p,j}}{v_j \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j} \quad (4.6)$$

Primeiramente, será desenvolvido o processo para obtenção do fator de carga para o *uplink* e, posteriormente, para o *downlink*. Sabendo que, $I_{total} = I_{own} + I_{other} + P_N$, tem-se para o *uplink*, que a interferência total recebida, excluindo o ruído térmico P_N , pode ser escrita como a soma das potências recebidas de todos os N usuários da célula, ou seja :

$$I_{total} - P_N = \sum_{j=1}^N P_{r,j} = \sum_{j=1}^N \lambda_j \cdot I_{total} \quad (4.7)$$

O aumento do ruído (*noise rise*) é definido como a relação entre a potência total recebida e a potência de ruído:

$$NR_{UL} = \frac{I_{total}}{P_N} \quad (4.8)$$

Substituindo a equação (4.7) na equação (4.8) :

$$NR_{UL} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^N \lambda_j} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (4.9)$$

$$NR_{UL} = -10 \log(1 - \eta_{UL}) \quad (4.10)$$

Como pode ser observado na equação (4.9), o fator de carga da célula η_{UL} , foi definido como:

$$\eta_{UL} = \sum_{j=1}^N \lambda_j = \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{G_{p,j}}{v_j \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j}} \quad (4.11)$$

De acordo com a equação (4.9), quando η_{UL} torna-se aproximadamente próximo de 1, o aumento de ruído tende ao infinito e o sistema se aproxima da sua capacidade pólo (número máximo de conexões simultâneas por célula). Então:

$$\eta_{UL} = (N = C_{max}^{UL})=1 \quad (4.12)$$

Além disso, no fator de carga, a interferência das outras células, vista pelo receptor da BS, deve ser levada em consideração através da relação entre a interferência de células adjacentes e da própria célula, denominada i .

$$i = \frac{\text{interferência de outra célula}}{\text{interferência da própria célula}} = \frac{I_{other}}{I_{own}} \quad (4.13)$$

Assim, o fator de carga da célula no *uplink*, pode ser reescrito do seguinte modo:

$$\eta_{UL} = (1 + i) \cdot \sum_{j=1}^N \lambda_j \quad (4.14)$$

Podemos concluir que o fator de carga prevê a quantidade de aumento de ruído sobre o ruído térmico, devido à interferência. No cálculo do *link budget*, deve-se considerar uma margem de interferência de valor igual ao máximo aumento de ruído planejado.

Podemos exemplificar, o aumento de ruído na figura 4.3, onde temos E_b/N_0 igual a 1,5 dB e $i = 0,65$.

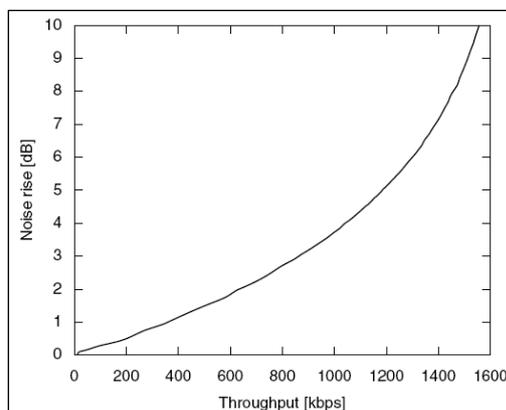


Figura 4.3 - Aumento de Ruído do *Uplink*

O aumento de ruído de 3 dB corresponde a um fator de carga de 50 % e um aumento de ruído de 6 dB corresponde a um fator de carga de 75 %, ou seja, para um *throughput* de 860 kbits/s pode ser suportado um aumento de ruído de 3 dB, enquanto para um *throughput* de, aproximadamente, 1300 kbits/s pode ser suportado um aumento de ruído de 6 dB.

O valor de E_b / N_0 pode ser definido a partir da simulação de nível de enlace, medidas e desempenho especificados pelo 3GPP. Este parâmetro representa a energia por bit do sinal dividida pela densidade de ruído espectral que é requerida para uma determinada taxa de erro de bloco (BLER), previamente definida. Esse parâmetro engloba o efeito do controle de potência com malha fechada e o efeito de *soft handover*.

A razão de interferência i é uma função do ambiente da célula ou do isolamento da célula, onde podemos classificá-la como: macro célula, micro célula, urbana e suburbana, assim como também do modelo da antena: omnidirecional, diretiva com 3 setores e diretiva com 6 setores.

A equação de carga é, geralmente, utilizada para realizar uma predição semi-analítica da capacidade média de uma célula WCDMA. Essa equação de carga pode ser utilizada para prever a capacidade da célula e planejar o aumento de ruído no processo de dimensionamento.

Para uma rede básica de serviços de voz, onde todos os N usuários têm uma baixa taxa de bits de dados (R_b), pode-se notar que:

$$\frac{G_p}{\frac{E_b}{N_0} \cdot \nu} \gg 1 \quad (4.15)$$

E a equação de carga no *uplink* pode ser simplificada e aproximada para:

$$\eta_{UL} = (1 + i) \cdot \left(\frac{E_b}{N_0} \right) \cdot N \cdot \nu \quad (4.16)$$

A análise do fator de carga para o *downlink* é similar à definição para o *uplink*, embora os parâmetros possuam pequenas diferenças.

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j}{G_{p,j}} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j] \quad (4.17)$$

A expressão “ $-10\log_{10}(1 - \eta_{DL})$ ” é igual ao aumento de ruído sobre o ruído térmico devido à interferência de múltiplo acesso, ou seja:

$$NR_{DL} = -10\log_{10}(1 - \eta_{DL}) \quad (4.18)$$

Quando comparada com a equação de *uplink*, o parâmetro novo α_j é extremamente importante no *downlink*. Este parâmetro representa o fator de ortogonalidade. O WCDMA utiliza códigos ortogonais no *downlink* para separar os usuários; não havendo qualquer propagação multipercurso, a ortogonalidade permanece quando o sinal da BSs é recebido pelo terminal móvel. Contudo, se houver atraso suficiente espalhado pelo canal rádio, o móvel identificará que parte do sinal da estação rádio-base é interferência de acesso múltiplo. Para uma ortogonalidade igual a 1, os usuários são perfeitamente ortogonais. A ortogonalidade varia de 0,4 a 0,9 em canais multipercurso.

No *downlink*, a relação entre a interferência de outras células na própria célula, i , depende da localização do usuário, sendo diferente para cada usuário j . A figura 4.4 ilustra as consequências dessa relação de interferência: em áreas onde i é maior, a capacidade diminui, enquanto com uma interferência de outras células menor, a capacidade aumenta.

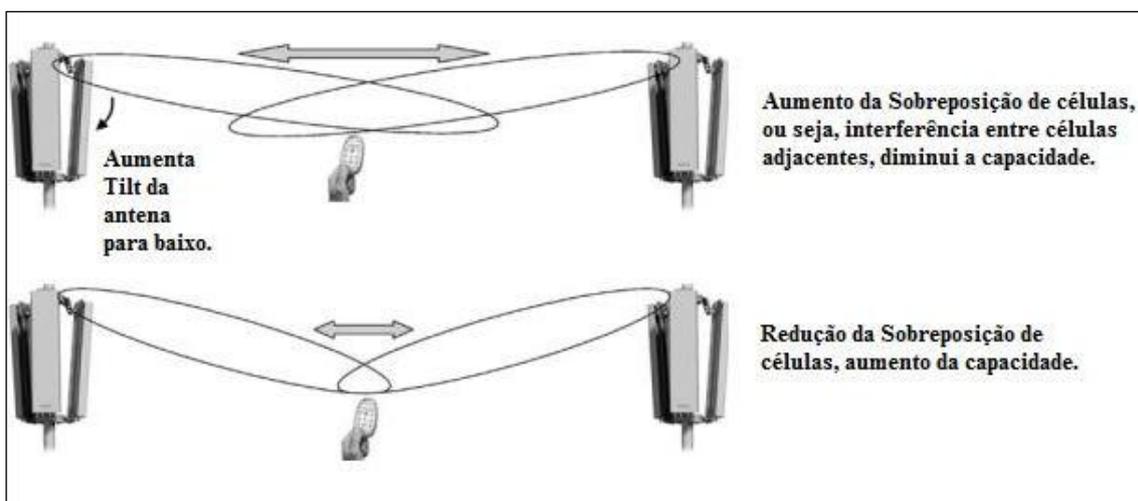


Figura 4.4 - Interferência x Capacidade

O fator de carga pode ser aproximado pelo seu valor médio na célula:

$$\overline{\eta}_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \left(\frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j}{G_{p,j}} \right) \cdot [(1 - \overline{\alpha}) + \overline{i}] \quad (4.19)$$

Onde $\overline{\alpha}$ é o fator de ortogonalidade médio da célula e \overline{i} é a relação média entre a potência das BSs de outras células e da própria célula, recebidas pelo usuário.

É importante ressaltar que a própria célula é definida como melhor servidora. Caso, um usuário esteja em *soft handover*, todas as outras estações rádio-base do conjunto ativo integram o que se chama de “células adjacentes ou outras células”.

O efeito da transmissão de *soft handover* pode ser modelado de dois modos distintos, na criação do modelo de interferência do *downlink*, conforme mencionados a seguir:

- Aumentar o número de conexões através do aumento de *soft handover*, e reduzir o valor requerido de E_b/N_0 por enlace com o ganho de *soft handover*.
- Manter o número de conexões fixo, ou seja, proporcional ao número de usuários, e usar o valor de E_b/N_0 combinado.
- Se o ganho de *soft handover* por enlace for igual a 3 dB, o E_b/N_0 combinado é o mesmo com ou sem ganho de *soft handover*. Para esse caso, não é necessário incluir o efeito do *soft handover* no dimensionamento da interface aérea. A figura 4.5 representa o modelo de *soft handover* com duas células.

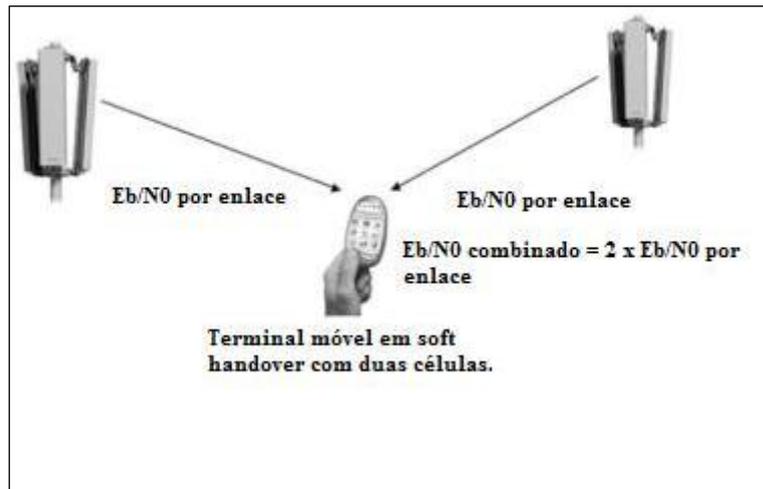


Figura 4.5 - E_b/N_0 combinado no modelo de *soft handover*

Conforme comprovado por análise das expressões matemáticas em, DREBLER [22], o fator de carga do *downlink* apresenta comportamento bastante similar ao fator de carga do *uplink*, pois ele se aproxima da unidade e o sistema alcança sua capacidade pólo e o aumento de ruído sobre o ruído térmico tende ao infinito.

Para o dimensionamento do *downlink*, é importante estimar a quantidade total de potência de transmissão requerida da BS. Esse valor é baseado na potência de transmissão média para o usuário, e não a potência máxima de transmissão para os usuários na borda da célula, conforme representado pelo *link budget*. A razão para esta consideração é que na interface aérea WCDMA os usuários na borda da célula requerem potências maiores, enquanto os demais próximos à BS requerem potências menores. A diferença entre a perda máxima por percurso e a perda média de percurso deve ser, aproximadamente, 6 dB em macro células, conforme ilustrado na figura 4.6.

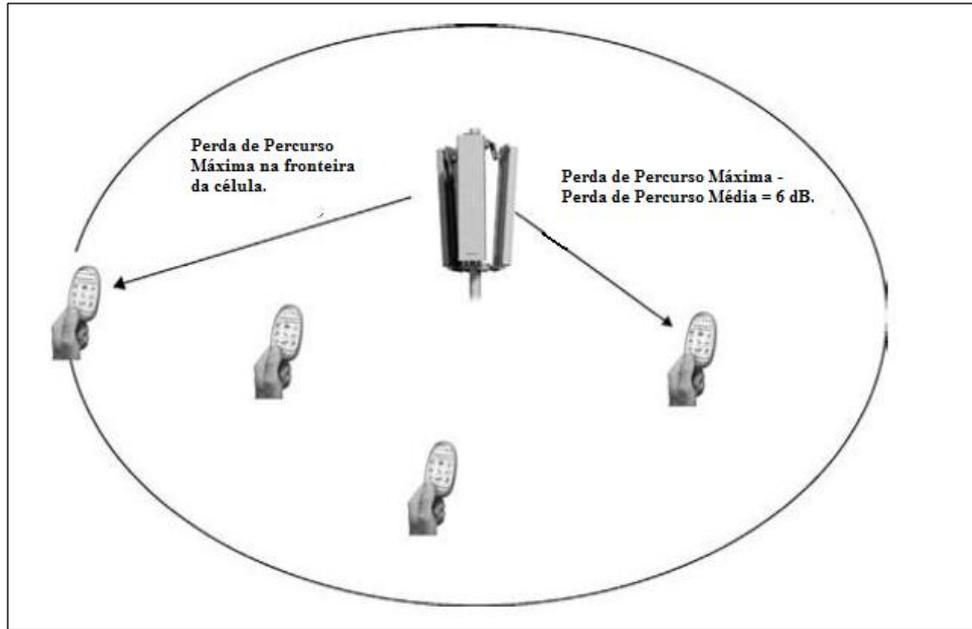


Figura 4.6 - Relação entre a Perda de Percurso Máxima e a Perda de Percurso Média.

A potência mínima de transmissão necessária para cada usuário é determinada pela atenuação média entre o transmissor da estação rádio-base e o terminal móvel, definida como \bar{L} , assim como, também, pela sensibilidade do terminal móvel na ausência de interferência de acesso múltiplo (intra ou inter célula). Depois, o efeito do aumento do ruído devido à interferência é adicionado a essa potência mínima, e essa soma representa a potência de transmissão total para um usuário localizado em uma posição média no interior da célula. Matematicamente, a potência total de transmissão da BS pode ser expressa pela seguinte equação:

$$P_T = \frac{N_{rf} \cdot \bar{L} \cdot R_c \cdot \sum_{j=1}^N v_j \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j}{1 - \bar{\eta}_{DL}} \quad (4.20)$$

Onde N_{rf} representa a densidade espectral de ruído do receptor móvel, sendo seu valor obtido na seguinte fórmula:

$$N_{rf} = KT + F_{DL} \quad (4.21)$$

Onde K é constante de Boltzman, T a temperatura em Kelvin e F_{DL} , conforme a Tabela 4.2 é a figura de ruído no *downlink*.

Como uma parte da potência de *downlink* deve ser alocada aos canais comuns, que são transmitidos independentemente dos canais de tráfego, a equação (4.20), representa a potência de transmissão para os canais dedicados (P_{cd}), e desse modo, levando em consideração a equação (5) da Tabela 4.1; esta equação pode ser reescrita.

$$P_{cd} = (1 - \beta)P_T = \frac{N_{rf} \cdot \bar{L} \cdot R_c \cdot \sum_{j=1}^N \nu_j \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j}{1 - \bar{\eta}_{DL}} \quad (4.22)$$

E a partir do resultado obtido é possível calcular a atenuação de percurso média no *downlink* e, também, a perda de percurso máxima efetuando a soma de 6 dB ao valor médio encontrado.

Em ambas direções, *downlink* e *uplink*, a carga da interface aérea afeta a cobertura, embora o efeito não seja o mesmo. No *downlink*, a cobertura depende mais da carga do que no *uplink*, conforme a figura 4.7, que foi obtida através de cálculos de *link budget* para o *uplink*, com diferentes fatores de carga e através de cálculos correspondentes para a perda de percurso do *downlink*.

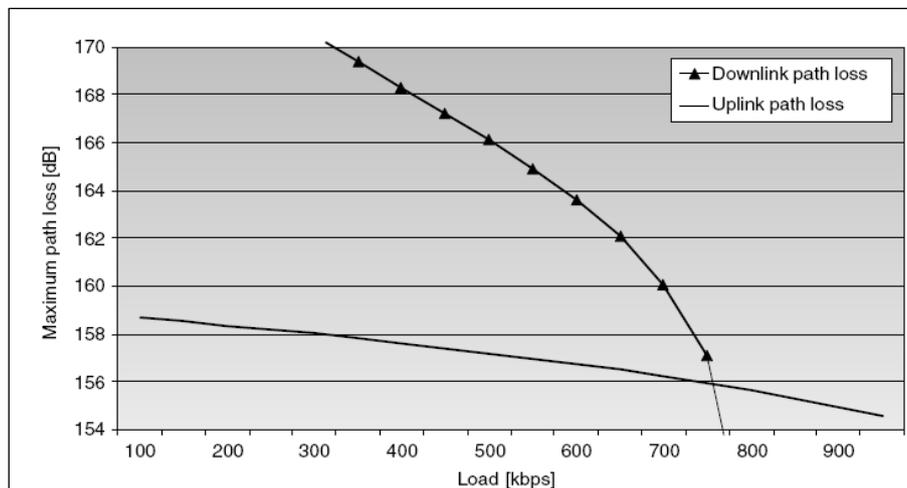


Figura 4.7 - Relação da capacidade de uma célula para o *uplink* e o *downlink*

Podemos concluir, da figura 4.7, que a potência transmitida pela BS no *downlink* é dividida entre todos os usuários do *downlink* e, ainda, quanto mais usuários, menor a potência por usuário. Desse modo, mesmo com uma carga baixa, a cobertura diminui em função do número de usuários. Podemos observar, também,

que a cobertura é limitada para cargas menores que 760 kbits/s no *uplink*, enquanto que a capacidade é limitada pelo *downlink*.

Para um planejamento detalhado, são necessários dados reais de propagação da área a ser atendida pelo sistema, como densidade e tráfego de usuários planejados. Além disso, informações sobre os *sites* existentes também são importantes para que a infraestrutura já implantada possa ser aproveitada. Os resultados do planejamento de capacidade e cobertura são as localizações das BSs, suas configurações e seus parâmetros.

Como no WCDMA todos os usuários utilizam os mesmos recursos na interface aérea, eles não podem ser analisados separadamente. Cada usuário influencia os outros, fazendo suas potências de transmissão variarem, caracterizando, assim, a forma dinâmica de utilização espectral.

A figura 4.8 ilustra o fluxograma do processo de predição em sistemas UMTS, onde os resultados obtidos são: a área de cobertura e a capacidade da célula.

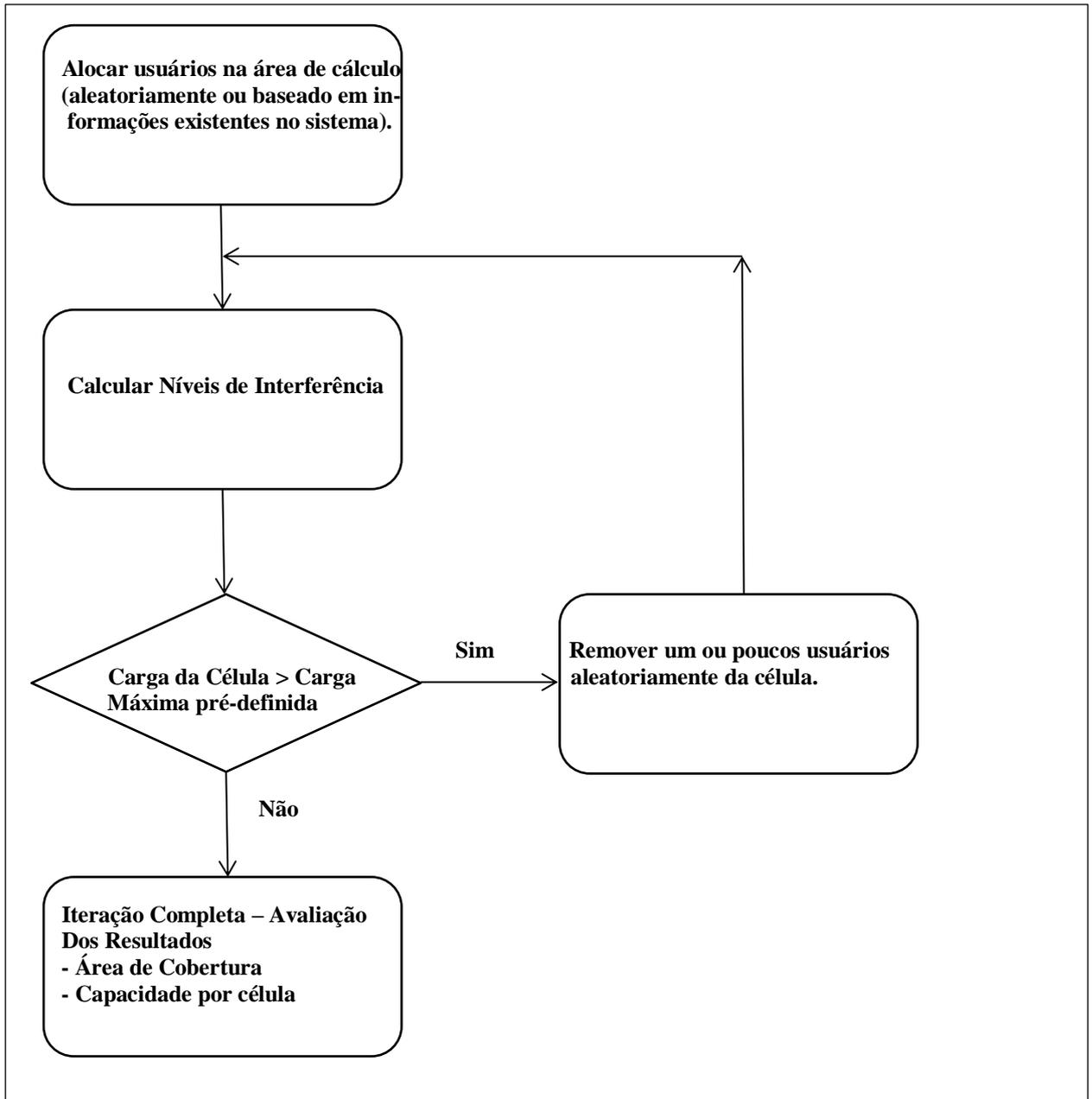


Figura 4.8 - Cálculos Iterativos de Cobertura e Capacidade

O estudo do dimensionamento de um sistema UMTS encerra-se com a utilização dos pré-requisitos e parâmetros de *uplink* e *downlink*, obtendo-se como resultados, a área de cobertura e a capacidade da célula, mencionados anteriormente. Após esta fase de dimensionamento, faz-se necessário um processo de otimização visando a qualidade da rede e, conseqüentemente, os serviços oferecidos por ela.

O processo de otimização é composto pelas seguintes etapas: medições do desempenho da rede, análise dos resultados das medições com o objetivo de aprimorá-los e atualizações nas configurações e parâmetros da rede.

5 Análise Quantitativa e Qualitativa de Sistemas UMTS

5.1 Simulação Interativa para Planejamento de Sistemas UMTS com foco na interface aérea WCDMA.

A simulação de desempenho, com foco na interface aérea WCDMA, foi elaborada no *software Matlab*, de forma que os valores retornados para o planejamento estejam alinhados com as necessidades do usuário, requisitando que se especifiquem alguns valores que atendam à rede a ser dimensionada.

Com o programa elaborado, é possível obter valores para variáveis detalhadas no Capítulo 4 desta Dissertação de Mestrado através de uma interface amigável.

Alguns itens foram previamente especificados:

- O cálculo de percurso é feito para o *uplink*;
- É considerada uma macro célula em uma área urbana;
- É utilizada uma ERB cuja antena possui 3 setores com ganho de 18 dBi e *soft handover* com ganho de 3 dB;
- A figura de ruído da ERB é de 5 dB com perdas no cabo de 2 dB;
- A densidade de ruído térmico adotada é -174 dBm/Hz, valor padrão para a temperatura de 290 K;
- A taxa de *chip* é de 3,84 Mchips/s;
- A altura do móvel é 1,5 m, gerando um fator de correção igual a zero;
- Altura da ERB é 30 m;
- Perda *Indoor* é igual a 15 dB;
- Margem de Desvanecimento Rápido em Ambiente Interno: 4 dB;
- Margem de Desvanecimento Lento em Ambiente Interno: 4,2 dB;
- Perda em ambiente externo de 0 dB;
- Margem de Desvanecimento Rápido em Ambiente Externo de 4 dB;
- Margem de Desvanecimento Lento em Ambiente Externo de 7,3 dB;
- Perda dentro do carro: 8 dB;
- Margem de Desvanecimento Rápido, dentro do carro: 0 dB;

- Margem de Desvanecimento Lento, dentro do carro: 7,3 dB.

Itens especificados para Serviços de Voz:

- O valor de E_b/N_0 utilizado no *uplink* é 5 dB;
- O valor de E_b/N_0 utilizado no *downlink* é 7 dB;
- A potência máxima de transmissão do terminal utilizada é 21 dBm;
- Potência de saída do terminal é 0,125 Watts;
- Perda pela proximidade do corpo é 3 dB;
- Ganho da Antena da Estação Móvel é 0 dBi;
- Taxa de Dados do Usuário de 12,2 kbits/s.

Itens especificados para Serviços de Dados em tempo real:

- O valor de E_b/N_0 utilizado no *uplink* é 1,5 dB;
- O valor de E_b/N_0 utilizado no *downlink* é 3,5 dB;
- A potência máxima de transmissão do terminal utilizada é 24 dBm;
- Potência de saída do terminal é de 0,25 Watts;
- Perda pela proximidade do corpo é 0 dB;
- Ganho da Antena da Estação Móvel é 2 dBi;
- Taxa de Dados do Usuário de 144 kbits/s.

Itens especificados para Serviços de Dados em tempo não real (NRT - *Non Real Time*):

- O valor de E_b/N_0 utilizado no *uplink* é 1,0 dB;
- O valor de E_b/N_0 utilizado no *downlink* é 3,5 dB;
- A potência máxima de transmissão do terminal utilizada é 24 dBm;
- Potência de saída do terminal é 0,25 Watts;
- Perda pela proximidade do corpo é 0 dB;
- Ganho da Antena da Estação Móvel é 2 dBi;

- Taxa de Dados do Usuário: 384 kbits/s.

Os valores requeridos para o usuário são:

- Valor do Aumento de Ruído;
- Ambiente a ser simulado;
- Frequência de Operação: 850 MHz ou 2100 MHz;
- Número de usuários para cada serviço;
- Potência de Transmissão.

As Variáveis Globais retornadas pela simulação são:

- Densidade de Ruído Recebido;
- Potência de Ruído Recebido;
- Total de Ruído Recebido considerando a Margem de Interferência;
- Fator de carga no *uplink*;
- Fator de carga no *uplink* considerando interferência de outras células;
- Aumento do Ruído;
- Potência Total Recebida;
- Fator de Carga Específico da célula no *downlink*;
- Aumento do Ruído sobre o Ruído Térmico devido à interferência de múltiplo acesso no *downlink*;
- Densidade da Figura de Ruído do terminal móvel no *downlink*;
- Atenuação média de percurso no *downlink*;
- Perda de Percurso máxima no *downlink*.

Valores retornados para os três tipos de serviço:

- Cálculo da Potência efetivamente transmitida;
- Ganho de Processamento;
- Sensibilidade considerando a margem de interferência;
- Perda máxima de percurso no espaço livre;
- Perda de percurso tolerável considerando margens, ganhos e características do usuário;

- Raio da Célula;
- Fator de Carga específico do serviço.

Em seguida, é dado um exemplo de execução do programa:

Passo 1 - Início do Programa e escolha do valor de Aumento do Ruído em dB:

Programa para Planejamento de Sistemas UMTS

Universidade Federal Fluminense - UFF
Escola de Engenharia
Mestrado em Engenharia de Telecomunicações
Professor Orientador: DSc. Julio Cesar Rodrigues Dal Bello
Aluna: Adriana Mariano

Neste programa são realizados cálculos para Planejamento de Sistemas UMTS, incluindo valores como fator de carga, cobertura, entre outros

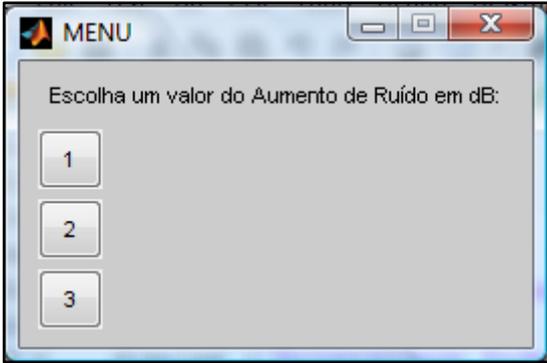
O cálculo será feito para uma macro célula em uma área urbana que utiliza uma ERB de 3 setores e soft handover

- Ganho de Soft Handover = 3 dB

Os cálculos serão feitos para os seguintes parâmetros:

- Taxa de chip: 3.84 Mchips/s
- O ganho da antena da ERB é 18 dBi
- Sua figura de ruído é de 5 dB com perdas nos cabos de 2 dB
- A densidade de ruído térmico adotada é -174 dBm/Hz, que vem a ser o valor padrão para temperatura de 290 K

Entre com um valor entre 1 e 3 para o Aumento de Ruído em dB 3



The screenshot shows a window titled "MENU" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The main content area contains the text "Escolha um valor do Aumento de Ruído em dB:" followed by three vertically stacked buttons labeled "1", "2", and "3".

Densidade de Ruído Recebido em dBm/Hz: -169.000000
Potência de Ruído Recebido em dBm: -103.156688
Total de Ruído Recebido considerando a Margem de Interferência em dBm: -100.156688

O valor do aumento de ruído selecionado foi de 3 dB, que corresponde a um aumento de 50% na potência de ruído. Em termos práticos, para cálculos de rádio-enlace trabalha-se com um limiar de -65 dBm, então podemos concluir que, para o aumento de ruído de 3 dB, o sistema ainda está operando em condições favoráveis com o Total de Ruído Recebido considerando a Margem de Interferência aproximadamente -100 dBm.

Passo 2 - Cálculo para Serviços de Voz e escolha do ambiente a ser simulado:

CÁLCULOS PARA SERVIÇOS DE VOZ

O valor de Eb/N0 utilizado no uplink é de 5 dB

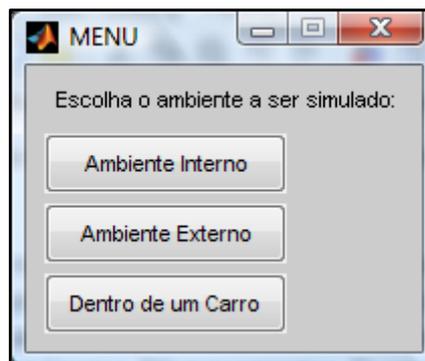
A potência máxima de transmissão do terminal para este serviço é de 21 dBm

O ganho da antena do terminal de voz é de 0 dBi.

Potência Efetivamente Transmitida em dBm: 17.969100

Ganho de Processamento em dB: 24.979714

Sensibilidade considerando a Margem de Interferência em dB: -120.136402



Perda Máxima por Percurso no espaço livre em dB: 150.105502

Perda de Percurso tolerável considerando Margens, Ganhos e características do usuário (sem carga) em dB: 145.805502

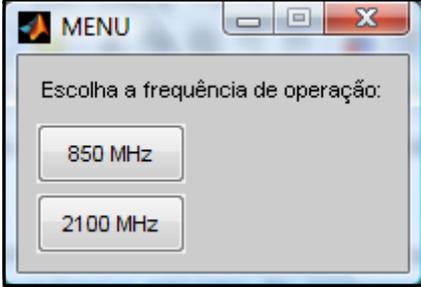
O ambiente escolhido para simulação no passo 2 foi o Ambiente Externo.

Passo 3 - Cálculo do Raio da Célula para Serviços de Voz através da escolha de frequência a ser trabalhada:

Cálculo do Raio da Célula

Para o cálculo do Raio da Célula foram considerados os seguintes dados:

- Altura do Móvel: 1.5m gerando um fator de correção igual a zero.
- Altura da ERB: 30 m



Valor do Raio da Célula em quilômetros: 3.705057

A frequência de operação escolhida para simulação no passo 3 foi de 850 MHz, pois esta frequência é similar para serviços de voz em sistemas GSM.

Passo 4 - Cálculos para serviços de dados em tempo real e escolha do ambiente a ser simulado:

CÁLCULOS PARA SERVIÇOS DE DADOS EM TEMPO REAL

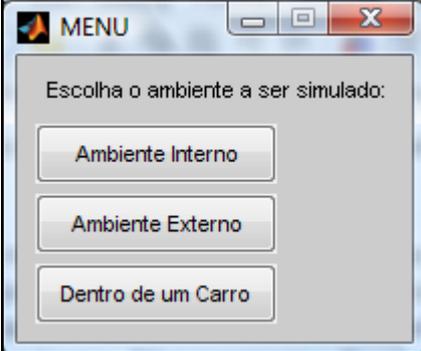
O valor de E_b/N_0 utilizado no uplink é de 1.5 dB

A potência máxima de transmissão do terminal utilizada para este serviço é de 24 dm

Potência Efetivamente Transmitida em dBm : 25.979400

Ganho de Processamento em dB: 14.259687

Sensibilidade considerando a Margem de Interferência em dBm: -112.916375



Perda Máxima de Percurso no espaço livre: 150.895775

Perda de Percurso tolerável considerando Margens, Ganhos e característica do usuário (sem carga): 134.695775

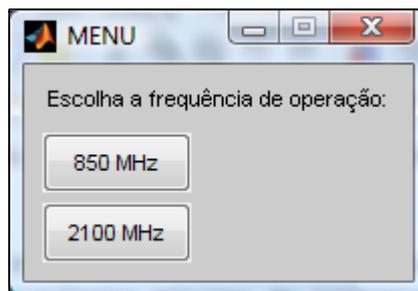
O ambiente de simulação selecionado foi o ambiente interno. A seguir, a frequência selecionada para simulação foi de 2100 MHz proporcionando um raio da célula menor, caracterizando assim, o ambiente interno da simulação.

Passo 5 - Escolha da frequência de operação para simulação:

Cálculo do Raio da Célula

Para o cálculo da célula foram considerados os seguintes dados:

- Altura do móvel: 1.5 m gerando um fator de correção igual a zero.
- Altura da ERB: 30 m



Valor do Raio da Célula em quilômetros: 0.915555

Passo 6 - Cálculos para Serviços de Dados em tempo não real e escolha do ambiente de simulação:

CÁLCULOS PARA SERVIÇOS DE DADOS EM TEMPO NÃO REAL

O valor de E_b/N_0 utilizado no uplink é de 1.0 dB

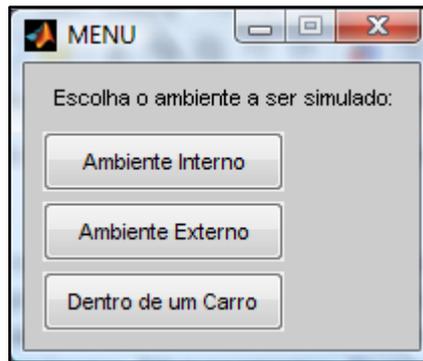
A potência máxima de transmissão do terminal utilizada para este serviço é 24 dBm

O ganho da antena do terminal de dados é de 2 dBi.

Potência Efetivamente Transmitida em dBm: 25.979400

Ganho de Processamento em dB: 10.000000

Sensibilidade considerando a Margem de Interferência em dBm: -109.156688



Perda Máxima de Percurso no espaço livre: 151.136088

Perda de Percurso tolerável considerando Margens, Ganhos e característica do usuário (sem carga): 138.836088

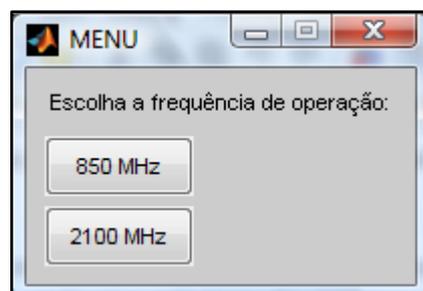
O ambiente de simulação selecionado foi dentro de um carro e a frequência de operação para cálculo do raio da célula foi de 2100 MHz, conforme ilustra o passo 7.

Passo 7 - Escolha de frequência de operação para o Cálculo do Raio da Célula:

Cálculo do Raio da Célula

Para o cálculo do raio da célula foram considerados os seguintes dados:

- Altura do móvel: 1.5 m gerando um fator de correção igual a zero.
- Altura da ERB: 30 m



Valor do Raio da Célula em quilômetros: 1.200118

Passo 8 - Cálculo do Fator de Carga Específico para cada Serviço e fator de carga no *uplink* através da quantidade de usuários para cada serviço:

CÁLCULO DO FATOR DE CARGA NO UPLINK

Entre com o número de usuário para cada serviço:

VOZ: 25

SERVIÇOS DE DADOS EM TEMPO REAL: 15

SERVIÇOS DE DADOS EM TEMPO NÃO REAL: 15

Número total de usuários: 55

Cálculo do Fator de Carga Específico do Serviço

Para voz: 0.006686

Para serviços de dados em tempo real: 0.050305

Para serviços de dados em tempo não real: 0.111816

Fator de Carga no Uplink : 2.598978

Fator de Carga no Uplink considerando interferências de outras células: 4.288313

Aumento de Ruído : -5.169732

Potência Total Recebida: -442.368170

Como pode ser visto, a simulação foi feita através dos seguintes valores para números de usuários:

- 25 usuários para serviços de voz;
- 15 usuários para serviços de dados em tempo real;
- 15 usuários para serviços de dados em tempo não real.

Passo 9 - Cálculo do fator de carga e de perda de percurso no *downlink* através da potência de transmissão da ERB:

```
CÁLCULO DO FATOR DE CARGA E DA PERDA DE PERCURSO DO DOWNLINK

Fator de Carga específico da célula do downlink: 3.345299

Aumento do Ruído sobre o ruído térmico devido à Interferência de Múltiplo Acesso:
-3.701982

Entre com o valor da potência de transmissão da ERB em watts: 30

Densidade da Figura de Ruído do terminal móvel em dB: -167.000000

Atenuação Média de Percurso no Downlink em dB: 174.286701

Perda de Percurso Máxima no Downlink em dB: 180.286701
```

Como pode ser visto acima, o valor informado para a potência da ERB foi de 30 Watts.

5.2 Gráficos para Análise Quantitativa e Qualitativa

Esta seção apresenta gráficos gerados no *software* Matlab para os três tipos de serviços oferecidos pelos Sistemas UMTS : serviços de Voz, serviços de Dados em Tempo Real e serviços de Dados em Tempo Não Real em ambientes externos.

Através destes gráficos é possível analisar o comportamento das variáveis como fator de carga, aumento de ruído, perda máxima de percurso, entre outras, que estão vinculadas ao número de usuários do sistema, estando diretamente proporcional à taxa de dados.

5.2.1 Gráficos para Serviços de Voz para Frequência de Operação - 2100 MHz

Para a geração de gráficos para serviços de voz, foram utilizados os seguintes parâmetros:

Frequência de Operação: 2100 MHz

BLER: 1%

No móvel:

- Taxa de chip: 3,84 Mchips/s;

- Taxa de Dados do Usuário: 12,2 kbits/s;
- Figura de Ruído: 5 dB;
- E_b/N_0 : 5 dB no *uplink* e 7 dB no *downlink*;
- Potência máxima de transmissão do móvel: 0,125 W;
- Ganho da antena do móvel: 0 dBm;
- Perda pela proximidade do corpo: 3 dB.

Na ERB:

- Densidade de ruído térmico recebido: -174 dBm/Hz;
- Figura de Ruído: 5 dB;
- Ganho da antena da ERB: 18 dB;
- Perda no cabo: 2 dB;
- Margem de Desvanecimento Rápido: 4 dB;
- Margem de Desvanecimento Lento: 7.3 dB;
- Perda no ambiente: 0 dB.

Conforme podemos observar na figura 5.1, o fator de carga no *uplink* é diretamente proporcional ao número de usuários.

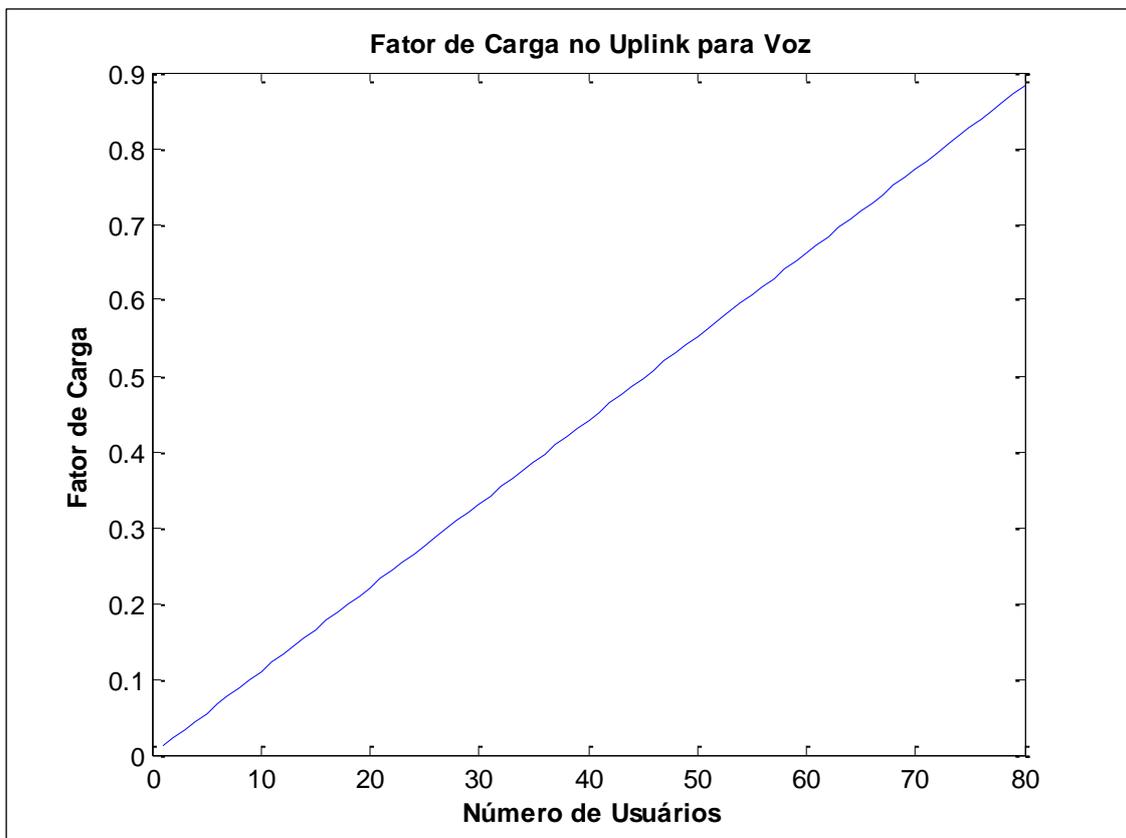


Figura 5.1 - Fator de Carga no *Uplink* para Voz x Número de Usuários

Na figura 5.2, o aumento de ruído de 3 dB corresponde a 50 % do fator de carga.

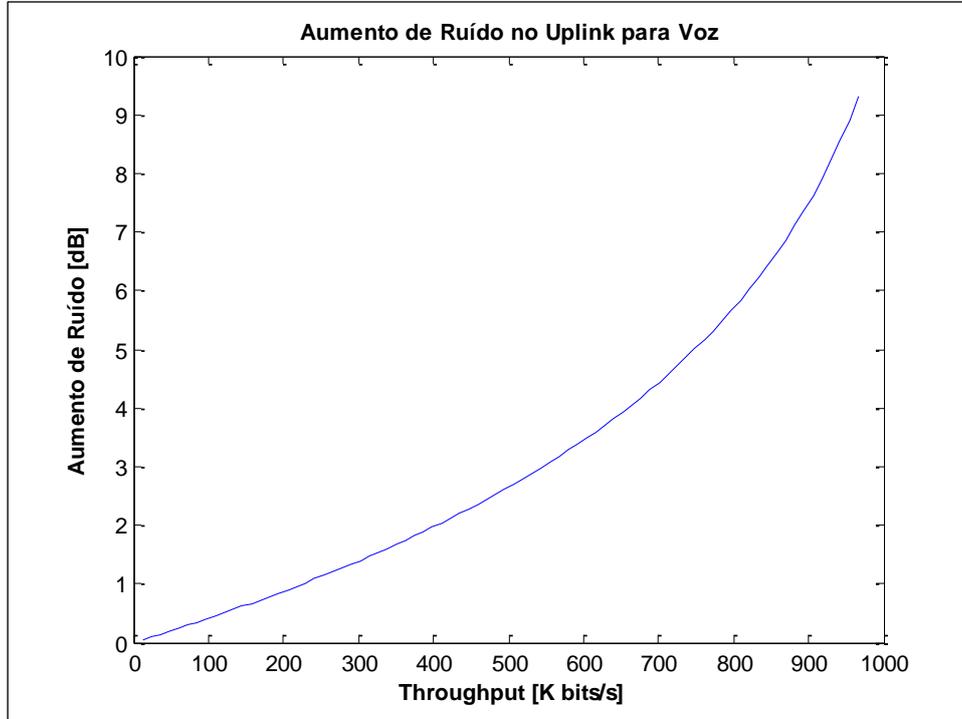


Figura 5.2 - Aumento de Ruído no *Uplink* para Voz x *Throughput*

A figura 5.3 representa o raio da célula para áreas: urbanas, suburbanas e rurais em ambiente externo. Segundo, HATA, Masaharu [21], o raio da célula varia com a frequência de operação, que para esta simulação é de 2100 MHz.

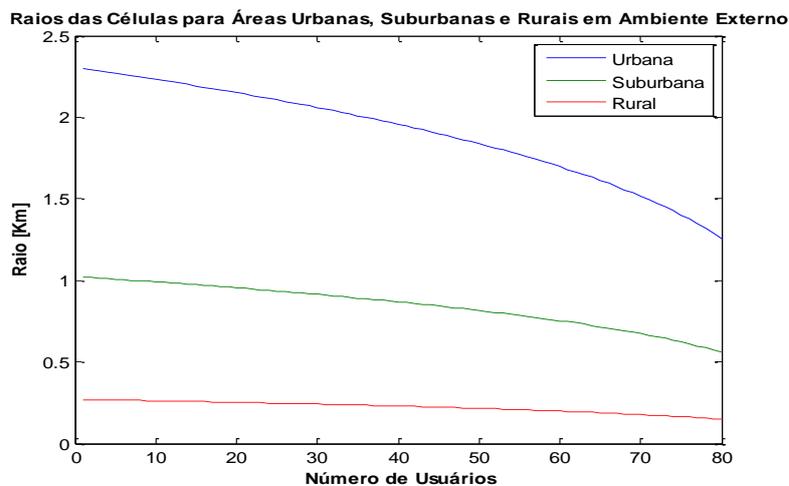


Figura 5.3 - Raios da Células para Áreas Urbanas, Suburbanas e Rurais em Ambiente Externo x Número de Usuários

Conforme podemos observar nos resultados da simulação interativa apresentada na seção 5.1 desta Dissertação de Mestrado, o raio da célula varia também de acordo com o posicionamento do usuário, ou seja, se o mesmo está em um ambiente externo, em um ambiente interno ou dentro de um carro em movimento.

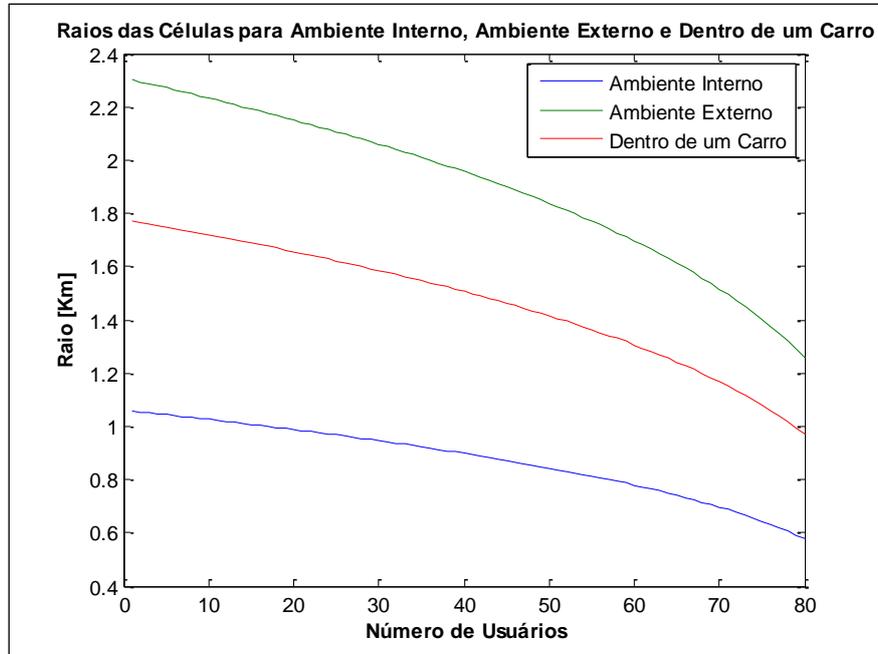


Figura 5.4 - Raios das Células para Ambiente Interno, Ambiente Externo e Dentro de um Carro x Número de Usuários

O fator de carga no *downlink* possui um coeficiente de variação diferente do fator de carga no *uplink*.

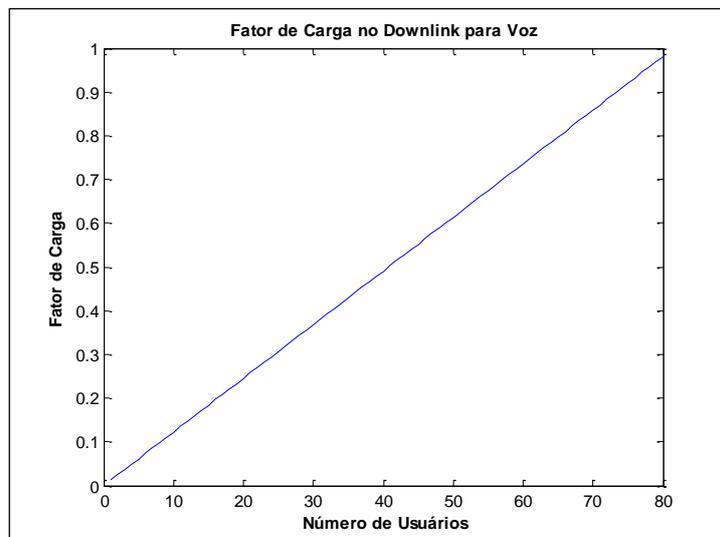


Figura 5.5 - Fator de Carga no *Downlink* para Voz x Número de Usuários

O coeficiente de variação do fator de carga para o *downlink* é maior do que para o *uplink*, então podemos concluir através da análise gráfica da figura 5.6, que a variação do aumento de ruído no *downlink* também é mais acentuada.

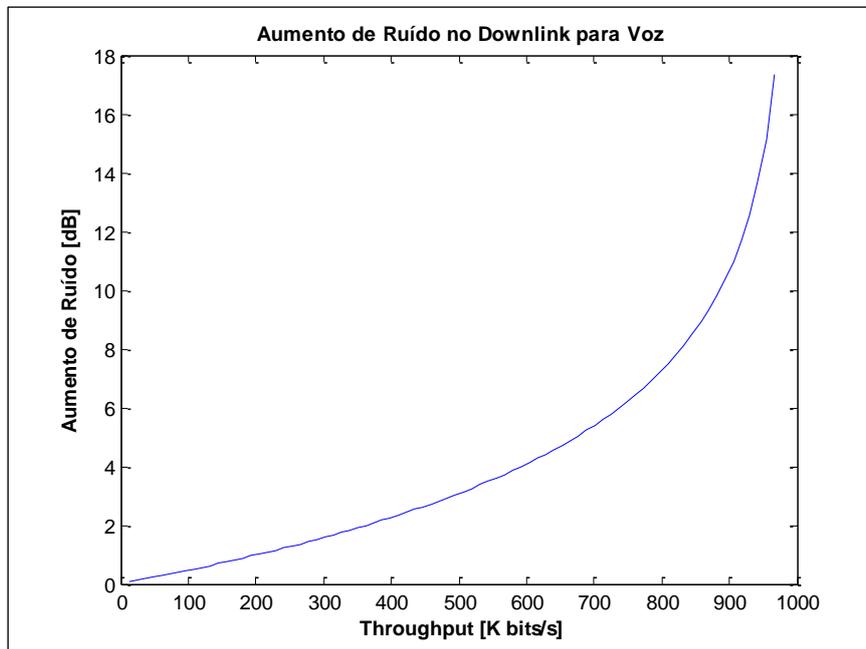


Figura 5.6 - Aumento de Ruído no *Downlink* para Voz x *Throughput*

Na figura 5.7, temos uma análise comparativa entre o aumento de ruído para o *uplink* e o *downlink*.

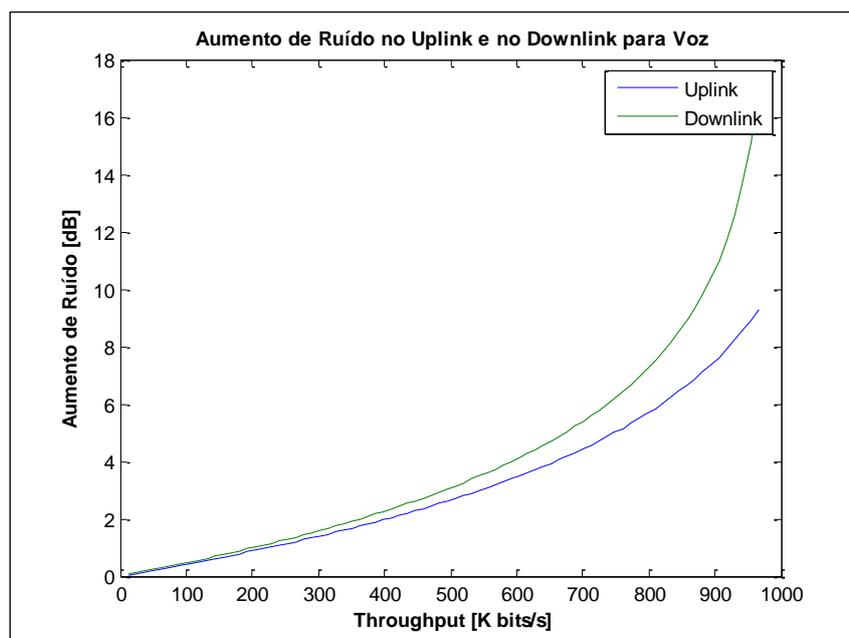


Figura 5.7 - Aumento de Ruído no *Uplink* e no *Downlink* para Voz x *Throughput*

No *uplink* e no *downlink*, a carga da interface aérea afeta a cobertura da área, mas o efeito não é exatamente o mesmo para os dois. No *downlink*, a cobertura depende mais da carga do que no *uplink*, ou seja, podemos concluir que a potência emitida pela estação rádio-base é compartilhada entre os usuários, então quanto maior for o número de usuários, menor será a potência por usuário.

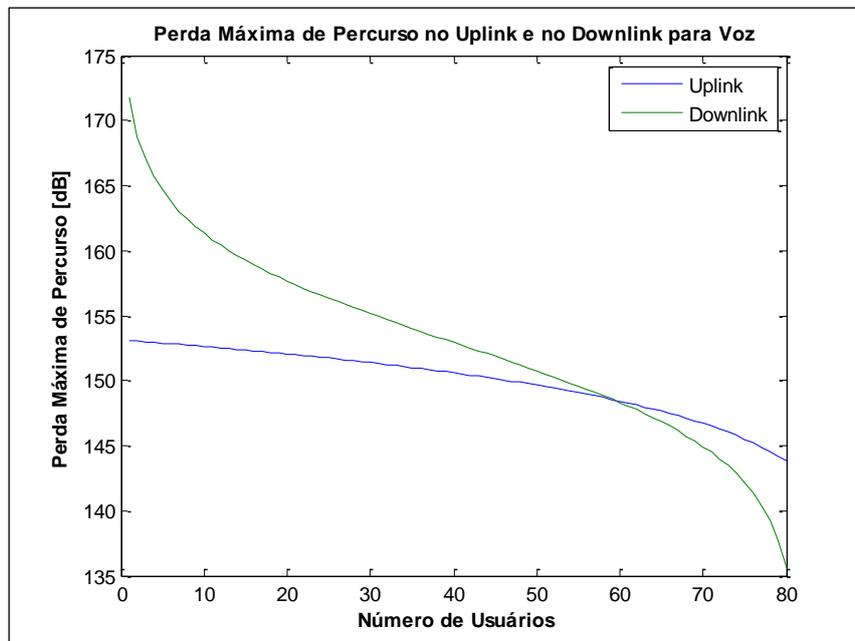


Figura 5.8 - Perda Máxima de Percurso no *Uplink* e no *Downlink* para Voz x Número de Usuários

5.2.2 Gráficos para Serviços de Dados em Tempo Real para Frequência de Operação - 2100 MHz

Para a geração de gráficos para o serviços de dados em tempo real foram utilizados os seguintes parâmetros:

Frequência de Operação: 2100 MHz;

BLER: 1 %;

No móvel:

- Taxa de chip: 3,84 Mchips/s;
- Taxa de dados do usuário: 144 Kbits/s
- Figura de Ruído: 5 dB;
- E_b/N_0 : 2 dB no *uplink* e 5 dB no *downlink*;
- Potência máxima de transmissão do móvel: 0,25 W;

- Ganho da antena do móvel: 2 dBm;
- Perda pela proximidade do corpo: 0 dB.

Na ERB:

- Densidade de ruído térmico recebido: -174 dBm/Hz;
- Figura de ruído recebida: 5 dB;
- Ganho da antena da ERB: 18 dB;
- Perda no cabo: 2 dB;
- Margem de Desvanecimento Rápido: 4 dB;
- Margem de Desvanecimento Lento: 7,3 dB;
- Perda no ambiente: 0 dB.

O fator de carga para serviços de dados em tempo real se aproxima do máximo para um número menor de usuários do que no serviço de voz, visto que o mesmo está relacionado à taxa de dados do usuário.

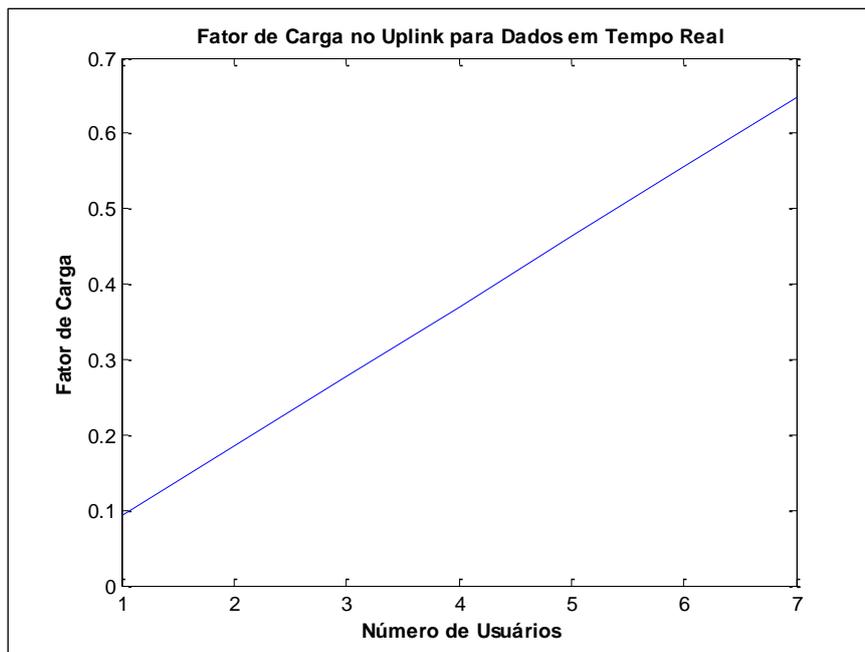


Figura 5.9 - Fator de Carga no *Uplink* para Dados em Tempo Real x Número de Usuários

Na figura 5.10, o aumento de ruído de 6 dB corresponde a 75 % do fator de carga.

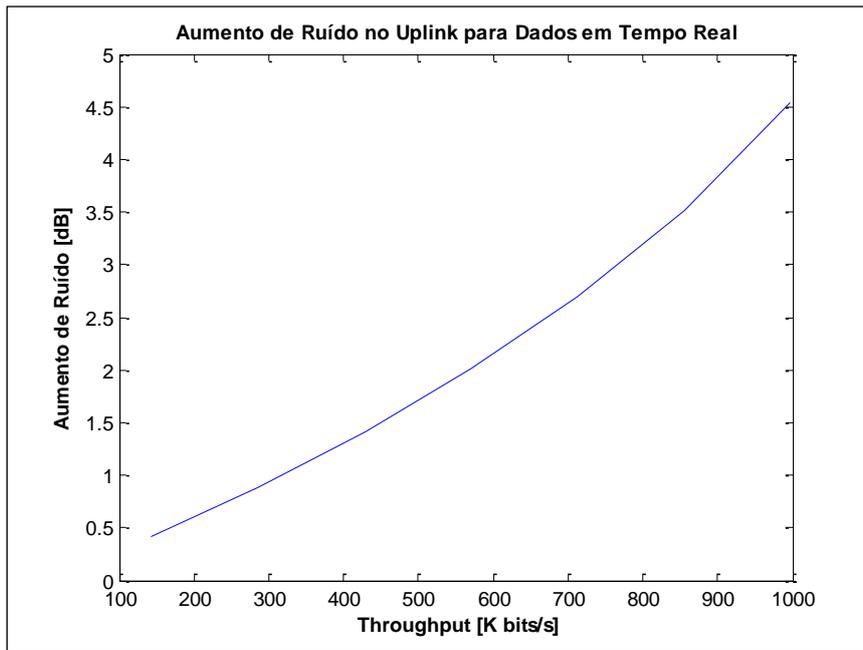


Figura 5.10 - Aumento de Ruído no *Uplink* para Dados em Tempo Real x *Throughput*

Conforme podemos observar na figura 5.11, a dimensão do raio da célula na área rural é menor do que para áreas urbanas e suburbanas considerando o mesmo número de usuários.

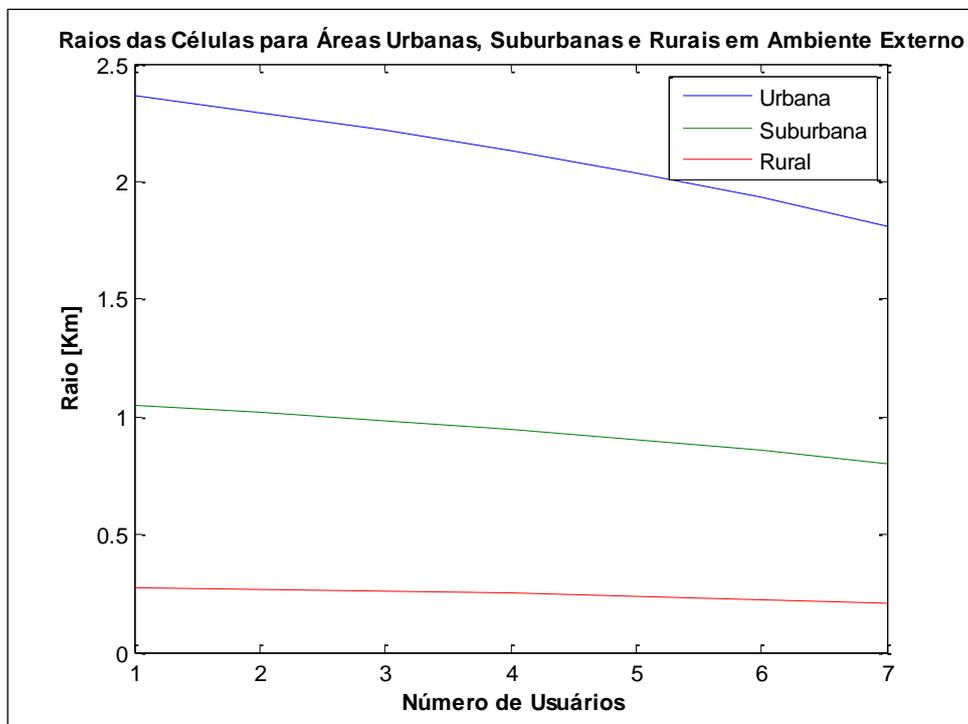


Figura 5.11 - Raios das Células para Áreas Urbanas, Suburbanas e Rurais em Ambiente Externo x Número de Usuários

O raio para ambiente externo é, aproximadamente, o dobro do raio para ambiente interno, conforme podemos observar na figura 5.12.

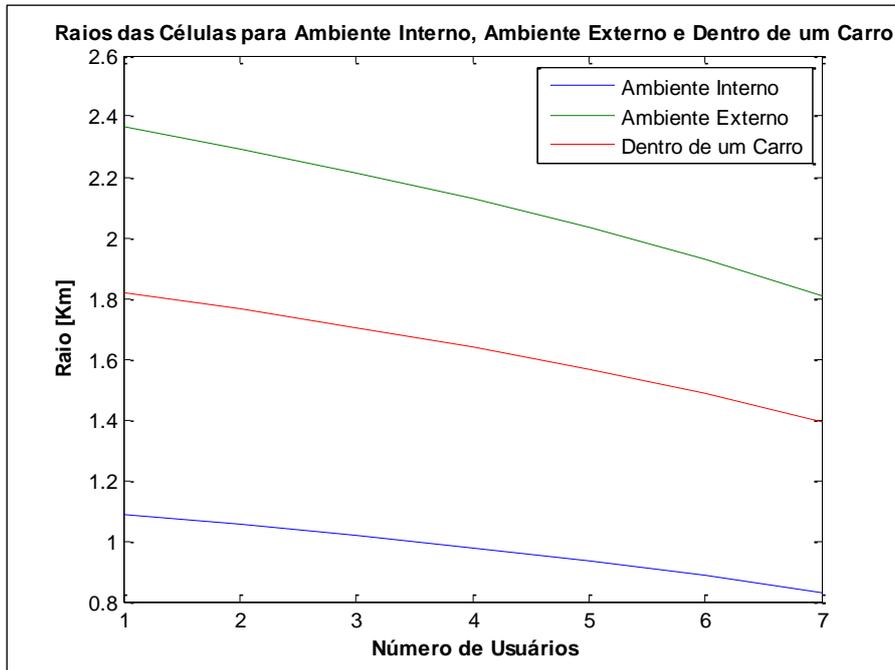


Figura 5.12 - Raios das Células para Ambiente Interno, Externo e Dentro de um Carro x Número de Usuários

O fator de carga no *downlink* se aproxima da capacidade máxima para sete usuários.

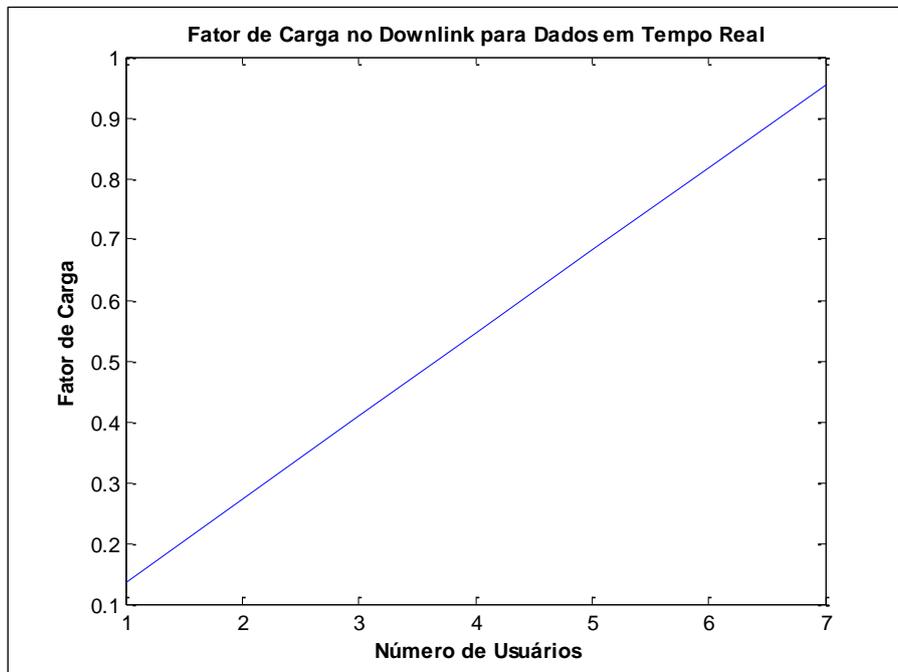


Figura 5.13 - Fator de Carga no *Downlink* para Dados em Tempo Real x Número de Usuários

Conforme a figura 5.14, o aumento máximo de ruído é para uma taxa de dados de 1000 kbits/s.

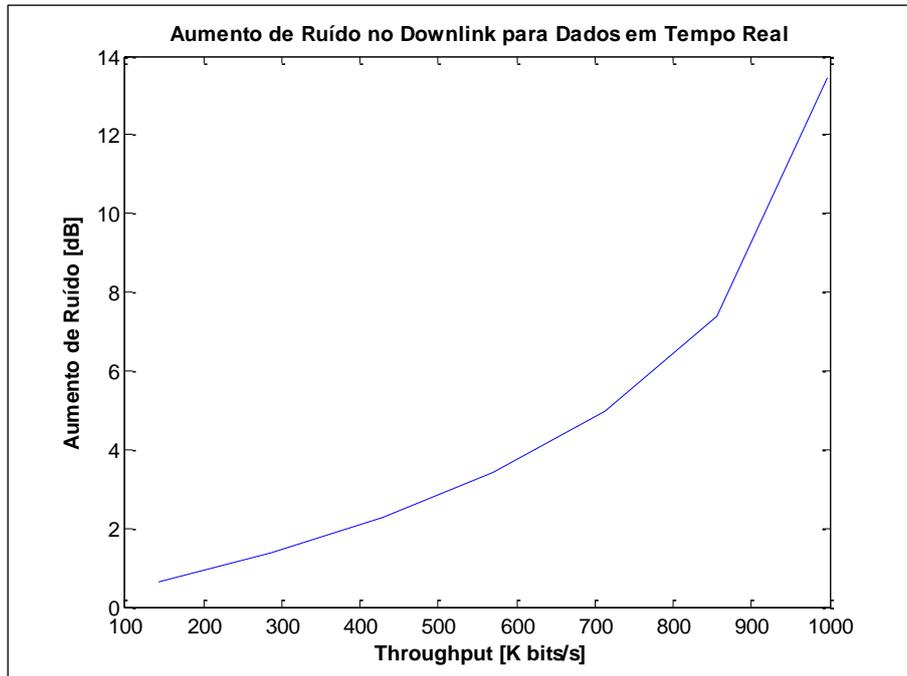


Figura 5.14 - Aumento de Ruído no *Downlink* para Dados em Tempo Real x Throughput

Uma análise comparativa é feita na figura 5.15, ou seja, a variação do aumento de ruído no *downlink* é superior a do *uplink*.

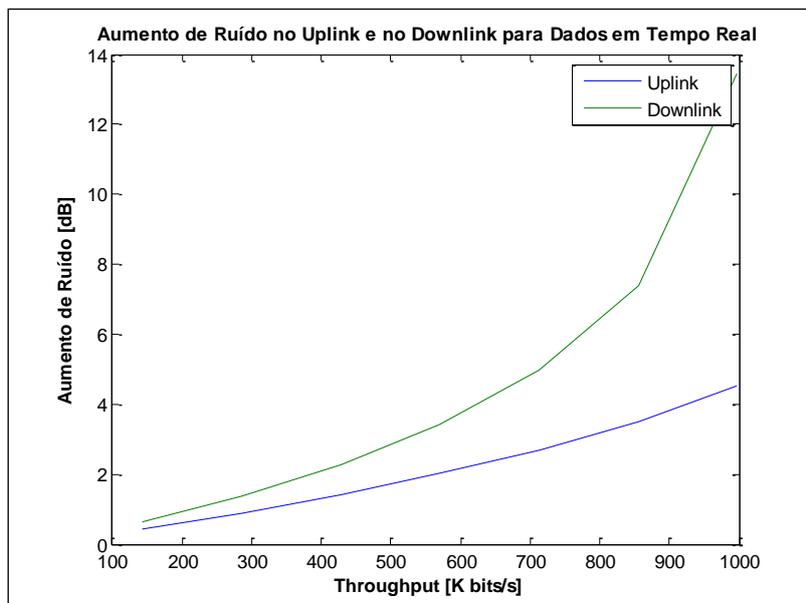


Figura 5.15 - Aumento de Ruído no *Uplink* e no *Downlink* para Dados em Tempo Real x Throughput

A cobertura de uma célula é calculada de acordo com o *uplink*, visto que o raio da célula é proporcional à perda máxima de percurso, enquanto que a capacidade de uma célula é calculada de acordo com o *downlink*, pois a perda máxima de percurso está relacionada com o número de usuários.

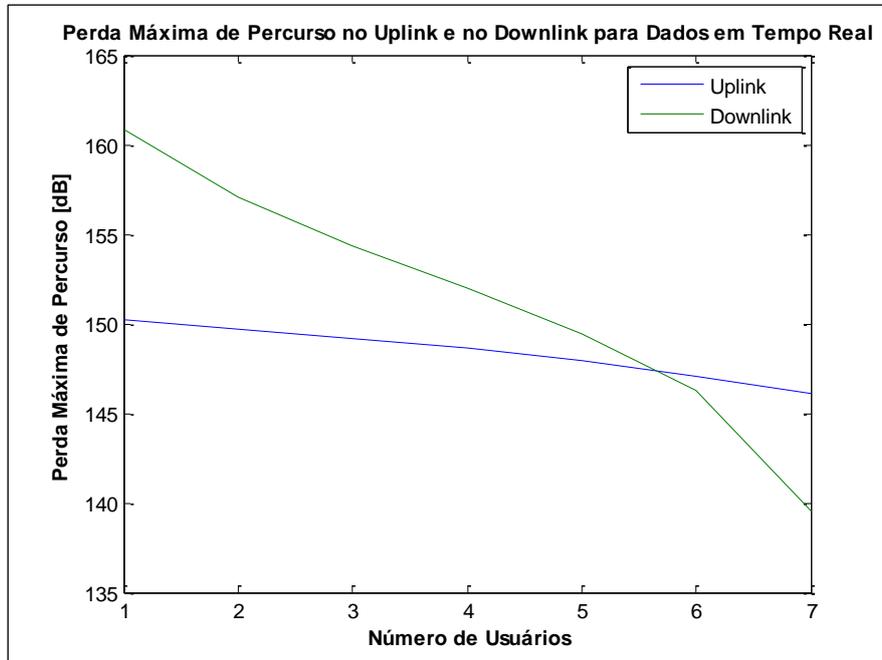


Figura 5.16 - Perda Máxima de Percurso no *Uplink* e no *Downlink* para Dados em Tempo Real em Tempo Real x Número de Usuários

5.2.3 Gráficos para Serviços de Dados em Tempo Não Real para Frequência de Operação - 2100 MHz.

Frequência de Operação: 2100 MHz

BLER: 1%

No móvel:

- Taxa de chip: 3,84 Mchips/s;
- Taxa de dados do usuário: 384 Kbits/s;
- Figura de Ruído: 5 dB;
- E_b/N_0 : 1,5 dB no *uplink* e 3,5 dB no *downlink*;
- Potência máxima de transmissão no móvel: 0,25 W;
- Ganho da antena do móvel: 2 dBm;
- Perda pela proximidade do corpo: 0 dB.

Na ERB:

- Densidade do ruído térmico recebido: - 174 dBm/Hz;
- Figura de Ruído recebida: 5 dB;
- Ganho da antena da ERB: 18 dB;
- Perda no cabo: 2 dB;
- Margem de Desvanecimento Rápido: 4 dB;
- Margem de Desvanecimento Lento: 7,3 dB;
- Perda no ambiente: 0 dB.

Na figura 5.17, o número de usuários está no limiar da capacidade da célula, pois o fator de carga se iguala a 1.

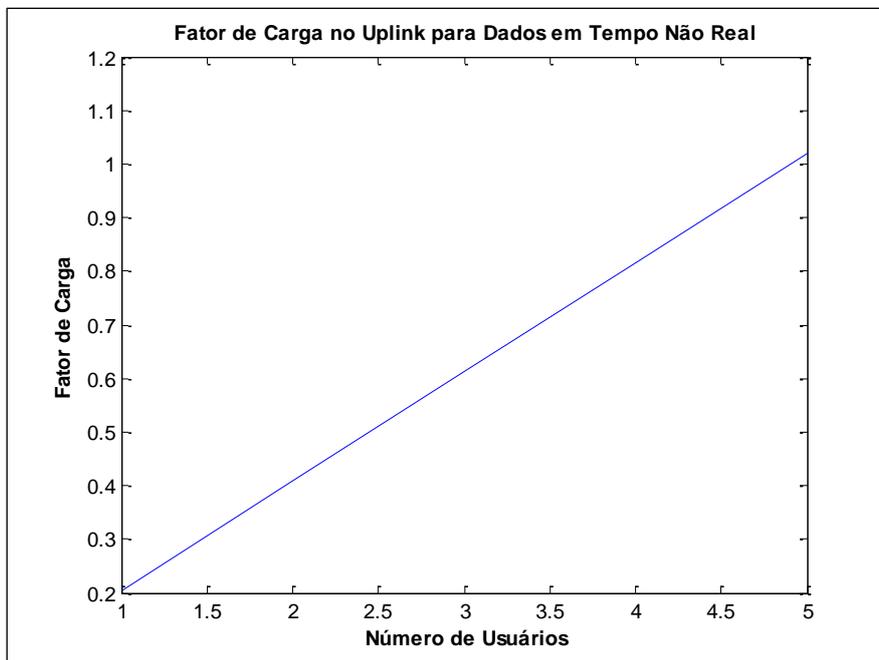


Figura 5.17 - Fator de Carga no *Uplink* para Dados em Tempo Não Real x Número de Usuários

Como o fator de carga ultrapassou a unidade, o aumento de ruído está acima dos valores aceitáveis, conforme ilustrado na figura 5.18.

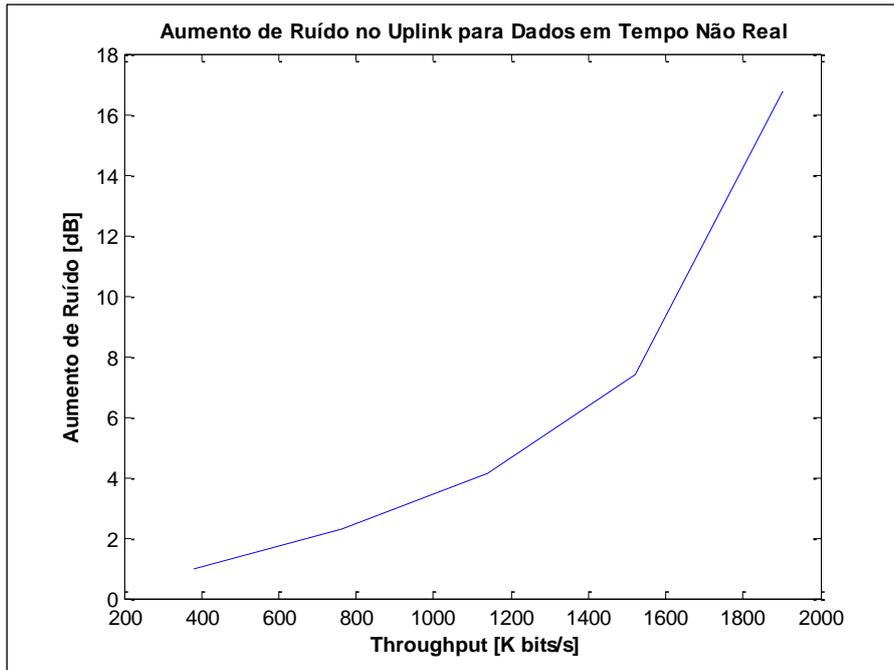


Figura 5.18 – Aumento de Ruído no *Uplink* para Dados em Tempo Não Real x *Throughput*

A variação do raio da célula para área urbana é superior quando comparada com áreas suburbanas e rurais.

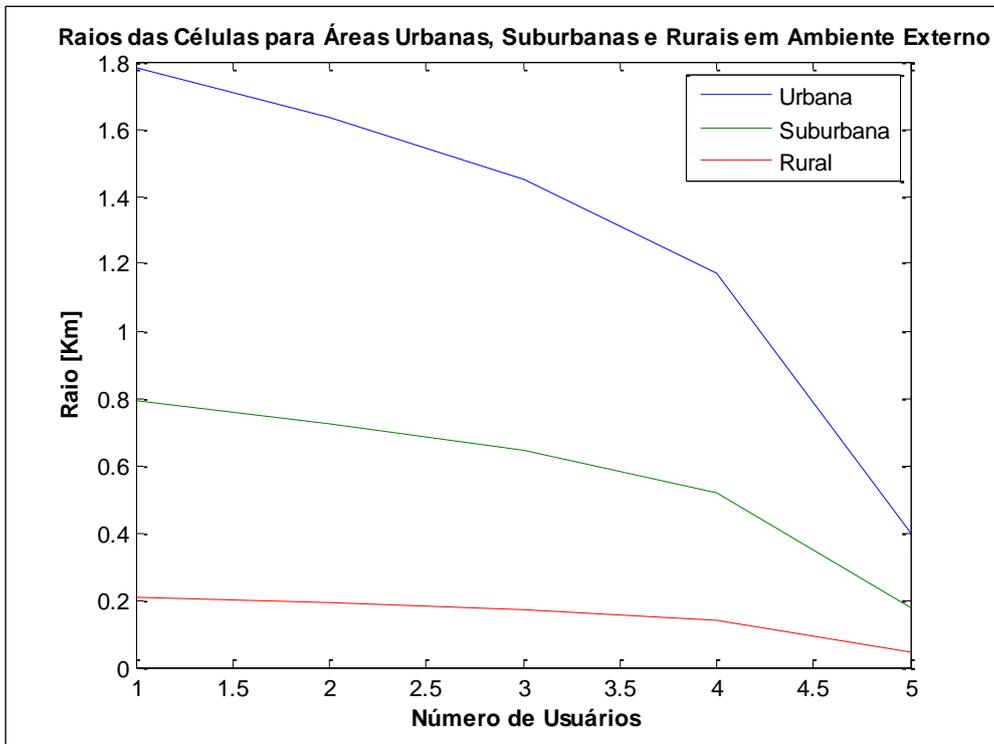


Figura 5.19 - Raios das Células para Áreas Urbanas, Suburbanas e Rurais em Ambiente Externo x Número de Usuários

Os valores para o raio de uma célula no ambiente dentro de um carro, conforme simulação interativa para a faixa de frequência de operação de 2100 MHz na seção 5.1 desta Dissertação de Mestrado, estão compreendidos entre os valores no ambiente externo e ambiente interno.

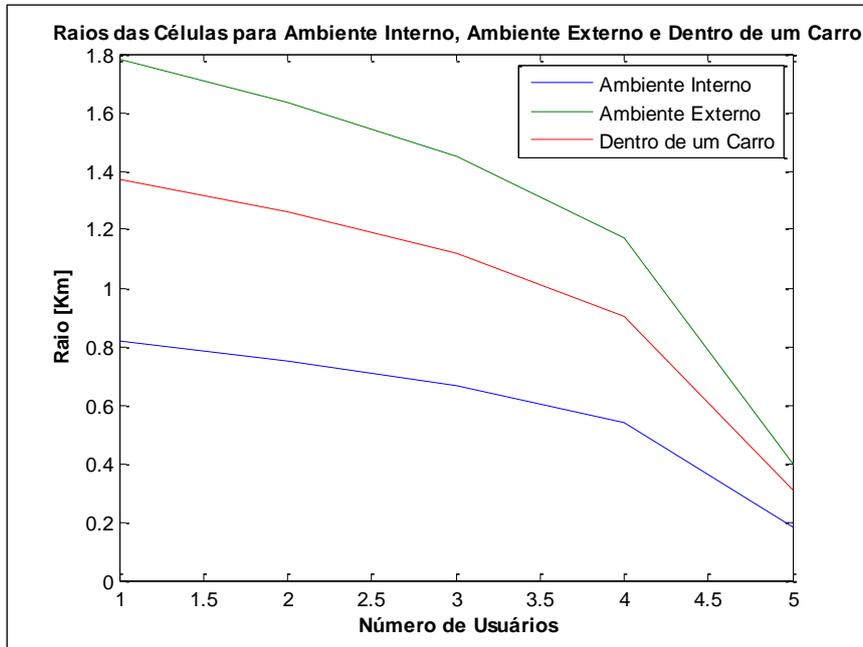


Figura 5.20 - Raios das Células para Ambiente Interno, Ambiente Externo e Dentro de um Carro

Conforme podemos observar na figura 5.21, o fator de carga no *downlink* ultrapassou a unidade, onde podemos concluir um excesso na capacidade máxima do sistema.

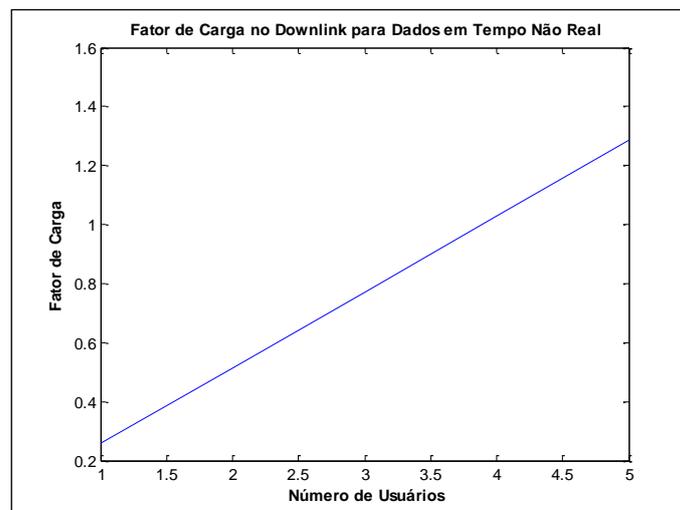


Figura 5.21 - Fator de Carga no *Downlink* para Dados em Tempo Não Real x Número de Usuários

Conforme a figura 5.22, a curva decrescente do aumento de ruído é devido ao número de usuários exceder a capacidade da célula no *downlink*.

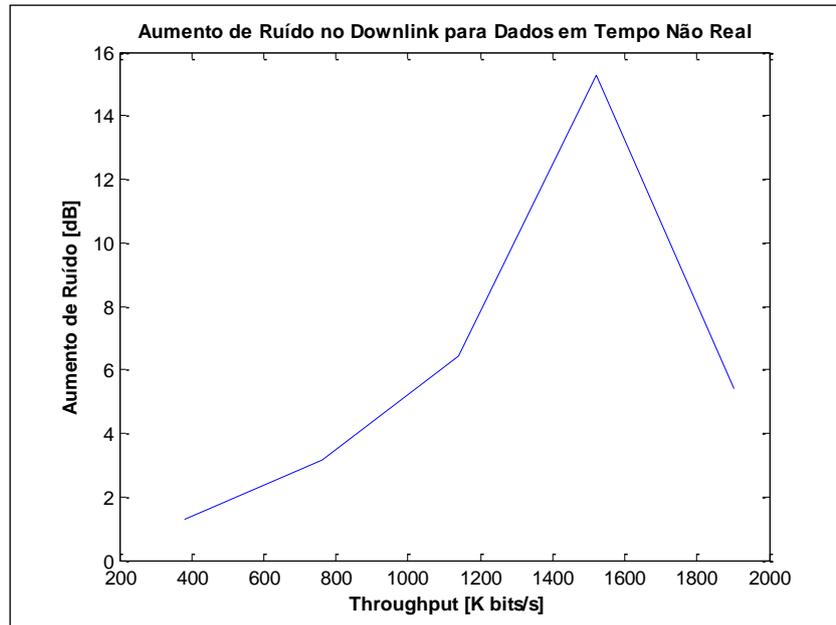


Figura 5.22 - Aumento de Ruído no *Downlink* para Dados em Tempo Não Real x *Throughput*

A figura 5.23 ilustra uma análise comparativa entre o aumento de ruído para o *uplink* e para o *downlink*.

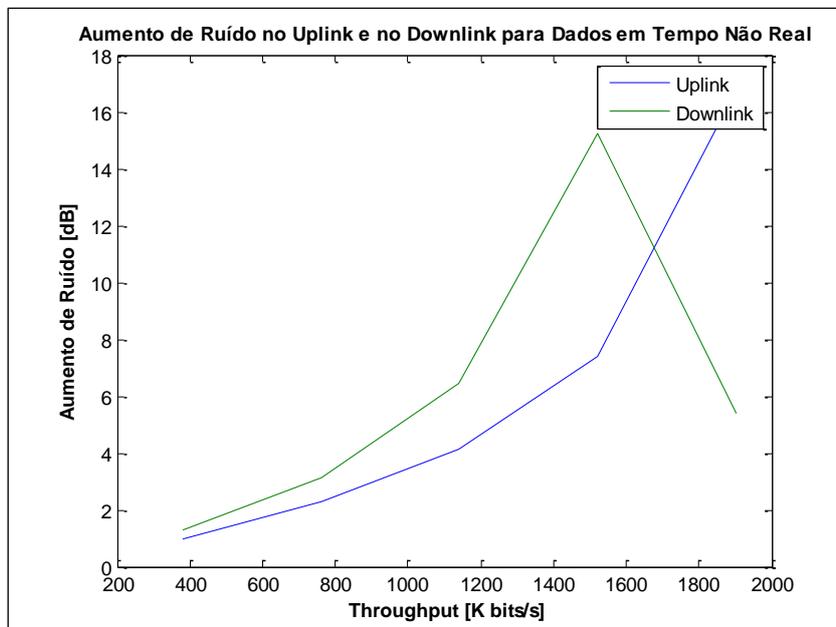


Figura 5.23 - Aumento de Ruído no *Uplink* e no *Downlink* para Dados em Tempo Não Real x *Throughput*.

A figura 5.24 apresenta o limiar de usuários para o *downlink*, ou seja, o ponto mínimo do gráfico para o *downlink* representa o número máximo de usuários atendidos para uma perda de percurso dentro das condições favoráveis.

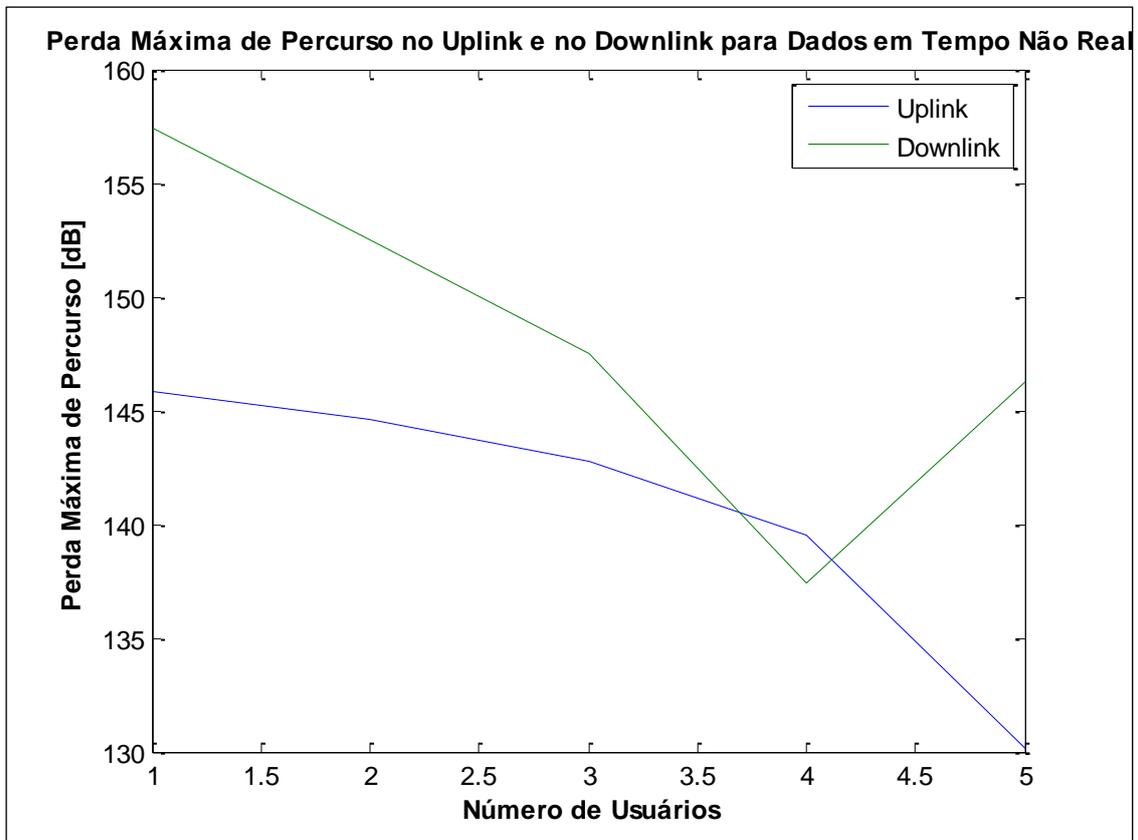


Figura 5.24 - Perda Máxima de Percurso no *Uplink* e no *Downlink* para Dados em Tempo Não Real x Número de Usuários

6 Conclusão

Esta Dissertação de Mestrado teve por objetivo analisar e planejar Sistemas UMTS através de simulações computacionais utilizando o *software* Matlab, com parâmetros reais, a fim de proporcionar melhor custo-benefício ao usuário final.

Os Sistemas UMTS possuem como principais características a mobilidade (*roaming* global) e a transmissão em conexões de comutação de circuitos e comutação de pacotes, onde as informações trafegam em pacotes IP (*Internet Protocol*) caracterizando a convergência entre a rede fixa e a rede móvel.

O desenvolvimento das tecnologias *wireless* banda larga como o Wimax e a crescente demanda por serviços de dados, que possuem como pré-requisito maior banda disponível, tornam evidentes que novas especificações técnicas elaboradas pelo 3GPP irão surgir, como surgiram as redes 4G ou LTE (*Long Term Evolution*).

Nesta Dissertação de Mestrado foram realizadas simulações computacionais com parâmetros reais utilizados pelas operadoras de telefonia móvel. As análises destas simulações foram feitas com objetivo de ratificar as características das redes 4G, tais como: aumentar as taxas de transmissão e, simultaneamente, reduzir a latência; aumentar a capacidade por setor; reduzir a complexidade do sistema e dos equipamentos dos usuários finais; permitir a flexibilidade de espectro em faixas de frequências já existentes e em faixas novas; e, finalmente, promover a interoperabilidade entre redes legadas e redes atuais.

Pode-se concluir que as simulações computacionais realizadas utilizando o *software* Matlab evidenciaram situações reais de dimensionamento através de valores limiares de parâmetros, auxiliando assim simulações futuras, onde o foco não estará mais nas evoluções da interface aérea, mas no gerenciamento de redes, possibilitando assim serviços integrados de voz, vídeo e dados de qualidade gerando um aumento na receita de serviços de valor agregado nas operadoras de telefonia móvel.

Apresenta-se como proposta para trabalhos futuros, com base nesta Dissertação, a realização de simulações computacionais na frequência de 2.5 GHz - típica das redes LTE - utilizando parâmetros reais propostos pelas operadoras de telefonia móvel, assim como, também, realizar a variação de parâmetros como a qualidade do serviço com o objetivo de obter resultados para que o fator de carga, não exceda o valor 1, caracterizando um aumento de ruído dentro dos valores

aceitáveis. Outra proposta seria a utilização de diferentes frequências de operação, caracterizando as redes LTE, com o objetivo de verificar as variações nos valores dos raios para diferentes áreas classificadas como: urbana, suburbana e rural em ambiente externo, comprovando, assim, o Modelo de Predição de Cobertura de Okumura - Hata.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] AGHVAMI, H.; JAFARIAN, B.; “*A vision of UMTS/IMT-2000 evolution*”; *Electronics & Communication Engineering Journal*; pp. 148-152; Junho/2000.
- [2] HAYKIN, Simon; MOHER, Michael “*Sistemas Modernos de Comunicações Wireless*”; 1ª Edição; Bookman, 2008.
- [3] ZREIKAT, Aymen I.; AL-BEGAIN, Khalid; “*Soft Handover-based CAC in UMTS systems*”; IEEE; pp. 1307-1312; 2003.
- [4] MASON, P. C.; CULLEN, J. M.; LOBLEY, N. C. ; “*UMTS Architectures*” ; IEEE; pp. 1-11; 1996.
- [5] SVERZUT, José Umberto “*Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS: Evolução a Caminho da Quarta Geração (4G)*”; 3ª Edição; Ed. Érica, 2011.
- [6] HOLMA, Harri; TOSKALA, Antti “*WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications*”; 3ª Edição; John Wiley & Sons, 2004.
- [7] YACOUB, Michel Daoud “*Foundations of Mobile Radio Engineering*”; CRC Press, 1993.
- [8] CHENG, Shin-Ming *et al*; “*Key Management for UMTS MBMS*”; IEEE; pp. 3619-3628; 2008.
- [9] COTA, Nuno; “*Global System for Mobile Communications: A Norma: Descrição da Tecnologia*”; Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – Departamento de Engenharia Eletrônica e das Comunicações; DEEC/ISEL, 2000.
- [10] TANENBAUM, Andrew S.; “*Redes de Computadores*”; 4ª Edição; Ed. Campus, 2003.
- [11] LATHI, B. P.; DING, Zhi “*Sistemas de Comunicações Analógicos e Digitais Modernos*”; 4ª Edição; LTC, 2012.
- [12] SEUNGHWAN, Kim *et al*; “*Efficient Implementation of OVVSF Code Generator for UMTS Systems*”; IEEE; pp. 483-486; 2009.
- [13] BERTONI, Henry L. “*Radio Propagation for Modern Wireless Systems*”; Prentice Hall PTR, 2000.
- [14] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network - Spreading and modulation - FDD - (Release 11)*”- TS 25.213; v11.3.0; (2012-09).
- [15] MONSERRAT, Jose F. *et al*; “*Evaluation of Soft Handover Micro Diversity Gain on the UMTS System Capacity and QoS*”; IEEE; pp. 1-5; 2006.

- [16] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network - Multiplexing and channel coding - FDD - (Release 11)*” - TS 25.212; v11.3.0; (2012-09).
- [17] LAIHO, Jaana; WACKER, Achim; NOVOSAD, Tomáš “*Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*”; 2ª Edição; John Wiley & Sons, 2006.
- [18] OPPERMANN, Ian; LATVA-AHO, Matti; KUMPUMAKI, Timo; “*Link Quality in SIR Based Power Control for UMTS CDMA Systems*”; IEEE; pp. 1474-1479; 2000.
- [19] LIU, Tuo; EVERITT, David; “*Other-cell Interference Characterization in the UMTS Systems with Shadowing Effect*” ; IEEE; pp. 1-6; 2006.
- [20] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network – Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels - FDD - (Release 11)*” – TS 25.211 ; v 11.1.0; (2012-09).
- [21] HATA, Masaharu; “*Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services*”; IEEE Transactions on Vehicular Technology; Vol.VT-29; N°3; pp. 317-325; August 1980.
- [22] DREBLER, Hans-Joachim; “UMTS - Notas de Aula de Communication System” – Universidade de Ulm – Alemanha; 96 p.; 2006.
- [23] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network - UTRAN overall description (Release 11)*” - TS 25.401; v 11.0.0; (2012-09).
- [24] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network - Radio Interface Protocol Architecture - (Release 11)*” - TS 25.301; v11.0.0; (2012-09).
- [25] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network - UTRAN Iub interface: general aspects and principles - (Release 10)*” - TS 25.430; v 10.1.0; (2011-06).
- [26] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network - UTRAN Iub interface Node B Application Part (NBAP) signaling - (Release 11)*”- TS 25.433; v11.2.0; (2012-09).
- [27] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network - UTRAN Iur interface: general aspects and principles - (Release 10)*”- TS 25.420; v10.1.0; (2011-06).
- [28] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network - UTRAN Iur interface Radio Network Subsystem Application Part (RNSAP) signaling - (Release 11)*” – TS 25.423; v 11.3.0; (2012-09)
- [29] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network - UTRAN Iu interface: general aspects and principles - (Release 10)*”- TS 25.410; v10.2.0; (2011-06).

[30] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network - UTRAN Iu interface Radio Access Network Application Part (RANAP) signaling - (Release 11)*”- TS 25.413; v 11.1.0; (2012-09).

[31] KAARANEN, H. *et al.*, “*UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services*”; John Wiley & Sons, 2001.

[32] <http://www.3gpp.org> - Acesso em: 22/09/2012.

[33] <http://www.anatel.gov.br> - “Figura 1.1: Habilitações de Celulares no Brasil” - Acesso em: 19/02/2012.

[34] <http://www.teleco.com.br> - “Figura 2.1: Quantidade de Redes 3G/4G no Mundo” - Acesso em: 23/07/2012.

[35] <http://www.teleco.com.br> - “Figura 2.2: Quantidade de Celulares 3G no Brasil” - Acesso em: 10/12/2012.

[36] <http://www.periodicos.capes.gov.br> - último acesso em: 04/11/2012.