

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**Redução da Taxa de Queda de Chamada em Rede Celular
GSM por Meio de Ajustes dos Parâmetros de Cobertura**

Gabriel Fernando Pivaro

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Amílcar Careli César

São Carlos, SP.

Fevereiro de 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ao meu Deus, que me proporcionou a força necessária para concluir esta etapa tão desafiadora em minha vida. À minha querida mãe, Iracema, que ora todos os dias a Deus para que nunca me deixe fraquejar.

Agradecimentos

À Camila Vieira, que me ensinou muito e não me deixou desistir deste sonho em momentos em que a vontade de parar me acompanhou.

Ao Prof. Dr. Amílcar C. César, que teve enorme paciência para fazer as diversas correções necessárias e me orientou nesta conquista.

Ao Prof. Dr. Pedro Paulo Scandiuzzi, que abriu meus horizontes, mostrou as possibilidades que eu tinha e, acima de tudo, efetuou contatos valiosos para esta realização.

A Francisco Costa, grande incentivador e guia neste trabalho, direcionando a elaboração da pesquisa e fornecendo meios para realização prática.

A Fabio Lara, amigo que foi o grande motivador para tornar possível sonhos impensados.

À Meire Tomé, pela ajuda fundamental na correção deste trabalho.

À Marisa, secretária da pós, que teve muita paciência para repetir inúmeras vezes as normas e regulamentos da USP.

A Thiago Pitta, pela elaboração das ilustrações.

Aos companheiros de trabalho, em especial, Giancarlo, Sidnéia, Rodrigo, Rocha e Vanderlei.

À Claro, por fornecer dados e ferramentas para a realização deste trabalho.

A todos os demais amigos que me deram incentivo e me ajudaram, de uma forma ou de outra, a percorrer a longa estrada para esta grande conquista.

E também àqueles que, não tão certos desta conquista, me motivaram a superar os desafios para provar que desafios existem para serem superados.

Resumo

Um estudo sobre as principais causas de quedas de chamadas em célula de rede móvel GSM é realizado por meio da análise estatística do tráfego. O objetivo é minimizar o efeito dessas causas, por meio da alteração de parâmetros de cobertura, como controle dinâmico de potência, borda de cobertura entre células e definição correta de células vizinhas.

Para uma operadora celular reduzir a taxa de queda de chamadas (TQC), por intermédio da otimização de parâmetros de cobertura, alterados via comandos remotos, elimina os custos com alterações físicas, como altura das antenas e instalações de novas estações rádio base. Entretanto, alterações de parâmetros devem ser cuidadosamente realizadas, pois podem degradar outros indicadores e acarretar redução da área de cobertura e do tráfego.

As duas principais causas da TQC são as quedas repentinas, ocasionadas por falha nos equipamentos envolvidos, ou comportamento dos assinantes e falha na execução do *handover* e as quedas devido ao nível baixo de sinal na interface aérea. Neste trabalho, com base em dados estatísticos do tráfego na rede GSM, foi escolhida uma célula operando em 900 MHz que apresentava alta TQC. Ajustando os parâmetros de cobertura, a TQC mensal passou de 8,6% para 1,6% e não houve degradação nos demais indicadores de desempenho.

Palavras-chave: Comunicação móvel celular, GSM, indicadores de desempenho, retenção de chamada, qualidade de serviço, taxa de queda de chamada.

Abstract

A study about the main causes of dropped calls in mobile network cell GSM is made by means of statistical traffic analysis. The aim is to minimize the effect of these causes through coverage parameters changes, such as dynamical potency control, coverage border between cells, correct definition of neighboring cells.

The reduction of dropped call rate by means of optimization of coverage parameters, changed via remote commands, eliminates costs with physical changes, such as the height of the antennas and installation of new radio base station. Parameter changes, however, must be carefully made because they can degrade other indicators and bring coverage area and traffic reduction.

The two main causes of dropped call are sudden loss of connection, due to failure in the equipment used, behavior of subscribers and the failure in handover and drops due to the low signal strength in the air interface. In this study, based on statistical data of GSM traffic, a cell operating in 900 MHz that presented high dropped call rate was chosen. Adjusting the coverage parameters, the monthly dropped call rate went from 8.6% to 1.6% and there wasn't any degradation of any other performance indicators.

Key words: Mobile cell-phone communication, GSM, performance indicators, call retention, quality of service, dropped call rate.

Sumário

Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vii
Lista de figuras	x
Lista de tabelas	xii
Lista de siglas	xiv
Lista de símbolos	xvii
Capítulo 1 Desempenho da rede celular	1
1.1 Introdução	1
1.2 Taxa de queda de chamada	2
1.3 Objetivo da pesquisa	4
1.4 Organização do texto	6
Capítulo 2 GSM: conceitos e elementos de rede	7
2.1 Introdução	7
2.2 Evolução do GSM para sistemas celulares da terceira geração	9
2.3 Arquitetura do sistema móvel celular GSM	10
Capítulo 3 Interface aérea	28
3.1 Introdução	28
3.2 Troca de sinalização entre elementos de rede	28
3.3 Processo de transmissão do GSM	29
3.4 Propagação de sinais na interface aérea	33
3.5 Solução para os problemas de transmissão	36
3.6 Canalização e rajadas	39
Capítulo 4 Algoritmo de localização e coleta de dados	44
4.1 Introdução	44
4.2 Algoritmo de localização	45
4.3 Retenção de chamadas	55
4.4 Ferramentas de coleta de dados	59
Capítulo 5 Análise e redução da taxa de queda de chamada	62
5.1 Introdução	62
5.2 Histórico estatístico da retenção de chamadas na rede celular GSM	62
5.3 Estudo de células com taxa de queda chamada superiores a 2%	66
5.4 Avaliação das alterações	86
Capítulo 6 Conclusões	88
Apêndice	91
Referências	92

Lista de figuras

Fig. 2.1 – Cobertura da rede feita por diversas células vizinhas. Esquema hexagonal teórico utilizado para primeira aproximação.....	14
Fig. 2.2 – Cobertura da rede feita por três células. Existem áreas onde uma EM pode receber sinal de uma, duas ou até das três células. Esse esquema é mais realista do que o hexagonal e é utilizado como segunda aproximação.	15
Fig. 2.3 – Borda de cobertura de duas células. O relevo acidentado deforma a cobertura das células. Esse esquema expressa com maior fidelidade a área de cobertura das células.....	16
Fig. 2.4 – Alcance máximo da potência de transmissão de uma EM. A EM só consegue estabelecer comunicação com a ERB que está dentro do seu raio de alcance.	18
Fig. 2.5 – BSC interligada à MSC e controlando 4 ERBs. Destaque para as interfaces de ligação dos elementos de rede.	22
Fig. 2.6 – Arquitetura da rede GSM mostrando o BSS e, na parte superior, o SS.....	23
Fig. 2.7 – Troca de sinalização entre os elementos da rede para a origem de uma chamada. .	25
Fig. 2.8 – Troca de sinalização entre os elementos da rede para o recebimento de uma chamada.....	26
Fig. 3.1 – Quadro TDMA da interface aérea. TS: intervalo de tempo utilizado pelas EMs....	32
Fig. 3.2 – Problema de alinhamento de tempo. Quando a EM está em A, a rajada chega no tempo exato. Quando a EM está em B a rajada não se encaixa perfeitamente no TS.	36
Fig. 4.1 – Efeitos da histerese e offset.....	49
Fig. 4.2 – Bordas de handover e corredor de histerese definidos pelos parâmetros <i>offset</i> e histerese.....	51
Fig. 4.3 – Contadores lógicos na troca de sinalização para o estabelecimento de uma chamada.	60
Fig. 5.1 – <i>TCH drop</i> e <i>call drop</i> mensais durante o ano de 2006.	63

Fig. 5.2 – Distribuição de todas as quedas de canais de voz (<i>TCH drop</i>) durante o ano de 2006 em todas as células pertencentes à BSC estudada.....	64
Fig. 5.3 – Relação entre a cobertura média das células e as respectivas TQCs.	65
Fig. 5.4 – Relação entre a porcentagem de quedas repentinas e as respectivas TQCs.	65
Fig. 5.5 – Distribuição do número de chamadas nas células OLR11, NGR1 e NV013.....	68
Fig. 5.6 – Causas de quedas de chamada da célula NGR11. Período de medição: março de 2006 a março de 2007.	75
Fig. 5.7 – Número de vezes que a combinação de frequência e BSIC foi decodificada e associada a uma das células conhecidas.....	78
Fig. 5.8 – Número de vezes que as células apareceram como única candidata ao handover...	78
Fig. 5.9 – Número de vezes que a EM recebeu o sinal mais intenso dessas células do que da célula servidora.	79
Fig. 5.10 – Intensidade de sinal recebido pela ERB do NGR11 antes e depois da alteração no controle de potência da EM.....	83
Fig. 5.11 – Intensidade de sinal recebido pela ERB do NGR11 antes e depois da alteração no controle de potência da EM e sem o controle de potência.	84
Fig. 5.12 – Atenuação do sinal recebido pela ERB do NGR11 antes e depois da alteração no controle de potência da EM e sem o controle de potência.	85
Fig. 5.13 – Comportamento do número total de chamadas originadas nas células vizinhas a célula NGR11.....	87
Fig. 5.14 – Comportamento da TQC nas células vizinhas a célula NGR11.	87

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Comparação entre os esquemas de modulação 8-PSK e GMSK.	10
Tabela 2.2 – Potência de saída e sensibilidade de EMs (900 MHz) de acordo com as classes de potência.....	11
Tabela 2.3 – Divisão da banda de 900 MHz no GSM.....	19
Tabela 3.1 – Canais de Difusão.....	42
Tabela 3.2 – Canais de Controle Comum.	43
Tabela 3.3 – Canais de Controle Dedicados.	43
Tabela 4.1 – Parâmetros definidos para as células e nível de sinal recebido.....	54
Tabela 4.2 – Verificação do critério de mínimo sinal.....	54
Tabela 4.3 – Lista de candidatos após classificação.....	55
Tabela 4.4 – Lista de candidatos final com a ordem de preferência.....	55
Tabela 5.1 – TQC no período de janeiro de 2006 a março de 2007.....	66
Tabela 5.2 – Variação mensal da taxa de queda de chamada. Em destaque, variações de mais ou menos 1p. p.	67
Tabela 5.3 – Variação mensal da taxa de queda de chamada. Em destaque, variações de mais ou menos 0,5 p.p.	67
Tabela 5.4 – Porcentagem das principais causas de quedas da célula NGR11 em dezembro de 2006.....	69
Tabela 5.5 – Impacto da alteração de <i>ACCMIN</i> sobre o valor de C1.	71
Tabela 5.6 – Porcentagem das principais causas de quedas em dezembro de 2006.....	72
Tabela 5.7 – Desempenho dos <i>handovers</i> de entrada e saída das células.....	73
Tabela 5.8 – Acompanhamento da TQC para o setor NGR11 e a distribuição da porcentagem por causas de quedas.....	76

Tabela 5.9 – Desempenho dos <i>handovers</i> de saída da célula NGR11 no mês de março de 2007.....	76
Tabela 5.10 – Desempenho dos <i>handovers</i> de saída da célula NGR11 um mês antes e um mês após a inclusão da célula NG011 como vizinha.....	79
Tabela 5.11 – Desempenho dos <i>handovers</i> de saída e entrada da célula NGR11 um mês antes e um após a inclusão da célula NG011 como vizinha.....	80
Tabela 5.12 – TQC da célula NGR11 um mês antes e um mês após a inclusão da célula NG011 como vizinha.	80
Tabela 5.13 – Comportamento da interface aérea.....	82
Tabela 5.14 – TQC da célula NGR11 quinze dias antes e após a alteração no valor de referência para controle de potência da EM.....	84
Tabela 5.15 – Comparação entre os níveis na interface aérea após as alterações efetuadas....	85
Tabela 5.16 – Comparação entre da TQC após três alterações (C, D e E) na célula NGR11.	86
Tabela 5.17 – Distribuição do raio de cobertura da célula NGR11.	86
A1 – Acompanhamento da TQC mensal do NGR11.	91

Lista de siglas

3G	Terceira geração de sistemas celulares
3GPP	Projeto de parcerias para 3ª geração de sistemas celulares
8-PSK	Esquema de modulação <i>octagonal phase shift keying</i>
ABIS	Interface entre BSC e ERB
ACCMIN	Mínimo nível necessário para acampar em uma célula
AL	Algoritmo de localização
AMR	Multi taxa adaptiva
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
ARFCN	Número absoluto de canal de frequência de rádio
AuC	Centro de autenticação
BA list	<i>BCCH Allocation List</i>
BCCH	Canal de controle da ERB
BCH	Canal de difusão
BER	<i>Bit error rate</i>
BSC	Controladora de estações rádio base
BSIC	Código de identidade da ERB
BSS	Sistema de estação base
C/I	Relação sinal interferência
C/N	Relação sinal ruído
CAP	Controle automático de potência
CCC	Central de comutação e controle
CCH	Canais de controle
CDMA	Acesso múltiplo por divisão de código
CDMA2000	Acesso múltiplo por divisão de código para sistemas 3G
CEPT	Conferência Européia de Correios e Telecomunicações
DCH	Canais dedicados
DCS	Sistema celular digital
<i>Downlink</i>	Enlace de rádio na direção da ERB para EM
DTX	Transmissão descontínua
EDGE	<i>Enhanced data rates for global evolution</i>
EFR	<i>Enhanced full-rate</i>
EIR	Registrador de identidade do equipamento
EM	Estação móvel
ERP	Potência efetivamente irradiada a partir da antena de transmissão
ERB	Estação rádio base
ETSI	Instituto Europeu de Padronização de Telecomunicações
FCCH	Canal de Correção de Frequência
FDMA	Acesso múltiplo por divisão de frequência
FER	Taxa de apagamento de quadro
FH	<i>Frequency hopping</i>
FIR	Resposta finita ao impulso
FR	<i>Full rate</i>
GE	Gerenciamento estatístico
GMSC	<i>Gateway MSC</i>
GMSK	<i>Gaussian minimum shift keying</i>
GPRS	<i>General packet radio service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>

GSM	<i>Global system for mobile communications</i>
HLR	Registrador de assinantes domésticos
HR	<i>Half rate</i>
ICM	<i>Idle Channel Measurements</i>
IMSI	<i>International mobile subscriber identity</i>
IP	Internet Protocol
IS-95	Padrão de sistema móvel celular com tecnologia CDMA
ITU-T	<i>International Telecommunication Standardization Sector</i>
LA	Área de localização
LAPD	<i>link access protocol D-channel</i>
LAPDm	<i>Link access protocol for the dm channel</i>
MAXTA	Valor máximo permitido do TA (avanço de tempo)
MSC	Centro de comutação de serviços móveis
MSK	<i>Minimum shift keying</i>
NCC	Código de cor da rede
NMT	<i>Nordic mobile telephone</i>
NR	Nível de referência para controle de potência
OMC	Centro de operação e manutenção
OMR	Operação e manutenção da rede
OSI	<i>Open system interconnection</i>
OSS	Sistema de operação e suporte
PCM	Modulação por código de pulso
PCS	Sistema celular pessoal
PHS	<i>Personal handy phone system</i>
POC	Serviço <i>push-to-talk</i> utilizando celular
PS	Processo de software
QC	Queda de chamada
QDE	Quedas por distância excessiva
QOC	Quedas por outras causas
QoS	Qualidade do serviço
QPR	Quedas por perda repentina
QQx	Quedas por baixa qualidade
QSx	Quedas por nível baixo de sinal
RACH	Canal de acesso aleatório
RF	Radiofrequência
RLINK	Tempo máximo para desconexão do enlace de rádio
Roaming	Habilidade de movimentação ao longo de várias redes móveis
RX	Receptor
RXLEV	Nível de potência do sinal de RF, em dBm
SACCH	Canal de Controle Associado Lento
SCH	Canal de sincronização
SDCCH	Canal de controle dedicado independente
SIM Card	Módulo de identificação do assinante
SMG	Grupo móvel especial do CEPT
ss	<i>Signal strength</i>
SS	Sistema de comutação
TA	Avanço de tempo
TACS	<i>Total access communication system</i>
TCH	Canal de voz
TCH/F	Canal de voz de taxa inteira

TCH/H	Canal de voz de meia taxa
TDMA	Acesso múltiplo por divisão de tempo
TQC	Taxa de quedas de chamadas
TRX	<i>Transceiver</i>
TS	<i>Timeslot</i>
UMTS	Sistema móvel celular universal
<i>Uplink</i>	Enlace de rádio na direção da EM para ERB
VLR	Registro de assinantes visitantes
Vocoder	Codificador de voz
WCDMA	Acesso múltiplo por divisão de código em banda larga

Lista de símbolos

μs	microsegundos
dBm	decibel com referência a 1 mW
GHz	gigahertz
kbps	quilobits por segundo
kHz	quilohertz
Mbps	megabits por segundo
MHz	megahertz
ms	milissegundos
mW	miliwatt
W	watt

Capítulo 1 Desempenho da rede celular

1.1 Introdução

As redes de telefonia móvel celular que utilizam a tecnologia *global system for mobile communication* (GSM) possuem atualmente cerca de 2,5 bilhões de assinantes [1]. No Brasil, o número de assinantes até o início de setembro de 2007 era aproximadamente 80 milhões.

Esses números estão em pleno crescimento devido a alguns fatores que merecem destaque: custo relativamente baixo (assinantes de serviços pré-pagos necessitam apenas adquirir créditos); crescimento do número de operadoras que estabelecem acordos nacionais e internacionais, possibilitando que o assinante possa percorrer (*roam*) áreas distintas da sua operadora de origem e fazer uso do serviço sem necessidade de trocar ou reprogramar seu aparelho (acordos de *roaming*); crescimento da oferta de serviços adicionais ao serviço de voz que utilizam a rede GSM/GPRS (*general packet radio service*), como serviço de *push-to-talk over cellular* (POC) e máquinas de cartão de crédito e débito.

Ao lado do crescimento do número de assinantes da tecnologia GSM, existe o desafio sempre presente para cada operadora em ampliar, ou pelo menos manter, a base de assinantes. Uma das formas para diferenciar o serviço oferecido e manter fiel o assinante é prestar serviço de qualidade, de forma a atender plenamente suas necessidades.

Prestar serviço de qualidade envolve uma série de fatores que vão além de colocar à disposição do assinante o serviço principal contratado. Exemplos de fatores de qualidade que devem ser objeto de atenção por parte das operadoras são: o atendimento rápido às solicitações efetuadas pelos assinantes; a cobrança justa pelos serviços utilizados; a segurança e o sigilo dos serviços; a melhoria contínua na qualidade dos serviços prestados.

Este trabalho aborda um dos principais fatores de qualidade do serviço (*quality of service*—QoS) [2] que deve ser continuamente observado pelas operadoras de telefonia móvel celular: a interrupção indesejada de chamadas telefônicas, que será referida como queda de

chamada (QC). A QC é um fator primordial na satisfação do assinante, pois caso o assinante experimente um número excessivo de QC, há grande possibilidade de ele optar por outra operadora [2]. Portanto, manter a qualidade do serviço prestado implica em minimizar o número de QC, de tal forma que o assinante esteja satisfeito com o serviço prestado e se mantenha na base de assinantes da operadora.

1.2 Taxa de queda de chamada

A TQC é definida como a razão entre o número total de chamadas interrompidas de forma indesejada e o número total de chamadas que foram iniciadas em uma rede, e, mais especificamente, em uma determinada célula. Assim, a TQC contabiliza a porcentagem de vezes em que houve o desligamento indesejado da chamada em relação ao total de chamadas que foram originadas em uma determinada célula. No Capítulo 4 será mostrado como ocorre a QC no GSM e também como obtemos as estatísticas da TQC.

Reduzir a TQC tem impacto direto para o assinante e para a operadora, principalmente se essa redução for alcançada sem que haja necessidade de novos investimentos em infraestrutura, o que reduz sensivelmente os custos com a operação e a instalação da rede [3].

Para o assinante, a QC gera situações desagradáveis. Por exemplo, caso a chamada seja para um centro de atendimento (ex: banco por telefone, serviço de atendimento ao consumidor), a QC implica em ter que realizar uma nova chamada, esperar para ser atendido e, provavelmente, ter que reiniciar a explicação, pois, na maioria dos casos, o assinante irá falar com outro atendente, gerando, assim, descontentamento e custos com a nova ligação. Também a QC quando não percebida imediatamente pelo assinante poderá gerar desconforto por estar falando sozinho e depois ter que repetir o que o interlocutor não ouviu. Portanto, a QC tem um impacto direto na percepção que o assinante tem da QoS.

Para a operadora, a redução na TQC tem forte apelo financeiro por três motivos. Primeiro, quanto maior o tempo de duração da ligação telefônica (geralmente utilizamos a palavra chamada, do inglês *call*), maior a arrecadação da operadora, pois geralmente as chamadas são tarifadas em minutos. Segundo, tem impacto na satisfação do assinante e, portanto, a manutenção deste em sua base de assinantes. Terceiro, evita multas com o descumprimento das metas de qualidade na prestação de serviço que são definidas e monitoradas pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) [1].

O desempenho da rede celular de uma operadora, no que diz respeito a serviços de voz, é definido em termos dos indicadores de acessibilidade, retenção e integridade [4]-[7].

A acessibilidade está ligada a dois fatores: à capacidade de canais disponíveis para que o assinante consiga acessar a rede e à cobertura da operadora (área onde é possível utilizar a rede). Geralmente, para resolver a disponibilidade de canais, a operadora deve aumentar a capacidade de sua rede por meio da instalação de novos equipamentos. Nesse caso, um aumento na base de assinantes da operadora requer um aumento da capacidade da rede a fim de suportar a demanda. Já o problema da área de cobertura, em muitos casos, somente pode ser resolvido com a instalação de novas ERBs, que possibilitam a comunicação entre o assinante e a rede GSM. Muitas vezes não é interessante que um assinante que esteja em um local de cobertura precária acesse a rede, pois a chance de ocorrer uma QC logo em seguida é grande. Assim, problemas de acessibilidade estão diretamente ligados a investimentos em aumento da área de cobertura e capacidade de tráfego.

A integridade de uma chamada está relacionada à qualidade de voz. Uma chamada com boa qualidade é aquela em que as informações são recebidas e transmitidas com pouco ou nenhum distúrbio (ruídos, eco, chiado). A integridade está ligada às condições do enlace de rádio (canal de radiofrequência—RF) que interliga o telefone móvel (estação móvel—EM) a ERB. Caso as condições não sejam as mais favoráveis, ainda assim a EM e a ERB conseguem

melhorar a qualidade de voz com a utilização de esquemas de codificação [2], [8]-[10]. Porém, como será visto mais adiante, a troca de sinalização, necessária para manter a chamada entre a EM e a ERB, estará tão prejudicada que a rede ou a EM iniciarão uma desconexão forçada, causando uma QC [8]. Dessa forma, nota-se que, além do uso de codificadores, uma melhoria na qualidade do enlace de rádio acarretará uma melhora na qualidade de voz e, portanto, um aumento da integridade. Essa melhoria no enlace primeiramente objetiva manter a chamada em curso, ou seja, aumentar a retenção. Então, estudando as causas da redução das QC e, assim, aumentando a retenção, haverá impacto direto na integridade da rede.

Por fim, a retenção trata da continuidade da chamada desde o seu início até o momento que um dos interlocutores resolve encerrá-la. Esses interlocutores são dois assinantes, sendo que, neste trabalho, um deles sempre estará utilizando a rede GSM, enquanto o outro pode estar na mesma rede ou em outra rede de telefonia móvel ou fixa. A QC é um fator crucial dentro da retenção, e reduzir a TQC é aumentar o índice de retenção da rede, melhorando a percepção de qualidade do serviço. A redução na TQC estudada neste trabalho está no âmbito do enlace de rádio que interliga a EM e a ERB. O objetivo é melhorar a qualidade desse enlace, permitindo que um número cada vez menor de chamadas seja interrompido devido a erros ou impossibilidade de troca de sinalização entre EM e ERB. Portanto, a relevância de estudar a redução na TQC está ligada ao aumento da satisfação do cliente, ao cumprimento de metas de qualidade e à redução nos investimentos em novos equipamentos.

1.3 Objetivo da pesquisa

A rede da operadora a ser utilizada em teste de campo já está instalada e em operação. As variáveis materiais e físicas, como localização geográfica das ERBs, altura das antenas, modelo dos cabos e tipo de equipamento, já estão definidas, e desejamos fortemente evitar

despesas com deslocamentos de pessoal técnico e instalação ou troca de equipamentos. Assim, o foco é alterar os diversos parâmetros de cobertura, responsáveis por determinar o comportamento da EM, visando a uma melhoria na qualidade de transmissão do enlace, reduzindo a TQC.

Para tanto, será usada como base as informações coletadas pelos diversos elementos que compõem a rede. Essas informações serão coletadas e a correlação entre elas será estudada. Essa etapa servirá de ponto de partida para o julgamento de quais parâmetros podem ser alterados visando à redução da TQC. Esses parâmetros determinam o comportamento de uma EM quando essa está na área de cobertura de uma ERB, e são bastante flexíveis, dando uma boa margem para que diversas configurações possam ser testadas.

Apesar do objetivo deste trabalho ser a redução da TQC, o destaque será a maneira de estudar esta redução. A abordagem é baseada na coleta e análise de dados estatísticos da rede GSM. Por meio desses dados será possível determinar quais parâmetros podem ser alterados e, após a alteração, verificar se os objetivos foram alcançados e se não houve degradação no desempenho da rede, que torne a alteração inviável.

Nesse ponto, é importante que seja feita uma análise de como são obtidos estes dados e, na falta deles, como estudar a TQC. Uma boa parte das pesquisas feitas sobre o GSM, no que diz respeito à comunicação entre EM e ERB, utilizam programas que simulam o comportamento dos assinantes, em uma determinada área composta por diversas ERBs. Em [8], [11]-[14], é possível observar a utilização de programas de simulação. Por outro lado, diversos trabalhos utilizam redes em operação, obtendo dados das operadoras, que, em alguns casos, permitem alterações para efeito de testes [15]-[17]. Existem, ainda, pesquisas desenvolvidas pelos fabricantes na busca por novas soluções para as redes GSM [18], [19].

Os trabalhos que tratam de melhorias e aperfeiçoamentos no enlace de rádio podem ser divididos em: desenvolvimento de equipamentos, como antenas, filtros, combinadores,

diversidades de recepção; técnicas de acesso, como *frequency hopping*—FH, *fractional loading*, transmissão descontínua—DTX, reuso de frequências, esquemas de alocação de canais e restabelecimento de chamada; e alteração na padronização (evolução de algoritmos).

O presente trabalho é baseado na observação de dados de uma rede em plena operação e no ajuste das configurações (parâmetros) de cobertura de uma célula (subdivisão da cobertura da rede GSM), objetivando a redução da TQC e a manutenção, ou, até mesmo, a melhora da qualidade de outros indicadores de desempenho da ERB. Por meio da observação do comportamento do tráfego e dos indicadores de desempenho da ERB, é possível determinar os parâmetros de cobertura de célula mais adequados que possam ser alterados.

1.4 Organização do texto

Este texto está organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta uma visão geral do sistema GSM e sua evolução para os da terceira geração (3G) e mostra arquitetura de uma rede GSM. O Capítulo 3 apresenta a interface aérea, principal foco da redução da TQC. Já o Capítulo 4 mostra o algoritmo de localização, o detalhamento da QC, e as ferramentas para coleta de dados da rede. O Capítulo 5 apresenta: o histórico dos dados de uma rede; a avaliação necessária para se efetuar alterações na rede; um estudo detalhado das causas de queda de chamada em uma célula com TQC maior que 2% e soluções para a redução da TQC. A conclusão está no Capítulo 6.

Capítulo 2 GSM: conceitos e elementos de rede

2.1 Introdução

O nascimento do GSM data de 1982, quando um comitê da *Conférence Européenne des Postes et Télécommunications* (CEPT), organização de padronização europeia, foi criado com o objetivo de definir um novo padrão para comunicações móveis na faixa de 900 MHz [2], [20]. O comitê foi nomeado *Groupe Spéciale Mobile*, o que remetia até então à sigla GSM. Ficou decidido que o novo padrão usaria tecnologia digital. Anos mais tarde, o CEPT foi incorporado pelo *European Telecommunication Standard Institute* (ETSI) [2], [21], mas a missão do comitê permaneceu. O grande mérito do comitê foi abandonar diferentes padrões que já estavam em funcionamento em alguns países membros (como o *nordic mobile telephone*—NMT e o *total access communication system*—TACS) e criar um padrão internacional. Essa diversidade de padrões acarretava dois problemas: o uso dos aparelhos celulares dos assinantes de uma determinada rede ficava restrito, pois ao sair de seu país a tecnologia utilizada não era compatível com os sistemas celulares dos outros países; e o custo de fabricação de redes com essas tecnologias distintas era muito maior do que a produção em larga escala para uma tecnologia única.

Em 1991, o primeiro sistema GSM foi colocado em operação. No mesmo ano, houve a mudança de nome do comitê para *Special Mobile Group* (SMG), e GSM passou a definir o nome do novo padrão. Também em 1991, o padrão GSM foi estendido para a faixa de 1800 MHz, que foi chamada de *Digital Cellular System 1800* (DCS 1800). Nos Estados Unidos da América, o DCS 1800 foi adaptado para 1900 MHz, sendo chamado de *Personal Communications System 1900* (PCS 1900). O padrão que viria a ser o maior concorrente da tecnologia GSM, o *code division multiple access*—CDMA, ainda estava “engatinhando” nos Estados Unidos da América nesta época.

A crescente expansão do sistema GSM na Europa atraiu a atenção de países de outros continentes, interessados em utilizar o novo padrão para telefonia móvel celular. Alguns fatores contribuíram para o sucesso do padrão GSM: a livre competição, favorecida pelo fim do monopólio das telecomunicações na Europa; a cooperação da indústria no SMG e a falta de outros padrões competitivos (no Japão, o *Personal Handy Phone System*— PHS foi definido somente após o GSM estar bem consolidado).

As duas primeiras fases da padronização do GSM criaram uma base sólida para a evolução do GSM para os sistemas da 3G. Atualmente, as novas padronizações do GSM estão sob a responsabilidade do *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) [22], que unificou o controle da padronização do GSM e do *Universal Mobile Telecommunication Services* (UMTS), este um padrão utilizado em sistemas 3G.

No Brasil, os primeiros sistemas GSM começaram a ser implantados somente depois de 2002, estando em plena expansão. Serviços adicionais, como o POC e o *Enhanced Data Rates for Global Evolution* (EDGE), ainda estão sendo implementados. O EDGE permite uma taxa relativamente alta de transferência de dados entre a EM e a rede GSM. Já o POC permite a comunicação em modo *half-duplex*, onde dois ou mais assinantes conversam de modo que apenas um fala a cada vez, sendo a tarifação por volume de dados transferidos e não por tempo utilizado.

Apesar de sistemas 3G já estarem em funcionamento ao redor do mundo, o padrão GSM ainda é motivo de um número considerável de pesquisas devido à taxa ainda baixa de migração de assinantes para os sistemas 3G, causada principalmente pelo alto custo dos serviços e aparelhos celulares com tecnologia 3G. Outro ponto fundamental é que as EMs que utilizam o 3G podem utilizar o GSM quando não estiverem sob cobertura do 3G. Desta forma, a otimização do desempenho dessas redes pode gerar bom retorno financeiro para as operadoras devido ao melhor aproveitamento dos recursos já instalados. Um exemplo dessas

pesquisas é a criação de novos dispositivos, como antenas virtuais, que ajudam a reduzir a interferência na interface aérea [2]. Portanto, o GSM é um padrão em pleno desenvolvimento, oferecendo oportunidades de novas pesquisas e aplicação de novas técnicas.

2.2 Evolução do GSM para sistemas celulares da terceira geração

Desde o final dos anos 1990, a Internet tem se tornado praticamente indispensável em todos os lugares. Pensando nisso, as indústrias de aparelhos de comunicação sem fio observaram a existência de um mercado promissor de troca de dados em aparelhos celulares [2].

A indústria, então, tomou a frente na definição de um novo padrão para comunicações móveis, o 3G, que seria baseado na troca de dados por pacotes. Três foram os padrões emergentes: CDMA2000 (evolução do IS-95, tradicional CDMA); EDGE (evolução do GSM para o espectro de frequências disponível atualmente) e o WCDMA (evolução do GSM utilizando uma portadora de 5 MHz).

A evolução do GSM para o 3G ocorre gradualmente com a adição de mais funcionalidades e possibilidades para as atuais redes GSM. Essa evolução começou com a passagem das redes GSM para 2.5G, com a introdução da tecnologia GPRS, que possibilitou a existência de interface aérea com troca de pacotes de dados e redes baseadas em *Internet Protocol* (IP). O próximo passo foi dado com a implantação do EDGE, que possibilitou triplicar a taxa de dados dos assinantes de GPRS. Isso foi possível com a adoção do esquema de modulação 8-PSK (*octogonal phase shift keying*) em adição ao existente GMSK (*gaussian minimum shift keying*). Um sinal 8-PSK consegue transportar 3 bits de informação por símbolo modulado na interface aérea, enquanto que o sinal GMSK transporta apenas 1 bit por símbolo. A Tabela 2.1 mostra a comparação entre o 8-PSK e o GMSK. A taxa de símbolos por portadora (270,833 kbps) do padrão GSM é mantida com a aplicação do 8-PSK e o

formato dos pulsos também se conserva. Entretanto, a desvantagem da utilização do sinal modulado em 8-PSK é a perda de sensibilidade, que afeta o planejamento da rede, pois altas taxas de troca de dados requerem uma relação sinal-ruído maior, que são alcançadas em áreas mais próximas das ERBs [2].

Tabela 2.1 – Comparação entre os esquemas de modulação 8-PSK e GMSK.

Esquema de Modulação	8-PSK	GMSK
Taxa de Símbolos	270,833 kbps	270,833 kbps
Número de bits/símbolo	3 bits/símbolo	1 bits/símbolo
Carga útil/Rajada	342 bits	114 bits
Taxa Bruta/Timeslot	68,4 kbps	22,8 kbps

Para a implantação do EDGE sobre uma rede GSM já instalada é preciso somente substituir os atuais rádios de transmissão e recepção (*transceivers—TRX*) da ERB por rádios que suportem o EDGE, além da implantação do novo *software* em alguns elementos da rede.

Com a constante padronização, o EDGE deverá atingir um perfeito alinhamento com o padrão WCDMA. O ponto importante do EDGE é o aumento da capacidade das redes GSM atuais, tornando-o mais competitivo possível em relação às outras tecnologias 3G.

2.3 Arquitetura do sistema móvel celular GSM

Vejamos agora alguns elementos que constituem uma rede GSM, suas principais funcionalidades e interfaces de ligação com outros elementos.

2.3.1 Estação móvel (EM)

A EM é a junção entre um aparelho telefônico móvel e o módulo de assinante (*SIM card*). A EM é o único componente da rede móvel GSM que está diretamente ligado ao assinante, e possibilita que este utilize a rede da operadora para efetuar ou receber chamadas de voz ou dados (mensagens de texto, acessos à Internet, fotos, vídeos, etc.).

A EM troca informações com a rede a fim de estabelecer e manter uma comunicação, sendo que essas informações são conhecidas como sinalização. Toda informação que trafega na interface aérea que não diz respeito ao assinante (voz e dados) é sinalização. A EM troca sinalização com a rede quando está no modo ativo (em chamada), e também quando está em modo livre (pronta para efetuar ou receber ligações). Esses são dois dos três modos possíveis para a EM junto com o modo desconectado, onde a EM está desligada [23]. Os parâmetros de cobertura que serão vistos adiante têm forte influência no modo como a EM se comporta quando está ativa ou livre.

Do ponto de vista técnico, a EM é um ponto de atenção para a rede GSM. Isso porque todas as novas funcionalidades técnicas desenvolvidas (ex: FH, DTX, controle de potência—CAP, etc.) para a rede devem ser implementadas na EM, mas de tal forma que o custo não exceda um valor que tornaria a comercialização da EM inviável [20].

A maneira mais comum de diferenciar os diversos modelos de EMs do GSM é pela classe de potência a que cada uma pertence. A Tabela 2.2 apresenta a potência de saída e a sensibilidade de alguns modelos de EM divididos por classes. A sensibilidade é definida como o mínimo nível de sinal necessário para a EM operar. Outras informações sobre a padronização que os fabricantes devem seguir para a fabricação de EMs podem ser encontradas em [24].

Tabela 2.2 – Potência de saída e sensibilidade de EMs (900 MHz) de acordo com as classes de potência.

Classe de potência	Potência de Saída (dBm)	Sensibilidade (dBm)
2	39	-106
3	37	-106
4	33	-104
5	29	-104

A EM pode ser utilizada como equipamento de teste para avaliar uma rede GSM. Alguns fabricantes disponibilizam funções adicionais que possibilitam a coleta de dados a

partir de EMs [4], [20]. As EMs podem ser conectadas a computadores pessoais e usadas em testes de campo a fim de verificar o desempenho da rede após alterações ou mesmo após a implantação de um novo serviço ou elemento de rede. Uma vez que os testes com EMs representam a imagem da QoS que o assinante tem da rede, EMs, como equipamentos de teste, são amplamente utilizados por operadoras de telefonia móvel. Geralmente, os testes com EMs em campo são chamados de *drive-test*, pois os testes são efetuados ao longo de percursos percorridos por ruas e estradas em uma determinada região.

O *SIM card* é um microchip que funciona basicamente como uma base de dados [20]. Somente chamadas de emergência (como 190 e 192) podem ser efetuadas sem a utilização de um *SIM card*. A principal função do *SIM card* é armazenar dados. Esses dados são divididos em duas categorias: dados referentes à assinatura e ao assinante. Os dados referentes à assinatura são necessários para que o assinante possa utilizar a rede GSM. Basicamente, entre esses dados estão o número telefônico do assinante, ou seja, o número que discamos para chamá-lo, o número de assinante internacional (IMSI), que é único no mundo, as chaves de segurança do *SIM card* e os dados da operadora de origem do assinante. Todas essas informações são verificadas toda vez que um assinante se registra em uma rede ou faz ou recebe ligação. Esse procedimento ocorre para evitar fraudes como a clonagem de número telefônico. Já os dados do assinante são números da agenda e demais informações que podem ser armazenados em um *SIM card*.

2.3.2 Estação rádio base (ERB)

A ERB é responsável por controlar o enlace de rádio, ou seja, o canal que a EM necessita para trocar informações com a rede. Dessa forma, a ERB é composta por diversos equipamentos, sendo que os mais importantes são os TRXs, que criam o enlace de rádio entre

a EM e a ERB, e as antenas, que transmitem e recebem os sinais eletromagnéticos através do espaço.

A maioria das ERBs utiliza estruturas verticais para a fixação das antenas, mantendo as antenas a certa altura do solo, permitindo uma propagação mais eficiente do sinal. Essas estruturas podem ser torres metálicas, postes de concreto, edifícios, etc. Entre os TRXs e as antenas são utilizados cabos metálicos para levar o sinal elétrico para ser irradiado pela antena e, no caminho inverso, levar o sinal recebido pela antena para ser decodificado pelo TRX. Nos equipamentos mais novos já existe a possibilidade de utilização de fibras ópticas, sendo que os TRXs ficam na parte superior da estrutura, enquanto os demais equipamentos ficam no solo. Geralmente, as antenas possuem um ganho de recepção que permite melhorar o nível do sinal recebido, a fim de ajudar no processo de decodificação do sinal. Também são utilizados amplificadores montados na torre para amplificar o sinal recebido na antena antes de ser enviado aos cabos, pois o sinal atinge a antena com pouca potência e no cabo o sinal sofre uma atenuação até atingir os equipamentos de recepção.

No projeto de uma ERB existem diversas variáveis físicas que influenciam na sua capacidade de tráfego e desempenho. São estas: número de portadoras; potência máxima de transmissão; sensibilidade mínima do receptor; ganho de recepção e transmissão das antenas; diversidade de recepção e tipo de diversidade (espaço ou polarização); altura das antenas em relação ao solo; distanciamento entre antenas; tipo dos cabos metálicos (atenuação, perda); utilização de amplificadores montados na torre; elevação das antenas (*tilt* mecânico e elétrico).

O custo para a implantação, operação e manutenção de uma ERB é muito alto e existem diversas normas governamentais que restringem a instalação de novas ERBs. Devido a esses, torna-se cada vez mais necessário um bom planejamento de cobertura a fim de proporcionar o máximo de cobertura possível com a menor quantidade possível de ERBs.

O enlace de rádio, que é o canal de comunicação da EM com a ERB, por utilizar o ar como meio de transmissão de sinais eletromagnéticos, também é conhecido como interface aérea (*air-interface*) [2], [20]. Essa interface será vista em detalhes mais adiante, pois é nela que se concentram os pontos mais importantes para redução da TQC, objetivo principal deste trabalho.

Cada ERB da rede GSM possui uma área de cobertura. Essa área de cobertura recebe o nome de célula. Devido à área de cobertura de uma rede GSM ser composta por uma série de células agrupadas próximas umas das outras, o sistema de telefonia móvel recebe também o nome de sistema de telefonia móvel celular, ou ainda, sistema móvel celular. A Fig. 2.1 mostra uma área geográfica de cobertura de uma operadora. Nota-se que a área total é dividida em hexágonos, onde cada um corresponde à área de cobertura de uma célula. Nessa figura, as bordas das células (limites de cada uma) se encaixam perfeitamente. Este esquema de cobertura é teórico, sendo considerado para uma primeira aproximação da área de cobertura.

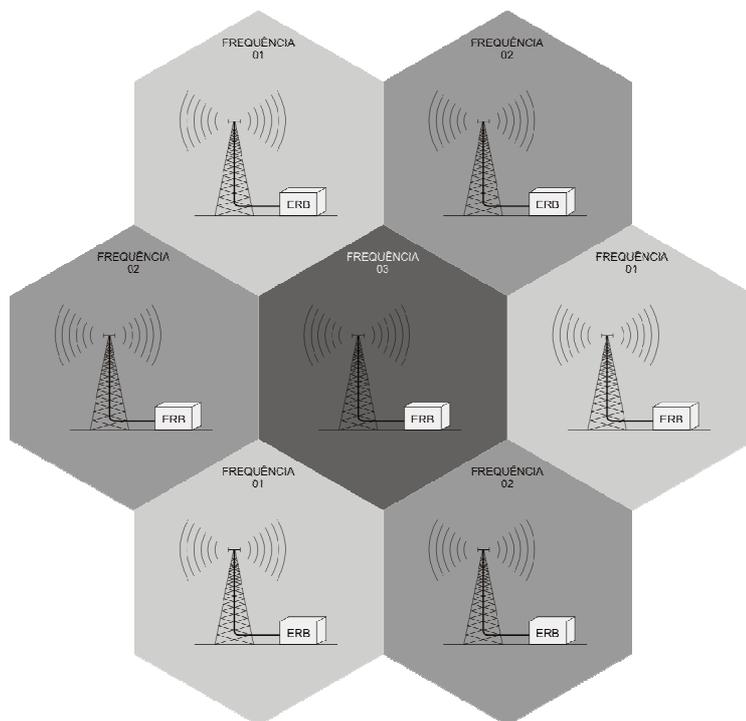


Fig. 2.1 – Cobertura da rede feita por diversas células vizinhas. Esquema hexagonal teórico utilizado para primeira aproximação.

Uma segunda aproximação pode ser vista na Fig. 2.2. Agora existem três ERBs, cada uma com uma célula. Uma EM que estiver nessa região recebe sinal de uma, duas ou até das três ERBs (área mais escura da figura).

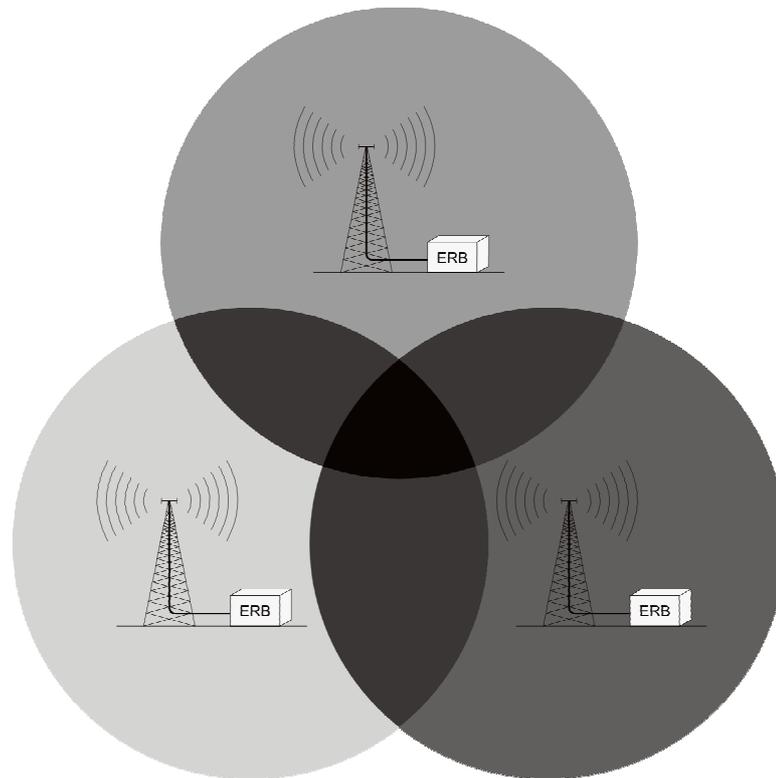


Fig. 2.2 – Cobertura da rede feita por três células. Existem áreas onde uma EM pode receber sinal de uma, duas ou até das três células. Esse esquema é mais realista do que o hexagonal e é utilizado como segunda aproximação.

Essa sobreposição de cobertura será fundamental para a prática do *handover* que será apresentada um pouco mais adiante, e ocorre pelo seguinte fato: as ondas eletromagnéticas irradiadas pelas antenas das ERBs se espalham pela interface aérea e vão sofrendo atenuação ao longo do caminho, porém, o sinal não se extingue abruptamente. Assim, a cobertura de várias células próximas umas as outras acaba por se sobrepor.

Todavia, a cobertura mostrada na Fig. 2.2 ainda não corresponde à cobertura real de uma ERB, pois o sinal eletromagnético, mesmo que seja irradiado por antenas onidirecionais

não se propaga igualmente em todas as direções, atingindo distâncias diferentes em cada direção. Isso ocorre porque existem variações na topografia do terreno que circunda a ERB que bloqueiam o sinal em certas áreas, o que causa uma deformação na área de cobertura [28].

A Fig. 2.3 ilustra parte da área de cobertura de duas células vizinhas; a borda das células é bastante irregular devido ao relevo da região de cobertura. O responsável pela cobertura da rede utiliza parâmetros de cobertura como histerese e *offset* para controlar o comportamento de uma EM que se encontra na região de borda entre duas células, a fim de que a EM esteja sempre naquela célula mais adequada para o estabelecimento de uma chamada [25].

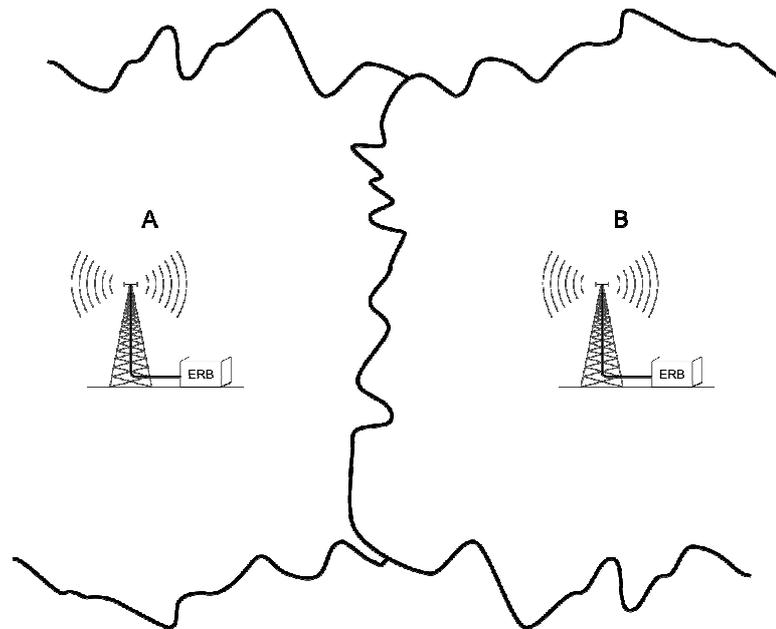


Fig. 2.3 – Borda de cobertura de duas células. O relevo acidentado deforma a cobertura das células. Esse esquema expressa com maior fidelidade a área de cobertura das células.

2.3.2.1 Área de cobertura e balanceamento de potência

Acima foi visto que a área de cobertura de uma célula pode ser representada de várias formas, com o uso de figuras geométricas, como o círculo e o hexágono. O cálculo desta área se faz por meio de modelos de previsão de cobertura como Okumura-Hata e COST 231-Walfish-Ikegami [27].

Os cálculos permitem descrever qual será a atenuação de percurso e conseqüentemente qual o raio máximo de cobertura da célula (máxima atenuação de percurso permitida). Esses modelos utilizam como entrada para os cálculos dados como: altura das antenas da ERB, altura em que a EM se encontra, distância entre EM e ERB.

Após o cálculo da área de cobertura da célula é necessário que seja efetuado o cálculo do balanceamento de potência. Este cálculo é importante para garantir que o sinal transmitido pela EM consiga ser recebido pela ERB (e o da ERB seja recebido pela EM) com um nível mínimo que garanta sua decodificação [23]. No sistema celular a necessidade de transmissão das EMs caracteriza um sistema *duplex*.

A Fig. 2.4 ajuda a ilustrar a importância do balanceamento de potência. Imagine que uma EM esteja em uma determinada área, onde existam duas ERBs. Diferentemente das figuras anteriores, nesta o círculo (centrado na EM) representa o alcance máximo do sinal emitido pela EM, e não a célula. A EM só será capaz de estabelecer comunicação com a ERB que está dentro da sua área de cobertura, isto é, dentro do raio máximo determinado pela sua potência máxima de transmissão [23].

Existem diferentes classes de EMs, sendo que cada classe possui uma potência máxima de transmissão, como foi mostrado na Tabela 2.2. Surge assim uma pergunta: por que então não fabricar EMs com potências de transmissão mais elevadas? Porque para gerar potências de transmissão mais elevadas seria necessária uma fonte de alimentação mais potente e transmissores maiores, o que inviabilizaria o conceito de aparelho portátil; porém, o item mais importante é a limitação da potência, pois as EMs estão em contato direto com seres humanos, e normas determinam a máxima potência permitida para aparelhos que estão em contato direto com seres humanos [23], [26].

Essas limitações de potência, em conjunto com as limitações de espectro de frequências disponível para a operação dos sistemas móveis, é que dão origem ao conceito de

uma área de cobertura ser dividida entre várias células. Assim, com um número maior de ERBs para cobrir uma determinada área, a potência emitida pela EM é capaz de atingir a ERB, possibilitando a comunicação móvel.

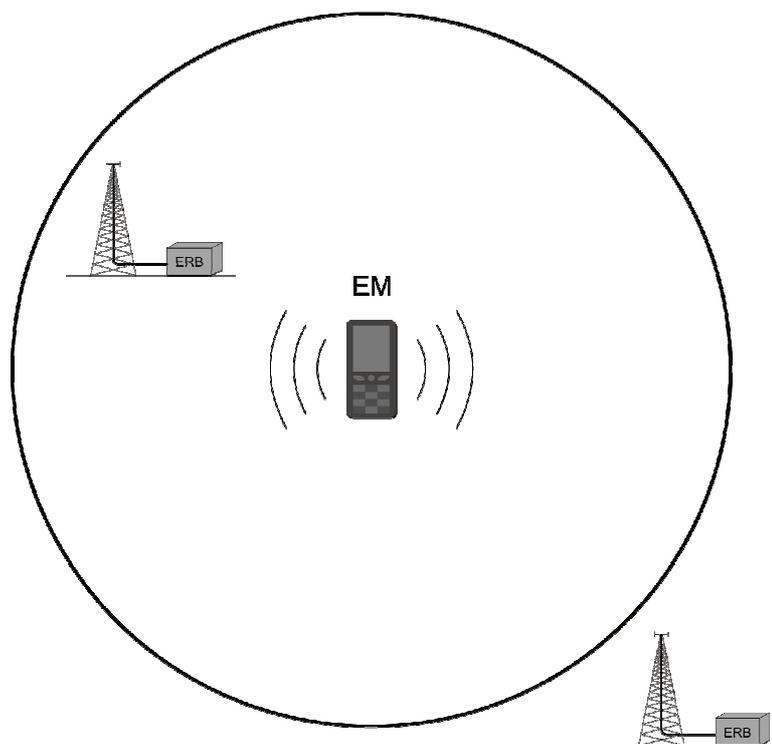


Fig. 2.4 – Alcance máximo da potência de transmissão de uma EM. A EM só consegue estabelecer comunicação com a ERB que está dentro do seu raio de alcance.

2.3.2.2 Faixa de frequência e portadoras

A telefonia móvel utiliza frequências que estão na casa de MHz e GHz. A padronização do GSM definiu quatro bandas de frequências para operação [2], [20]. Essas bandas são: 800; 900; 1800 e 1900 MHz. Dentro de cada uma dessas bandas existe uma quantidade limitada de frequências que podem ser utilizadas.

A comunicação da telefonia móvel acontece em duas direções: comunicação da ERB para EM (conhecida como enlace de descida ou *downlink*) e comunicação da EM para a ERB (enlace de subida ou *uplink*). Portanto, as quatro bandas de frequência disponíveis para o GSM devem conter frequências específicas para cada um dos dois enlaces: *uplink* e *downlink*.

A Tabela 2.3 apresenta a divisão da banda de 900 MHz no GSM que ocorre da seguinte maneira: a primeira frequência da banda é 890 MHz e a última é 960 MHz. Assim, a largura da banda é de 70 MHz. Cada portadora do GSM possui uma largura de banda de 200 kHz, permitindo que seja transportada uma quantidade limitada de informação.

Tabela 2.3 – Divisão da banda de 900 MHz no GSM.

890 MHz – 915 MHz	<i>uplink</i>
935 MHz – 960 MHz	<i>downlink</i>

Como se pode notar existe um espaçamento de 20 MHz entre a última frequência portadora do *uplink* (915 MHz) e a primeira do *downlink* (935 MHz). Essa separação é necessária para evitar interferência entre *uplink* e *downlink*. Essa interferência pode ser responsável pela perda de informações importantes. Também existe outra separação na divisão mostrada acima. A primeira portadora do *uplink* (890 MHz) está separada 45 MHz da primeira portadora do *downlink* (935 MHz).

A largura de banda do *uplink* é de 25 MHz (915 – 890 MHz), e cada portadora possui uma largura de 200 kHz. Então, temos um total de 125 portadoras. Da mesma forma, no *downlink*, temos um total de 125 portadoras. Como medida de precaução, os primeiros 200 kHz da banda de 900 MHz não são utilizados para prevenir possíveis interferências com outros sistemas celulares (ex: TDMA—acesso múltiplo por divisão de tempo, CDMA). Assim, temos então um total de 124 portadoras disponíveis para transportar informações nos dois sentidos. Como o padrão GSM foi primeiramente desenvolvido para 900 MHz, é natural que essas portadoras recebam uma numeração de 1 a 124.

Quando uma comunicação entre EM e ERB é estabelecida, significa que a EM está utilizando um dos 124 canais disponíveis. Por exemplo, se a EM está utilizando o canal de número 35 no *uplink*, a ERB deverá utilizar o canal de número 35 no *downlink*. Desta forma as frequências do canal 35 são

$$890,2 \text{ MHz} + 0,2 \times (34-1) = 897 \text{ MHz} \quad (2.1)$$

no *uplink* e

$$897 \text{ MHz} + 45 \text{ MHz} = 942 \text{ MHz} \quad (2.2)$$

no *downlink*.

Essas frequências estarão presentes, ao mesmo tempo, em todo o circuito de RF da EM e ERB. Assim, os 45 MHz de separação garantem uma boa isolamento e, conseqüentemente, evitam a interferência entre *uplink* e *downlink*.

2.3.2.3 Reuso de frequências e planejamento de cobertura

Devido à restrição de potência de transmissão da EM, as ERBs devem ser distribuídas geograficamente de forma a cobrir toda a área desejada por uma operadora. Dessa forma, as portadoras disponíveis também devem ser repartidas entre as ERBs, para que cada célula disponha de certa quantidade de portadoras.

Uma portadora pode ser compartilhada por até 8 EMs, o que garante um total de 8 chamadas simultâneas em uma célula que possua apenas uma frequência. Logicamente, com o aumento do número de assinantes da operadora e, conseqüentemente, com o número de assinantes em uma determinada área de cobertura, uma frequência por célula já não será suficiente para atender a demanda por serviços móveis. Dessa forma, novas frequências portadoras devem ser adicionadas à célula com demanda por tráfego.

Geralmente, uma operadora que opte por implantar uma rede GSM na banda de 900 MHz em uma determinada região não terá disponível para o seu uso as 124 portadoras do padrão GSM. Isso ocorre porque os órgãos reguladores de serviços de telecomunicações (ANATEL, no Brasil) arrecadam dinheiro leiloando a banda reservada para o serviço. Como o custo de aquisição dessas frequências é relativamente alto para operadoras, estas optam por adquirir apenas algumas frequências, sendo as demais adquiridas por operadoras concorrentes. Portanto, em uma determinada região apenas alguns canais podem ser

utilizados. Com a escassez de frequências disponíveis e o aumento da demanda por tráfego, a operadora deve planejar de forma a atender essa demanda e evitar a interferência entre ERBs, utilizando as mesmas frequências (interferência co-canal).

Outra técnica utilizada para aumentar a capacidade de tráfego da rede é a setorização das células. Ao invés da ERB possuir uma antena onidirecional e prover uma cobertura horizontal de 360°, a setorização divide a área da célula em duas ou três, usando antenas com abertura horizontal com angulação de 90° a 120°. Desse modo, as frequências podem ser reutilizadas em ERBs vizinhas, evitando a interferência co-canal.

2.3.3 Controladora de estações rádio base (BSC)

Durante o processo inicial de padronização do GSM, as funções relacionadas com o enlace de rádio foram destinadas a serem incluídas no centro de comutação de serviços móveis (MSC) [2], [20]. Porém, devido ao crescente aumento da complexidade da rede de acesso de rádio, as funções de rádio necessitaram de um controle mais dedicado. Devido a esse fato, um novo elemento de rede foi criado: a BSC [20], [23]. A BSC tem como função principal o controle das ERBs.

A Fig. 2.5 mostra uma região de cobertura de uma operadora definida pela cobertura das quatro células existentes. Na figura, existe uma EM sob cobertura da célula A. A ligação entre a ERB e a BSC ocorre por meio da interface Abis, que utiliza um ou mais canais com codificação PCM (modulação por código de pulso) de 32 canais, com uma taxa de 2,048 Mbps. A ligação entre a BSC e a MSC ocorre por meio da interface A, que também utiliza a mesma configuração da interface Abis.

No Capítulo 4, será mostrado que a BSC possui contadores de tráfego que coletam as informações sobre o tráfego e sobre o comportamento das EMs, que é a base de dados para realização deste trabalho.

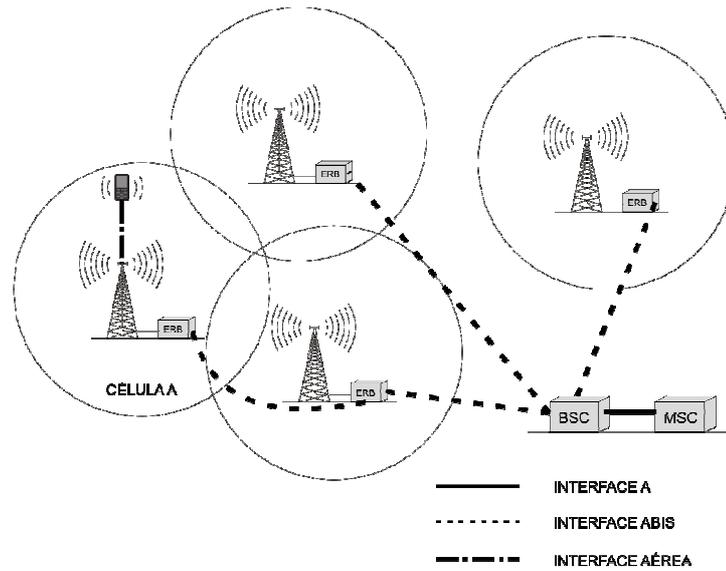


Fig. 2.5 – BSC interligada à MSC e controlando 4 ERBs. Destaque para as interfaces de ligação dos elementos de rede.

2.3.4 Sistema de comutação (SS)

As ERBs e a BSC são elementos de rede que constituem o sistema de estação base (BSS). A principal função desse sistema é fornecer a cobertura de rádio da rede. Para formar a rede GSM, o BSS precisa estar interligado ao sistema de comutação. O SS também recebe o nome de *core* (núcleo). O SS é semelhante ao sistema encontrado na telefonia fixa, e sua função principal é comutar as chamadas. A Fig. 2.6 mostra a arquitetura geral da rede GSM.

2.3.4.1 Central de comutação móvel (MSC)

A MSC, no sistema de telefonia fixa, recebe o nome de central de comutação e controle (CCC), pois na telefonia fixa todos os aparelhos telefônicos estão diretamente ligados à CCC, e esta tem a função de controlar os assinantes e comutar as chamadas. Já no GSM, as MSCs não estão ligadas diretamente às EMs, mas existe um elemento responsável pelo controle das EMs, a BSC. Portanto, a MSC tem como função principal a comutação de chamadas. A comutação pode ser mais bem entendida quando se analisa uma EM na rede GSM originando e recebendo uma ligação.

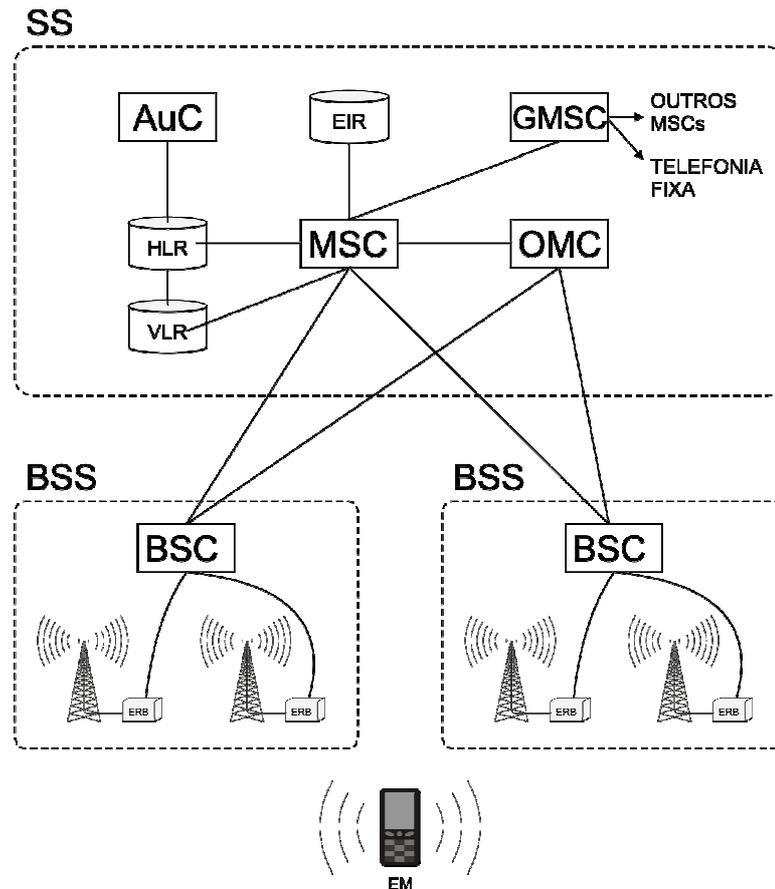


Fig. 2.6 – Arquitetura da rede GSM mostrando o BSS e, na parte superior, o SS.

- EM originando uma chamada:** supondo que o assinante esteja em uma área com cobertura de uma operadora GSM e deseje originar uma chamada, ele discar o número. A Fig. 2.7 mostra o processo de troca de sinalização entre os elementos da rede, a fim de atender a solicitação do assinante. A EM envia uma mensagem para a ERB (*channel request*) que, por sua vez, repassa a informação para a BSC (*channel required*), informando que a EM requisitou um canal na interface aérea para troca de sinalização. A BSC ordena (*channel activation*) que a ERB ative um canal para troca de sinalização. A ERB responde a solicitação da BSC (*channel activation acknowledge*) e informa a EM qual canal deve ser utilizado (*immediate assignment*). A EM em seguida, utiliza o canal preestabelecido e envia uma mensagem (*SABM*, não mostrada na figura), sinalizando qual o tipo de serviço quer acessar (nesse caso,

originar uma chamada) e informa qual o número do assinante que deseja chamar (assinante B). A ERB recebe a sinalização e envia a mensagem (*establish indication*) para a BSC, que repassa uma mensagem (*sccp connection request*) para a MSC [20], [23]. A MSC verifica, por meio do número informado, para onde ela deve encaminhar a solicitação do assinante. Por exemplo, se o assinante B estiver na mesma área atendida por esta MSC, ele encaminha a solicitação para este, pois ela sabe em qual área de localização (LA) o assinante está. A LA é definida pela operadora e é composta por um conjunto de células. A informação da LA em que cada assinante está fica armazenada no registrador de localização de visitante (VLR), em conjunto com outros dados necessários para que o assinante utilize a rede. Se o assinante B não estiver na área compreendida por essa MSC, então ele direciona a solicitação para uma rede móvel ou para uma rede fixa, através do *gateway* (GMSC), que é a conexão dessa MSC com redes externas. Portanto, a comutação efetuada pela MSC conecta o assinante que está sob sua cobertura com outro assinante, que pode ou não estar sob sua área de cobertura.

- **EM recebendo uma chamada:** quando uma MSC recebe a solicitação de outra MSC ou dela própria informando que existe uma chamada para uma EM que está sob sua cobertura, ela inicia o processo de sinalização com a EM procurada por meio de uma mensagem de busca (*paging*) enviada para a BSC em que a EM se encontra. Para isso, a MSC consulta o VLR para verificar em qual LA o assinante está. A MSC comunica à BSC qual a EM e onde ela está. A BSC envia a todas as LAs uma mensagem de busca (*paging command*) indicando à EM que esta deve iniciar a comunicação com a rede, a fim de receber uma chamada. A partir da resposta da EM ao *paging request*, o

processo é semelhante ao descrito anteriormente para originar a chamada. A Fig. 2.8 mostra o processo de sinalização para a busca da EM.

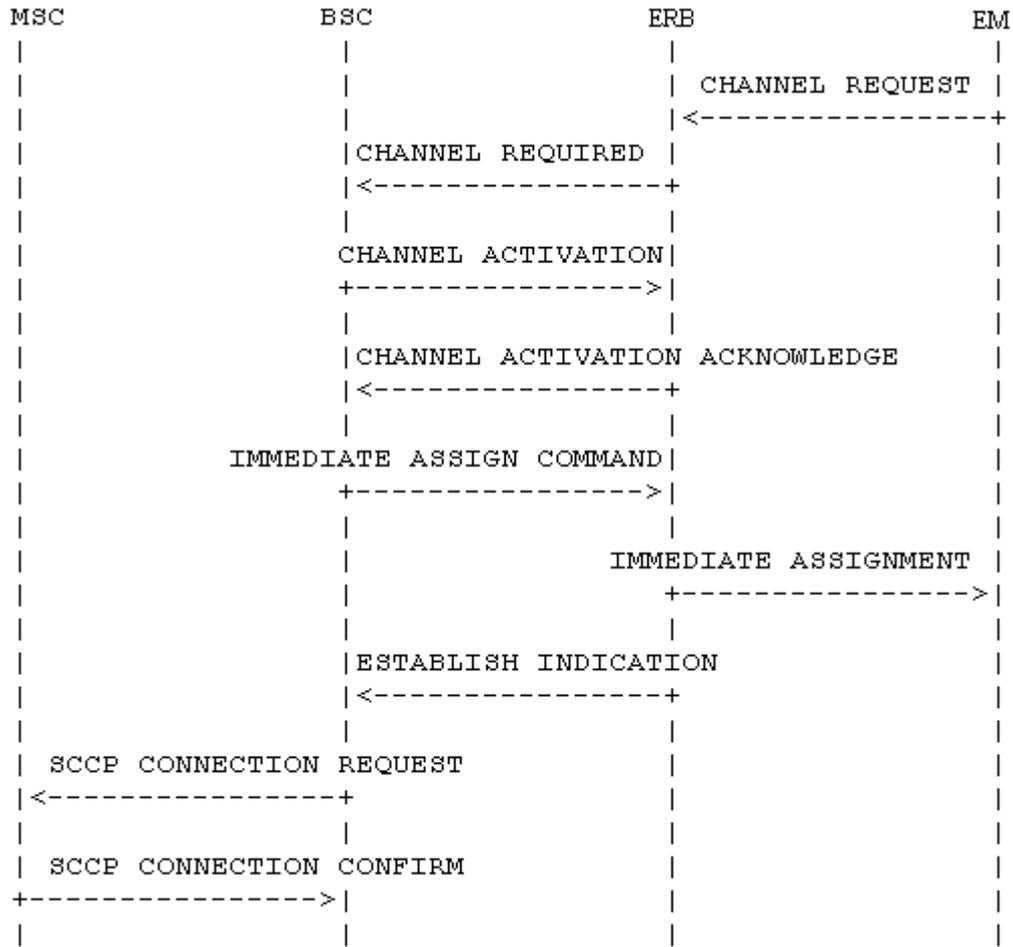


Fig. 2.7 – Troca de sinalização entre os elementos da rede para a origem de uma chamada.

2.3.4.2 Registrador de localização de origem (HLR)

A função deste elemento de rede e a do VLR é bastante semelhante, sendo que o VLR armazena apenas parte dos dados de assinantes que estão presentes naquele instante sobre a área de cobertura da MSC a que o VLR está conectado. Já o registrador de localização de origem (HLR) é uma base de dados centralizada da rede, que armazena e gerencia todas as assinaturas da rede móvel pertencentes a uma operadora. Devido à grande quantidade de assinantes, uma rede GSM pode ter vários HLRs para distribuição de carga [23].

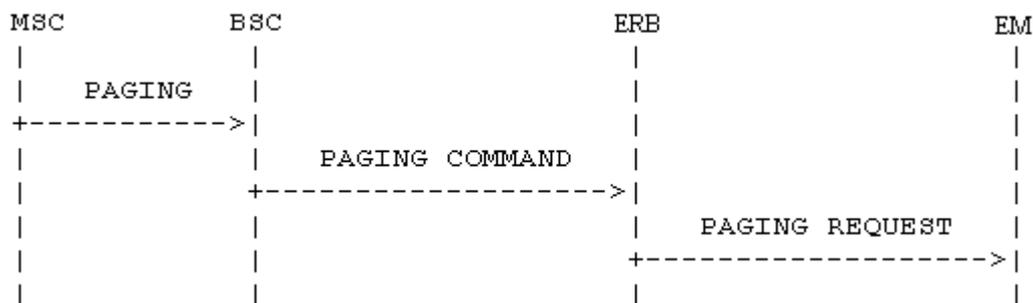


Fig. 2.8 – Troca de sinalização entre os elementos da rede para o recebimento de uma chamada.

O HLR é um banco de dados permanente para a informação de assinatura até que esta seja cancelada. O HLR armazena informações como identidade do assinante (número telefônico), perfil de serviços disponíveis para o assinante (se este pode acessar serviços como caixa postal, Internet), informação de localização do assinante (sob a área de cobertura de qual MSC a EM se encontra) e informação de autenticação (chaves digitais utilizadas para autenticação do assinante). Quando uma EM é ligada, ela inicia o processo de comunicação com uma rede GSM. Para que esta EM consiga se registrar na rede e possa utilizar os serviços, a MSC/VLR, por meio de informações fornecidas pela EM (IMSI), sabe qual HLR deve consultar para obter uma cópia de alguns dados do assinante que são necessários para decidir se ele pode ou não se registrar naquela rede e utilizar os serviços disponíveis. Desta forma, os HLRs de todas as redes GSM do mundo que possuem acordo de *roaming* devem ser capazes de se comunicar. Para isso, eles possuem um número telefônico que pode ser acessado por qualquer HLR que conheça esse número.

2.3.4.3 Registrador de identidade do equipamento (EIR)

O EIR é uma base de dados responsável por armazenar as informações de identidade da EM que torna possível bloquear chamadas de EMs perdidas, não autorizadas ou com defeito. Devido à separação da EM e *SIM card*, o bloqueio da EM não resulta no bloqueio

automático de um assinante. Dessa forma, se a EM do assinante for roubada ou perdida, ele pode adquirir uma EM nova e um novo *SIM card* com os seus dados de assinatura e utilizar novamente a rede. Se todas as operadoras possuíssem um EIR e estes estivessem interligados, todas as EMs que fossem roubadas não poderiam ser utilizadas em áreas de outras operadoras.

2.3.4.4 Centro de autenticação (AuC)

O AuC tem como função principal autenticar os assinantes que tentam utilizar uma rede. É usado para proteger as operadoras de rede contra fraude. O AuC é uma base de dados conectada ao HLR que fornece a este os parâmetros de autenticação e as chaves de cifragem utilizadas para garantir a segurança da rede.

2.3.4.5 Centro de operação e manutenção (OMC)

O OMC é um centro de monitoração computadorizado que é conectado aos elementos da rede GSM via enlaces de rede de dados (X.25, IP). O OMC recebe informação sobre status da rede e pode monitorar e controlar uma variedade de parâmetros e alarmes da rede.

Capítulo 3 Interface aérea

3.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo detalhar a interface aérea, uma vez que a redução da TQC, enfoque deste trabalho, ocorre principalmente nessa interface. Neste capítulo será mostrado como as ondas eletromagnéticas são utilizadas para levar informação e sinalização entre a EM e a rede. Serão vistos alguns dos principais problemas encontrados na propagação de ondas eletromagnéticas por meio do ar e algumas técnicas utilizadas para corrigir os erros provenientes desses problemas.

3.2 Troca de sinalização entre elementos de rede

Na Seção 2.3.4.1, foi visto que a rede necessita constantemente trocar informações entre seus diversos elementos para que a comunicação dos assinantes se torne possível. A MSC troca sinalização com a EM, porém, entre esses existem elementos (BSC e ERB), que devem, de forma transparente, repassar as informações [20], [23]. No entanto, as interfaces utilizadas para a troca de sinalização entre ERB e BSC (interface Abis), entre BSC e MSC (interface A), e entre ERB e EM (interface aérea) não usam o mesmo padrão (protocolo). Desse modo, muitas vezes uma mensagem que seria transparente para um determinado elemento, deve ser processada de tal forma que o cabeçalho utilizado em uma interface seja retirado e outro cabeçalho específico à nova interface seja acrescentado. Muitas vezes, também, o tamanho útil para transporte de informação entre elementos não é suficiente, ocorrendo uma partição da informação em diversos blocos consecutivos.

O padrão utilizado na interface aérea é o LAPDm (*link access protocol D-channel*, na qual “m” significa modificado) [20]. Este padrão deriva do padrão LAPD usado na interface Abis, e foi modificado para que a retirada de cabeçalhos não utilizados para comunicação entre EM e ERB permitissem que um número maior de informações necessárias pudesse

trafegar por essa interface. A única padronização específica do GSM que não segue o padrão OSI Reference Model (*open system interconnection*) é o LAPDm. As demais interfaces (Abis, A, etc.) utilizam padrões já conhecidos (canal comum nº 7, LAPD).

O padrão OSI Reference Model nada mais é do que a separação e a padronização dos diversos cabeçalhos. Assim, por exemplo, uma mensagem 10101011 11100111 00101110 01101110 transmitida pela MSC com destino a EM, possui três camadas: a camada de endereçamento (10101011); a camada de início de informação (11100111) e a camada com as informações úteis (00101110 01101110).

3.3 Processo de transmissão do GSM

3.3.1 Conversão analógica digital

A função principal da EM é a conversão da informação analógica para um formato que seja capaz de ser transmitido digitalmente. O processo de conversão analógica para digital (A/D) gera um conjunto de bits a partir da entrada do sinal analógico (voz). A conversão A/D utiliza um processo de PCM. Esse processo envolve três etapas: amostragem, quantização e codificação.

Em telecomunicações, a frequência de amostragem adotada é 8 kHz, o que satisfaz a teoria da amostragem. A quantização atribui um valor a cada amostra. Para isso, a amplitude do sinal no momento da amostragem é medida e aproximada para um entre um conjunto de valores. Esse processo introduz um erro, que diminui conforme aumentam os níveis de quantização. Na telefonia fixa são utilizados 256 níveis, já o GSM utiliza um total de 8.192 níveis [23].

A codificação é a conversão dos valores quantizados em bits. Cada valor quantizado é representado por um código binário de 13 bits ($2^{13}=8192$). Assim, por exemplo, um valor quantizado de 2.107 será representado por 0 1000 0110 1101.

O resultado das etapas anteriores é: 8.000 amostras por segundo multiplicadas por 13 bits resulta 104 kbps. Como mencionado anteriormente, uma portadora é compartilhada por 8 EMs simultaneamente, portanto $8 \times 104 \text{ kbps} = 832 \text{ kbps}$. Essa taxa não é suportada pela largura do canal de 200 kHz adotado no GSM com a modulação GMSK. Portanto, a taxa de bits resultante do processo de conversão A/D deve ser reduzida para que possa ser transmitida em um canal do GSM. O processo utilizado é segmentação e codificação [23].

No GSM, o processo de codificação de voz analisa as amostras de conversação e gera parâmetros como tom, duração do tom e ritmo. A EM que recebe o sinal recompõe a conversação com base nesses parâmetros [23]. Por essa razão, a conversação no GSM é baseada em bloco de 20 ms, codificado em um conjunto de bits. Como resultado, temos uma similaridade com a amostragem de conversação a uma taxa de 50 vezes por segundo ao invés de 8.000 usada pela conversão A/D. Em vez de serem utilizados 13 bits por amostra na conversão A/D, a codificação de voz no GSM utiliza 260 bits. Assim, 50 vezes por segundo multiplicado por 260 bits resulta em 13 kbps.

3.3.2 Codificação do canal

As etapas anteriores tratam somente da transformação da voz em bits. Os próximos processos tratam de proteger estes bits para que possam ser enviados via interface aérea e que, caso sofram problemas, ainda possam ser recuperados. A codificação do canal no GSM utiliza os 260 bits da codificação da conversação como entrada para a codificação do canal, gerando, na saída, um total de 456 bits codificados. Esses bits adicionais acrescentados por um codificador convolucional permitem a correção de erros quando a mensagem for recebida.

3.3.3 *Interleaving*

A entrada para a etapa do *interleaving* são os 456 bits provenientes da codificação do canal. Esses 456 bits são divididos em 8 blocos de 57, sendo que o bloco 1 contém os bits 1, 9, 17, até 449; o bloco 2, os bits 2, 10, 18, até 450, e assim por diante até o bloco 8, que contém os bits 8, 16, 24, até 456. Em uma rajada cabem 2 blocos de 57 bits.

A saída do *interleaving* gera um quadro contendo dois blocos, sendo um bloco proveniente dos oito blocos anteriores e outro do próximo intervalo de 20 ms. No caso de perda de uma rajada, a taxa de erro de bit (BER) será 1/8 ou 12,5%. Esse processo gera um atraso porque a EM necessita aguardar pelo próximo bloco para remontar a informação contida em 20 ms. No entanto, agora a perda de uma rajada é totalmente aceitável, pois, no máximo, o decodificador pode suportar 12,5% de BER para remontar a informação recebida [20], [23].

3.3.4 **Cifragem e criptografia**

O objetivo do processo de Cifragem e Criptografia é a proteção das informações transmitidas para que possam ser interpretadas somente pelo receptor de destino. O GSM utiliza o algoritmo de cifragem A5 [20]. Esse algoritmo não acrescenta bits à rajada, ou seja, a entrada e saída desse processo possuem 456 bits para cada 20 ms [23].

3.3.5 **Formatação da rajada**

Além da informação útil, uma rajada transmitida via interface aérea deve conter bits de sinalização. O processo de formatação da rajada é o acréscimo desses bits aos bits provenientes das etapas anteriores, provocando aumento na taxa global de bits. Aos 456 bits vindos da cifragem são acrescentados 136 bits por bloco de 20 ms, resultando em 592 bits.

Entretanto, cada *timeslot* (TS) do quadro TDMA tem duração 0,577 ms, possibilitando a transmissão de 156,25 bits (1 bit a cada 3,7 μ s). Mas, desses 156,25 bits, apenas 148 servem para transportar informação (sinalização e voz). Assim, temos 625 bits por bloco de 20 ms. Como existem 8 assinantes por portadora, o total é 270,8 kbps. O próximo objetivo é entender como esses 8 assinantes compartilham os 270,8 kbps.

O GSM padronizou que uma portadora seria compartilhada por 8 assinantes. Porém, diferentemente do que ocorre no padrão CDMA, onde todos os assinantes que utilizam uma mesma portadora transmitem ao mesmo tempo, no GSM cada um transmite em um intervalo determinado. Este é o método TDMA. Como as frequências das bandas definidas no GSM também são divididas em vários canais, temos, em conjunto com o TDMA, o método de acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA). Portanto, o padrão GSM possui uma mescla de métodos de acesso: FDMA e TDMA. O padrão IS-95 definiu como método o CDMA, onde cada assinante recebe um código e suas transmissões são identificadas entre as demais por meio da decodificação deste código [2], [20]. A Fig. 3.1 mostra o quadro TDMA dividido em 8 TSs.

TS 0	TS 1	TS 2	TS 3	TS 4	TS 5	TS 6	TS 7
------	------	------	------	------	------	------	------

Fig. 3.1 – Quadro TDMA da interface aérea. TS: intervalo de tempo utilizado pelas EMs.

Cada rajada enviada pela EM ou pela ERB dura 577 μ s. Portanto,

$$\frac{1 \text{ s}}{577 \mu\text{s}} = 1733,1. \quad (3.1)$$

Como cada rajada contém um total de 156,25 bits. Então,

$$1733,1 \times 156,25 = 270797, \quad (3.2)$$

ou 270,8 kbps. Dividindo por 8 assinantes, resulta em 33,84 kbps. O número de rajadas que cada EM transmite é:

$$\frac{1733,1}{8} = 216,63. \quad (3.3)$$

Assim, cada EM transmitirá 216 vezes por segundo, com taxa 33,84 kbps, resultando em um canal GSM com uma taxa de transmissão de 270,8 kbps. A partir disso, a rajada está pronta para o envio e o próximo passo é a modulação.

3.3.6 Modulação de sinais

O esquema de modulação GMSK permite que em uma portadora do GSM, que possui largura de banda de 200 kHz, sejam transportados 270 kbps, que corresponde à taxa de 1,35 bit por Hz. Essa taxa é baixa quando comparada a outros padrões móveis digitais. Entretanto, o GMSK oferece maior tolerância a interferências que ocorrem na interface aérea. O GMSK pertence ao grupo de esquemas de modulação em frequência e é uma classe da modulação MSK (*minimum shift keying*), pois o sinal modulado de saída depende do sinal de entrada (trem de bits) de tal forma que os bits 0 e 1 são representados pela alteração da frequência do sinal modulado entre duas frequências [2], [20].

3.4 Propagação de sinais na interface aérea

O estudo da propagação do sinal de RF ao longo da interface aérea é bastante complexo, pois o sinal transmitido em ambas as direções (*uplink* e *downlink*) está exposto à combinação de vários fenômenos de propagação (atenuação de percurso, difração, reflexão) antes que o sinal atinja as antenas receptoras [29]. A seguir, veremos alguns problemas que podem ocorrer durante a transmissão de um sinal de rádio na interface aérea.

3.4.1 Análise do enlace de rádio

A relação sinal-ruído (*carrier-to-noise*, C/N) é uma figura de mérito para sistemas de comunicação [29] e é dada por:

$$\frac{C}{N} = \frac{(ERP)L_p G_r}{N} \text{ dB}, \quad (3.4)$$

na qual ERP é a potência efetivamente irradiada a partir da antena de transmissão, L_p é a atenuação de percurso (*path loss*), G_r é o ganho da antena de recepção e N é a potência efetiva de ruído.

ERP é calculada por:

$$ERP = P_t L_c G_t, \quad (3.5)$$

na qual P_t é a potência na saída do transmissor, L_c é a perda no cabo entre o amplificador e a antena de transmissão e G_t é o ganho da antena de transmissão.

A potência de ruído térmico é [29]

$$N = kTW, \quad (3.6)$$

na qual k é a constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ W/Hz/K ou -228,6 dB W/Hz/K), T é a temperatura de ruído do receptor e W é a largura de banda do sistema.

Os parâmetros acima estão sob o controle do projetista do sistema e podem ser alterados para otimizar o desempenho do sistema.

Além de C/N, existe outra relação importante: é a relação sinal-interferência (*carrier-to-interference*, C/I). Ela difere de C/N, pois o denominador de C/I inclui não somente a potência do ruído térmico, mas também a potência da interferência de outras fontes. Em comunicações móveis, C/I é mais comumente utilizada porque considera efeitos interferentes.

3.4.2 Atenuação de percurso (*path loss*)

Um sinal de rádio transmitido via interface aérea é atenuado ao longo do caminho de propagação [23], [29]. Existem vários modelos de propagação para a predição da atenuação de percurso. Esses métodos diferem entre si, mas todos têm como fator crítico a distância entre a antena transmissora e a receptora. Dessa forma, a atenuação de percurso é fortemente

dependente dessa distância. Os modelos de predição mais utilizados são os de espaço livre, modelo de Lee e modelo de Hata [29].

3.4.3 Alinhamento de tempo

O compartilhamento de uma frequência entre 8 EMs em uma célula torna necessário que uma condição fundamental seja obedecida. A informação transmitida pela EM dentro de um TS deve chegar à ERB dentro daquele TS específico. O problema de alinhamento de tempo ocorre quando parte da informação transmitida pela EM não chega dentro do TS alocado. Ao invés disso, parte da informação chega durante o próximo TS e pode interferir na informação de outra EM que utiliza o TS adjacente [23]. O problema do alinhamento de tempo se agrava conforme a distância entre EM e ERB aumenta, conforme ilustra a Fig. 3.2.

Para a EM foi alocado o TS 5. Quando a EM está próxima da ERB, a informação chega no instante exato. Porém, quando a EM se desloca para uma região mais distante da ERB, a rajada atinge a ERB fora do TS 5, invadindo o TS 6 e causando interferência intersimbólica na recepção da EM que utiliza o TS 6 [23].

3.4.4 Interferência

Para uma boa recepção e conseqüente decodificação das informações que trafegam pela interface aérea, o receptor deve receber um sinal com alta C/N. Devido ao reuso de frequências, a potência da portadora recebida deve ser suficientemente elevada para compensar o ruído e a interferência, $C/(N+I)$ ou apenas C/I , devendo exceder certo limiar no receptor [27].

A interferência é bastante dependente de quão próximo é o reuso de frequência (distância entre células com a mesma frequência portadora), da carga de tráfego da rede, da porcentagem de área coberta, e de qual dos enlaces está sendo considerado (*uplink* ou *downlink*) [27].

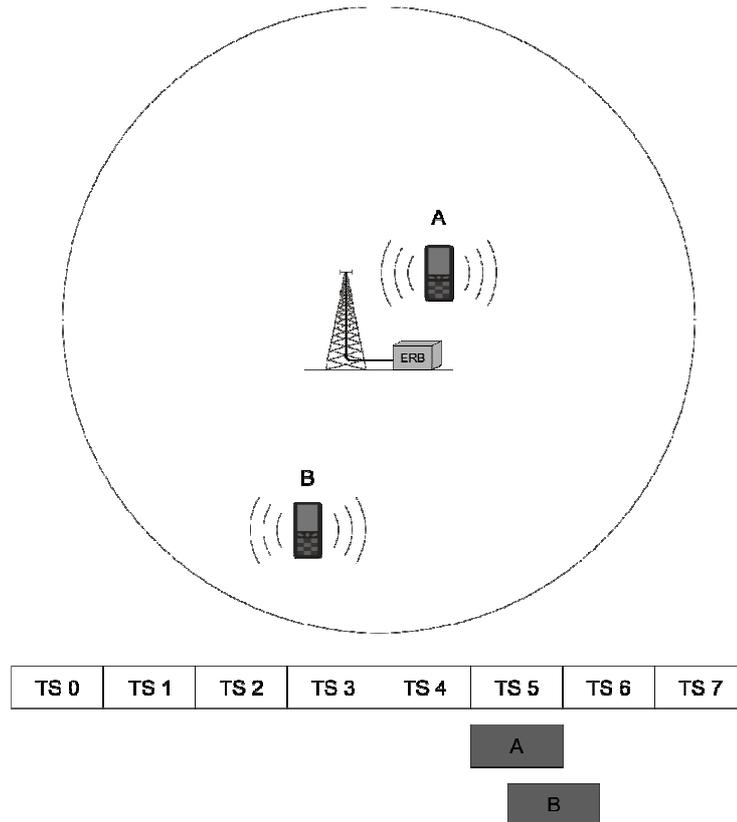


Fig. 3.2 – Problema de alinhamento de tempo. Quando a EM está em A, a rajada chega no tempo exato. Quando a EM está em B a rajada não se encaixa perfeitamente no TS.

3.5 Solução para os problemas de transmissão

Esta seção apresenta algumas técnicas utilizadas para minimizar o efeito dos problemas supracitados, uma vez que a completa solução muitas vezes não é possível ou é inviável. O objetivo dessas técnicas é manter uma qualidade aceitável para a manutenção de uma chamada em curso.

3.5.1 Multi taxa adaptiva (AMR)

A qualidade de um sinal transmitido digitalmente é geralmente expressa em termos de quantos dos bits recebidos estão corretos. A BER define o percentual do número total de bits recebidos que foram detectados corretamente. A codificação de canal é utilizada para detectar e corrigir erros em uma rajada de bits recebidos. Para isto, existe um acréscimo de bits a uma mensagem, sendo que por meio desses bits é possível que o decodificador na recepção

determine se a mensagem possui bits com falha, e permitindo também a correção dos bits errados. Uma das técnicas mais utilizadas nas redes GSM atuais para a codificação do canal é a multi taxa adaptiva (*adaptive multi rate*—AMR). Vejamos como funciona esta técnica.

A quantidade de codificação de canal pode ser variável e depende da configuração da rede GSM. Este é o princípio do AMR: variar a quantidade de bits utilizados para a codificação do canal.

No processo de digitalização, a voz passa pelo *vocoder*, que transforma os sinais contínuos em uma seqüência de bits com taxa de 13 kbps. O AMR permite que a voz não utilize totalmente essa taxa de 13 kbps, mas que uma parte desses seja utilizada como bits para codificação do canal. Para isso, o AMR possui um conjunto de *vocoders* diferentes (com taxas diferentes) que, junto com a codificação do canal, foi otimizado para diferentes ambientes de rádio. O sistema é capaz de medir a C/I e definir qual o melhor *vocoder* a ser utilizado para que a conversação mantenha uma qualidade aceitável. A possibilidade de variação da quantidade de codificação dependendo da C/I torna o canal mais robusto em relação à BER. Com a adoção do AMR, o reuso de frequências pode ocorrer em distâncias menores por causa da menor BER [2], [23].

Existem oito diferentes *vocoders* no AMR, com as seguintes taxas de voz (em kbps): 12,2; 10,2; 7,95; 7,40; 6,70; 5,9; 5,15 e 4,75. Durante uma chamada, se a C/I estiver muito baixa, o que indica que as condições não são boas, o sistema define que é necessária a utilização do *vocoder* com taxa 5,9 kbps. Se após alguns instantes as condições melhorarem, com o aumento na C/I, a BSC avisa a EM e a ERB que elas devem mudar para o *vocoder* com taxa 10,2 kbps. Para que se tenha uma idéia de como o AMR é eficaz, com uma C/I de 3 dB, o que é extremamente baixa, o AMR em taxa plena com *vocoders* de 4,75 kbps, é capaz de atingir uma taxa de apagamento de quadro (FER) menor do que 1%. Para atingir o mesmo

valor de FER, um *vocoder* de taxa estendida (*enhanced full rate*) precisaria de uma C/I de 8,5 dB [2].

3.5.2 Diversidade de recepção

A diversidade de recepção é um conceito segundo o qual todo o caminho de recepção é dotado de equipamentos duplicados [20]. Assim, na ERB temos o uso de duas antenas de recepção, dois cabos, dois amplificadores montados na torre e outros equipamentos envolvidos na recepção do sinal. Dessa forma, o sinal que atinge a ERB passa por dois caminhos de recepção independentes e serão utilizados para que o melhor, em termos de desempenho entre eles, seja escolhido. No caso de diversidade espacial, quando o sinal de uma via sofre degradação existe a probabilidade de que o sinal da outra via não seja degradado. Assim, o receptor demodula ambos os sinais e, após processamento em banda básica, decide qual o melhor sinal. A diversidade de recepção é utilizada somente no *uplink* no GSM, pois, como a potência de transmissão da EM é mais baixa, a transmissão nesse sentido é desfavorável e novas técnicas foram necessárias para compensar esse fato [28].

3.5.3 *Frequency hopping* (FH)

O FH aumenta a descorrelação de *fading* entre as rajadas que compõem cada quadro TDMA. Isso ocorre devido aos diferentes perfis de *fast fading* em diferentes frequências [2]. Se a descorrelação aumenta, a eficiência da codificação do canal aumenta também. A frequência da EM é alterada somente de quadro para quadro TDMA, ou seja, a cada 8 vezes 577 μ s, sendo que o tempo para que a EM se adapte à nova frequência é 7 vezes 577 μ s. Já a ERB deve alterar sua frequência de rajada para rajada, ou seja, em um quadro TDMA a ERB altera 8 vezes a frequência de transmissão.

3.5.4 *Time advance (TA)*

Cada rajada é formada por 148 bits e mais alguns bits responsáveis pelo tempo de guarda do TS, o que evita a interferência entre rajadas de diferentes TSs. Com o aumento da distância, o atraso na propagação deve ser considerado. A EM deve adiantar sua rajada com o tempo que é informado pela ERB, o TA. O valor do TA é dinâmico e a EM é informada por meio do canal SACCH (canal de controle associado lento). A ERB também envia a informação de TA para a BSC junto com a mensagem de *MEAS RES* [20].

Com o uso do TA, a rajada proveniente da ERB atingirá o seu TS no instante correto. A ERB calcula o primeiro valor de TA quando a EM envia uma solicitação de canal para troca de sinalização por meio do canal RACH (canal de acesso aleatório). O TA pode ser qualquer número inteiro entre 0 e 63, relacionado com as distâncias entre 0 e 35 km, com passos de 550 m ($35 \text{ km}/63 = 550 \text{ m}$). Com relação ao tempo, os valores variam de 0 a 232 μs ($63 \times 3,7 \mu\text{s} = 233 \mu\text{s}$). Assim, uma rajada pode ser adiantada em até 233 μs .

3.6 Canalização e rajadas

Nas bandas de 900 e 1800 MHz existem 124 e 374 frequências, respectivamente, e cada um desses canais é dividido no tempo em quadros TDMA de duração 4,615 ms com 8 TSs. Cada TS pode ser alocado para uma EM sendo um canal de voz (TCH) com taxa plena (*full-rate*—FR) ou para duas EM com meia taxa (*half-rate*—HR) ou, ainda, para canais de controle [2]. Os dados transmitidos em um TS são chamados de rajadas (*burst*). Existem cinco tipos diferentes de rajadas: normal, de acesso, de correção de frequência, de sincronização e vazia. O formato e a informação contida em cada um desses tipos de rajadas dependem do tipo de canal a que cada uma pertence [2].

3.6.1 Rajadas

Quando um canal FR é alocado para uma EM, esta envia suas rajadas em todos os quadros TDMA com um período de 4,615 ms entre uma rajada e outra. Se a EM utiliza um canal HR, o tempo dobra, ou seja, a EM envia rajadas de 9,23 ms, pois as rajadas ocorrem em quadros TDMA intercalados. O período de transmissão dos dados é 148 bits ou 542,8 μ s. No total, o tempo de uma rajada é 577 μ s até que a próxima se inicie. Essa diferença de 8,25 bits ou 34,2 μ s (período de guarda) serve para que a potência da rajada seja reduzida em 70 dB, para que não haja interferência na próxima rajada.

Essas restrições se aplicam tanto para *uplink* como para *downlink* e determinam o máximo número de bits que uma EM pode transmitir ou receber em cada rajada. A taxa de bits da rede é de 114 bits por rajada e não 156,25. Esse número reduzido de bits é resultado do mapeamento das rajadas físicas em rajadas lógicas [20]. As rajadas físicas necessitam de bits para fins de administração, o que reduz o espaço disponível para sinalização e dados úteis.

As diferentes funções entre os cinco tipos de rajadas são as seguintes [20]:

- Rajada normal: é utilizada para quase todas as transmissões de dados. As exceções são para a requisição de canal feita pela rajada de acesso, e a sincronização que utiliza a rajada de sincronização. A rajada normal trafega no TCH, nos canais dedicados (DCH) e canais de controle (CCH).
- Rajada de sincronização: utilizada para o envio do canal de sincronização (SCH). Como a seqüência de instruções da rajada de sincronização é igual para todas as ERBs, a EM pode distinguir entre uma ERB do GSM e outra transmissão qualquer que utilize a mesma frequência. Esse é um dos propósitos desta rajada e o outro é a detecção de erros.
- Rajada de acesso: essa rajada é utilizada pela EM para o acesso inicial a uma ERB, que se aplica para requisitar um canal para troca de sinalização (Fig. 2.7, *channel request*) e *handover* (envio de sinalização para ERB de destino). Em ambos os casos, a EM não sabe

qual o TA a ser utilizado e, devido ao atraso na propagação, uma rajada normal provavelmente não caberia no TS. Assim, a rajada de acesso possui 77 bits, sendo 41 de sincronização e 36 bits de informação de acesso, com tempo de guarda equivalente ao período de 68,2 bits.

- Rajada de correção de frequência: essa rajada possui um formato mais simples do que as demais e é transmitida somente no canal FCCH (canal de correção de frequência). Todos os 148 bits são codificados em 0. Essa seqüência, quando colocada na entrada de um modulador GMSK, produz uma transmissão com frequência 67,7 kHz acima da frequência central da portadora do canal de controle (BCCH) da célula. Assim, a EM pode sintonizar com precisão a frequência do seu receptor.
- Rajada vazia: é utilizada quando a ERB necessita manter a portadora ativa, porém sem transmitir informação. O padrão utilizado nessa rajada é igual ao da rajada normal.

3.6.2 Canais

Existem muitos tipos de canais lógicos, cada qual desenvolvido para transportar uma mensagem específica para uma EM e dessa para a ERB. Todos os canais lógicos são mapeados em canais físicos, sob a forma de rajadas [23]. Vejamos a distribuição dos canais lógicos e suas funções principais.

3.6.2.1 Canais de controle (*control channel*—CCH)

Após ser ligada, uma EM procura por um canal de controle a fim de receber informações daquela célula e identificar se ela poderá ou não se registrar nesta célula. A EM faz essa busca procurando pelos canais de difusão (*broadcast channels*—BCH) mostrados na Tabela 3.1. Após os procedimentos iniciais de análise das informações da célula e,

conseqüentemente, da rede, a EM pode utilizar os canais de controle comuns (CCCH) para troca de sinalização com a rede. A Tabela 3.2 apresenta esses canais.

Após a utilização dos CCCH, a EM e a ERB já estão prontas para começar o procedimento de estabelecimento de chamada. Para isso, a EM e a ERB utilizam os canais de controle dedicados (DCCH), mostrados na Tabela 3.3.

Tabela 3.1 – Canais de Difusão.

Canais de Difusão (BCH)				
Canal Lógico	Direção	Rajada	ERB	EM
Canal de Correção de Frequência (FCCH)	<i>Downlink</i> , ponto a multiponto	Correção de frequência	Transmite uma frequência portadora	Identifica a portadora de BCCH e sintoniza a frequência
Canal de Sincronização (SCH)	<i>Downlink</i> , ponto a multiponto	Sincronização	Informação sobre a estrutura do quadro TDMA	Sincroniza-se com estrutura de um quadro e identifica uma transmissão do padrão GSM
Canal de Controle de Difusão (BCCH)	<i>Downlink</i> , ponto a multiponto	Normal	Informações gerais da célula, potência máxima permitida para a EM, frequência do BCCH das células vizinhas	Recebe a identificação da LA (LAI) usada na atualização de localização, ajusta sua potência com a potência informada pela ERB e armazena a frequência das células vizinhas

3.6.2.2 Canais de voz (*traffic channel*—TCH)

Posteriormente aos procedimentos de estabelecimento de chamada efetuados nos canais DCCH, a EM e a ERB iniciam a troca de informações por meio dos canais TCH. Existem dois canais TCH disponíveis: FR e HR. O canal FR permite uma taxa de transmissão plena de 13 kbps e ocupa um canal físico inteiro (transmissão em todos os quadros TDMA). Já o canal HR possui uma taxa de 6,5 kbps e permite que uma portadora tenha sua capacidade dobrada por meio do compartilhamento de um TS por duas EMs.

Tabela 3.2 – Canais de Controle Comum.

Canais de Controle Comuns (CCCH)				
Canal Lógico	Direção	Rajada	ERB	EM
Canal de Paging (PCH)	<i>Downlink</i> , ponto a ponto	Normal	Transmite uma mensagem de busca para indicar que existe uma chamada de entrada ou um SMS	De tempos em tempos, a EM liga o receptor para ouvir esse canal e verificar se existe uma mensagem de busca para si
Canal de Acesso Aleatório (RACH)	<i>Uplink</i> , ponto a ponto	Acesso	Recebe uma solicitação da EM para ceder um canal para troca de sinalização	Responde a mensagem de busca (<i>paging</i>) através desse canal
Canal de Permissão de Acesso (AGCH)	<i>Downlink</i> , ponto a ponto	Normal	Atribui um canal de sinalização (SDCCH) à EM	Recebe atribuição de canal de sinalização (SDCCH)

Tabela 3.3 – Canais de Controle Dedicados.

Canais de Controle Dedicados (DCCH)				
Canal Lógico	Direção	Rajada	ERB	EM
Canal de Controle Dedicado <i>standalone</i> (SDCCH)	<i>Uplink e downlink</i> , ponto a ponto	Normal	Canal para troca de sinalização e informação de qual TCH ocupar	A EM comuta para o SDCCH informado no AGCH e inicia a troca de sinalização.
Canal de Difusão de Célula (CBCH)	<i>Downlink</i> , ponto a multiponto	Normal	Usa esse canal lógico para transmitir mensagens de difusão de célula	Recebe as mensagens e mostra no visor da EM
Canal de Controle Associado Lento (SACCH)	<i>Uplink e downlink</i> , ponto a ponto	Normal	Instrui a EM a transmitir na potência determinada pela BSC e fornece o TA	Envia medições de nível de sinal da célula servidora e das células vizinhas. Utilizado periodicamente durante uma chamada
FACCH	<i>Uplink e downlink</i> , ponto a ponto	Acesso	Envia informações de <i>handover</i>	Envia informações necessárias para o <i>handover</i>

Capítulo 4 Algoritmo de localização e coleta de dados

4.1 Introdução

A retenção de chamada (*retainability*) de uma rede móvel celular é a capacidade que a rede tem de manter uma chamada ativa até que ela seja terminada em condições normais, isto é, a chamada não deve ser interrompida por problemas na rede (equipamentos ou interface aérea) [4]. A retenção de chamada é um dos fatores que compõem a QoS e engloba os seguintes indicadores de desempenho: queda de chamadas, *handovers* perdidos e desconexões em circunstâncias anormais.

A QoS de uma rede de telecomunicações é definida pelo ITU-T (*International Telecommunication Standardization Sector*) [7] como uma representação de aspectos de desempenho e medições que caracterizam o grau de satisfação do assinante em relação ao desempenho do serviço prestado.

A visão que o assinante possui da rede está intimamente relacionada à QoS e a operadora deve fornecer o serviço com determinado grau de qualidade. Entretanto, para que níveis excelentes possam ser atingidos, os investimentos feitos pela operadora em equipamentos poderiam superar o capital disponível para esse fim. Portanto, se faz necessário encontrar uma solução que exija investimentos menores em novos equipamentos e alto retorno sobre o investimento já realizado na rede, por meio do alto desempenho dos equipamentos, objetivando uma QoS cada vez mais alto para o assinante [3].

Para atingir alta QoS com baixo investimento em novos equipamentos é necessário haver operação e manutenção da rede (OMR) capaz de otimizar os recursos que estão instalados nela. Então, o OMR necessita de informações sobre a rede celular. Para esse fim existem diversas ferramentas, sendo que três dessas são o *drive-test*, o analisador de protocolo e a ferramenta de gerenciamento estatístico. Neste capítulo, será apresentado o gerenciamento

estatístico. Também será analisada a retenção de chamada e os algoritmos responsáveis por desconectar uma chamada.

Primeiramente, será mostrado o funcionamento do mecanismo principal para a manutenção de uma chamada telefônica na rede GSM, depois o algoritmo de localização (AL) e finalmente alguns de seus parâmetros que definem o comportamento da EM quando em chamada.

4.2 Algoritmo de localização

A rede GSM deve ser capaz de reter (manter estendida) uma chamada telefônica enquanto o assinante estiver utilizando a rede, e esta deve ser capaz de manter a chamada no caso do assinante estar parado ou se deslocando pela rede. Como as células possuem uma área de cobertura restrita, a chamada deve ser passada de uma célula para outro conforme o assinante se desloque. Essa troca de controle da chamada de uma célula para outra recebe o nome de *handover* e pode ocorrer mesmo quando o assinante não se desloca. O *handover* é o meio disponível utilizado pelo AL para manter a chamada até que o assinante resolva encerrá-la. O critério principal para a escolha da melhor célula para que a EM permaneça é baseada na medição do nível de sinal recebido pela EM.

O comportamento da rede celular pode ser alterado drasticamente com a variação dos diversos parâmetros de cobertura pertencentes ao AL. Melhorias no desempenho da rede podem ser obtidas com o correto ajuste (definição) desses parâmetros.

Toda vez que um assinante tenta efetuar ou receber uma chamada ocorre uma troca de sinalização entre a EM e a rede, como mostrado na Fig. 2.7. Quando essa troca de sinalização se inicia, a BSC cria para o assinante um processo de *software* (PS), que irá gerenciar toda a mobilidade do assinante enquanto a chamada estiver ativa [25].

O AL necessita de dados de entrada (*input*). O *input* do AL são as medições de nível de sinal recebido pela EM e a qualidade desse sinal em termos de BER. O processo ocorre da seguinte forma. Quando uma EM está no modo livre, ou seja, não está em chamada, ela está acampada sob a cobertura de uma célula servidora. Por meio do BCCH da célula servidora, a BSC informa à EM uma lista de frequências (ARFCN) que deve ser medida. Essa lista é chamada de BA list (BCCH Allocation List) e pode conter no máximo 32 frequências dos BCCHs de células vizinhas. Quanto maior for o número de frequências, menos tempo a EM terá para a busca de cada uma. As frequências contidas na BA list são inseridas pelo engenheiro de RF com base nas células que estão próximas da célula servidora.

No modo livre, é a EM que gerencia em qual célula deve acampar. Isto ocorre com base nas medições de nível de sinal efetuada nas frequências da BA list. A EM sempre acampa na célula que possui o maior nível de sinal entre as células que possuem frequência na BA list [30].

Quando a EM está em chamada (modo ativo), o processo de decisão de qual a melhor célula para que a EM esteja é realizado pela rede por meio do PS criado para aquele assinante. A partir da criação do PS, a EM continua a medir os níveis de sinal das células vizinhas e da célula servidora (da mesma forma que no modo livre), mas também realiza a medição da qualidade de sinal recebido da célula servidora. A medição da BER das células vizinhas não ocorre, pois não existe uma conexão ativa entre a EM e essas células.

A medição ocorre do seguinte modo: a cada 120 ms há um quadro vago no TS que a EM está usando para a chamada. Durante esse tempo, a EM sintoniza nos ARFCNs contidos na BA list e tenta decodificar as rajadas de sincronização [25]. Essas rajadas contêm o código de identidade da ERB (BSIC), que inclui o código de cor da rede (NCC). O parâmetro *NCCPERM* indica quais os NCCs permitidos. Se a EM detecta a rajada de sincronização e decodifica o BSIC, ela verifica se o NCC é permitido.

A medição das seis frequências com nível de sinal mais forte que tiveram o BSIC decodificado durante 10 segundos é enviada pela EM para a BSC, por meio do SACCH, a cada 0,48 s. Por outro lado, a ERB da célula servidora também efetua as medições de nível e qualidade do sinal recebido da EM, e a distância (TA) da EM até a ERB.

O passo seguinte do algoritmo é efetuado pela BSC. As medições recebidas são filtradas, tomando-se a média de várias medições consecutivas. Isso evita que uma medição muito díspar das demais gere uma tomada de decisão errônea devido a ruídos na interface aérea. Alguns componentes de *fading*, que podem ter a mesma duração da resposta do filtro também são eliminados.

A BSC também deve considerar nessas medições se todos os TS alocados para essa conexão estão em uso ou se a transmissão descontínua está ativa. Se estiver ativa, por exemplo, ao invés de serem feitas 100 medições (*full set*), apenas 48 (*subset*) são realizadas. Há, neste caso, uma ponderação para ajustar o *input* dos filtros. A classe de potência da EM também deve ser informada para ser utilizada nos cálculos. Outra informação empregada na filtragem das informações é a potência que EM e ERB estão utilizando. Essa potência pode estar sendo controlada automaticamente (CAP), causando variação de potência na saída do transmissor. O parâmetro *MISSNM* controla a quantidade mínima de medições para o *input* de dados. Dessa forma, se o número de medições for menor do que esse parâmetro permite, a célula será excluída.

Existem diferentes tipos de filtros: filtros FIR, média recursiva, recursivo exponencial, recursivo de 1ª ordem Butterworth e de média. Cada um desses filtros possui uma característica própria e pode ser escolhido de acordo com a necessidade. Diversos parâmetros estão associados à escolha do filtro, e ao comprimento do filtro em termos do tempo de duração.

Após a filtragem, o algoritmo prepara uma lista com as possíveis células que podem ser utilizadas para o *handover*. A célula servidora também consta dessa lista, sendo que se ela for a primeira na lista, então não ocorrerá a ordem de *handover* e a chamada continuará a ser controlada por esta célula.

O sinal que a EM recebe das células vizinhas deve atender a duas condições mínimas de nível, uma para *downlink* (*MSRXMIN*) e outra para *uplink* (*BSRXMIN*). Isso serve para verificar se o sinal pode ser considerado suficiente acima do nível de sensibilidade, para que a célula possa ser eleita para *handover* [25]. O teste é realizado para cada uma das 6 células constantes na mensagem de medição (*MEAS REPORT*). As condições são:

$$ss_downlink \geq MSRXMIN, \quad (4.1)$$

na qual *ss_downlink* é o valor da medição do sinal das células feito pela EM após a saída da filtragem e *MSRXMIN* é o valor mínimo no *downlink*.

$$ss_uplink \geq BSRXMIN, \quad (4.2)$$

na qual *ss_uplink* é o valor estimado por meio da atenuação de percurso do nível de sinal das células vizinhas e *BSRXMIN* é o valor mínimo no *uplink*.

O nível mais fraco entre esses dois é utilizado para critério de aceitação como possível célula candidata ao *handover*. O valor dos dois parâmetros *MSRXMIN* e *BSRXMIN* pode variar de -150 a 0 dBm.

O AL aceita a inserção de penalidades para tornar algumas células menos atrativas para o *handover*, a fim de evitar que, caso o *handover* seja executado, a chamada retorne para a célula antiga ou até mesmo ocorra uma QC. Uma penalidade pode ser inserida como uma redução no valor medido de uma célula. Se, o nível medido após a filtragem for, por exemplo, -100 dBm, uma penalidade de -5 dB pode ser inserida, gerando um novo valor de -105 dBm, o que pode reduzir as chances de uma boa colocação na lista de possíveis candidatas ao

handover. A duração e o tamanho da penalidade também são parâmetros definidos pelo operador.

O AL definido pelo padrão GSM utiliza para a elaboração da lista de possíveis candidatos ao *handover* a comparação entre o nível de sinal recebido pela EM e ERB e a atenuação de percurso. Entretanto, a Ericsson modificou esse algoritmo para que apenas o nível recebido seja utilizado. Isso permite uma menor complexidade devido à existência de um número menor de parâmetros [25]. O algoritmo modificado é utilizado neste trabalho.

Para ordenar a lista com as células mais ou menos favoráveis para o *handover*, o algoritmo utiliza dois parâmetros importantes: *offset* e histerese. A Fig. 4.1 mostra o efeito causado pela utilização desses parâmetros.

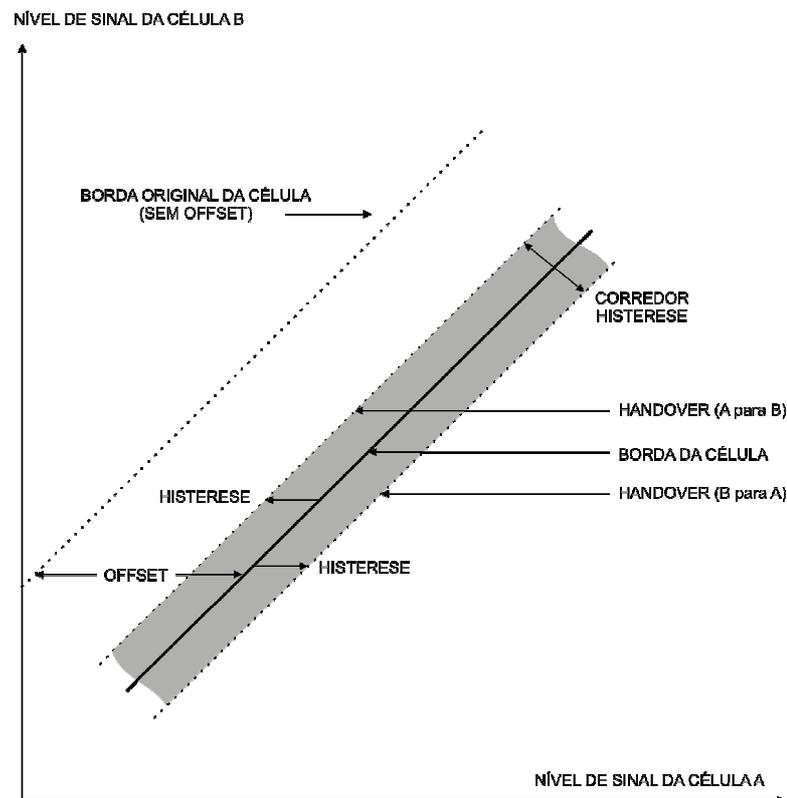


Fig. 4.1 – Efeitos da histerese e offset.

O efeito do *offset* (*OFFSET*) é criar uma borda nominal deslocada da borda original definida pelo nível de sinal recebido. O *offset* pode ser positivo ou negativo. Caso seja

positivo, o deslocamento da borda reduz a área de cobertura e, dessa forma, situa a célula em uma posição mais inferior na lista de *handover*. Já no caso do *offset* ser negativo, a borda da célula é expandida, melhorando a colocação na lista de *handover*.

A histerese (*HYST*) é utilizada para criar uma área em torno da borda nominal da célula (área sombreada), chamada de corredor de histerese [25]. Nessa área, a chamada prossegue, sendo controlada pela célula na qual a EM estava. A histerese serve para evitar que a EM faça o *handover* e logo em seguida volte para a célula antiga. Esse efeito recebe o nome de *ping-pong* e ocorre devido às flutuações sofridas pelo sinal em uma área em que o nível de sinal recebido pela EM proveniente de duas células é bastante próximo. A histerese é subtraída do nível de sinal das células vizinhas, privilegiando o nível da célula servidora. Dessa forma, o *handover* só ocorrerá quando o nível de uma célula vizinha for razoavelmente maior do que da célula servidora.

A Fig. 4.2 mostra as alterações causadas pela utilização da histerese e *offset*. A borda original foi deslocada, ficando mais próxima da célula B. Foi criado um corredor que mantém a EM na célula até que ela cruze a fronteira.

A posição que as células ocupam na lista é calculada da seguinte forma:

$$posição_s = ss_downlink_s \quad (4.3)$$

é a posição da célula servidora, e a posição das células vizinhas é dada por

$$posição_v = ss_downlink_v - OFFSET - HYST, \quad (4.4)$$

na qual *OFFSET* e a *HYST* podem variar de célula para célula, sendo uma relação célula-célula.

A medição da qualidade do sinal permite que a BSC monitore a qualidade da interface aérea nos dois sentidos. Caso uma conexão apresente BER elevada, a BSC pode ordenar um *handover*, mesmo se a célula servidora for a primeira da lista de *handover* (em condições normais não é efetuado o *handover*). Nesse caso, diz-se que existe uma condição de urgência,

dando origem a um *handover* de urgência. Esse *handover* pode ocorrer por baixa qualidade do sinal e também por distância excessiva da EM até a ERB [25].

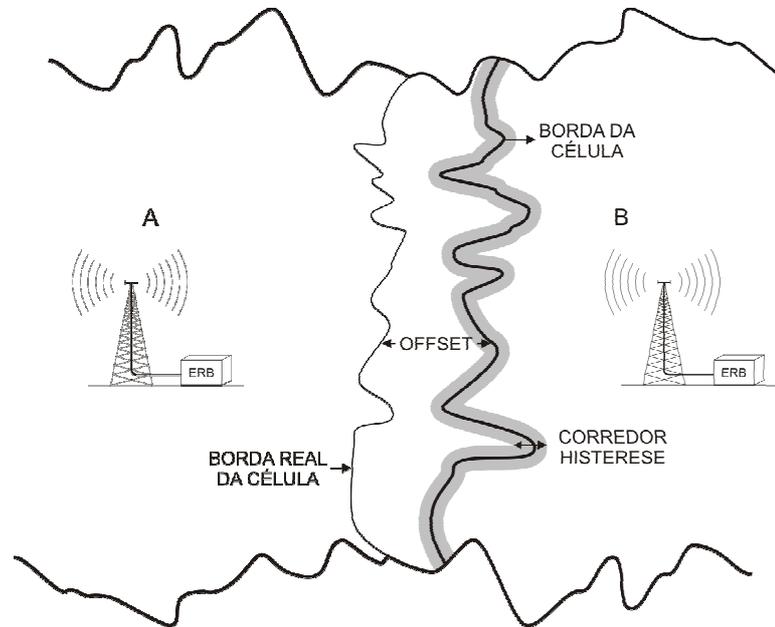


Fig. 4.2 – Bordas de handover e corredor de histerese definidos pelos parâmetros *offset* e histerese.

Após a verificação de condições de urgência e também de possíveis penalidades, as células são ordenadas em uma lista contendo três categorias de possíveis candidatas: célula servidora (CS), acima de CS e abaixo de CS, podendo haver no máximo seis células vizinhas e a célula servidora.

A lista final é definida considerando algumas verificações de penalidades menores que podem retirar a célula servidora e as células abaixo de CS. Um exemplo que retira a célula servidora da lista é se a distância entre a EM e a ERB for excessiva. Nesse caso, o *handover* deve ser efetuado para outra célula que esteja mais próxima da EM.

Caso a lista final possua uma célula mais bem situada do que a célula servidora, o AL envia uma solicitação de *handover*. A BSC então verifica se existem recursos disponíveis (TCHs livres) na primeira candidata. Se não houver, a verificação ocorre nas células subsequentes. Em caso de falhas, essas células recebem uma punição, evitando que novas

tentativas ocorram em curto intervalo de tempo. Caso o *handover* ocorra com sucesso, a BSC inicia um novo PS para a nova conexão.

4.2.1 Otimização do desempenho do *handover*

Como o *handover* é a principal ferramenta para que o AL retenha a chamada com a melhor qualidade possível, ele deve evitar QC e *handovers* desnecessários (*ping-pong*). Para tanto, a correta definição de alguns parâmetros de cobertura são fundamentais para que o *handover* seja efetuado com sucesso. Alguns fatores que contribuem para tarefa [25] são:

- **Plano de frequências:** um bom plano de frequências evita que a EM, enquanto estiver tentando decodificar um BSIC, entre em uma área que possua a mesma frequência de BCCH da anterior. Nesse caso, o *handover* será executado para a célula incorreta, provavelmente gerando uma QC.
- **Histerese:** o conceito de histerese é utilizado para controlar a carga de processamento causada pelos *handovers*, evitando ocorrências desnecessárias. Alto valor de histerese evita este problema, mas pode causar um atraso naqueles *handovers* que seriam urgentes, ocasionando, assim, uma QC devido à redução na relação C/I, que impossibilita a comunicação entre EM e rede.
- **Comprimento dos filtros:** o comprimento dos filtros afeta a execução do *handover* da mesma forma que a histerese. Um comprimento pequeno pode gerar um alto índice de *handovers*, pois as medições não são amortizadas o suficiente quanto a ruídos e *fading*. Na contramão, um comprimento longo atrasa a execução e aumenta o risco do *handover* ser executado tardiamente.
- **BSIC:** o planejamento do BSIC também deve ser muito cuidadoso, uma vez que ele se repete em várias células da mesma rede, principalmente quando colocado em células com a mesma frequência de BCCH. Nesse caso, uma EM pode decodificar o BSIC de

uma célula distante, ao invés da célula vizinha com a mesma combinação de BSIC e BCCH.

- **BA list:** é recomendado que o número de ARFCNs na BA list não seja superior a 16 (máximo 32), pois, com menos frequências, a EM pode repetir a medição mais vezes, garantindo a decodificação do BSIC. É recomendado que somente as células realmente vizinhas possuam o ARFCN na BA list da célula servidora.
- **Células vizinhas:** Não basta inserir o ARFCN de uma célula vizinha na BA list se a relação de vizinhança (relação de *handover*) não estiver ativa na BSC. Nesse caso, o *handover* não será executado. Relações de *handover* com baixo desempenho devem ser retiradas. Relações com alto índice de retorno (EM voltou para a célula antiga após alguns instantes) devem ser verificadas para descobrir as causas. Novas relações podem ser acrescentadas mediante as verificações geográficas e de desempenho após a inclusão.

4.2.2 Exemplo: definição de parâmetros

Vejamos agora como a definição de alguns parâmetros influencia na organização de uma lista de possíveis candidatos a *handover*.

Consideramos que a EM está em chamada na célula servidora C e existem outras seis células vizinhas: A, B, D, E, F e G. A decisão de *handover* é tomada com base no nível de sinal recebido pela EM, ou seja, pelo nível do *downlink*. Existe uma punição para a célula G com valor $p = -63$ dB, por exemplo, decorrente de um *handover* anterior que não foi finalizado corretamente, gerando uma QC. A Tabela 4.1 mostra os parâmetros e o nível no *downlink* após a filtragem.

O primeiro passo após a filtragem do sinal é verificar se o nível de sinal recebido pela EM das células vizinhas atende o critério do mínimo nível definido por (4.1). A Tabela 4.2

mostra a situação de cada célula. Note que a célula B não atende o critério e será excluída para o *handover*.

Tabela 4.1 – Parâmetros definidos para as células e nível de sinal recebido.

Parâmetros	A	B	C	D	E	F	G
<i>MSRXMIN</i>	-99	-100	-102	-102	-100	-102	-102
<i>OFFSET</i>	0	2	0	0	3	0	0
<i>HYST</i>	3	3	3	5	5	3	3
<i>ss_downlink</i>	-95	-102	-103	-100	-98	-97	-100

Tabela 4.2 – Verificação do critério de mínimo sinal.

Células	Nível de sinal recebido pela EM (<i>ss_downlink</i>)	Mínimo nível para acampar na célula (<i>MSRXMIN</i>)	Satisfaz o critério de mínimo sinal
A	-95	-99	SIM
B	-102	-100	NÃO
D	-100	-102	SIM
E	-98	-100	SIM
F	-97	-102	SIM
G	-100	-102	SIM

Como a célula G possui uma penalidade, o nível deve ser recalculado de acordo com

$$ss_downlink_G - 63 = -100 - 63 = -163. \quad (4.5)$$

Os parâmetros de *OFFSET* e *HYST* são aplicados ao valor do sinal filtrado para o cálculo da classificação das células. O cálculo é efetuado com (4.3) e (4.4):

$$posição_C = -103, \quad (4.6)$$

$$posição_A = -95 - 0 - 3 = -98, \quad (4.7)$$

$$posição_D = -100 - 0 - 5 = -105, \quad (4.8)$$

$$posição_E = -98 - 3 - 5 = -106, \quad (4.9)$$

$$posição_F = -97 - 0 - 3 = -100, \quad (4.10)$$

$$posição_G = -163 - 0 - 3 = -166. \quad (4.11)$$

A classificação em ordem de melhor nível de sinal é: A, F, C, D, E e G, mostrada na Tabela 4.3. A lista final é concluída após as verificações de penalidades menores. A Tabela 4.4 mostra a lista final após essa verificação. Nesse caso, supomos que o *handover* é normal e somente as células acima da célula servidora podem ser candidatas. Como existem duas células nessa condição, a lista é enviada para que a própria BSC inicie o processo de *handover*.

Tabela 4.3 – Lista de candidatos após classificação.

Lista de Candidatos	Categoria
A	ACIMA CS
F	ACIMA CS
C	CS
D	ABAIXO CS
E	ABAIXO CS
G	ABAIXO CS

Tabela 4.4 – Lista de candidatos final com a ordem de preferência.

Candidato	Lista de Candidatos	Categoria
1	A	ACIMA CS
2	F	ACIMA CS

O exemplo anterior mostra a importância que os parâmetros *MSRXMIN*, *HYST* e *OFFSET* desempenham na definição de possíveis candidatos a *handover*. Por exemplo, se os valores de *OFFSET* e *HYST* fossem alterados para 0 e 3 na célula E, esta também seria uma candidata a *handover* acima de CS.

4.3 Retenção de chamadas

Uma operadora deve sempre estar atenta aos indicadores de desempenho, pois eles indicam a qualidade da rede. Esses indicadores podem ser divididos em três categorias: capacidade de acesso do assinante à rede; capacidade de a rede reter uma chamada sem que haja interrupção indesejada; qualidade de chamada [2], [20].

A capacidade de acesso do assinante à rede trata da habilidade da rede em atender uma solicitação de acesso de um assinante, que pode ser uma chamada de voz, o envio de mensagens curtas (SMS) ou acesso à Internet. A disponibilidade de canais, a porcentagem de tentativas de acesso com sucesso e o congestionamento são exemplos de estatísticas de capacidade de acesso.

O indicador de qualidade de chamada gerencia a BER e a FER, no caso de chamadas de voz. Ele é responsável por mostrar se a qualidade de uma chamada é boa, aceitável ou inaceitável.

A capacidade de a rede reter uma chamada é responsável por monitorar o desempenho de uma conexão desde o instante da alocação do canal até o encerramento. As estatísticas são de quedas de chamadas, a de desconexão em condições de urgência e a de perda de *handovers*.

A TQC mede a porcentagem de quedas ocorridas durante a ocupação dos canais de voz. Existem diferentes métodos para calcular a TQC, como quedas em relação ao total de chamadas originadas ou quedas em relação ao total de chamadas administradas por cada célula, incluindo os *handovers*.

Neste trabalho, a TQC é a relação entre o número total de quedas e o número total de alocações em canais de voz. As alocações podem ser por primeira tentativa de realizar a chamada ou por *handovers*. O valor aceitável utilizado como referência para a TQC é 2% [20].

Em [8], foi observado um ganho de 6 dB na relação sinal ruído (C/I) de rajadas contendo dados de voz na interface aérea utilizando o AMR para correção de erros em relação às rajadas de controle trocadas durante uma chamada. Erros na decodificação de mensagens de controle, trocadas entre EM e ERB, acarretam quedas de chamada [8]. Para reduzir erros na decodificação das mensagens de controle, o 3GPP já trabalha para reduzir essa diferença

imposta com o uso do AMR entre mensagens de voz e mensagens de controle. Porém, esses esforços requerem a troca da EM, o que torna o processo lento devido ao custo associado à troca da EM pelo assinante. Assim, novas soluções, como o aumento de potência das rajadas de controle, são propostas para aumentar a C/I, reduzindo a TQC [8].

A otimização do *handover* também é fundamental para a redução da TQC. Em [31], um estudo sobre a sincronização do *handover* por meio da utilização de um GPS (*global positioning system*) em cada ERB, mostrou aumento de qualidade nas chamadas. Em [32], uma análise dos algoritmos de *handover*, baseada nas medições feitas pela EM, mostra que a otimização do *handover* garante redução no número de *handovers* desnecessários e redução no tempo de decisão para a execução. Com isso ocorre menor interferência co-canal e diminuição da TQC. Portanto, a correta definição de parâmetros, como histerese e comprimento de filtros, garante bom desempenho dos *handovers*, mantendo a EM na célula mais apropriada para o prosseguimento da chamada [25].

Por meio da utilização de funções como o FH e controle de potência da EM e ERB, é possível obter uma redução na TQC. Em [33], um estudo da manipulação dessas funções disponíveis no GSM, e atualmente em uso na rede estudada, obteve uma redução de 0,5% com a utilização do FH.

4.3.1 Causas de queda de chamadas

No sistema GSM, há algoritmos de gerenciamento responsáveis por desconectar uma chamada na BSC e na EM [25], [34]. Esses algoritmos utilizam contadores de eventos para determinar se uma chamada está atendendo os requisitos mínimos, como qualidade de recepção e distância entre EM e ERB.

As quedas de chamada podem ocorrer por falha no equipamento ou por falha na comunicação entre eles. Um exemplo de falha no equipamento é a decodificação de dados

incorreta devido ao processador da EM, e um exemplo de falha na comunicação é a incapacidade da ERB decodificar a mensagem enviada pela EM por causa de interferência.

O objetivo da desconexão de uma chamada é eliminar aquelas conexões que não estão atendendo os requisitos e que não podem ser melhoradas por meio de *handover* ou de controle de potência. Portanto, sua manutenção é inviável.

Há três mecanismos responsáveis pela desconexão de chamadas. O primeiro mecanismo desconecta uma chamada quando a distância entre a EM e ERB ultrapassa o valor do TA permitido [20], [25]. Nesse caso, o AL calcula a distância entre a EM e a ERB. Se o valor do TA for maior que 63 (equivalente a 35 km), um *handover* urgente por “distância excessiva” será recomendado. Se não houver possibilidade de *handover* por falta de células candidatas, então a chamada será desconectada e a causa associada será “distância excessiva”.

O segundo mecanismo de desconexão é responsável pelo término das chamadas para as mensagens de controle que não são corretamente decodificadas devido à relação C/N baixa [8], [25], [34]. As mensagens de SACCH têm a função de ordenar alterações na EM (*downlink*) e transportar informações de qualidade, potência e medições efetuadas pela EM (*uplink*). Esse algoritmo de desconexão atua da seguinte forma: para cada mensagem SACCH decodificada com sucesso, o contador adiciona duas unidades; para cada falha na decodificação, o contador subtrai uma unidade [25], [34]. O valor máximo do contador é definido pelo parâmetro *RLINKT*. Caso o contador atinja o valor zero, então a chamada será desconectada e o contador de quedas será incrementado com a condição de urgência de “nível baixo de sinal” ou de “baixa qualidade” apresentada no momento.

Um terceiro mecanismo atua na execução do *handover*. Esse mecanismo utiliza contadores para determinar se há necessidade de desconectar uma EM que recebeu ordem para efetuar o *handover*, não obteve sucesso e também não conseguiu voltar para o canal antigo. Portanto, ao se analisar queda de chamada ocorrida na interface aérea, deve-se

identificar qual dos três mecanismos foi o responsável pela desconexão e qual a condição (nível baixo de sinal, baixa qualidade do sinal ou distância excessiva) que a conexão entre ERB e EM apresentava.

4.4 Ferramentas de coleta de dados

O desempenho de uma rede celular, em particular no que se refere a serviços de voz, pode ser monitorado por meio de ferramentas de coleta de dados. Essas ferramentas permitem verificar, por exemplo, o número de tentativas de realização de chamada com sucesso, o número de tentativas sem sucesso e o número de quedas de chamadas. As ferramentas mais utilizadas nesses casos são o gerenciamento estatístico (GE) e o *drive-test*. O GE é responsável pela coleta de dados de situação de chamadas por meio de contadores que podem ser ativados na BSC, fornecendo os dados mais importantes sobre a qualidade da rede na área controlada por esta BSC [20].

Já o *drive-test* utiliza EMs conectadas a computadores pessoais para efetuar uma série de chamadas de teste em uma determinada área, sendo utilizado mais especificamente em testes após início de operação ou alteração em uma determinada ERB [20].

4.4.1 Contadores

Os contadores que estão disponíveis na BSC são blocos de *software* capazes de contabilizar eventos ocorridos nos equipamentos gerenciados pela BSC. Esses eventos podem ser físicos ou lógicos. Na categoria de eventos físicos estão, por exemplo, o número de vezes que a porta de uma ERB foi aberta e o número de alarmes de um TRX na ERB. Já os eventos lógicos podem ser o número de vezes que uma ordem de *handover* foi enviada pela BSC a determinada célula e o número de vezes que houve uma QC devido ao nível baixo de sinal. Como estamos interessados em utilizar os contadores para gerar estatísticas sobre o problema

de QC na interface aérea, então necessitamos contabilizar os contadores lógicos que nos fornecem informações sobre a causa das quedas.

A Fig. 4.3 mostra como os contadores lógicos funcionam. Em azul, estão marcados todos os tipos de contadores disponíveis na sinalização trocada entre a EM e a rede, a fim de solicitar um canal para iniciar uma chamada. O contador [5], por exemplo, é incrementado toda vez que a ERB recebe uma mensagem SABM da EM para indicar que a conexão na interface aérea foi estabelecida com sucesso. Com esses contadores, é possível calcular o desempenho dessa célula em relação às tentativas de iniciar uma chamada.

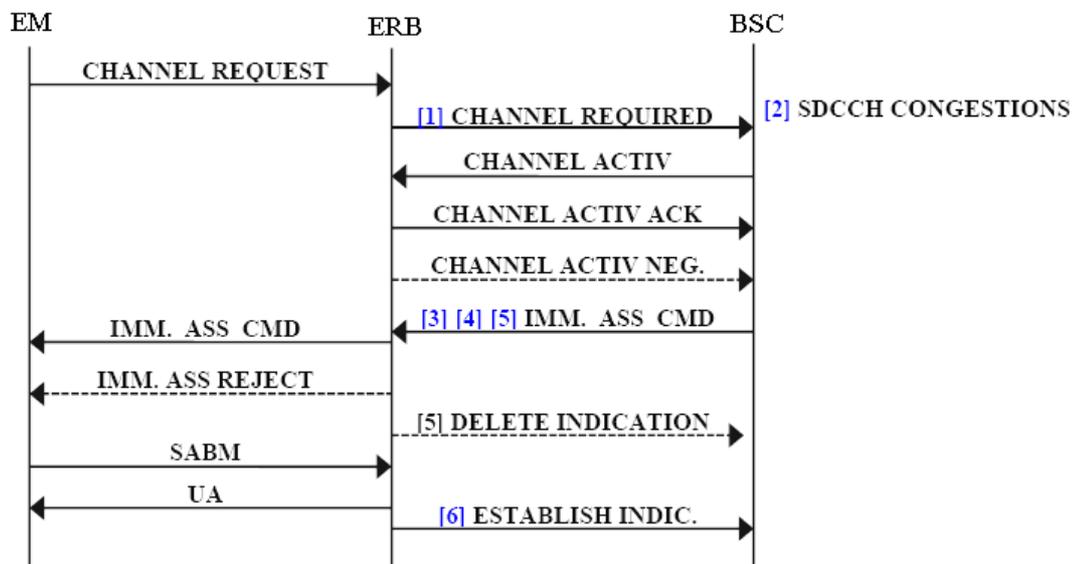


Fig. 4.3 – Contadores lógicos na troca de sinalização para o estabelecimento de uma chamada.

O contador [1] da Fig. 4.3 é utilizado para informar sobre o desempenho dessa célula quanto a três procedimentos: (a) número de tentativas de alocação de canal; (b) número de tentativas perdidas de alocação de canal; (c) taxa de sucesso de *handovers* de entrada na célula. O contador [2] também é utilizado para três medições, sendo que a medição de (b) é feita da seguinte forma:

$$[1] - [2] = NTPAC, \quad (4.12)$$

na qual NTPAC é o número de tentativas perdidas de alocação de canal.

Os valores dos contadores são armazenados na BSC e depois transferidos para uma base de dados no OMC. Eles podem ser utilizados de forma pura ou como em (4.12). Diversas equações podem ser criadas para expressar o desempenho da rede, algumas mais simples (4.12) e outras mais complexas, que envolvem diversos contadores e operações matemáticas. No Capítulo 5, todos os dados estatísticos da rede foram obtidos por meio dos contadores mostrados acima.

Capítulo 5 Análise e redução da taxa de queda de chamada

5.1 Introdução

Os capítulos anteriores apresentaram uma visão geral de uma rede GSM, com foco na interface aérea. Neste capítulo serão analisados os dados estatísticos de uma rede GSM em operação para identificar as duas principais causas de quedas: a perda repentina de conexão e o nível baixo de sinal, que ocorrem simultaneamente no *uplink* e no *downlink*. Na seqüência, serão analisados os dados estatísticos de uma célula com valor inicial de TQC acima de 2% e sugerido um procedimento de redução da TQC por meio da alteração de alguns parâmetros de cobertura.

5.2 Histórico estatístico da retenção de chamadas na rede celular GSM

Para a elaboração deste trabalho foi escolhida uma BSC da Ericsson [35] com 158 células. Essas células cobrem aproximadamente 33 municípios, entre cobertura urbana e suburbana (rodovias) da região noroeste do estado de São Paulo.

A Fig. 5.1 mostra as porcentagens de quedas de chamadas mensais durante o ano de 2006 divididas em dois indicadores: *TCH drop* e *call drop*. Estes indicadores contabilizam as QC de formas diferentes. Quando ocorre uma QC, por exemplo, a um contador Q é adicionada uma unidade. Este contador é utilizado pelo *TCH drop* e *call drop* da seguinte maneira:

$$call\ drop = \frac{Q}{C1}, \quad (5.1)$$

onde C1 é o número de chamadas que foram originadas em uma determinada célula.

$$TCH\ drop = \frac{Q}{C2}, \quad (5.2)$$

onde C2 é a soma do número de chamadas originadas em uma determinada célula com o número de chamadas que entraram por meio do *handover*.

Como C2 é normalmente maior do que C1, então *TCH drop* é menor do que o *call drop*. Na Fig. 5.1 a média do *TCH drop* fica em torno de 0,5%, já o valor do *call drop* está próximo de 1,3%. Observa-se que a média do *call drop* não se aproximou, em nenhum dos meses do ano, de 2%, que é o limite internacionalmente utilizado para esse indicador [2].

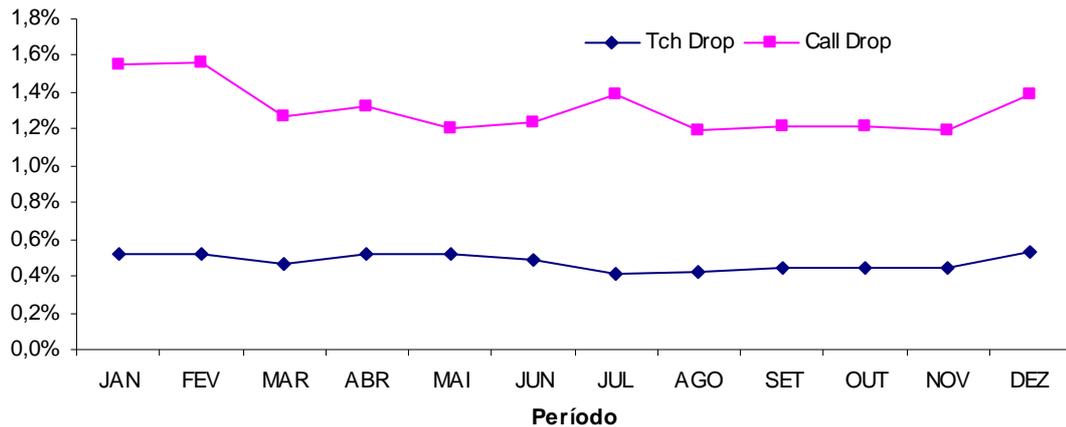


Fig. 5.1 – *TCH drop* e *call drop* mensais durante o ano de 2006.

A ANATEL, utilizando o Plano Geral de Metas de Qualidade, acompanha todas as operadoras de telefonia móvel que atuam no Brasil [1]. Um dos indicadores de qualidade avaliados é a taxa de queda de ligação (SMP7), que deve estar abaixo de 2%.

Com base nos dados do GE, é possível fazer a distribuição percentual de *TCH drop* de 2006 por motivo de queda. A Fig. 5.2 apresenta a distribuição percentual de todas as quedas ocorridas em 2006, separadas pelas seguintes causas: quedas por distância excessiva (QDE); quedas por perda repentina (QPR); quedas por nível baixo de sinal (QSx, x = B, ambos os links; x = U, *uplink*; x = D, *downlink*); quedas por baixa qualidade (QQx) e outras causas (QOC).

Por meio da Fig. 5.2 é possível observar que a causa principal de *TCH drop* é a perda repentina (QPR) de conexão entre a EM e a rede. A outra é o nível baixo de sinal (QSB) entre a EM e a ERB, tanto no *uplink* e no *downlink*.

As quedas repentinas ocorrem devido à perda de comunicação entre a EM e a ERB, por causa de fatores como falha em algum elemento da rede, por onde os dados da chamada trafegam, ou por erro na decodificação dos dados. Mais adiante, será mostrado que a redução de *handovers* perdidos, ou seja, as quedas que ocorrem durante o *handover*, é um dos fatores cruciais para a redução nas quedas repentinas.

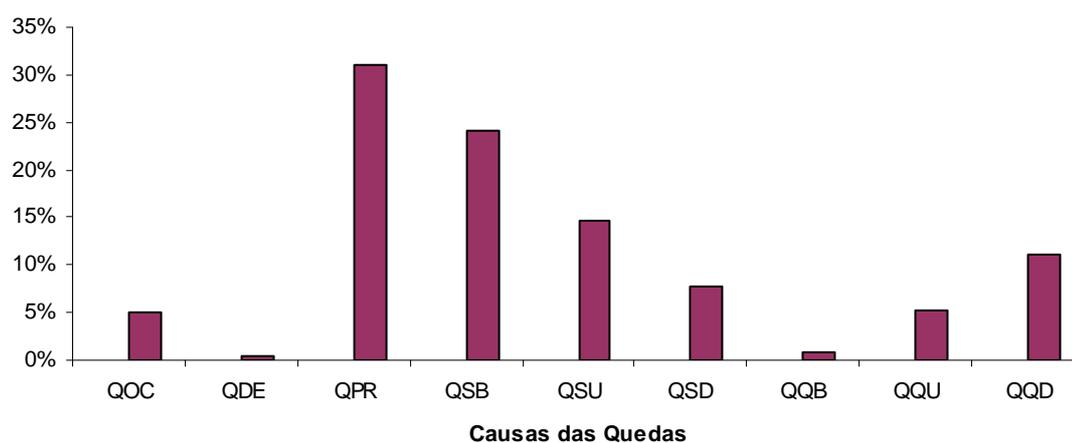


Fig. 5.2 – Distribuição de todas as quedas de canais de voz (*TCH drop*) durante o ano de 2006 em todas as células pertencentes à BSC estudada.

A Fig. 5.3 mostra uma relação entre a cobertura média de uma célula e a TQC. As células com maior TQC apresentam uma cobertura média em quilômetros maior do que a das células com TQC mais baixa. Por outro lado, como pode ser visto na Fig. 5.4, à medida que a TQC diminui, as quedas repentinas têm um impacto maior na porcentagem total de quedas.

Concluimos que em células que cobrem regiões urbanas, portanto com cobertura mais restrita, a porcentagem de queda repentina é muito maior do que as quedas por nível baixo de sinal. Isso ocorre porque, em áreas urbanas, existem muitas células vizinhas que acabam por sobrepor suas coberturas (como pode ser visto na Fig. 2.2), o que permite maior nível de sinal na interface aérea.

Entretanto, em células com coberturas mais extensas, tipicamente as de cobertura de rodovias, o sinal sofre maior degradação, o que acarreta maior TQC devido ao nível baixo de sinal.

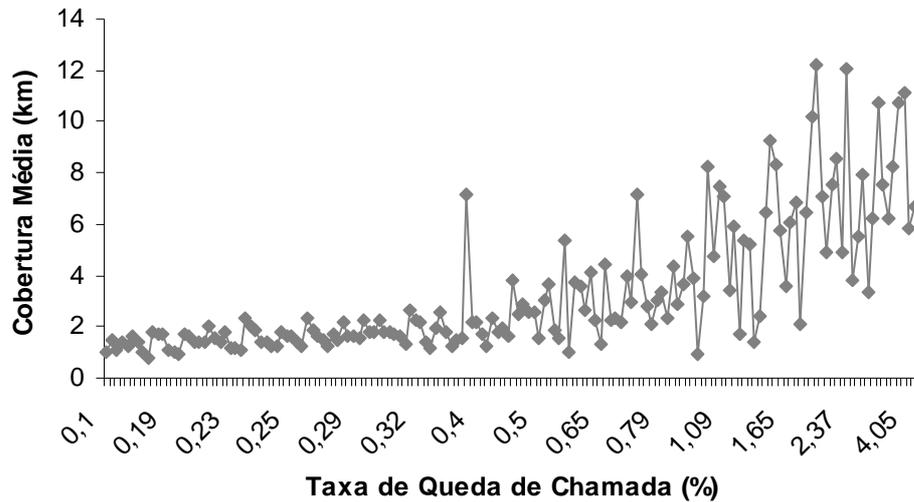


Fig. 5.3 – Relação entre a cobertura média das células e as respectivas TQCs.

Baseado nessa observação, o presente trabalho tem como objetivo encontrar soluções para a redução das causas que acarretam maior degradação na TQC, uma vez que, com a melhoria no desempenho desses indicadores, o impacto na retenção de chamadas da rede será bastante significativo.

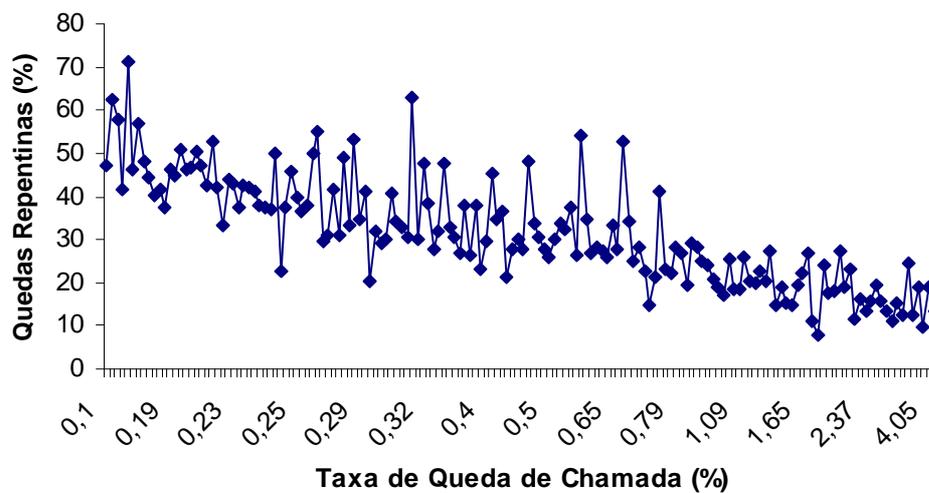


Fig. 5.4 – Relação entre a porcentagem de quedas repentinas e as respectivas TQCs.

5.3 Estudo de células com taxa de queda chamada superiores a 2%

O estudo se inicia a partir da Tabela 5.1, que mostra a TQC para algumas células (também chamadas de setores) da BSC ao longo de treze meses. As células da tabela marcadas com (-) não possuem medições no período.

As células da Tabela 5.1 são numeradas de acordo com a TQC do mês de março de 2007, em ordem decrescente de TQC. É possível notar que há uma variação mensal da TQC para todas as células em quase todos os meses. Essa variação é mostrada nas Tabelas 5.2 e 5.3 e foi calculada da seguinte forma:

$$Variação_{(mês)} = TQC_{(mês)} - TQC_{(mês anterior)} \quad (5.3)$$

Tabela 5.1 – TQC no período de janeiro de 2006 a março de 2007.

Células	TQC (%)												
	Mar/06	Abr/06	Mai/06	Jun/06	Jul/06	Ago/06	Set/06	Out/06	Nov/06	Dez/06	Jan/07	Fev/07	Mar/07
OLR11	5,19	6,04	5,73	4,87	4,72	4,67	4,15	5,27	5,27	5,48	6,38	5,26	4,57
JOR12	2,49	1,65	1,95	1,38	1,45	2,99	2,91	2,7	2,88	3,22	3,26	3,12	3,75
NV013	1,52	3,12	3,01	3,62	4,21	4,57	3,95	3,93	3,75	3,88	3,18	3,11	3,53
PNR12	-	-	-	-	-	-	-	1,53	1,4	1,74	3,97	3,75	3,15
SDR11	-	-	-	-	-	2,54	3,04	2,54	2,65	2,82	2,82	3,33	3,12
YBR12	2,13	2,3	2,75	3,03	2,82	3,14	3,04	3,05	3,24	3,35	3,85	3,13	3,09
AR013	1,47	3,62	3,04	2,79	2,59	4,06	3,2	2,42	2,27	3,08	3,12	3,28	3,07
OLR12	3,34	3,59	3,95	3,11	3,06	2,99	2,54	2,92	2,69	3,04	3,21	3,19	3,06
IC013	2,36	3,15	3,05	2,87	2,58	2,96	2,99	2,94	2,94	3,58	3,21	3,19	3,01
YBR11	2,1	2,16	2,15	2,49	2,31	2,16	2,04	2,19	2,16	2,26	2,69	2,51	2,96
YBR22	-	-	-	-	2,56	2,91	2,9	2,98	2,98	3,28	3,52	3,21	2,8
BR043	3,02	2,94	3,3	2,99	2,99	2,86	2,24	-	1,05	2,3	2,48	2,44	2,72
YBR21	-	-	-	-	2,45	2,27	2,41	2,61	2,6	3,15	3,2	2,87	2,69
CE011	3,4	3,31	2,96	2,75	2,61	2,6	2,45	2,72	2,55	2,45	2,24	2,01	2,63
MS011	2,44	2,49	2,6	2,18	1,61	1,73	2,23	2,08	2,04	2,24	2,43	1,94	2,2
NGR11	1,99	2,06	6,33	8,96	5,81	5,47	5,64	5,15	4,62	5,87	5,19	2,27	2,17
GP013	2,64	2,76	2,6	2,24	2,34	2,78	2,52	2,64	2,52	2,42	2,18	2,37	2,08
PL011	2,48	2,44	2,59	2,93	2,92	2,49	2,23	2,35	2,1	1,93	1,85	2,03	2,08

Na Tabela 5.2 estão destacadas as células que apresentaram variação significativa de mais ou menos 1 ponto percentual (p.p.) em relação ao mês anterior. Somente os meses em que houve variação significativa são mostrados na tabela. Os valores em vermelho apresentaram aumento na TQC em relação ao mês anterior, enquanto em verde estão os que apresentaram redução. A Tabela 5.3 destaca as variações com mais ou menos 0,5 p.p. em relação ao mês anterior.

Tabela 5.2 – Variação mensal da taxa de queda de chamada. Em destaque, variações de mais ou menos 1p. p.

Células	Variação TQC (p.p.)							
	Mar/06	Abr/06	Mai/06	Jun/06	Jul/06	Set/06	Dez/06	Fev/07
OLR11	-0,02	0,85	-0,31	-0,86	-0,15	-0,52	0,21	-1,12
NGR11	-2,6	0,07	4,27	2,63	-3,15	0,17	1,25	-2,92
NV013	-1,77	1,6	-0,11	0,61	0,59	-0,62	0,13	-0,07
IP011	0,66	0,19	0,48	-1,13	-0,19	0,41	-0,15	-0,31
IC011	0,3	0,06	0,3	-0,72	-0,03	-1	-0,2	0,18
NO012	-0,86	1,15	0,26	-0,28	0,1	-0,11	-0,24	0
SR123	1,86	-1,81	-0,15	-0,06	-0,14	0,02	0,24	-0,04

Valores menores que 0,5 serão considerados arbitrariamente como variações em decorrência do comportamento dos assinantes e serão descartados em primeira análise. O foco se concentrará nas variações maiores que 0,5, pois podem evidenciar alguma alteração na configuração da rede.

Tabela 5.3 – Variação mensal da taxa de queda de chamada. Em destaque, variações de mais ou menos 0,5 p.p.

Células	Variação TQC (p.p.)							
	Mar/06	Abr/06	Mai/06	Jun/06	Jul/06	Set/06	Dez/06	Fev/07
OLR11	-0,02	0,85	-0,31	-0,86	-0,15	-0,52	0,21	-1,12
NGR11	-2,6	0,07	4,27	2,63	-3,15	0,17	1,25	-2,92
NV013	-1,77	1,6	-0,11	0,61	0,59	-0,62	0,13	-0,07
OLR12	0,26	0,25	0,36	-0,84	-0,05	-0,45	0,35	-0,02
IC013	-0,63	0,79	-0,1	-0,18	-0,29	0,03	0,64	-0,02
CE011	0,71	-0,09	-0,35	-0,21	-0,14	-0,15	-0,1	-0,23
YBR12	-0,73	0,17	0,45	0,28	-0,21	-0,1	0,11	-0,72
YBR21	-2,73	0	0	0	2,45	0,14	0,55	-0,33
AR013	-1,28	2,15	-0,58	-0,25	-0,2	-0,86	0,81	0,16
IP011	0,66	0,19	0,48	-1,13	-0,19	0,41	-0,15	-0,31
JOR12	0,15	-0,84	0,3	-0,57	0,07	-0,08	0,34	-0,14
MS011	0,3	0,05	0,11	-0,42	-0,57	0,5	0,2	-0,49
JAR11	-0,54	0,51	0,1	-0,03	-0,2	0,11	-0,02	-0,21
SDR12	-1,85	0	0	0	0	-0,14	0,17	0,54
IP012	0,94	-0,14	-0,64	-0,4	0,1	0,03	0,17	-0,34
CT011	-1,33	0	0	0	1,58	0,34	-0,81	-0,06

Em decorrência da complexidade envolvida em uma rede celular, seja devido ao comportamento dos assinantes ou da correlação existente entre os diversos parâmetros, é importante observar a variação do tráfego total da célula para identificar aumento, em decorrência de algum evento (ex: Rodeio, Exposições ou Feiras) ocorrido na região de cobertura da célula, ou diminuição, devido a problemas ocorridos na rede. A Fig. 5.5 mostra a variação do número de chamadas, ou seja, do tráfego das três primeiras células da Tabela 5.2.

O número de chamadas das células OLR11 e NV013 não apresentam grandes variações, o que não é o caso da célula NGR11. Assim, uma análise da QC na célula NGR11 será imprecisa se avaliarmos os números absolutos de quedas, uma vez que, com a redução no tráfego total, é muito provável que haja uma redução no número total de QC. Desta forma, uma análise da porcentagem de quedas em relação ao total será mais precisa.

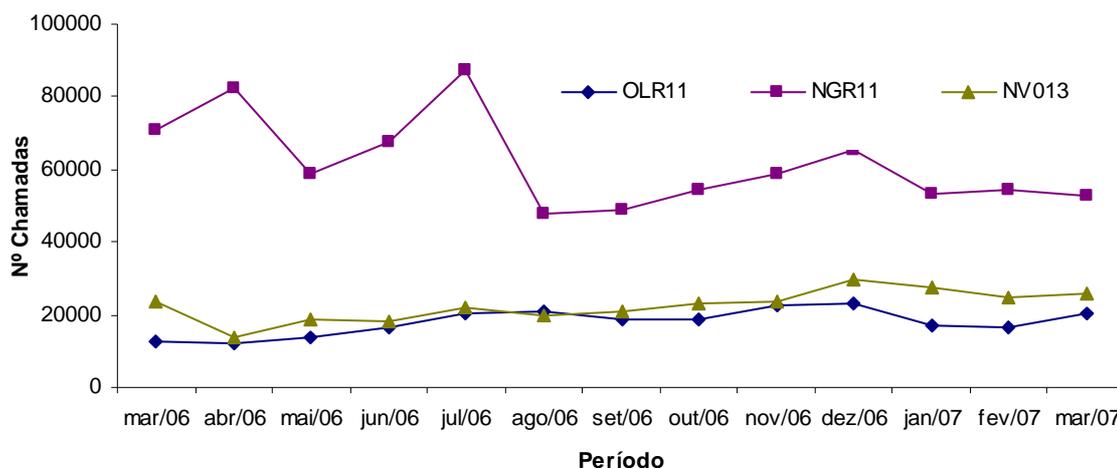


Fig. 5.5 – Distribuição do número de chamadas nas células OLR11, NGR1 e NV013.

5.3.1 Definição da célula para estudo

Nas Seções 5.2 e 5.3 foram mostrados diversos dados referentes à TQC na BSC escolhida e de algumas células com TQC, acima de 2%. Em resumo, temos: variação do *call drop* e *TCH drop* na BSC ao longo de um ano; descoberta das principais causas de quedas; relação entre cobertura e TQC; relação entre TQC e QPR; variação mensal da TQC para algumas células.

Agora se faz necessário definir uma célula para a análise detalhada das causas de quedas e redução da TQC por meio da alteração de alguns parâmetros que definem o comportamento que a EM terá quando estiver sendo controlada pela célula.

Devido à variedade de causas de quedas e à variação da TQC ao longo do tempo, o trabalho com várias células ao mesmo tempo se torna complexo. Por esse motivo, definimos a

célula NGR11 para análise, porque apresentou alterações nos seus parâmetros de cobertura e por ser uma célula de cobertura de rodovia, cobrindo área extensa. De acordo com a Fig. 5.4, a causa de quedas nesse tipo de célula é, primordialmente, devido ao nível baixo de sinal na interface aérea. Porém, essa célula apresentava as quedas repentinas como a responsável por QC, conforme mostra a Tabela 5.4, que apresenta a distribuição das causas de quedas da célula NGR11 no mês de dezembro de 2006.

Tabela 5.4 – Porcentagem das principais causas de quedas da célula NGR11 em dezembro de 2006.

QSB (%)	QSU (%)	QSD (%)	QQB (%)	QQU (%)	QQD (%)	QDE (%)	QPR (%)	QOC (%)	Total (%)
14,94	24,95	2,03	0,13	0,47	10,03	0,03	46,54	0,88	100

Outro fator determinante para escolher essa célula é que os parâmetros físicos são os melhores possíveis e não havia mais como torná-los mais eficientes [27]. A ERB dessa célula utiliza: cabo com bitola 1 5/8", que possui a menor perda entre os disponíveis; utiliza amplificadores montados na torre, que amplificam o sinal recebido, proporcionando maior área de cobertura para a célula; utiliza frequência portadora na faixa de 900 MHz, o que causa menor atenuação; utiliza diversidade de espaço nas antenas de recepção; combina dois transmissores para dobrar a potência de transmissão no *downlink*. Portanto, essa célula exibe a configuração de melhor eficiência, e os parâmetros de cobertura serão alterados para reduzir a TQC.

5.3.2 Alteração de parâmetros na célula NGR11

Cada alteração descrita a seguir recebe uma letra maiúscula para identificar a seqüência lógica de alterações efetuadas.

5.3.2.1 Alteração do *ACCMIN* (A)

Como mostrado na Tabela 5.2, a célula OLR11 apresentou em abril de 2006 um aumento de 0,85 p.p. na TQC, passando de 5,19% para 6,04%. Analisando a base de dados das alterações feitas na rede, não foi encontrada alteração nesses dois períodos que justifique tais variações na TQC. Por outro lado, a célula NGR11 apresentou várias alterações que podem ter acarretado as variações observadas na Tabela 5.2. Por exemplo, a redução ocorrida de 3,15 p.p. na TQC, passando de 8,96% para 5,81%, pode ter sido causada pela redução na área de cobertura, em consequência da redução do nível mínimo de sinal para que a EM possa considerar essa célula como candidata a melhor servidora. O valor desse parâmetro (*ACCMIN*) foi alterado de -102 dBm para -96 dBm. Assim, a EM somente irá se registrar nessa célula se o nível recebido dessa célula for maior que -96 dBm, o que irá reduzir sensivelmente a área de cobertura e, por consequência, somente a EM mais próxima da ERB poderá utilizá-la.

Observe que o impacto da alteração do *ACCMIN*, uma vez que este é utilizado para o cálculo do valor *C1*, é:

$$C1 = (SSI - ACCMIN) - \max(CCHPWR - P, 0), \quad (5.4)$$

na qual *CCHPWR* é a máxima potência que a EM pode utilizar no canal de controle, *ACCMIN* é o mínimo nível de sinal recebido pela EM para acessar o sistema e *P* é a máxima potência de transmissão da EM, de acordo com sua classe.

Assim, como é a EM que gerencia a seleção da melhor célula para acampar (célula mais provável para a comunicação entre EM e ERB), ela mede constantemente o nível de sinal recebido das células e calcula o valor de *C1* para cada célula. Para garantir que a EM escolha a melhor célula, ela deverá sempre permanecer na célula que possua o maior valor *C1* [30].

A análise de C1 mostra que a EM deve medir um nível de sinal maior que o valor de *ACCMIN* da célula e que a EM seja capaz de transmitir com potência suficiente para que o seu sinal seja capaz de atingir a ERB. Suponhamos que $CCHPWR = 33$ dBm, que $P = 33$ dBm e que a EM esteja recebendo -101 dBm da célula NGR11. Então, com os valores de *ACCMIN* citados anteriormente, teremos os níveis mostrados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Impacto da alteração de *ACCMIN* sobre o valor de C1.

Caso	ACCMIN	SSI	CCHPWR	P	max (CCHPWR – P,0)	C1
1	-102	-101	33	33	0	1
2	-96	-101	33	33	0	-5

No local onde a EM estava medindo -101 dBm, ela apresentava $C1 = 1$, o que permitia que ela estivesse acampada em NGR11. Com a alteração do *ACCMIN* para -96 dBm, agora a EM não pode mais estar acampada em NGR11, pois $C1 = -5$, o que não é permitido devido a restrição de $C1 > 0$. Como C1 considera a atenuação de percurso, e tanto em 1 como em 2 a perda é a mesma, a redução de *ACCMIN* garante uma redução na área de cobertura da célula NGR11.

5.3.2.2 Exclusão de vizinhança (B)

Por meio da Tabela 5.6, é possível notar que a causa mais freqüente de quedas nas células com TQC superior a 2% é a QSB. Entretanto, cabe uma análise de outro fator relevante para a TQC, as quedas por perda repentina.

Na Tabela 5.6 estão as causas das quedas de chamadas do mês de dezembro de 2006 para as células com TQC maior que 2%. A célula NGR11 aparece com a maior TQC (5,87%). Esse total de quedas é composto por 46,54% de quedas repentinas (QPR), o que está muito acima da média de 15% apresentada pelas demais células, como mostrado na mesma tabela. A principal causa de quedas de cada célula está em destaque.

De acordo com a Tabela 5.1, o setor NGR11 aparece na 16ª posição, pois a ordenação foi pelo mês de março de 2007. Se a ordem fosse pelo mês de dezembro de 2006, esta célula apareceria na primeira posição, com uma TQC de 5,87%, como mostra a Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Porcentagem das principais causas de quedas em dezembro de 2006.

Células	TQC (%)	Call Drop (%)	QSB (%)	QSU (%)	QSD (%)	QQB (%)	QQU (%)	QQD (%)	QDE (%)	QPR (%)	QOC (%)
NGR11	5,87	10,64	14,94	24,95	2,03	0,13	0,47	10,03	0,03	46,54	0,88
OLR11	5,48	6,93	51,44	29,43	0,72	0	0,56	1,83	0	12,36	3,67
NV013	3,88	5,32	52,12	16,57	1,65	0,17	0,09	3,04	4,77	16,22	5,38
IC013	3,58	5,12	5,32	0,4	50,92	3	8,54	9,61	0,22	20,03	1,97
YBR12	3,35	5,67	37,4	26,83	3,53	0,19	0,93	8,16	5,63	14,33	2,99
YBR22	3,28	6,29	33,01	33,84	2,76	0,37	0,66	15,16	0,2	12,33	1,66
JOR12	3,22	4,26	26,6	19,83	5,06	0,93	2,28	12,98	3,07	11,98	17,26
YBR21	3,15	5,1	49,84	29,19	1,99	0	0,64	4,94	0,24	11,48	1,67
AR013	3,08	5,1	54,84	15,05	3,23	0	1,08	11,83	0	11,83	2,15
OLR12	3,04	4,34	53,26	29,21	1,23	0,06	0,13	4	0	10,57	1,55
SDR11	2,82	4,66	7,8	4,84	30,42	2,81	14,04	9,67	0,31	25,12	4,99
TB011	2,72	4,79	35,59	21,62	2,84	0,22	0,22	7,42	0,22	28,38	3,49
CE011	2,45	5,73	29	17,76	7,24	0,32	0,84	28,96	0,56	9,96	5,36
GP013	2,42	3,06	21,26	49,08	0,96	0,09	0,17	18,02	0	8,75	1,66
BR043	2,3	3,04	61,46	20	0,24	0	1,71	0,49	0	14,15	1,95
IC012	2,29	3,49	6,4	0,64	21,49	3,28	1,83	51,26	0	11,39	3,71
YBR11	2,26	3,7	33,27	12,95	5,93	0,14	1,91	17,86	3,34	13,43	11,18
MS011	2,24	4,28	5,22	1,19	42,32	2,04	5,62	15,12	0,15	26,6	1,74
PT013	2,21	4,43	45,44	24,68	2,57	0,12	0,29	12,51	0,2	11,91	2,28
JAR11	2,18	3,49	44,94	29,96	1,75	0	0,58	4,47	0,19	16,15	1,95
JAR12	2,09	2,85	52,2	23,2	1	0,2	1,4	5,2	0	14,8	2
MN013	2,01	4,82	31,23	5,55	36,36	0,35	1,66	9,82	0,05	11,81	3,18

Esse fato pode ser comprovado por meio da Tabela 5.2, verificando-se uma redução de 2,92 p.p. na TQC, passando de 5,19%, em janeiro de 2007, para 2,27%, em fevereiro, e se mantendo relativamente estável, em março do mesmo ano, com 2,17%.

Esta redução na TQC ocorreu pelo seguinte fato: em 31 de janeiro de 2007 foi interrompida a relação de *handover* entre os setores NGR11 e IC011. Essa solução foi proposta após uma pesquisa mais detalhada nos diversos indicadores de desempenho dessa célula. O fato de essa célula apresentar uma alta TQC devido a quedas repentinas levou à observação do comportamento dos *handovers* nela.

A Tabela 5.7 mostra que havia uma perda de 30,12% nos *handovers* de saída desta célula, enquanto a perda nos *handovers* de entrada era de apenas 1,14%, que é a média das demais células no mês de janeiro de 2007.

Tabela 5.7 – Desempenho dos *handovers* de entrada e saída das células.

Células	Saída c/ sucesso (%)	Reversos (%)	Perdidos (%)	Qtd. Tentativas	Entrada c/ sucesso (%)	Reversos (%)	Perdidos (%)	Qtd. Tentativas
NGR11	61,09	8,79	30,12	10703	93,62	5,24	1,14	16289
OLR11	90,26	8,12	1,63	6455	87,03	11,66	1,31	6507
NV013	86,67	12,47	0,86	9137	89,2	9,67	1,13	8601
IC013	84,31	14,01	1,68	17400	89,73	7,2	3,07	11592
YBR12	87,46	11,24	1,29	32947	84,19	13,43	2,38	25446
YBR22	92,38	5,29	2,33	33193	88,63	10,25	1,12	14863
JOR12	92,96	4,22	2,82	11568	80,33	18,53	1,14	12529
YBR21	93,17	5,58	1,25	15167	84,96	12,6	2,44	30334
AR013	93,91	3,54	2,54	1101	90,51	8,17	1,32	1138
OLR12	88,24	10,79	0,97	11867	93,81	4,92	1,27	10570
SDR11	90,63	8,11	1,26	8623	88,64	10,72	0,65	37000
TB011	90,48	8,9	0,62	5461	96,56	3,17	0,26	26808
CE011	96,82	2,19	0,99	51937	88,61	10,92	0,46	55643
GP013	89,55	5,65	4,81	9529	90,36	7,53	2,11	8237
BR043	96,9	2,69	0,41	4684	98,62	1,05	0,33	4290
IC012	94,45	3,4	2,15	10326	85,45	13,41	1,14	10626
YBR11	92,05	6,55	1,4	25609	98,93	0,9	0,18	14056
MS011	91,54	7,21	1,24	33976	93,07	6	0,92	31759
PT013	94,67	3,87	1,46	47775	94,44	5,09	0,47	36752
JAR11	88,79	10,64	0,57	8572	94,99	4,44	0,57	7709
JAR12	93,3	6,1	0,6	6881	97,03	2,43	0,54	5966
MN013	92,08	6,7	1,23	60675	93,64	5,39	0,97	49660

O problema era causado pela limitação de cobertura do setor IC011, observado pelo parâmetro de alinhamento de tempo (MAXTA). O setor IC011, por estar na borda de uma região, propiciava cobertura fora da área geográfica. Como medida emergencial, o MAXTA deveria ser reduzido de 63 (valor normal) para 5, o que restringiria a cobertura deste setor a uma distância máxima de 2,5 km. Esta medida foi tomada para solucionar o avanço na região proibida. A solução definitiva para este problema deve ser a alteração da portadora de 900 MHz para 1800 MHz, o que reduzirá a cobertura desta célula.

Quando a EM estava sob a cobertura do NGR11, seguindo em direção ao IC011, a EM informava a BSC, por meio das mensagens de *MEAS REPORT* (enviada no canal SACCH a

cada 0,48 s), quais eram os níveis de sinal que os canais de controle das ERBs vizinhas apresentavam e o nível do sinal do NGR11. Em determinado momento, após várias medições enviadas pela EM, a BSC processava o AL e gerava a lista de possíveis candidatos para o *handover*. Uma vez que o IC011 se apresentava em primeiro nessa lista, a BSC então enviava a ordem para que a EM efetuasse o *handover*.

Quando a EM enviava sua rajada, a ERB do IC011 calculava o TA da EM. Como esse valor era quase sempre maior do que 5 (limite da IC011), devido à distância entre a EM e o IC011, a chamada era interrompida. Como o *handover* não era concluído, a queda era contada para o NGR11 como QPR.

Portanto, com a exclusão dessa vizinhança até que as alterações fossem executadas no IC011, ocorreu redução significativa na TQC. Esse exemplo mostra como qualquer alteração na rede deve ser feita com critério, verificando as possíveis conseqüências para o desempenho dela.

A Fig. 5.6 apresenta o comportamento das causas de quedas na célula NGR11. Nota-se que houve uma variação nas causas de queda por nível de sinal e quedas repentinas, QSx e QPR, respectivamente. A porcentagem de QPR está em torno de 20%, que é um pouco acima da média das demais células com cobertura mais extensa.

5.3.2.3 Acréscimo de vizinhança (C)

Atendo-se ao setor NGR11 e com o auxílio da Tabela 5.8 é possível observar que ainda existe margem considerável para redução na TQC que tem valor de 1,92%. Nota-se que ainda existe um percentual de aproximadamente 20% de quedas repentinas e 61,03% (26,7%+3,26%+31,07%) de quedas devido ao nível baixo de sinal na interface aérea.

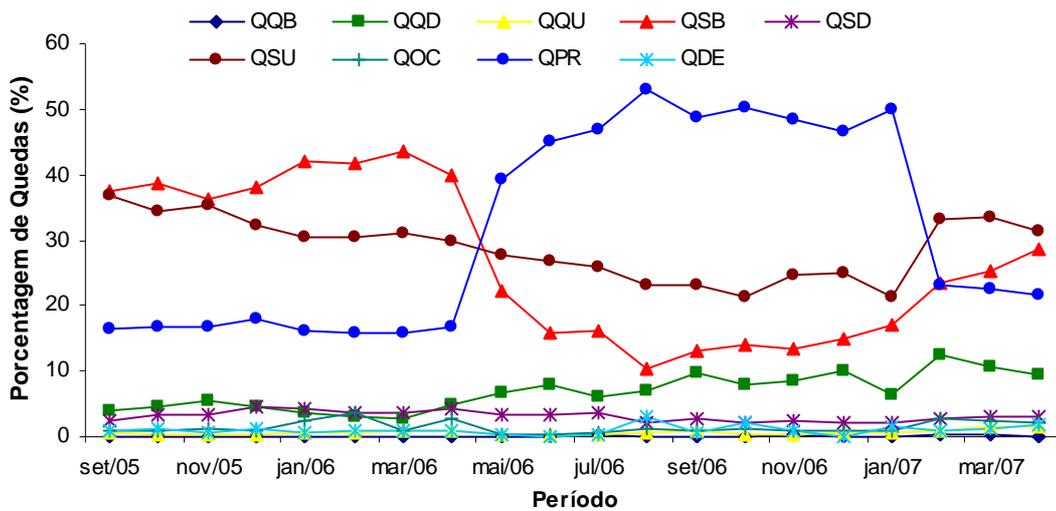


Fig. 5.6 – Causas de quedas de chamada da célula NGR11. Período de medição: março de 2006 a março de 2007.

As quedas repentinas podem ocorrer devido às falhas encontradas no momento da execução do *handover*. A Tabela 5.9 mostra que dos *handovers* de saída da célula NGR11 existe uma perda de 2,42% de um total de 9568 tentativas, que representa aproximadamente um total de 230 quedas, valor bastante próximo do total de 260 quedas repentinas (22,77% das 1146 quedas).

Uma modificação nos valores dos parâmetros de histerese pode gerar relação melhor entre as células da Tabela 5.9, garantindo um número menor de quedas devido à falha no *handover* [25]. As células da Tabela 5.9 são as células mais próximas da célula NGR11.

Foi mencionado, no Capítulo 4, que algumas informações bastante úteis para o gerenciamento da rede podem ser fornecidas pelas EMs. Essas informações são, principalmente, provenientes da BA list, que contém as medições que a EM faz do nível de sinal da célula servidora durante a chamada e também das outras células vizinhas.

Tabela 5.8 – Acompanhamento da TQC para o setor NGR11 e a distribuição da porcentagem por causas de quedas.

Mês	TQC (%)	QSB (%)	QSD (%)	QSU (%)	QQB (%)	QQD (%)	QQU (%)	QOC (%)	QPR (%)	QDE (%)
jul/07	1,92	26,7	3,26	31,07	0,42	11,37	1,73	2,01	23,3	0,1
jun/07	1,92	26,22	2,76	32,84	0,09	10,49	1,29	3,04	22,63	0,6
mai/07	1,63	30,03	2,68	26,89	0,23	10,24	2,21	2,91	23,86	0,9
abr/07	1,75	28,6	3,18	31,5	0,09	9,53	1,59	2,15	21,59	1,8
mar/07	2,14	25,16	3,08	33,36	0,16	10,57	1,42	2,37	22,63	1,3
fev/07	2,27	23,5	2,84	33,31	0,16	12,4	1,05	2,59	23,1	1,1
jan/07	5,19	16,91	2,18	21,27	0,15	6,39	0,54	1,02	49,91	1,6
dez/06	5,87	14,94	2,03	24,95	0,13	10,03	0,47	0,88	46,54	0
nov/06	4,62	13,36	2,5	24,58	0,18	8,46	0,4	0,99	48,53	1
out/06	5,15	14,08	2,22	21,46	0,11	7,99	0,43	1,33	50,2	2,2
set/06	5,64	13,13	2,6	23,18	0,14	9,8	0,8	0,83	48,82	0,7
ago/06	5,47	10,22	2	23,08	0,12	7,07	0,5	1,19	52,88	3
jul/06	5,81	16,06	3,64	25,79	0,26	6,13	0,43	0,51	46,79	0,4
jun/06	8,96	15,85	3,22	26,87	0,12	8,03	0,45	0,23	45,09	0,2
mai/06	6,33	22,35	3,32	27,57	0,05	6,6	0,32	0,38	39,22	0,2
abr/06	2,06	39,87	4,3	29,74	0,06	4,89	1,06	2,65	16,61	0,8
mar/06	1,99	43,7	3,68	31,02	0	2,69	1,06	0,92	15,86	1,1
fev/06	2,01	41,68	3,63	30,54	0,12	2,99	0,7	3,63	15,89	0,8
jan/06	2,29	42,08	4,19	30,49	0	3,73	0,47	2,48	16,05	0,5
dez/05	2,36	38,11	4,57	32,29	0	4,47	0,42	0,83	17,96	1,4
nov/05	2,12	36,38	3,38	35,41	0,15	5,63	0,45	1,13	16,8	0,7
out/05	2,72	38,64	3,29	34,4	0	4,46	0,37	0,88	16,87	1,1
set/05	3,34	37,47	2,44	36,86	0	3,97	0,71	1,02	16,5	1

Tabela 5.9 – Desempenho dos *handovers* de saída da célula NGR11 no mês de março de 2007.

Célula vizinha	Qtd. Tentativas	Saída com sucesso (%)	Reversos (%)	Perdidos (%)	Tentativas (%)
IC013	4164	90,83	5,52	3,65	43,5
PL011	2422	74,86	23,2	1,94	25,3
NGR12	2167	94,65	4,85	0,51	22,6
IC012	815	56,32	40,98	2,7	8,5
Total	9568	84,71	12,87	2,42	100

O responsável pelo gerenciamento da rede pode inserir na BA list, além das frequências das células vizinhas, as frequências de teste que podem ser monitoradas pela EM. Durante certo intervalo de tempo definido pelo operador, a EM fará medição dessas frequências. Essa função é bastante útil para monitorar possíveis células candidatas à inclusão de vizinhança [2].

Por meio da utilização dessa potente ferramenta de coleta de dados e do estudo da vizinhança da célula NGR11, foram acrescentadas algumas frequências de células que não estão diretamente próximas, mas que, para efeito de análise, foram acrescentadas à sua BA list. O resultado é apresentado a seguir.

Por intermédio da análise das possíveis candidatas geograficamente mais próximas, foram inseridas as frequências das células NG011, NG012, IC011, PL012 e GC012. O tempo total de teste foi 360 minutos. O número de mensagens *MEAS REPORT* enviadas por EMs que estavam em chamada nesse intervalo foi 66150. O nível médio de sinal reportado pela EM da célula NGR11 foi -85 dBm.

A Fig. 5.7 mostra o número de vezes que a frequência apareceu nas mensagens (medições). Utilizando a combinação da frequência medida com o BSIC decodificado, é possível determinar de qual célula a medição foi feita. Como se pode observar, a célula que mais apareceu nas medições foi a NGR12, que pertence à mesma ERB. Em segundo lugar, apareceu uma das células inseridas para teste, a NG011. Os dados indicados com um traço (-) nas Fig. 5.7-5.9 são de células que pertencem a redes de outras operadoras.

A Fig. 5.8 apresenta o número de vezes que cada célula foi reportada como sendo a única candidata ao *handover*, ou seja, caso a célula fosse uma das definidas como vizinha, ela seria a única possível candidata ao *handover* que a EM teria à sua disposição. Novamente, a célula de teste NG011 aparece como possível candidata.

De acordo com as Fig.s 5.7 e 5.8, a frequência de teste referente à célula NG011 aparece em situação melhor do que as células que foram definidas como vizinhas. É imediato pensar em acrescentar esta célula como vizinha da célula NGR11. Porém, a Ericsson, fabricante dos equipamentos da rede dessa região, recomenda que um último cálculo seja feito para decidir sobre a inclusão dessa vizinhança.

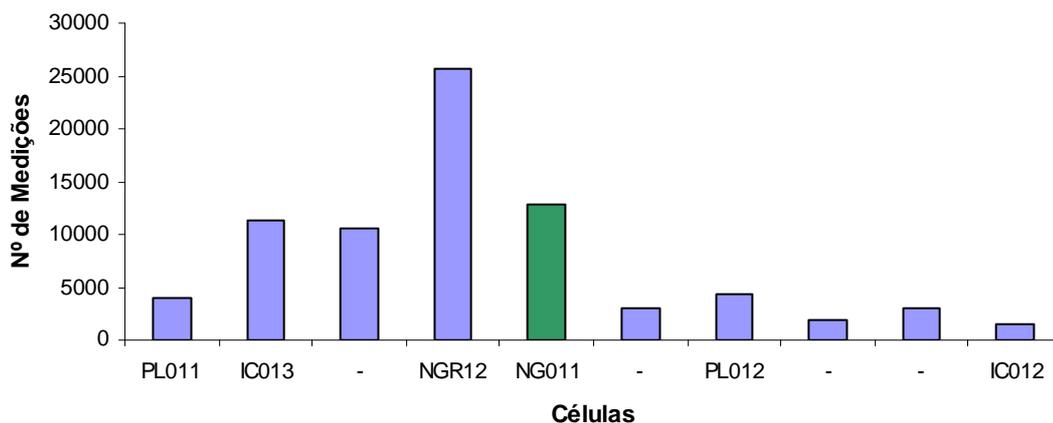


Fig. 5.7 – Número de vezes que a combinação de frequência e BSIC foi decodificada e associada a uma das células conhecidas.

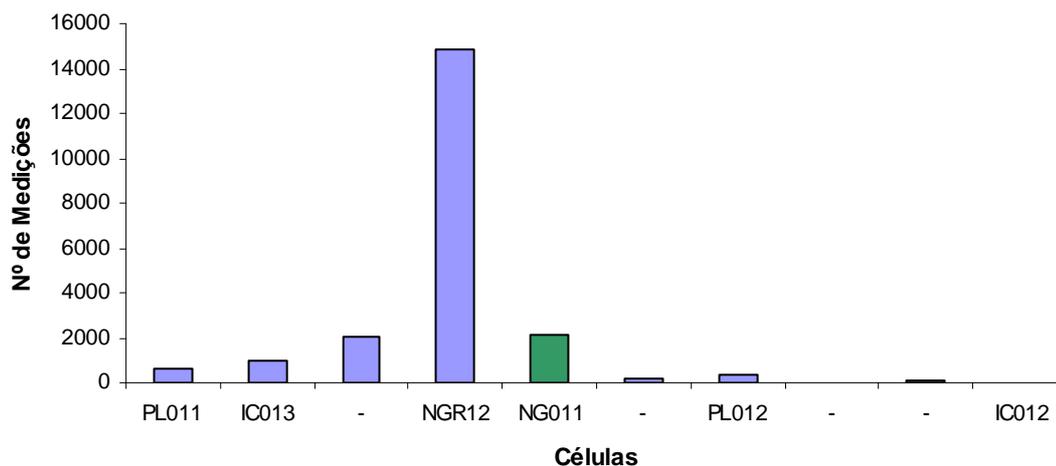


Fig. 5.8 – Número de vezes que as células apareceram como única candidata ao handover.

A Fig. 5.9 mostra a porcentagem de vezes que o nível medido de uma célula foi superior ao da célula servidora acrescido de limiar. Esse limiar simula o parâmetro de histerese e significa que um possível *handover* para aquela célula poderia ser efetuado. Como o valor para a célula NG011 ficou em 3,96% e o valor deveria ser superior a 2%, seguindo o algoritmo do fabricante sugerimos o acréscimo dessa célula como célula vizinha de NGR11. Em 15 de agosto de 2007 essa inclusão foi efetuada.

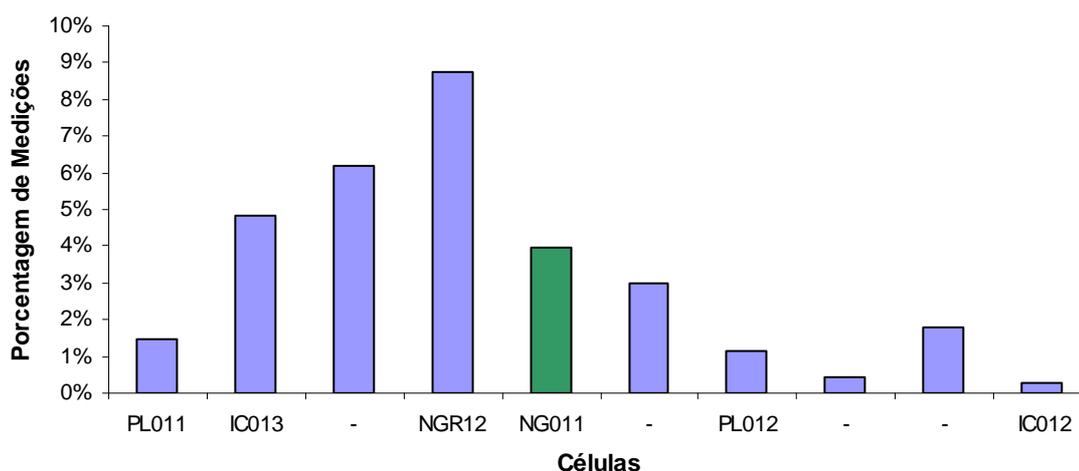


Fig. 5.9 – Número de vezes que a EM recebeu o sinal mais intenso dessas células do que da célula servidora.

A Tabela 5.10 mostra o desempenho dos *handovers* da célula NGR11 um mês antes e um mês após do acréscimo da célula NG011. Nota-se que a porcentagem de tentativas de *handover* para essa célula é de 18%, correspondendo a 2667 tentativas. Dessas tentativas, 77% foram com sucesso e apenas 0,6% foram perdidos. A porcentagem total de quedas caiu de 2,44% para 1,48%, significando que a alteração causou um efeito positivo no desempenho dos *handovers* de saída.

Tabela 5.10 – Desempenho dos *handovers* de saída da célula NGR11 um mês antes e um mês após a inclusão da célula NG011 como vizinha.

Data	Célula vizinha	QTD. Tentativas	Sucesso (%)	Reversos (%)	Perdidos (%)	Tentativas (%)
15/08-14/09	IC013	8455	91,14	5,41	3,45	49
	NGR12	4230	94,7	4,66	0,64	25
	PL011	2938	74,64	23,11	2,25	17
	IC012	1566	71,26	26,63	2,11	9
	TOTAL	17264	87,3	10,26	2,44	100
15/09-14/10	IC013	4902	94,51	3,26	2,22	33
	NGR12	3085	96,76	2,66	0,58	21
	PL011	2914	74,02	24,4	1,58	20
	NG011	2667	77,24	22,16	0,6	18
	IC012	1079	66,73	30,86	2,41	7
	PL014	158	72,15	25,32	2,53	1
	TOTAL	14805	85,57	12,95	1,48	100

No desempenho global de *handovers* de entrada e saída também houve redução nas perdas de 1,59% para 1,04%, como mostra a Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Desempenho dos *handovers* de saída e entrada da célula NGR11 um mês antes e um mês após a inclusão da célula NG011 como vizinha.

Data	Sucesso (%)	Reversos (%)	Perdidos (%)
15/08/07-14/09/07	90,91	7,5	1,59
15/09/07-14/10/07	91,46	7,5	1,04

Como o foco da alteração visava à redução da TQC, vamos analisar o que ocorreu. A Tabela 5.12 apresenta o comportamento da TQC um mês antes e um mês após a implementação da alteração de vizinhança. Houve uma redução na TQC, passando de 1,9%, um mês antes da inclusão, para 1,5% um mês após.

Tabela 5.12 – TQC da célula NGR11 um mês antes e um mês após a inclusão da célula NG011 como vizinha.

Data	TQC (%)	QSB (%)	QSU (%)	QSD (%)	QQB (%)	QQU (%)	QQD (%)	QDE (%)	QPR (%)	QOC (%)
15/08/07-14/09/07	1,9	26,3	33	2,15	0,33	0,83	16,9	0,3	18,3	1,98
15/09/07-14/10/07	1,5	31,5	30,4	3,21	0,09	1,89	10,2	1,1	19,7	1,89

5.3.2.4 Alteração no controle automático de potência (D)

Por meio da Tabela 5.12, nota-se que o valor da TQC já está abaixo do valor padrão de 2% adotado para este indicador. A partir dessa constatação, poderíamos encerrar as atividades nessa célula e voltar atenção para as células com TQC acima de 2%. Entretanto, vamos continuar investigando as causas deste 1,5% de quedas de chamadas (Tabela 5.12) para mostrar que existem outros indicadores importantes para análise do desempenho de uma célula. Entre esses indicadores veremos que o comportamento do sinal que trafega pela interface aérea pode ser estudado em detalhes sem o auxílio de equipamentos específicos de medição de sinais.

Recorrendo à Tabela 5.12, vejamos, em mais detalhes, o que pode ser extraído sobre as quedas que ocorrem na célula NGR11. De acordo com a tabela, o nível baixo de sinal

(QSB+QSU+QSD), é responsável por 65,11% das quedas. As QPR representam 19,7% e as por baixa qualidade do sinal, 12,18% (QQB+QQU+QQD). Por fim, as QDE e QOC são 1,1% e 1,89%, respectivamente.

As quedas por nível baixo de sinal ocorrem em 31,5% dos casos, 30,4%, por nível baixo no *uplink*, e apenas 3,21%, por nível baixo de sinal no *downlink*. Seria razoável supor que das quedas devido ao nível baixo de sinal, quase todas deveriam ser em ambas as direções, uma vez que a dificuldade enfrentada pelo sinal deveria ser igual em sua trajetória pelo espaço. Nota-se que apenas 3,21% das quedas são causadas por problemas no *downlink*. Com base nessas observações, passemos para uma análise na interface aérea.

Durante uma chamada, a EM constantemente faz medições do nível de sinal recebido em cada rajada de sinal enviada pela ERB, se a função DTX não estiver ativa. Se estiver ativa, a EM fará medições somente quando houver rajadas. O mesmo processo acontece no sentido oposto, ou seja, a ERB também mede o nível de sinal recebido em cada rajada. As medições efetuadas pela EM são enviadas para a ERB em uma rajada que contém a mensagem *MEAS REPORT* no canal SACCH. A ERB acrescenta a essas medições as suas próprias medições de nível de sinal recebido e BER, enviando-as à BSC. De posse dessas informações, a BSC controla a potência de transmissão que a ERB e a EM devem utilizar. Esse controle de potência ocorre a cada 480 ms. As medições contidas nessas mensagens são armazenadas na BSC em forma de contadores e servem para monitorar o desempenho de cada célula.

A Tabela 5.13 mostra algumas informações extraídas a partir desses contadores. A primeira coluna ($SSUP < -94$ dBm) apresenta a porcentagem de medições em que o nível de sinal recebido pela ERB foi inferior a -94 dBm. A segunda coluna mostra a mesma informação, porém para as medições efetuadas pela EM. As demais colunas mostram, respectivamente, a qualidade em termos de BER das rajadas, o desbalanceamento da

atenuação de percurso, a atenuação de percurso média e a interferência medida pela ERB em seus canais de tráfego que não estão em uso.

Por meio da Tabela 5.13, verifica-se que na célula estudada 69,56% das rajadas recebidas no *uplink* apresentaram ss inferior a -94 dBm, enquanto no *downlink* esse valor é 26,85%. A atenuação média no percurso *uplink* é 125,48 dB e no *downlink* é 128,48 dB, ou seja, há 3 dB de diferença entre os sinais *downlink* e *uplink*. Nota-se que apesar da atenuação no *uplink* ser menor a porcentagem de rajadas recebidas com baixo nível é 2,6 vezes maior do que no *downlink*.

Tabela 5.13 – Comportamento da interface aérea.

Células	SSUP < -94 dBm (%)	SSDL < -94 dBm (%)	RXQUALUP > 3 (%)	RXQUALDL > 3 (%)	Desbalanço (dB)	PLAVGUP (dB)	PLAVGDL (dB)	Interferência (%)
OLR12	81,06	32,56	14,16	8,6	-2,96	127,74	130,71	0
YBR22	77,62	27,89	10,61	13,67	-1,3	128,98	130,29	0,03
TB011	74,87	30,84	8,88	6,81	-4,8	124,66	129,46	0
JAR12	71,97	26,22	8,06	6,32	-3,34	124,25	127,59	0
OLR11	70,71	29,78	12,76	8,45	-3,13	124,52	127,65	0
JOR12	70,45	22,32	16,05	9,87	-2,18	126,67	128,85	0,08
JAR11	69,95	24,49	8,33	5,18	-2,8	123,67	126,47	0
NV013	69,81	31,07	9	6,85	-4,04	124,17	128,21	0
NGR11	69,56	26,85	8,39	5,7	-3,01	125,48	128,48	0,02
CE011	67,84	42,4	8,58	17,66	-4,3	125,78	130,08	0,08
PT013	63,84	31,11	9,45	14,99	-1,63	125,43	127,06	0,01
AR013	62,39	30,7	7,29	11,47	-5,25	121,78	127,03	0
YBR12	61,96	25,83	10,07	7,93	-2,72	123,4	126,12	0,06
YBR21	61,64	24,32	10,34	6,56	-1,79	123,76	125,55	0,03
BR043	60,92	22,03	6,65	4,56	-4,93	120,38	125,31	0,02
GP013	57,59	17,64	3,6	6,54	-4,45	119,27	123,72	0
MN013	57,07	60,77	14,34	21,87	-9,33	123,11	132,45	20,85
YBR11	53,17	30,64	6,2	11,99	-4,7	119,58	124,28	0,14
MS011	48,69	35,71	6,48	11,64	-12,55	117,97	130,52	0,19
IC013	37,94	38,17	11,57	9,82	-15,62	115,48	131,1	96,57
SDR11	37,71	23,77	10,95	6,03	-10,37	114,62	124,99	0,23
IC012	17,23	15,12	4,28	9,71	-14,59	102,32	116,91	4,21

A partir desses resultados conclui-se que, como o nível recebido no *uplink* é menor e a atenuação de percurso média já é mais baixa do que no *downlink*, a única solução para aumentar o nível do sinal recebido no *uplink* é aumentar a potência de transmissão das EMs. Entretanto, a potência permitida para transmissão das EMs já está no valor máximo 33 dBm.

Devido à função CAP estar ativa nos dois sentidos, a EM não transmite o tempo todo com a máxima potência, mas sim com a potência estabelecida pela BSC por meio das medições. O controle de potência funciona da seguinte maneira: a BSC se baseia em um nível de referência (NR), que será comparado com o nível do sinal recebido; a potência da EM será regulada de tal forma que o nível recebido na ERB seja o NR.

Foi verificado que o NR definido para aquela célula era -95 dBm. Para aproximar o valor médio das medições no *uplink* com as do *downlink*, foi sugerida a alteração desse valor de referência para -82 dBm, forçando as EMs a operarem com potência de transmissão um pouco maior. Essa alteração foi implementada no dia 15 de setembro de 2007 e permaneceu até o dia 30 do mesmo mês.

A Fig. 5.10 apresenta o comportamento do nível de sinal no *uplink* antes e depois da alteração efetuada. A porcentagem de sinal com nível acima de -77 dBm é praticamente igual antes e depois, o que evidencia o funcionamento do algoritmo de controle de potência.

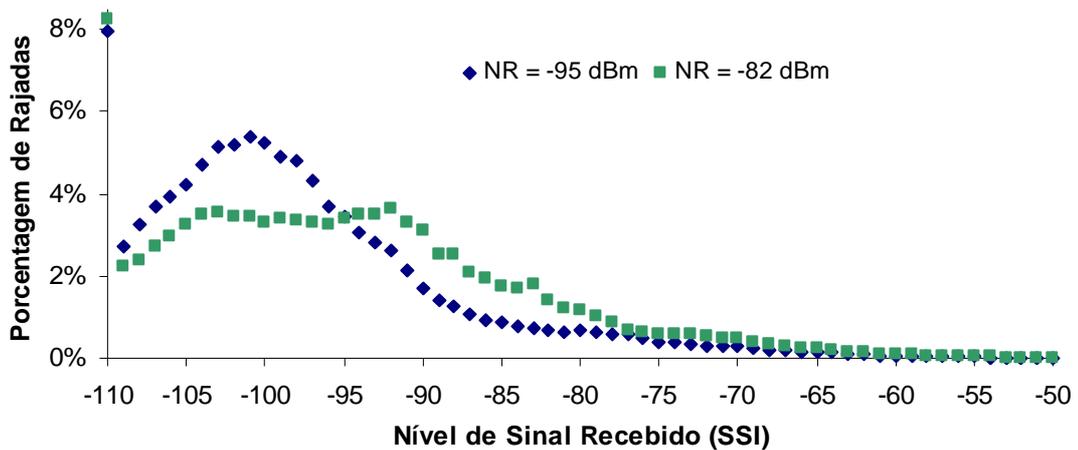


Fig. 5.10 – Intensidade de sinal recebido pela ERB do NGR11 antes e depois da alteração no controle de potência da EM.

A Tabela 5.14 mostra a TQC antes e após a alteração. Como podemos notar, houve novamente uma redução na TQC, passando de 1,77%, quinze dias antes da alteração, para 1,44%, quinze dias após.

Tabela 5.14 – TQC da célula NGR11 quinze dias antes e após a alteração no valor de referência para controle de potência da EM.

DATA	TQC (%)	QSB (%)	QSU (%)	QSD (%)	QQB (%)	QQU (%)	QQD (%)	QDE (%)	QPR (%)	QOC (%)
1 a 15/09/07	1,77	29,22	29,87	3,03	0,22	0,43	15,37	0,43	19,48	1,95
16 a 30/09/07	1,44	31,62	29,96	2,76	0,18	1,84	10,29	1,84	19,3	2,21

5.3.2.5 Retirada do controle de potência da EM (E)

Efetuamos uma alteração para testar o comportamento do nível de sinal no *uplink* e obtivemos uma redução de 0,33% na TQC. Seria interessante agora verificar o que ocorre se o controle de potência de transmissão das EMs naquela célula for desativado. Todas as EMs que estiverem em chamada utilizariam sua potência máxima de transmissão, que no caso dessa célula seria 33 dBm (2 W), pois utilizam a frequência de 900 MHz. A Fig. 5.11 mostra a comparação entre a alteração feita no controle de potência (Seção 5.3.2.4), por meio da alteração do NR de -95 para -82 dBm e controle de potência desativado na célula.

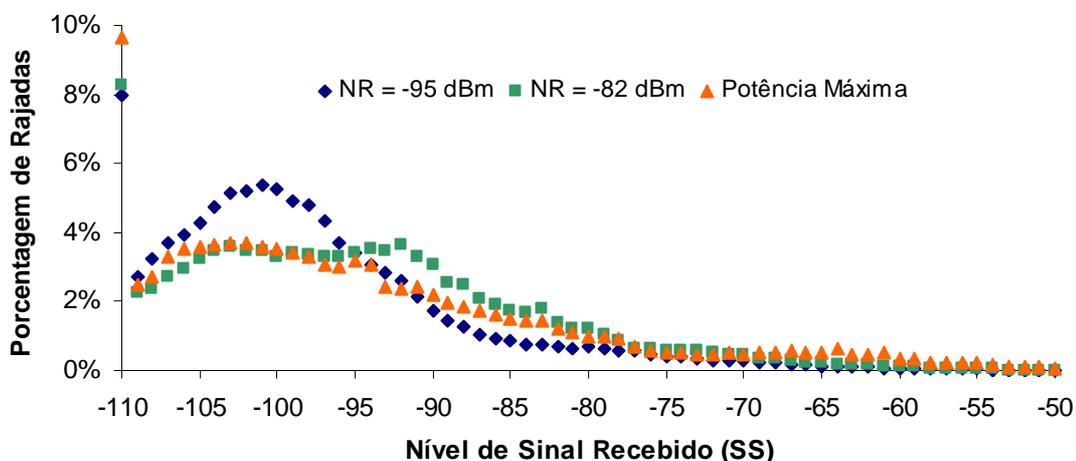


Fig. 5.11 – Intensidade de sinal recebido pela ERB do NGR11 antes e depois da alteração no controle de potência da EM e sem o controle de potência.

No caso em que as EMs transmitem com a máxima potência, a porcentagem do nível médio das rajadas é similar ao caso anterior, ficando abaixo daquele para os níveis acima de -94 a -78 dBm, e acima para os níveis de -110 a -106 dBm e de -70 a -60 dBm. Isso mostra que

o controle ativado com o $NR = -82$ dBm é mais benéfico para manter o nível de sinal recebido para os casos em que o sinal está mais fraco.

A Fig. 5.12 mostra a atenuação de percurso para as três situações descritas. Nota-se que não houve variação significativa em nenhum dos casos. Novamente, verifica-se que $NR = -82$ dBm apresenta uma porcentagem maior de valores na região entre 100 e 112 dB e uma porcentagem menor na região de 130 a 148 dB, significando que houve uma ligeira redução na atenuação, beneficiando o sinal na interface aérea.

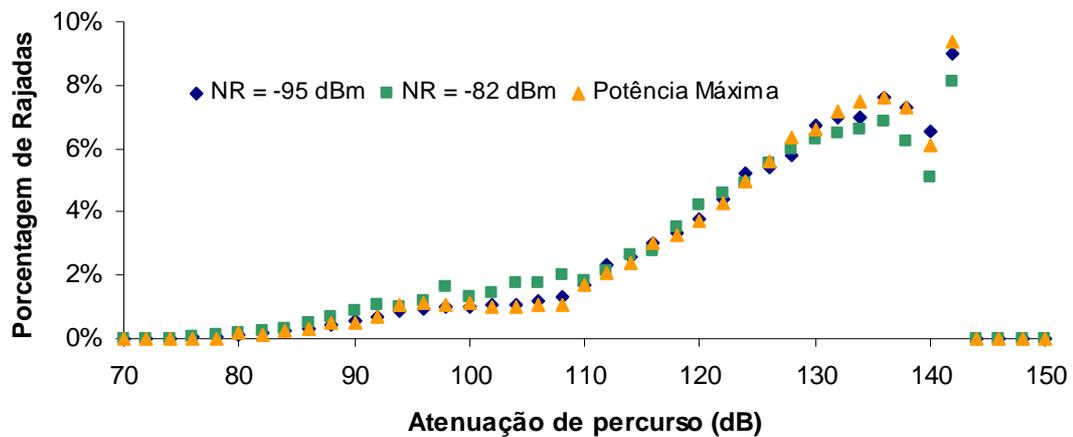


Fig. 5.12 – Atenuação do sinal recebido pela ERB do NGR11 antes e depois da alteração no controle de potência da EM e sem o controle de potência.

A Tabela 5.15 apresenta uma comparação entre os níveis de sinal na interface aérea após as três alterações realizadas. Como mostrado nas Fig. 5.11 e 5.12, houve um aumento da porcentagem de rajadas com nível melhor após a alteração do NR para -82 dBm e uma redução de aproximadamente 3 dB na atenuação de percurso média.

Tabela 5.15 – Comparação entre os níveis na interface aérea após as alterações efetuadas.

DATA	SSUP < -94dBm (%)	SSDL < -94dBm (%)	RXQUAL UP > 3 (%)	RXQUAL DL > 3 (%)	Desbalanço (dB)	PLAVGUP (dB)	PLAVGDL (dB)
1 a 15/09/07	69,56	26,85	8,39	5,7	-3,01	125,48	128,48
16 a 30/09/07	53,38	21,06	9,03	4,73	-2,94	122,66	125,61
1 a 15/11/07	55,12	22,25	9,98	5,22	-2,23	125,21	127,44

Por fim, será analisado o comportamento da TQC após a retirada do controle de potência. A Tabela 5.16 apresenta a TQC. Nota-se aumento da TQC em relação à alteração anterior.

Tabela 5.16 – Comparação entre da TQC após três alterações (C, D e E) na célula NGR11.

DATA	TQC (%)	QSB (%)	QSU (%)	QSD (%)	QQB (%)	QQU (%)	QQD (%)	QDE (%)	QPR (%)	QOC (%)
1 a 15/09/07	1,77	29,22	29,87	3,03	0,22	0,43	15,37	0,43	19,48	1,95
16 a 30/09/07	1,44	31,62	29,96	2,76	0,18	1,84	10,29	1,84	19,3	2,21
1 a 15/11/07	1,61	29,34	34,75	3,47	0,19	0,39	10,42	0,39	18,15	2,9

A Tabela 5.17 apresenta a distribuição do raio de cobertura dessa célula. A sua cobertura média é de 7,23 km. Nota-se que existe uma concentração de 64,36% das chamadas a distâncias, que variam de 3 a 10 km, e uma porcentagem de 7,3% de chamadas de 20 a 30 km, que é uma distância bastante significativa, podendo ocasionar algumas quedas devido ao nível baixo de sinal.

Tabela 5.17 – Distribuição do raio de cobertura da célula NGR11.

Cobertura Média (km)	Cobertura (km) %					
	0 a 1	1 a 3	3 a 10	10 a 20	20 a 30	> 30
7,23	8,84	8,21	64,36	11,28	7,3	0,01

5.4 Avaliação das alterações

Uma seqüência cronológica foi adotada para efetuar as alterações na célula NGR11, isto é, a cada etapa de ajuste de parâmetros a principal causa de QC foi observada e houve uma tentativa de minimizar este problema. Para análise de problemas similares, outra seqüência poderia ser adotada, como exclusão de vizinhança, acréscimo de vizinhança e ajuste de parâmetros.

Devido à grande quantidade de indicadores de desempenho presentes em uma rede celular, a tarefa de analisar todos é difícil quando existe uma quantidade considerável de células. Sendo assim, para determinar se houve impacto negativo nas células vizinhas à célula

estudada, foram escolhidos arbitrariamente dois indicadores: o número de chamadas que entraram nas células vizinhas e a TQC dessas.

A Fig. 5.13 apresenta o número total de chamadas que foram originadas em cada uma das células vizinhas e na célula NGR11. Nenhuma das células apresentou redução do tráfego e houve um aumento, provavelmente decorrente do aumento da base de assinantes da operadora.

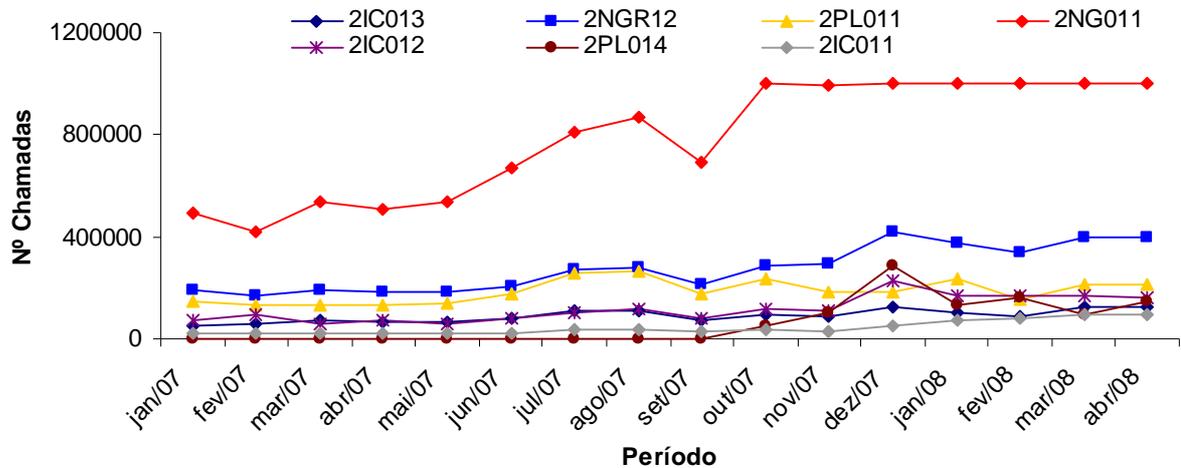


Fig. 5.13 – Comportamento do número total de chamadas originadas nas células vizinhas a célula NGR11.

Quanto à TQC, também não houve aumento em nenhuma das células vizinhas a célula NGR11 em períodos próximos aos que ocorreram as alterações efetuadas.

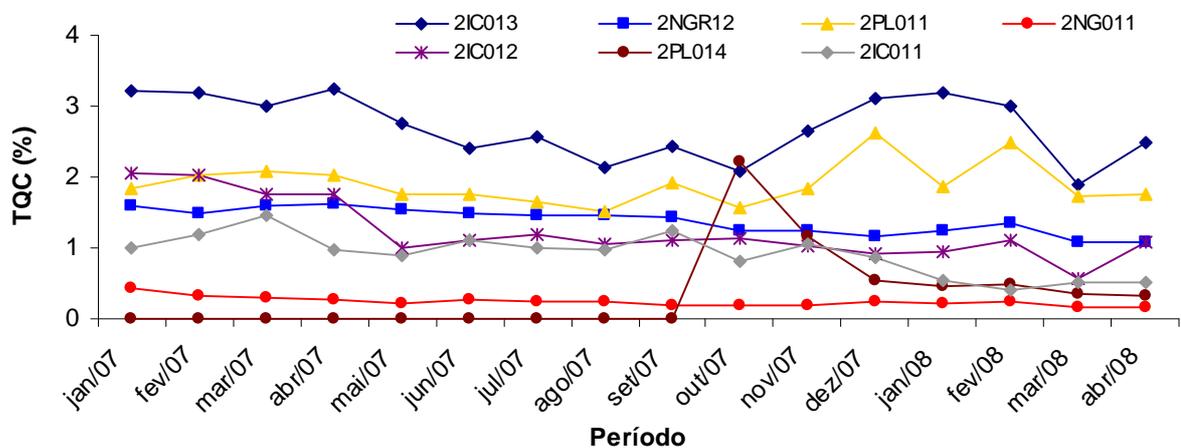


Fig. 5.14 – Comportamento da TQC nas células vizinhas a célula NGR11.

Capítulo 6 Conclusões

Um dos indicadores mais significativos da qualidade de uma rede GSM é a taxa de queda de chamada. Reduzir ao máximo essa taxa tem impacto grande na satisfação do assinante de operadora de serviço móvel celular.

A redução na taxa de queda de chamada pode ser obtida com a instalação de novos equipamentos na rede da operadora. Entretanto, os investimentos podem ser adiados devido ao foco estar na expansão da cobertura para áreas que ainda não a possuem. Nesse caso, um fator tem papel fundamental para melhorar a qualidade da rede: o gerenciamento estatístico do desempenho da rede. Esse gerenciamento permite otimizar o uso dos recursos disponíveis na rede, esgotando sua capacidade antes que sejam necessários novos investimentos.

Com base em retenção de chamada e gerenciamento estatístico, foi feito um estudo para reduzir a taxa de queda de chamada em uma rede GSM em operação. Após a análise estatística das quedas de chamada de uma BSC foi possível determinar as duas principais causas de quedas: a perda repentina de conexão e o nível baixo de sinal, que ocorrem simultaneamente no *uplink* e no *downlink*.

Devido à complexidade da rede GSM, seja pela quantidade de células ou pela correlação entre os diversos parâmetros que definem a cobertura celular, foi necessário escolher uma célula para estudo detalhado das causas de chamada. Essa célula apresentava uma taxa de queda de chamada inicial de 8,6%, muito acima do valor recomendado de 2%.

Tendo com base dados estatísticos disponíveis sobre essa célula, foi possível verificar quais as principais causas que acarretavam essa alta taxa de queda de chamada. O primeiro passo foi avaliar como a alteração do parâmetro de nível mínimo de sinal, para que a estação móvel possa considerar essa célula como candidata a melhor servidora, causou uma redução de 3,15 p.p. Concluída essa etapa, iniciou-se uma investigação para descobrir o motivo de uma célula de cobertura de rodovia possuir uma alta taxa de queda de chamada causada pela

perda repentina de conexão da EM com a rede, ao invés de apresentar como causa principal o nível baixo de sinal, como é comum nesse tipo de célula. Verificou-se que a alteração de um parâmetro que restringia a cobertura de uma célula vizinha à célula estudada era a causa. Com a exclusão dessa vizinhança obteve-se uma redução de 2,92 p.p. na taxa de queda de chamada.

O passo seguinte na busca por procedimento de redução da taxa de queda de chamada foi analisar a criação de novas relações de *handover* com as células próximas. Por meio da inserção de frequências das células mais prováveis para *handover* na *BCCH Allocation List*, as EMs efetuaram medições que indicaram que uma das células deveria ser inserida como vizinha da célula estudada. Com isso, foram obtidas uma melhora no desempenho do *handover* de entrada e saída da célula e uma redução na taxa de queda de chamada de 1,9% para 1,5%.

Para demonstrar a eficiência do gerenciamento estatístico da rede, analisamos outros fatores que causam a queda por nível baixo de sinal. Foi observado que o nível de sinal no *uplink* era muito inferior ao nível no *downlink*. Para resolver este problema, foram alterados os parâmetros do controle automático de potência. Com a redução do nível de referência de -95 dBm para -82 dBm houve uma melhora no nível de recepção da ERB, o que ocasionou uma nova redução da taxa de queda de chamada.

Por fim, para efeito de comparação e tentativa de nova redução da taxa de queda de chamada, o controle automático de potência foi retirado, forçando as EMs a transmitirem com sua potência máxima. Porém, ao contrário do que era esperado, o nível de sinal sofreu degradação e houve aumento na taxa de queda de chamada em relação à alteração anterior.

Portanto, a abordagem utilizada neste trabalho está focada na análise de desempenho de uma célula de rede GSM, a partir de dados de gerenciamento estatístico de tráfego. Sensível melhoria do desempenho pode ser obtida por meio de alteração de parâmetros, evitando

investimentos em novos equipamentos, reduzindo custo com deslocamento de pessoal técnico e otimizando o uso dos recursos da rede.

A extensão deste trabalho para outras células da mesma rede e de outras redes GSM pode ser efetuada seguindo os mesmos passos descritos acima: análise da configuração física e desempenho por meio do gerenciamento estatístico. Porém, podem existir variações de parâmetros de cobertura da célula e da relação entre células vizinhas que alterem o comportamento das EMs que estão sob aquela cobertura.

As operadoras devem utilizar com bastante frequência a ferramenta de gerenciamento estatístico fornecida pelos fabricantes e, na medida do possível, criar novas ferramentas que as auxiliem nessa tarefa.

Apêndice

A1 – Acompanhamento da TQC mensal do NGR11.

Mês	TQC	Chamadas	Nº Quedas	QQB (%)	QQD (%)	QQU (%)	QSB (%)	QSD (%)	QSU (%)	QOC (%)	QPR (%)	QDE (%)
abr/08	1,82%	98177	1788	0,06	9,68	1,79	28,3	4,42	32,7	1,01	21	1,01
mar/08	1,82%	88402	1611	0,06	8,81	1,12	30	4,1	32,8	0,43	22,4	0,25
fev/08	2,99%	67879	2029	0,64	14,2	1,08	28,9	3,99	30,7	0,3	20,2	0,05
jan/08	2,97%	71407	2124	1,04	11,5	1,22	29,7	3,58	34,3	0,14	18,5	0,09
dez/07	2,99%	77552	2320	2,03	13,4	1,47	25,5	2,93	31,4	0,91	19,8	2,54
nov/07	2,07%	60586	1253	1,36	12,9	1,12	28	3,51	31,4	2	19,3	0,32
out/07	1,42%	78751	1121	0,09	11,2	1,61	30,5	2,94	30,9	2,05	19,9	0,89
set/07	1,61%	64823	1042	0,1	12,6	1,25	29,9	3,36	31,4	1,73	19,3	0,48
ago/07	1,80%	80880	1452	0,34	16,1	1,1	26,2	2,34	32,2	1,93	19,3	0,48
jul/07	1,92%	74946	1442	0,42	11,4	1,73	26,7	3,26	31,1	2,01	23,3	0,14
jun/07	1,92%	56565	1087	0,09	10,5	1,29	26,2	2,76	32,8	3,04	22,6	0,64
mai/07	1,63%	52641	859	0,23	10,2	2,21	30	2,68	26,9	2,91	23,9	0,93
abr/07	1,75%	61095	1070	0,09	9,53	1,59	28,6	3,18	31,5	2,15	21,6	1,78
mar/07	2,14%	59287	1268	0,16	10,6	1,42	25,2	3,08	33,4	2,37	22,6	1,26
fev/07	2,27%	54346	1234	0,16	12,4	1,05	23,5	2,84	33,3	2,59	23,1	1,05
jan/07	5,19%	53062	2755	0,15	6,39	0,54	16,9	2,18	21,3	1,02	49,9	1,63
dez/06	5,87%	65523	3848	0,13	10	0,47	14,9	2,03	25	0,88	46,5	0,03
nov/06	4,62%	58811	2718	0,18	8,46	0,4	13,4	2,5	24,6	0,99	48,5	0,99
out/06	5,15%	54225	2791	0,11	7,99	0,43	14,1	2,22	21,5	1,33	50,2	2,19
set/06	5,64%	48995	2765	0,14	9,8	0,8	13,1	2,6	23,2	0,83	48,8	0,69
ago/06	5,47%	47598	2604	0,12	7,07	0,5	10,2	2	23,1	1,19	52,9	2,96
jul/06	5,81%	87495	5087	0,26	6,13	0,43	16,1	3,64	25,8	0,51	46,8	0,39
jun/06	8,96%	67664	6063	0,12	8,03	0,45	15,9	3,22	26,9	0,23	45,1	0,15
mai/06	6,33%	58598	3710	0,05	6,6	0,32	22,4	3,32	27,6	0,38	39,2	0,19
abr/06	2,06%	82419	1698	0,06	4,89	1,06	39,9	4,3	29,7	2,65	16,6	0,82
mar/06	1,99%	70963	1412	0	2,69	1,06	43,7	3,68	31	0,92	15,9	1,06
fev/06	2,01%	84756	1706	0,12	2,99	0,7	41,7	3,63	30,5	3,63	15,9	0,82
jan/06	2,29%	84227	1932	0	3,73	0,47	42,1	4,19	30,5	2,48	16,1	0,52
dez/05	2,36%	81570	1926	0	4,47	0,42	38,1	4,57	32,3	0,83	18	1,35
nov/05	2,12%	62752	1333	0,15	5,63	0,45	36,4	3,38	35,4	1,13	16,8	0,68
out/05	2,72%	50352	1369	0	4,46	0,37	38,6	3,29	34,4	0,88	16,9	1,1
set/05	3,34%	29435	982	0	3,97	0,71	37,5	2,44	36,9	1,02	16,5	1,02

Referências

- [1] <http://www.teleco.com.br>
- [2] Halonen, T., Romero, J., Melero, J., *GSM, GPRS, and Edge Performance: Evolution towards 3G/UMTS*, 2nd ed. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. 2003.
- [3] Mwansa, D. e Hanrahan, H., “*Conceptual QoS Framework for Managing End-User Services in the Next Generation Network*”, Centre for Telecommunications Access and Services, Johannesburg 2004. Disponível em <http://www.ee.wits.ac.za/comms/Telecomms%20output/output/satnac03/675-Mwansa.pdf>
- [4] ERICSSON inc., *User Description, Real-time Performance Monitoring*. 2004.
- [5] ERICSSON inc., *BSS Packet Switched System Description*. 2004
- [6] GSM Association, “*Identification of Quality of Service aspects of popular services (GSM and 3G)*”, v. 3.1.0. Documento de referência permanente disponível em <http://www.gsmworld.com/index.shtml>, 2002.
- [7] ITU-T Recommendation E.800, “*Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability*”, disponível em <http://www.itu.int/ITU-T/>. Genebra, 1994.
- [8] Ivanov, K., Ball, C.F., Miillner, R., Winkler, H., Perl, R., Kremnitzer, K., “*Breaking Through AMR Voice Capacity Limits due to Dropped Calls by Control Channel Improvements in GERAN Networks*”, *IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 3, pp. 1736-1741, setembro 2005.

- [9] ERICSSON inc., *User Description, Adaptive Multi Rate*. 2004.
- [10] ERICSSON inc., *User Description, Speech Quality Factors*. 2004.
- [11] Zako, B., Ibbetson, L., Lopes, L., “The GSM Radio Link Performance with Space Diversity and Slow Frequency Hopping”, *IEEE 43rd Vehicular Technology Conference*, pp. 480-482, maio 1993.
- [12] Joyce, R.M., Ibbetson, L.J., Lopes, L.B., “Prediction of GSM Performance using Measured Propagation Data”, *IEEE 46th Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 326-330, maio 1996.
- [13] Drozdy, G., Niemella, J., Valimaki, J., Rosenberg, J., Hara, V., “Study of GSM system performance by a GSM network computer simulator”, *IEEE International Conference on Selected Topics in Wireless Communications*, pp. 336-339, junho 1992.
- [14] Wigard, J., Mogensen, P., Johansen, J., Vejlgard, B., “Capacity of a GSM network with fractional loading and random frequency hopping”, *IEEE 7th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 2, pp. 723-727, outubro 1996.
- [15] Kyriazakos, S., Papaoulakis, N., Nikitopoulos, D., Gkroustiotis, E., Kechagias, C., Karambalis, C., Karetsos, G., “A Comprehensive Study and Performance Evaluation of Operational GSM and GPRS Systems under Varying Traffic Conditions”, IST Mobile Summit, junho 2002.
- [16] Boulmalf, M., Akhtar, S., “Performance evolution of operational GSM’s Air Interface”, College of Information Technology, Al-Ain, 2002, disponível em <http://www.scs.org/scsarchive/getDoc.cfm?id=2090>.

- [17] Toftegaard Nielsen, T., Wigard, J., Skjaeris, S., Jensen, C.O., Elling, J., “Enhancing Network Quality using Baseband Frequency Hopping, *Downlink Power Control and DTX in a Live GSM Network*”, *IEEE 9th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 2, pp. 905-909, setembro 1998.

- [18] Brechtmann, C., Eckert, K., Ploger, G., “Planning of GSM and PCN mobile radio networks”, *IEEE Singapore International Conference on International Conference on Information Engineering, Communications and Networks for the Year 2000*, vol. 1, pp. 231-235, setembro 1993.

- [19] Engstrom, S., Johansson, T., Kronestedt, F., Larsson, M., Lidbrink, S., Olofsson, H., “Multiple reuse patterns for frequency planning in GSM networks”, *IEEE 48th Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp. 2004-2008, maio 1998.

- [20] Heine, G., *GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation*. Norwood: Artech House inc. 1999.

- [21] <http://www.etsi.org/>

- [22] <http://www.3gpp.org/specs/specs.htm>

- [23] ERICSSON inc., *GSM System Survey*, 2002.

- [24] Padronização do 3GPP, “TS 02.07: Mobile Stations (MS) features”, v. 7.1.0 Release 1998, maio 2005, disponível em <http://webapp.etsi.org/key/queryform.asp>.

- [25] ERICSSON inc., *User Description, Locating*. 2004.

- [26] Anexo à resolução nº. 303: Regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz, Anatel, disponível em <http://www.anatel.gov.br>, julho 2002.

- [27] ERICSSON inc., *RF Guideline GSM900 The Ericsson GSM System*. 2004.
- [28] Kathrein Mobilcon Brasil inc., *Guia Prático de Antenas*, 7 ed. 2001.
- [29] Yang, S. L, *CDMA RF System Engineering*. Norwood: Artech House inc. 1998.
- [30] ERICSSON inc., *User Description, Idle Mode Behavior*. 2004.
- [31] Bregni, S., Barbieri, L., “Experimental Evaluation of the Impact of Network Frequency Synchronization on GSM Quality of Service during *Handover*”, *IEEE Global Telecommunications Conference*, vol. 6, pp. 3457-3461, dezembro 2003.
- [32] Zhang, N., Holtzman, J. M., “Analysis of Handoff Algorithms Using both Absolute and Relative Measurements”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 45, pp. 174-179, fevereiro 1996.
- [33] Nielsen, T. T., Wigad, J., Skjerris, S., Jensen, C. O., Elling, J., “Enhancing Network Quality using Baseband Frequency Hopping, *Downlink* Power Control and DTX in a Live GSM Network”, *IEEE 9th International Symposium on Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 905-909, setembro 1998.
- [34] Padronização do 3GPP, “TS 45.008: Radio subsystem link control”, v. 6.18.0 Release 6, setembro 2006, disponível em <http://webapp.etsi.org/key/queryform.asp>.
- [35] http://www.ericsson.com/solutions/products/hp/GSM_Radio_Access_Network_Products_pa.shtml.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)