

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

OTIMIZAÇÃO DE *HANDOVER* EM UMA REDE GSM “VIVA”

**Anderson Silva Machado
Fábio Jorge Baptista
Stefan Rafael Leandro Machado**

**Orientador:
Prof. Paulo Henrique Portela de Carvalho, PhD (UnB)**

Brasília, julho de 2007

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**OTIMIZAÇÃO DE *HANDOVER* EM UMA REDE
GSM “VIVA”**

**Anderson Silva Machado
Fábio Jorge Baptista
Stefan Rafael Leandro Machado**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Redes de Comunicações / Engenheiro Eletricista

Banca Examinadora

Prof. Paulo Henrique Portela de Carvalho, PhD (UnB) _____

Eng. Paulo Eduardo Mine, TIM _____

Eng. Diógenes Ferreira Reis, TIM _____

Prof. Horácio Tertuliano Filho, PhD (UFPR) _____

Dedicatória(s)

Aos meus pais, Pedro Carlos Machado e Amélia Rosa da Silva Machado, por todo apoio e amor que demonstram nesses 23 anos de minha existência.

Anderson S. Machado

Aos meus pais, por todo amor e por sempre acreditarem em mim.

Fábio J. Baptista

À minha Mãe, Neide Machado, e à toda minha família por todo suporte dado.

Stefan R. L. Machado

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, por me conceder o dom da vida.

Ao nosso orientador Prof. Paulo Henrique Portela, por todo conhecimento e valores de vida passados durante esse período de graduação. Foi uma honra ser seu aluno.

Ao nosso orientador Eng. Paulo Eduardo Mine, por toda paciência e conhecimento dispensados ao longo deste último ano.

Ao nosso orientador Eng. Diógenes Ferreira, pelo apoio dado no decorrer do projeto.

Ao diretor de rede da TIM Celular S.A, Eng. Sabiniano Maia Neto, por apoiar e tornar possível o desenvolvimento desse trabalho. Muito obrigado.

Aos meus amigos Fábio e Stefan, pela amizade e suporte durante a realização desse trabalho.

Ao meu pai, que sempre esteve ao meu lado nos momentos de dificuldade, e me ensinou a superar as dificuldades da vida.

À minha mãe, pelo amor incondicional que tem por mim. Muito obrigado por toda sabedoria ensinada durante minha vida, e por me tornar a pessoa que sou hoje.

À minha irmã, pela amizade e apoio fornecidos durante minha vida. Amo muito você.

À minha namorada e seus pais, por todo amor e carinho dispensados ao longo desses anos.

Aos meus amigos, principalmente aos Redeiros, que me ajudaram na realização de um sonho.

Anderson Silva Machado

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, por todo suporte dado e pela confiança e apoio recebidos.

Ao nosso orientador, Prof. Paulo Henrique Portela, pelos grandes conhecimentos transmitidos e pela oportunidade.

Aos orientadores Eng. Paulo Eduardo Mine, e Eng. Diógenes Ferreira, pela dedicação e empenho ao projeto, e principalmente, pela paciência, boa vontade e conhecimentos transmitidos.

Aos amigos e co-autores, Anderson e Stefan, pela amizade e superação no desenvolvimento do projeto.

A Luísa, uma pessoa muito especial na minha vida, por todo amor e suporte em todos os momentos.

Aos amigos do Gajufá e do ENE, pelas grandes amizades feitas no período de faculdade.

Aos irmãos, cunhados, amigos e família, por todo apoio recebido nos períodos difíceis.

E a Deus.

Fábio Jorge Baptista

A Deus por todo amor e compreensão fornecidos, e pela oportunidade dada de estudar na UnB, uma das melhores do País.

Aos nossos orientadores Paulo Portela, Paulo Mine e Diógenes Ferreira, pela paciência e boa vontade de nos orientar.

Aos meus companheiros de projeto, Anderson e Fábio, pelo auxílio em todos os momentos de dificuldade e pela amizade sincera.

Aos Redeiros, amigos nas horas de tristeza e de alegria, agradeço por tê-los encontrado em minha vida. Nunca esquecerei as alegres e longas noites de estudos. Formamos, realmente, uma poderosa força-tarefa (RTF - Redeiros Task Force).

A minhas tias e tios, por todo amor, carinho, e companheirismo durante a longa jornada da Engenharia.

A meus primos, primas e meu irmão, amigos eternos e amados.

A minha avó, Almindá, comandante suprema e conselheira, agradeço por todas lições de vida.

E, por fim, agradeço a minha Mãe por ser a direção da minha vida.

Stefan Rafael Leandro Machado

RESUMO

O objetivo deste trabalho é otimizar o desempenho de *handover* em uma rede GSM real. Para tanto, foi feito um estudo do processo de tomada de decisão para a realização de um *handover* e dos parâmetros envolvidos neste. Foi criado e implementado um processo de otimização da rede, e após cada uma de suas etapas, foram mostrados e analisados os resultados obtidos ao longo do processo.

ABSTRACT

The purpose of this work is to optimize the handover performance in a real GSM network. Towards this purpose, a study was made on how the decision to perform a handover is taken and the parameters involved in this decision. An optimization process was created and implemented, and after each step of the process, results of the specific step were shown and analyzed.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Importância do ajuste dos sistemas móveis	1
1.3	Motivação	2
1.4	Estrutura do trabalho	2
2	Sistema GSM	4
2.1	Arquitetura de uma rede GSM	4
2.1.1	Sistema de estação base - BSS	5
2.1.2	Estação móvel – MS	5
2.2	Planejamento e funcionalidades do sistema GSM	5
2.2.1	Estrutura Geográfica do GSM	5
2.2.2	Bandas de transmissão e tipo de modulação	6
2.2.3	Canais Físicos e Lógicos	8
2.2.3.1	Canais Lógicos	9
2.2.4	Processo de medição	11
2.2.5	Otimizações	12
2.2.5.1	Otimizações físicas	12
2.2.5.2	Otimizações Lógicas	17
2.2.6	Problemas na transmissão do sinal de RF	20
2.2.7	Solução para os problemas na transmissão do sinal de RF	21
2.2.8	Descrição de <i>Handover</i> e sua configuração na rede	22
3	Locating	26
3.1	O Algoritmo de <i>Locating</i>	26
3.1.1	Iniciação	27
3.1.2	Filtragem	28
3.1.3	Posicionamento Básico	29
3.1.3.1	Correção da potência de saída da BTS	29
3.1.3.2	Avaliação de Potência Mínima de Sinal	32
3.1.3.3	Subtração de Penalidades	32
3.1.3.4	Avaliação de Potência Suficiente de Sinal	34
3.1.3.5	Formação da Lista Básica de <i>Locating</i>	38
3.1.4	Primeira Categorização	40
3.1.5	Avaliação de Funções Auxiliares de Rádio	40
3.1.5.1	Estrutura de Hierarquia de Células - HCS	40
3.1.5.2	<i>Cell Load Sharing</i>	46
3.1.6	Remoção de Candidatos	48
3.1.7	MS em Movimento Rápido	48
3.1.8	Segunda Categorização	50
3.1.9	Condições Urgentes de <i>Handover</i>	50
3.1.9.1	<i>Handover</i> Urgente por Baixa Qualidade do Sinal	50
3.1.9.2	<i>Handover</i> Urgente por Timing Advance Excessivo	52
3.1.10	Lista Final de <i>Locating</i>	52
3.2	<i>Handover Power Boost</i>	52
3.3	Comparativo Nokia	54
4	Otimização de uma rede “viva”	56
4.1	Aspectos gerais	56
4.2	Descrição do cenário analisado	56
4.2.1	Situação inicial	57
4.3	Processo de Otimização	61
4.4	Resultados das otimizações	64
4.4.1	Otimizações Físicas	64
4.4.2	Otimizações Lógicas	65
4.4.2.1	Alteração da lista de vizinhos	66
4.4.2.2	Análise dos indicadores e outras otimizações	74
5	Conclusão	80
6	Referências Bibliográficas	82
	ANEXO 1	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Topologia Básica de uma rede GSM.	4
Figura 2. 2 – Estrutura geográfica do sistema GSM.	6
Figura 2. 3 – Uplink e Downlink.....	7
Figura 2. 4 – Distância Duplex.....	8
Figura 2. 5 – Separação de portadoras.....	8
Figura 2. 6 – <i>Frames</i> TDMA.....	9
Figura 2. 7 – Diagrama de Irradiação de uma antena não isotrópica.	12
Figura 2. 8 – Diagramas de Irradiação Vertical e Cartesiano de antena não Isotrópica.	13
Figura 2. 9 – Dipolo de ½ onda.	13
Figura 2. 10 – Antena do tipo painel usada nas ERB’s do sistema GSM.	14
Figura 2. 11 – Associação de Painéis	14
Figura 2. 12 – Variação do diagrama de irradiação horizontal com o <i>downtilt</i> mecânico.	15
Figura 2. 13 – Variação do diagrama de irradiação vertical com o <i>downtilt</i> mecânico.	15
Figura 2. 14 – Variação do diagrama de irradiação horizontal com o <i>downtilt</i> elétrico.....	16
Figura 2. 15 – Variação do diagrama de irradiação vertical com o <i>downtilt</i> Elétrico.....	16
Figura 2. 16 – Variação do diagrama de irradiação horizontal com a variação do ângulo de azimute.	17
Figura 2. 17 – Área iluminada por uma antena.	17
Figura 2. 18 – Controle de Potência Dinâmico da BTS.	18
Figura 2. 19 – Detalhamento do processo de <i>Handover</i>	23
Figura 2. 20 – Limiares (L1;L2) e Histerese (H).....	24
Figura 2. 21 – Desvanecimento Lento e Rápido	24
Figura 3. 1 – Diagrama de fluxo do Algoritmo de <i>Locating</i>	27
Figura 3. 2– Pontos de referência para as potencias de <i>downlink e uplink</i>	29
Figura 3. 3– Regiões de histerese entre células vizinhas.....	34
Figura 3. 4 – Efeitos geográficos da histerese e do <i>offset</i>	35
Figura 3. 5 - Áreas limitadas pelos níveis mínimos e suficiente do sinal.....	36
Figura 3. 6 – Diagrama de fluxo do Posicionamento Básico do Algoritmo Ericsson 1.....	39
Figura 3. 7 – Possíveis freqüência causadoras de interferência adjacente	41
Figura 3. 8 – Agrupamento de camadas	42
Figura 3. 9 – Algoritmo de HCS	43
Figura 3. 10 - Primeira etapa do HCS.	44
Figura 3. 11 - Segunda etapa do HCS.	45
Figura 3. 12 – Terceira, quarta e quinta etapa do HCS.	45
Figura 3. 13 – Lista Final de <i>Locating</i> modificada pelo HCS.....	45
Figura 3. 14 – Limiares de <i>Cell Load Sharing</i>	46
Figura 3. 15 – Máxima redução da borda de histerese de acordo com RHYST.....	47
Figura 3. 16 – Cenário ilustrativo.....	49
Figura 3. 17 – Estágios do Algoritmo de <i>Locating</i>	51
Figura 3. 18 - Sinalização do <i>handover</i> inter-célula.....	53
Figura 4. 1 – Identificação dos setores nos mapa.....	57
Figura 4. 2 – Mapa das ruas da cidade de Anápolis com a marcação dos setores das ERB’s TIM.	57
Figura 4. 3 – Gráfico de desempenho de <i>Handover</i> para as células das ERB’s ANS001 a ANS008. ...	58
Figura 4. 4 – Gráfico de desempenho de <i>Handover</i> para as células das ERB’s ANS009 a ANS0019.	59
Figura 4. 5 – Gráfico de quedas de chamadas para as células das ERB’s ANS001 a ANS008.	59
Figura 4. 6 – Gráfico de quedas de chamadas para as células das ERB’s ANS009 a ANS019.	60
Figura 4. 7 – Gráfico do tráfego médio para as células das ERB’s ANS001 a ANS008 no horário de maior movimento.....	60
Figura 4. 8 – Gráfico do tráfego médio para as células das ERB’s ANS009 a ANS019 no horário de maior movimento.....	61
Figura 4. 9 – Fluxograma para otimizações.	62
Figura 4. 10 – Gráfico da evolução do tráfego nas células do ANS005, no horário de maior movimento.	64

Figura 4. 11 – Gráfico da evolução do número de tentativas de <i>handover</i> nas células no ANS005.....	65
Figura 4. 12 – Gráfico da evolução do percentual de quedas de chamadas nas células no ANS005....	65
Figura 4. 13 – Gráfico da média de tentativas de <i>handover</i> dos pares excluídos das listas de vizinhança.....	67
Figura 4. 14 – Média de tentativas de <i>handover</i> dos pares incluídos nas listas de vizinhança.	67
Figura 4. 15 – Média de insucessos de <i>handover</i> dos pares incluídos nas listas de vizinhança.....	68
Figura 4. 16 – Gráfico da evolução da média percentual de insucessos de <i>handover</i> após as otimizações feitas na lista de vizinhança e as otimizações físicas nas células das ERB's ANS001 a ANS008.	68
Figura 4. 17 – Gráfico da evolução da média percentual de insucessos de <i>handover</i> após as otimizações feitas na lista de vizinhança e as otimizações físicas nas células das ERB's ANS009 a ANS019.	69
Figura 4. 18 – Gráfico da evolução da média percentual de quedas de chamadas após as otimizações feitas na lista de vizinhança e as otimizações físicas nas células das ERB's ANS001 a ANS008.	69
Figura 4. 19 – Gráfico da evolução da média percentual de quedas de chamadas após as otimizações feitas na lista de vizinhança e as otimizações físicas nas células das ERB's ANS009 a ANS019.	70
Figura 4. 20 – Mapa das ruas da cidade de Anápolis com a marcação dos setores das ERB's TIM. Em azul, as células com percentual médio de quedas de chamadas acima da meta.	71
Figura 4. 21 – Gráfico da média percentual de insucessos de <i>Handover</i> do ANS0023 pós-otimizações com todos seus pares de <i>handover</i> , ida e volta.	72
Figura 4. 22 – Gráfico da média percentual de insucessos de <i>Handover</i> do ANS0103 pós-otimizações com todos seus pares de <i>handover</i> , ida e volta.	72
Figura 4. 23 – Gráfico do tráfego médio para as células das ERB's ANS001 a ANS008 no horário de maior movimento.....	73
Figura 4. 24 – Gráfico do tráfego médio para as células das ERB's ANS009 a ANS019 no horário de maior movimento.....	73
Figura 4. 25 – Mapa das ruas da cidade de Anápolis, centralizado nas ERB's ANS002 e ANS010.	74
Figura 4. 26 – Média percentual de insucessos de <i>Handover</i> nos pares ANS0023-ANS0103 e ANS0103-ANS0023 pós-otimizações de histerese.	75
Figura 4. 27 – Gráfico da evolução do percentual de sucessos de <i>Handover</i> nos pares ANS0023-ANS0103 e ANS0103-ANS0023 pós-otimizações de histerese.....	75
Figura 4. 28 – Mapa mostrando a localização da ERB ABIG02 em relação a Anápolis.	77
Figura 4. 29 – Gráfico da evolução da média percentual de sucessos de <i>handover</i> após a ativação do <i>Handover Power Boost</i> par-a-par.	77
Figura 4. 30 – Gráfico da evolução da média percentual de quedas de chamadas após a ativação do <i>Handover Power Boost</i>	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1– Especificações dos sistemas GSM 900 e GSM 1800.....	7
Tabela 3. 1- Dados usados no algoritmo de <i>Locating</i>	28
Tabela 3. 2 - Lista Básica de <i>Locating</i>	44
Tabela 4. 1 – Lista de pares de <i>handover</i> que foram incluídos nas listas de vizinhança.	66
Tabela 4. 2– Lista de pares de <i>handover</i> que foram excluídos nas listas de vizinhança.....	66
Tabela 4. 3– Células que tiveram a funcionalidade <i>Handover Power Boost</i> ativada.	76
Tabela 4. 4 – Pares de <i>handover</i> que esperávamos melhora nos indicadores de quedas de chamadas com a ativação da funcionalidade.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas

AGCH	Access Grant Channel
AMR	Adaptative Multi Rate
ARFCN	Absolute Radio Frequency Channel Numbers
BA	BCCH Allocation
BB	Baseband
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BER	Bit Error Rate
BSC	Base Switching Center
BSIC	BTS Identity Code
BSS	Base Switching System
BTS	Base Transceiver Station
CBCH	Cell Broadcast Channel
CLS	Cell Load Sharing
DCCH	Dedicated Control Channel
DTX	Discontinuous Transmission
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
ERB	Estação Rádio Base
FACCH	Fast Associated Control Channel
FCCH	Frequency Correction Channel
FR	Full Rate
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HCS	Hierarchical Cell Structure
HR	Half rate
ISI	Intersymbolic Interference
LA	Location Area
LAI	Location Area Identity
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MSK	Minimum Shift Keying
NMC	Network Management Center
OMC	Operational Maintenance Centre
OSS	Operation and Support Subsystem
PBCCH	Packet Broadcast Control Channel
PCH	Paging Channel
RACH	Random Access Channel
RF	Radio frequency
SACCH	Slow Associated Control Channel
SCH	Synchronization Channel
SDCCH	Slow Dedicated Control Channel
SGSN	Serving GPRS Support Node
SI	System Information
SIM	Subscriber Identity Module
SS	Switching System
TCH	Traffic Channel
TDMA	Time Division Multiple Access
TRAU	Transcoding Rate Adaption Unit
TRX	Transceivers

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O desenvolvimento tecnológico e a globalização vêm produzindo vários efeitos e mudanças no comportamento da sociedade. Com isso, a comunicação tornou-se muito simples e rápida. As comunicações móveis têm representado um papel muito importante nesse cenário, conquistando grande parte da atenção mundial.

Um dos motivadores para a realização deste estudo é a grande atuação no mercado do sistema de telefonia celular GSM (*Global System for Mobile Communication*), que atualmente, é o sistema de comunicação móvel mais difundido mundialmente, comportando por volta de 2,5 bilhões de usuários. [1], [2].

1.2 IMPORTÂNCIA DO AJUSTE DOS SISTEMAS MÓVEIS

O *handover* é o processo que caracteriza uma rede celular e garante a ela sua característica de mobilidade, pois é responsável por manter a estação móvel de um usuário final conectada à rede, enquanto o mesmo estiver com uma chamada em curso. Cada fabricante de equipamentos de telecomunicações adequa o *handover* a partir da norma do ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), e conforme comparação realizada observou-se que as empresas seguem uma mesma linha de raciocínio, tratando basicamente das mesmas situações. O embasamento para análise do *handover* foi feito com base em artigos técnicos da Ericsson. [2].

Foi observado que funcionalidades de rádio existentes dentro do processo de *handover* não eram utilizadas na rede GSM analisada. A partir daí, foram iniciadas várias etapas de estudo para o conhecimento das funcionalidades disponíveis nos equipamentos de rede, e para saber em quais situações as novas funcionalidades poderiam otimizar o desempenho da mesma.

O acompanhamento do desempenho e manutenção da rede celular é de grande importância, tendo em vista o comportamento dinâmico apresentado pelo meio. Todas as alterações realizadas em um ponto da rede devem ser monitoradas, pois podem gerar efeitos indesejáveis em outros pontos. Além disso, em um ambiente altamente dinâmico, a configuração das células em um momento pode não ser adequada num segundo momento.

1.3 MOTIVAÇÃO

Como visto, o sistema GSM possui uma grande importância para as comunicações móveis no cenário mundial. A mobilidade dos usuários que utilizam as redes celulares é o grande atrativo desses sistemas, e por isso o processo de *handover* é de extrema relevância, pois deve ser realizado de forma eficiente e transparente para o usuário final.

Além disso, os cenários envolvidos nas redes celulares são muito dinâmicos, o que exige uma constante monitoração dos indicadores de desempenho do sistema, principalmente desempenho de *handover*, quedas de chamada e tráfego. A partir das análises de tais indicadores, é possível identificar os pontos da rede em que se devem fazer as otimizações, para garantir o grau de qualidade de serviço exigido pela ANATEL.

O presente trabalho tem por objetivo analisar e propor otimizações em uma rede GSM “viva”, principalmente em relação aos indicadores de *handover*, que é funcionalidade essencial para a mobilidade das redes celulares.

A rede celular analisada encontra-se na cidade de Anápolis, e a operadora proprietária é a TIM Brasil. A proximidade com a rede e a possibilidade de obter dados de desempenho reais foram fatores de motivação. A possibilidade de sugerir e, principalmente, implementar alterações na rede foi, sem dúvida o maior atrativo do projeto, pois a rede da TIM tem grandes dimensões e qualquer mudança incorreta realizada poderia produzir efeitos indesejados no desempenho geral da rede. Ou seja, sem cautela nas análises e decisões, o sistema poderia ficar indisponível em certas regiões de Anápolis, diminuindo, por sua vez, o tráfego na rede, que é a receita gerada pelo usuário à operadora. Além do prejuízo financeiro, haveria a insatisfação com os serviços prestados pela empresa.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O segundo capítulo explana as características básicas do sistema GSM tais como arquitetura básica, pontos de seu planejamento, otimizações e funcionalidades existentes. Tem, por fim, estimular e conduzir o leitor ao ponto principal do projeto, que é o *handover* e sua importância.

O terceiro capítulo é dedicado ao estudo detalhado dos algoritmos de *handover*. São explicadas as estratégias de *handover*, funcionalidades auxiliares de rádio. O texto conduz o leitor ao entendimento técnico dos processos realizados na BSC, ilustrando as situações para facilitar o entendimento.

O quarto capítulo mostra a análise da rede GSM “viva” e as propostas de otimizações nesta rede, buscando a melhora dos indicadores de desempenho de *handover* e dos demais indicadores da rede. Foi construído um diagrama mostrando o processo a ser tomado para otimização da rede. Este processo foi implementado, e foram apresentados os resultados das otimizações. A rede analisada será a rede da cidade Anápolis, no estado de Goiás.

2 SISTEMA GSM

Este capítulo tem por objetivo fixar conceitos básicos com relação ao sistema GSM e mostrar partes de seu planejamento e funcionalidades.

2.1 ARQUITETURA DE UMA REDE GSM

A figura 2.1 mostra a topologia básica de uma rede GSM (parte de voz). Nos parágrafos seguintes, será descrito cada um dos componentes dessa topologia.

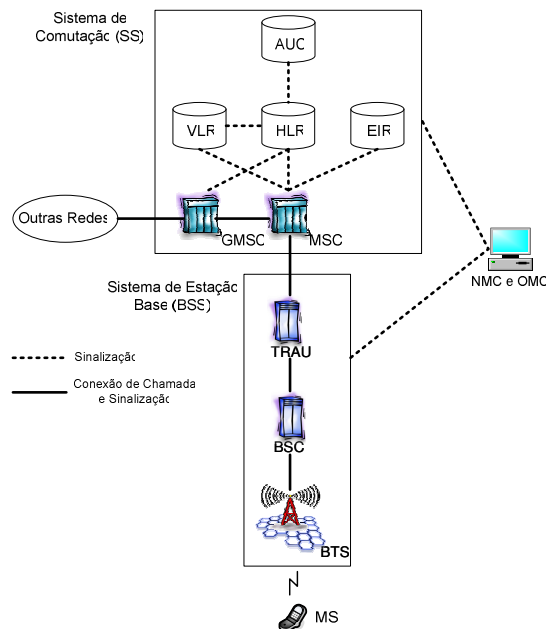


Figura 2. 1 – Topologia Básica de uma rede GSM.

Uma rede GSM é dividida em dois sistemas básicos, o Sistema de Comutação (*Switching System - SS*) e o Sistema de Estação Base (*Base Station System - BSS*). Além destes, existe o Sistema de Operações e Suporte (*Operation Support System - OSS*), que é composto pelo Centro de Gerenciamento de Rede (*Network Management Center - NMC*) e o Centro de Operação e Manutenção (*Operational and Maintenance Center – OMC*). Existem também as Estações Móveis (*Mobile Station - MS*), como são chamados os aparelhos dos usuários. O foco do nosso estudo é no Sistema de Estação Base, que será descrito a seguir.

2.1.1 Sistema de estação base - BSS

O BSS é composto por três elementos básicos: a Estação Rádio Base (ERB), a Controladora da Estação Base (BSC) e a Unidade Transcodificadora e Adaptadora de Taxa (TRAU).

A ERB compreende todos os equipamentos de transmissão e recepção de rádio, inclusive as antenas e os *tranceivers* (TRX). Sua principal função é prover conexões com as MS's, iniciando e configurando os parâmetros da conexão, além de ser responsável pelo processamento de sinal, gerenciamento de enlace de sinalização e sincronização da transmissão.

A BSC é responsável por controlar um grupo de ERB's, e também por gerenciar todas as funções relacionadas com rádio de uma rede GSM. A BSC é um comutador de alta capacidade, que provê funções como transposição de controle (*handover*) de MS's e atribuição de canais de rádio. Um grupo de BSC's é controlado por uma MSC.

O TRAU é responsável por fazer a adaptação de taxa de transmissão entre a BSC e MSC. Essa é uma função muito importante dentro de uma rede GSM, e provê economia de recursos de transmissão, uma vez que descomprime a voz compactada que vem da BSC para a MSC e comprime no sentido contrário.

2.1.2 Estação móvel – MS

Uma MS é utilizada por um assinante para comunicar-se com a rede móvel. Existem vários tipos de MS's, cada qual permitindo ao assinante fazer e receber chamadas. Os fabricantes de MS's oferecem uma variedade de modelos e facilidades para atender às necessidades dos diferentes mercados.

2.2 PLANEJAMENTO E FUNCIONALIDADES DO SISTEMA GSM

2.2.1 Estrutura Geográfica do GSM

A célula é definida como a menor área de cobertura de rádio de um sistema de antenas da ERB. Cada célula utiliza um determinado grupo de frequências para comunicação entre a ERB e a MS.

O conceito celular foi introduzido pela necessidade de reuso espacial da faixa do espectro alocado para este serviço, dessa forma, aumentando a capacidade do sistema. Além disso, em um agrupamento celular não é permitido que células vizinhas distintas utilizem as

mesmas frequências para transmissão do sinal, pois caso contrário pode-se ter uma interferência entre as mesmas.

O tamanho do agrupamento celular é dimensionado de forma que o número de canais disponíveis seja suficiente para o atendimento a todos os usuários da rede, com o grau de serviço desejado. Existe um espaçamento mínimo, chamado de distância de reuso, entre células que utilizam o mesmo conjunto de canais (mesmas frequências) limitando a interferência em níveis aceitáveis, viabilizando assim o reuso de frequências entre agrupamentos adjacentes. Para cobrir toda uma região, basta repetir o agrupamento de células quantas vezes for necessário, formando um sistema celular. A figura 2.2 mostra uma estrutura de reuso possível do sistema GSM.

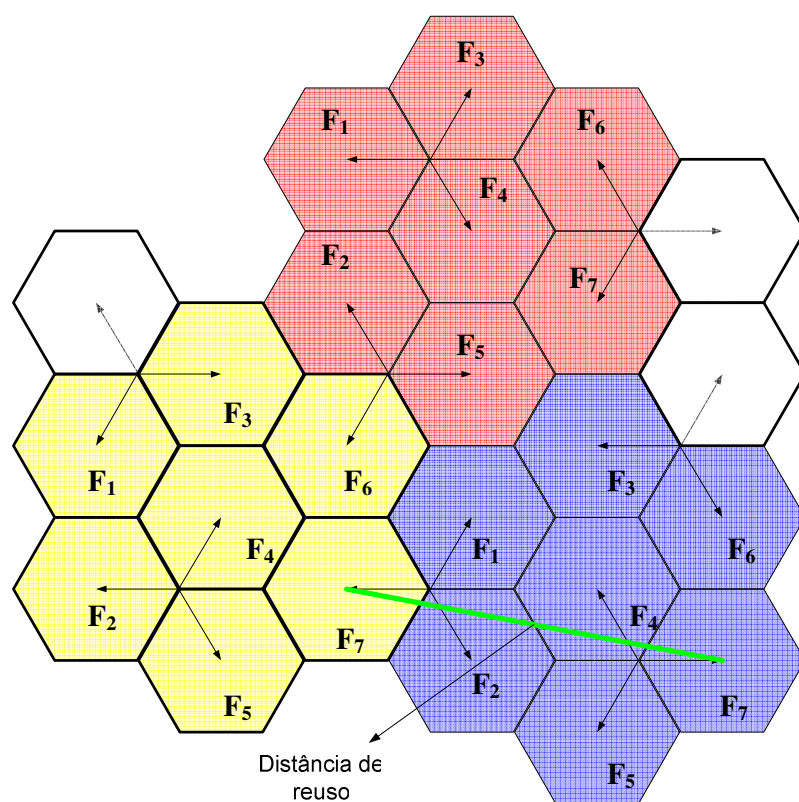


Figura 2. 2 – Estrutura geográfica do sistema GSM.

Na figura acima, as cores identificam agrupamentos diferentes, onde pode ser feito o reuso de frequência.

2.2.2 Bandas de transmissão e tipo de modulação

A tabela 2.1 mostra um resumo das especificações relacionadas com a frequência dos sistemas GSM 900 e GSM 1800.

Tabela 2. 1– Especificações dos sistemas GSM 900 e GSM 1800.

	GSM 900	GSM 1800
<i>Uplink</i>	890-915MHz	1710-1785MHz
<i>Downlink</i>	935-960 MHz	1805-1880MHz
Comprimento de onda (λ)	~33cm	~17cm
Largura de Banda	25 MHz	75 MHz
Distância Duplex	45 MHz	95 MHz
Separação de Portadora	200 kHz	200 kHz
Canais de Rádio	125 (175)	375
Tx	270 kbps	270 kbps

O conjunto de frequências alocadas para transmissão é conhecido como canal. Em comunicações móveis os canais são *full-duplex*, e, portanto, usam uma frequência para *uplink* e uma para *downlink*, como especificado na Tabela 2.1. Ao observar-se a figura 2.3, fica clara a necessidade da existência de frequências diferentes para *uplink* e *downlink*, pois se deseja estabelecer uma comunicação *full-duplex* onde se pode escutar ao mesmo tempo em que se fala.

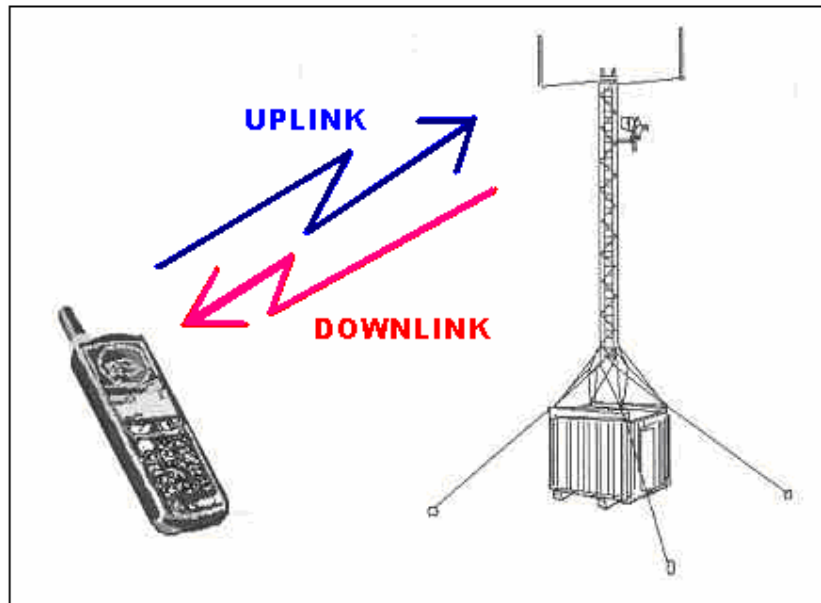


Figura 2. 3 – Uplink e Downlink.

A distância duplex é uma faixa de guarda que evita interferência entre transmissões de *uplink* e *downlink*, como mostrado na Figura 2.4.

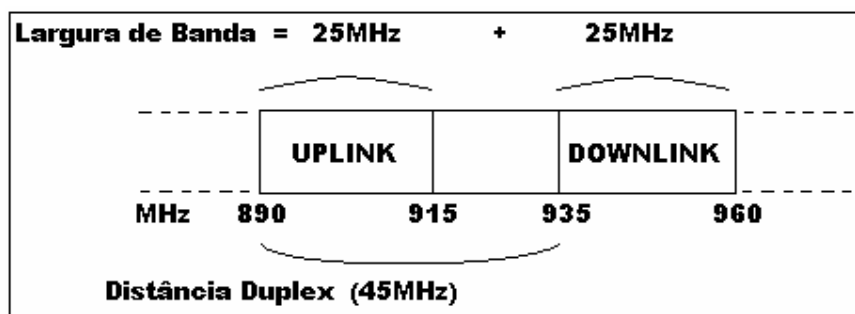


Figura 2. 4 – Distância Duplex.

Além da distância duplex, todo sistema móvel inclui uma separação entre portadoras, que possui a finalidade de evitar interferência entre canais adjacentes. No sistema GSM essa separação entre portadoras é de 200 kHz, como explicitado na figura 2.5.

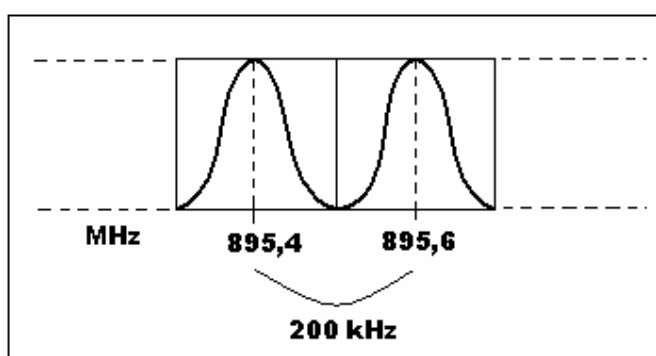


Figura 2. 5 – Separação de portadoras.

A técnica de modulação utilizada no GSM é a Codificação por Deslocamento Mínimo Gaussiano (GMSK), que é uma modificação da técnica MSK, na qual a seqüência de bits de entrada do modulador é filtrada por um filtro passa-baixas com resposta a um pulso retangular gaussiana. [2], [4], [5].

2.2.3 Canais Físicos e Lógicos

O sistema GSM utiliza o Múltiplo Acesso por Divisão de Tempo (TDMA). Nesse tipo de múltiplo acesso cada usuário utiliza o sistema em um intervalo de tempo específico, denominado *timeslot*, que também é conhecido como canal físico. Um conjunto de 8 *timeslots* forma o chamado *frame* TDMA. Cada portadora de frequência “carrega” um *frame* TDMA, ou seja, existem 8 canais físicos por frequência de portadora no GSM. Em uma chamada, cada MS aloca um *timeslot* na frequência de *uplink* e um na frequência de *downlink*.

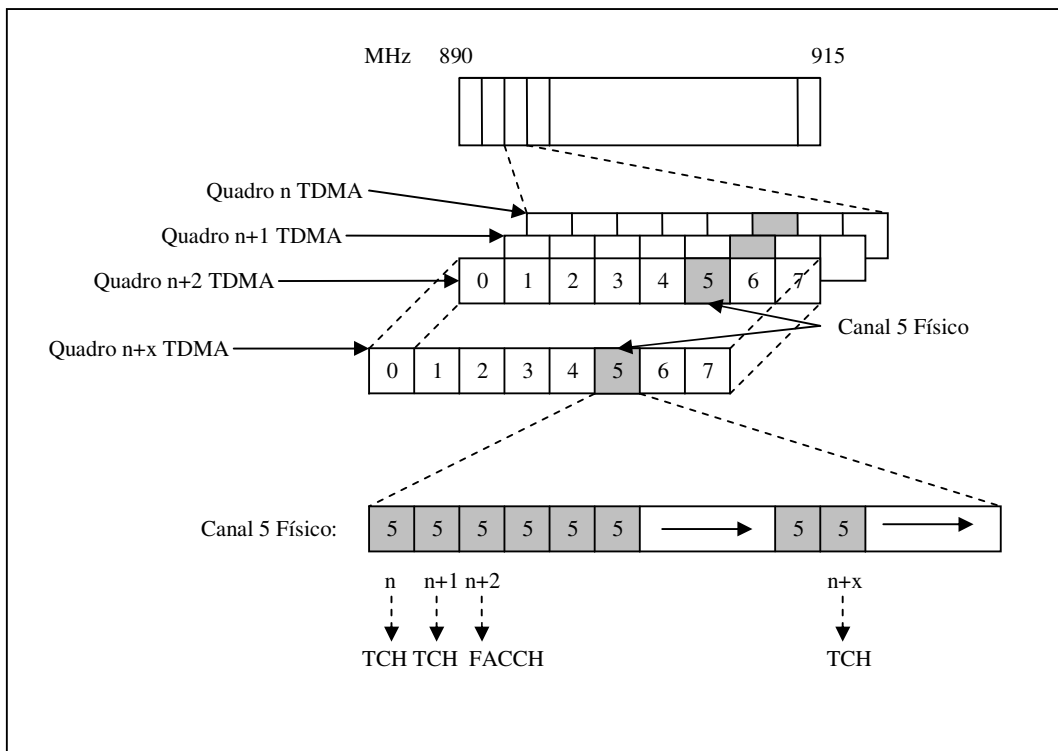


Figura 2. 6 – Frames TDMA

A informação enviada durante um *timeslot* é denominada rajada. Um canal físico pode ser alocado para transportar diferentes mensagens, dependendo da rajada que se deseja enviar. Essas diferentes mensagens são conhecidas como canais lógicos. Por exemplo, em um dos canais físicos utilizados para tráfego, o tráfego propriamente é transmitido utilizando-se uma mensagem de Canal de Tráfego (TCH), enquanto que uma instrução de *handover* é transmitida utilizando uma mensagem do Canal de Controle Associado Rápido (FACCH).

2.2.3.1 Canais Lógicos

Existem diversos canais lógicos diferentes, cada qual desenvolvido para transportar uma determinada mensagem para uma MS. Dessa forma todas essas mensagens devem ser formatadas corretamente (cabeçalho), para que o receptor possa compreender o significado dos bits da mensagem. Por exemplo, em uma rajada de tráfego, alguns bits são o tráfego propriamente dito (*payload*), enquanto outros bits são usados como uma seqüência de instrução (*overhead*). Os canais lógicos são divididos em canais de controle e canais de tráfego.

a) Canais de Controle

Os canais de controle possuem vários objetivos, dentre eles, estabelecer uma chamada e sincronizar um usuário na rede. Os canais de controle estão detalhados em seguida.

- **Canais de Difusão - BCH**

Os canais de difusão são estabelecidos na direção de *downlink*, onde ocorre a transmissão ponto-multiponto, ou seja, a BTS transmite o sinal para várias MS's. Esses canais são: o Canal de Correção de Frequência (FCCH), por onde a BTS transmite uma frequência de portadora, e por onde a MS identifica a frequência de portadora de BCCH sincronizando-se à mesma; o Canal de Sincronização (SCH), onde a BTS transmite informações sobre a estrutura de quadro TDMA em uma célula, e também o BSIC (Código de Identidade da Estação Base), e por onde a MS sincroniza-se com a estrutura de quadro TDMA da célula, garantindo que a BTS é de uma rede GSM; e o Canal de Controle de Difusão (BCCH), por onde a BTS envia informações de identidade da atual LA, de potência máxima de saída permitida na célula e identidade das portadoras de BCCH para as células vizinhas, e por onde a MS recebe o LAI (Identidade de LA), sendo que, caso este seja diferente daquele registrado no seu SIM, a MS informa à rede sua nova localização (Atualização de Localização). A MS posiciona seu nível de potência de saída com base na informação passada por este canal e também armazena uma lista de portadoras BCCH nas quais irá efetuar medições para auxiliar em um *handover* eficiente.

- **Canais de Controle Comuns - CCCH**

Os canais de controle comuns que estabelecem conexão na direção de *downlink*, ponto a ponto, ou seja, BTS transmitindo a uma MS, são: o Canal de *Paging* (PCH), por onde a BTS transmite uma mensagem de *paging* que contém o número de identidade do assinante móvel que a rede deseja contatar; e o Canal de Permissão de Acesso (AGCH), por onde a BTS responde à MS, informando qual o canal de sinalização (SDCCH) que foi alocado.

Já o canal de controle comum que estabelece conexão na direção de *uplink*, ponto a ponto, ou seja, a MS transmite para a BTS, é o Canal de Acesso Aleatório (RACH), por onde a MS responde a mensagem de *paging*, requisitando a alocação de um canal de sinalização.

- **Canais de Controle Dedicados - DCCH**

Os canais de Controle Dedicado estabelecidos no *Uplink* e *Downlink*, ponto a ponto, ou seja, BTS transmite à MS e vice-versa, são: o Canal de Controle Dedicado *Standalone*

(SDCCH), por onde a BTS informa qual canal de tráfego (TCH) foi alocado para a MS, e por onde há a troca de sinalização e mensagens (SMS – *short message*) entre MS e BTS; o Canal de Controle de Acesso Lento (SACCH), por onde a BTS instrui a MS sobre a potência de transmissão permitida e fornece informações sobre os avanços de sincronismo (*Timing Advance*), e por onde a MS envia medições sobre a BTS servidora (nível de potência de sinal e qualidade) e BTS's vizinhas (nível de potência de sinal); e o Canal de Controle Associado Rápido (FACCH), por onde a BTS transmite informações de *handover* e a MS transmite informações necessárias para o *handover*.

O Canal de Difusão de Célula (CBCH) é estabelecido no *Downlink*, porém é ponto a multiponto, pois a BTS usa este canal para transmitir a difusão de célula de serviço de SMS e várias MS's recebem as mensagens de difusão.

b) Canais de Tráfego - TCH

Depois que os procedimentos de estabelecimento de chamada foram completados a MS sintoniza-se no canal de tráfego que foi alocado para ela.

Existem dois tipos de canal de tráfego: taxa plena (*Full-Rate*) e taxa parcial (*Half-Rate*). Em taxa plena, a MS é instruída a transmitir à velocidade de taxa plena (13 kbps), e dessa forma, ocupa um *timeslot* inteiro. Já em taxa parcial, a MS transmite à velocidade de meia taxa (6,5 kbps), e dessa forma, ocupa metade de um *timeslot*. Dois TCH's em *half-rate* podem compartilhar um canal físico, dobrando a capacidade do sistema.

2.2.4 Processo de medição

A unidade móvel está periodicamente fazendo medições do sinal de *downlink* recebido da célula servidora, bem como de suas células vizinhas.

A BSC envia para a unidade móvel uma lista contendo as frequências de BCCH das células que foram programadas no sistema como vizinhas da célula servidora, chamada de *BCCH Allocation List (BA List)*.

Essa lista pode conter no máximo 32 frequências de BCCH, porém não é recomendada uma lista muito extensa, pois neste caso a unidade móvel terá menos tempo para fazer amostras da potência do sinal de cada célula vizinha, diminuindo assim a precisão dos relatórios de medição. Por isso, é importante uma análise rigorosa da rede no momento de definir as células vizinhas, para que se obtenha um bom desempenho de *handover*.

Tendo a *BA list*, a unidade móvel realiza as medidas necessárias dos sinais de *downlink*, e então envia para a BSC o relatório de medição contendo apenas as aferições das células vizinhas que possuem os seis melhores níveis de potência do sinal, e para as quais foi possível

decodificar o BSIC (*BTS Identity Code*). Estes relatórios são enviados pela unidade móvel a cada período de SACCH (480ms).

É recomendado que não existam células com combinações de BCCH e BSIC idênticas em uma mesma área de localização, pois a unidade móvel não consegue distinguir células com mesmas combinações BCCH-BSIC, o que pode provocar medições equivocadas.

2.2.5 Otimizações

As otimizações podem ser divididas em otimizações físicas e lógicas e visam maximizar o desempenho do sistema GSM. Nas seções 2.2.5.1 e 2.2.5.2 serão descritas estas otimizações em detalhes.

2.2.5.1 Otimizações físicas

As otimizações físicas envolvem basicamente 4 fatores, a saber: Modelo de Antena (Diagrama de Irradiação Horizontal e Vertical); *Tilts* Elétrico e/ou Mecânico; Azimute; Altura da Antena. Essas otimizações influem diretamente na área de cobertura do sistema GSM.

a) Diagrama de irradiação das antenas

O diagrama de irradiação de uma antena é a representação gráfica, em coordenadas espaciais, da distribuição da energia eletromagnética no espaço em torno da antena.

O diagrama de irradiação de uma antena, não isotrópica, possui regiões no espaço que apresentam diferentes intensidades de irradiação, essas regiões são chamadas de Lóbulos. Existe uma região em que a intensidade de irradiação é máxima. Essa região é chamada de Lóbulo Principal, como mostrado na figura 2.7.

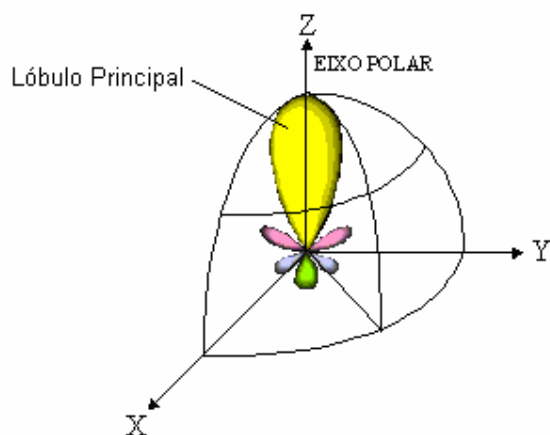


Figura 2. 7 – Diagrama de Irradiação de uma antena não isotrópica.

Embora a representação espacial seja de melhor visualização, as dificuldades para a sua realização prática são muito grandes. Dessa forma, usa-se representação nos planos horizontais e verticais, que são suficientes para representar as características de irradiação das antenas.

A figura 2.8 mostra os diagramas de irradiação vertical e cartesiano de uma determinada antena. Os diagramas estão normalizados em relação à direção de irradiação máxima ou preferencial da antena (0 dB).

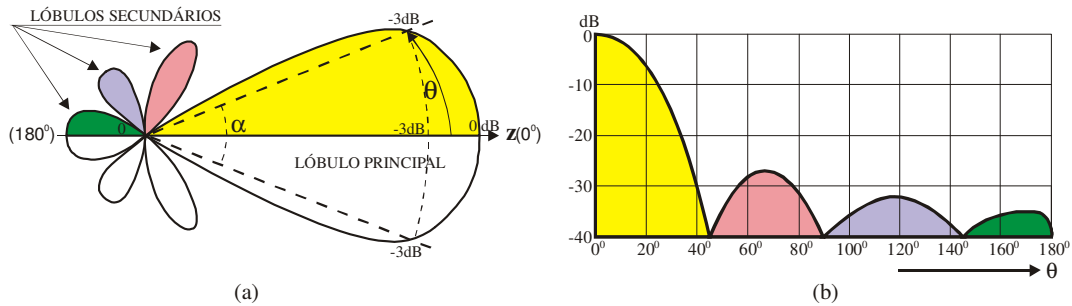


Figura 2. 8 – Diagramas de Irradiação Vertical e Cartesiano de antena não Isotrópica.

As antenas utilizadas nas ERB's têm como elemento comum o dipolo de $\frac{1}{2}$ onda. Os diagramas de irradiação horizontal, vertical e espacial do dipolo de $\frac{1}{2}$ onda são mostrados na Figura 2.9.

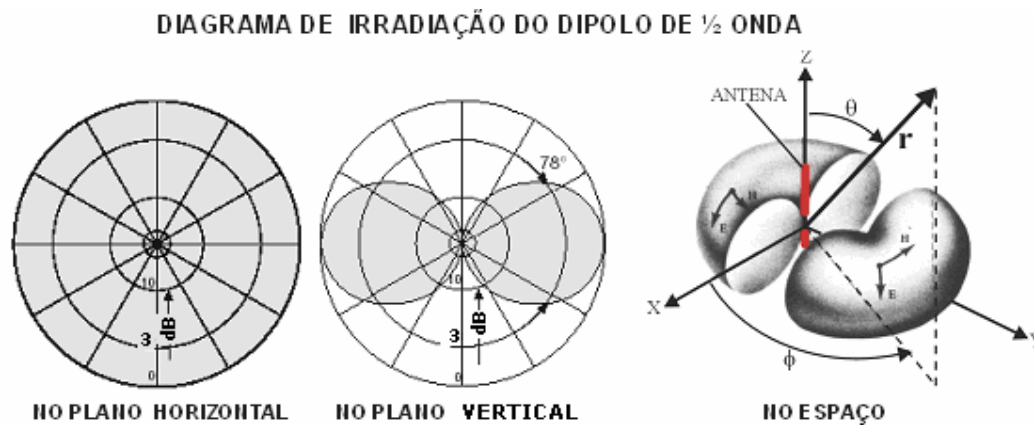


Figura 2. 9 – Dipolo de $\frac{1}{2}$ onda.

Um diagrama de irradiação típico de uma antena instalada em uma ERB é mostrado na figura 2.10.

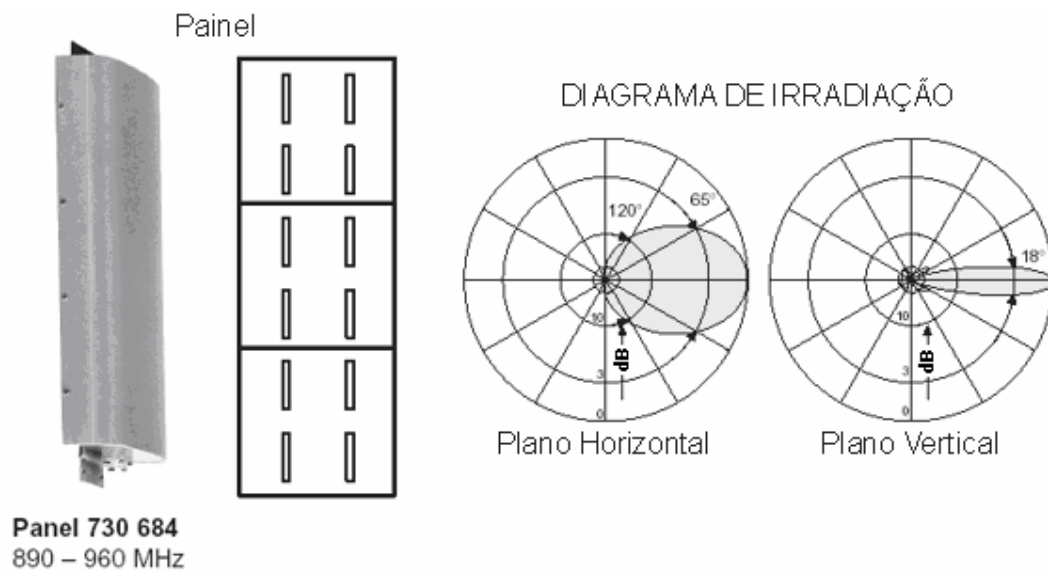


Figura 2. 10 – Antena do tipo painel usada nas ERB's do sistema GSM.

As antenas do tipo painel são combinações de dipolo de $\frac{1}{2}$ onda, e irradiam sua energia apenas em certos segmentos de espaço. Esses painéis geralmente são combinados de forma a produzir um diagrama de irradiação que cubra uma determinada área desejada. A figura 2.11 mostra o diagrama de irradiação horizontal para algumas associações de painéis.

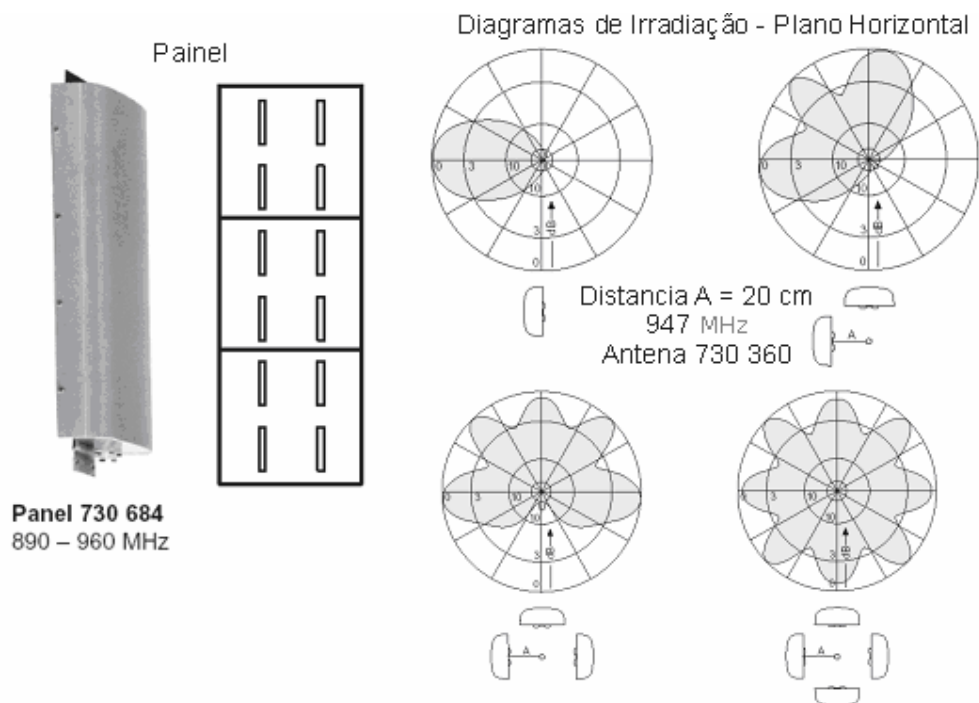


Figura 2. 11 – Associação de Painéis

b) Tilts Elétrico e/ou Mecânico

Outra forma de gerar um diagrama de irradiação conveniente com a área em que se deseja fornecer cobertura celular é através do *downtilt* da antena, que pode ser mecânico ou elétrico.

O *downtilt* mecânico nada mais é do que uma variação do ângulo de inclinação vertical do painel. As figuras 2.12 e 2.13 mostram a variação nos diagramas de irradiação vertical e horizontal de uma antena em que se aplicou um *downtilt* mecânico.

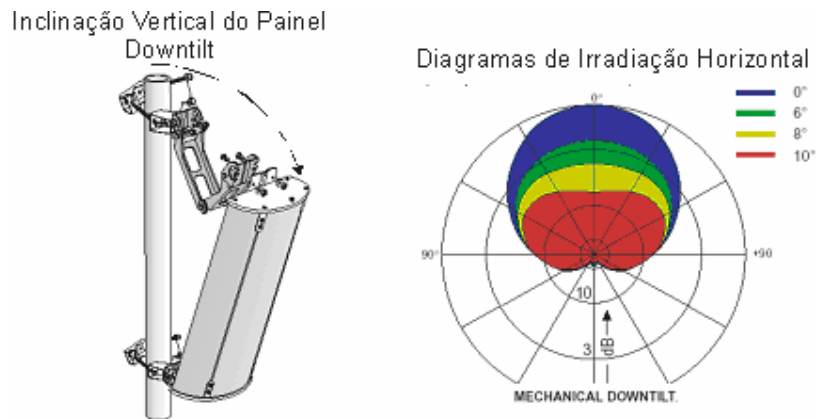


Figura 2. 12 – Variação do diagrama de irradiação horizontal com o *downtilt* mecânico.

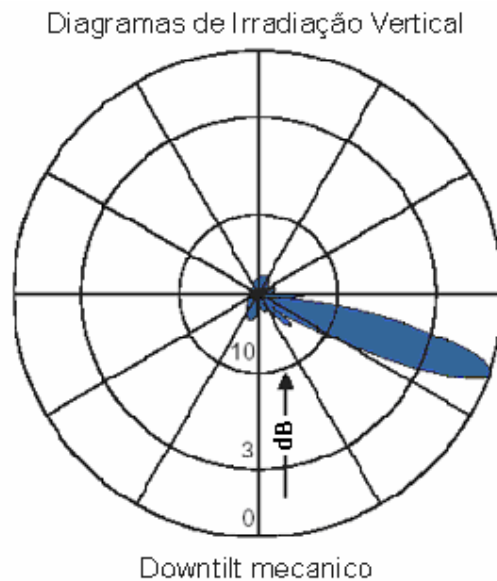


Figura 2. 13 – Variação do diagrama de irradiação vertical com o *downtilt* mecânico.

O *downtilt* elétrico é quando os dipolos que formam o painel possuem fases diferentes. As figuras 2.14 e 2.15 mostram as variações nos diagramas de irradiação vertical e horizontal de uma antena em que se aplicou um *downtilt* elétrico.

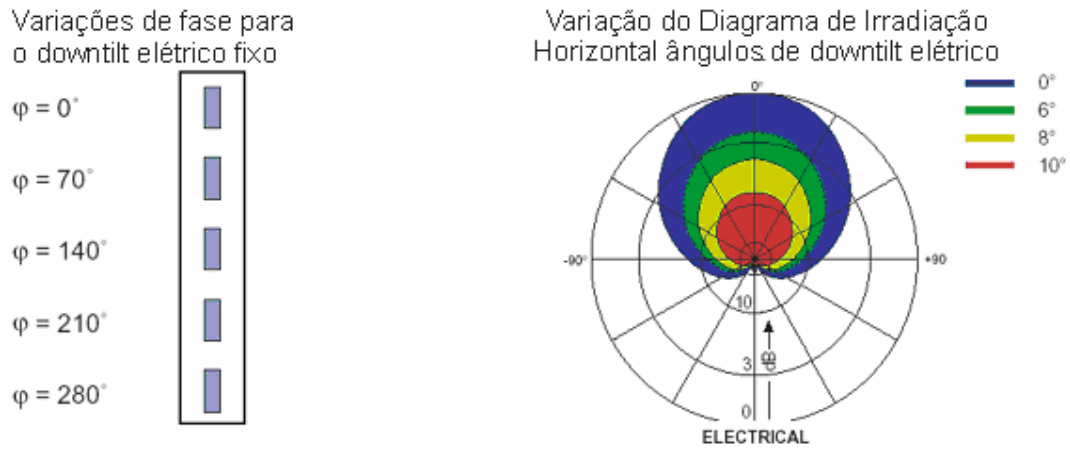


Figura 2. 14 – Variação do diagrama de irradiação horizontal com o *downtilt* elétrico.

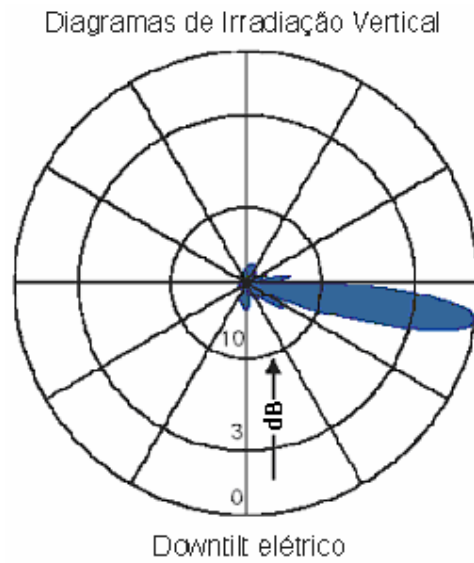


Figura 2. 15 – Variação do diagrama de irradiação vertical com o *downtilt* Elétrico.

c) Azimute

Outra forma de obter um diagrama de irradiação horizontal desejado para uma antena, é variando o ângulo de azimute da mesma. O ângulo de azimute determina a direção horizontal para qual a antena está apontada. A figura 2.16 mostra como a variação do ângulo de azimute altera o diagrama de irradiação horizontal de uma antena.

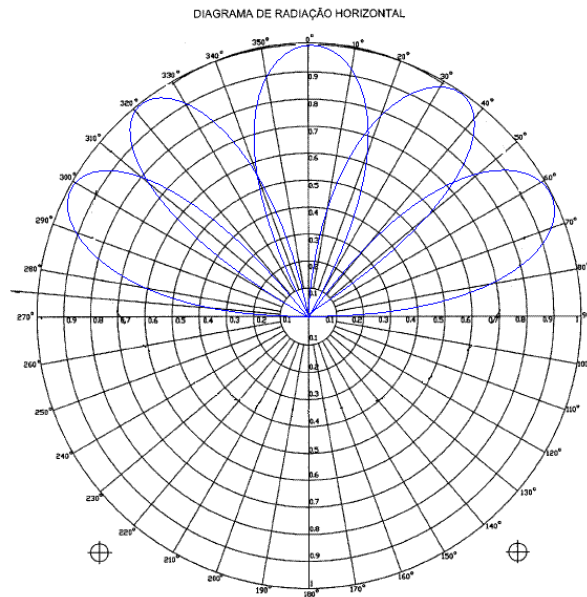


Figura 2. 16 – Variação do diagrama de irradiação horizontal com a variação do ângulo de azimute.

d) Altura da Antena

A altura em que a antena está em relação ao solo, também é um fator que influencia na área de cobertura, ou seja, quanto mais alto a antena estiver do solo, maior será a área de cobertura que ela poderá iluminar.

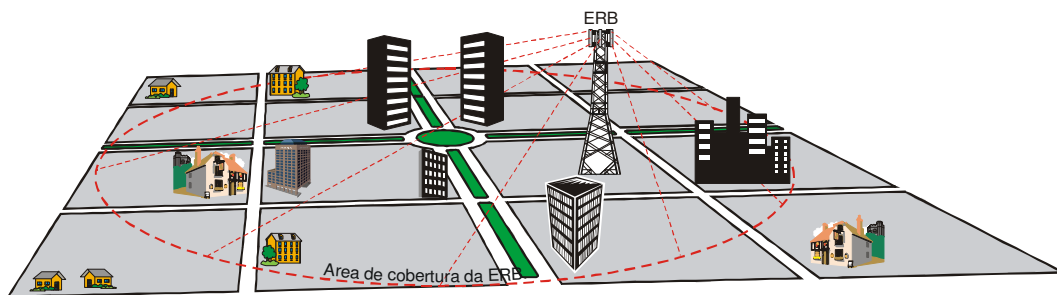


Figura 2. 17 – Área iluminada por uma antena.

2.2.5.2 Otimizações Lógicas

As otimizações lógicas que serão descritas nesta seção envolvem a possível aplicação das funcionalidades descritas a seguir, e também da análise e alteração das listas de vizinhança, que é uma etapa muito importante do processo de otimizações lógicas (detalhada na seção 4.4.2). As otimizações lógicas envolvem ainda a auditoria e ajuste dos parâmetros implementados. Esta etapa consiste ainda na aplicação de funções auxiliares de rádio que serão descritas no capítulo 3.

a) Controle dinâmico de potência da BTS

Essa funcionalidade permite que a BTS controle a potência de transmissão do sinal de *downlink*. A estratégia desse controle é manter a potência do sinal recebido pela unidade móvel suficiente para uma boa conexão.

O gráfico da figura 2.18 ilustra a forma como é feito este controle dinâmico da potência do sinal de saída da BTS.

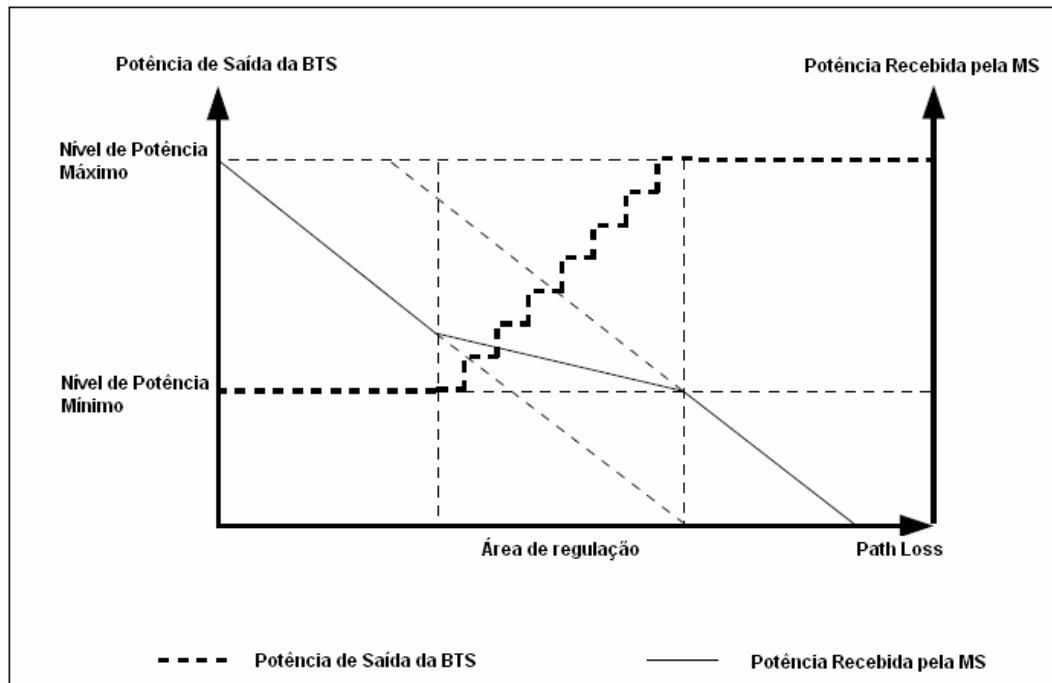


Figura 2. 18 – Controle de Potência Dinâmico da BTS.

Observando o gráfico da figura 2.18, percebe-se que quando o *path loss* da conexão é baixo, a BTS transmite o sinal com o menor nível de potência possível. À medida que o *path loss* aumenta, a potência do sinal recebido pela unidade móvel decresce. Quando essa potência chega a um valor crítico, e continua a decrescer com o aumento do *path loss*, a BTS começa a aumentar a potência de transmissão do sinal de *downlink* gradativamente, o que fará com que a potência recebida pela unidade móvel decresça de uma forma menos brusca.

Porém, se a potência do sinal que a MS está recebendo continuar a decrescer, chegará um instante no qual a potência de transmissão do sinal de *downlink* alcançará seu máximo, o que significa que a BTS não será mais capaz de realizar o controle de potência, fazendo com que a potência recebida pela MS volte a cair de forma mais acentuada.

A fim de evitar a queda da conexão, a MS irá realizar um processo de *handover* para outra célula, da qual está recebendo um sinal com maior potência.

b) Transmissão Descontínua (DTX – Discontinuous Transmission)

A transmissão descontínua é uma funcionalidade que permite ao rádio transmissor, tanto da MS quanto da BTS, interromper a transmissão quando detectado um período de silêncio durante a conexão, fato este que ocorre em aproximadamente 50% do tempo de uma conversação típica entre dois usuários.

Dessa forma, com a utilização do DTX o consumo de potência tanto da MS quanto da BSC são menores, assim como a irradiação de sinal na interface aérea, o que causa uma diminuição da interferência no sistema.

c) *Frequency hopping*

Entre os tipos de *frequency hopping* temos: o banda-base (*baseband* - BB) e o sintetizado (*radio frequency* - RF).

No *baseband*, as frequências de salto são planejadas como no caso sem *frequency hopping*, mas durante uma chamada a frequência é mudada de rajada em rajada, passando por todas as frequências disponíveis na célula.

No sintetizado, somente o rádio que contém o BCCH é sem salto em frequência e tem que ser planejado normalmente. E os outros TRXs não tem uma frequência associada aos mesmos, mas sim um conjunto de frequências por onde uma chamada ativa pode saltar. Não é necessário um planejamento de frequências, porém é de grande valia conhecer a interação das células para se customizar a criação dos conjuntos de frequências.

Uma vantagem do *baseband* em relação ao sintetizado é o fato que os combinadores de banda estreita podem ser utilizados, os quais têm baixa perda de inserção com relação aos combinadores de banda larga que são requeridos no *frequency hopping* sintetizado. A baixa perda de inserção gera maior potência na saída da antena, logo, tem-se células maiores e com maior poder de penetração em prédios.

A vantagem do *frequency hopping* sintetizado encontra-se em sua utilização em ambientes com muitos prédios, onde não se consegue fazer a predição com acurácia da propagação dos sinais devido a essas construções.

As duas vantagens de utilizar *frequency hopping* são: diversidade de frequência e diversidade de interferência.

A diversidade de frequência provê uma maior disponibilidade da comunicação com relação aos desvanecimentos do sinal no tempo (*fast fading*), pois, como a frequência da comunicação altera-se dinamicamente e como diferentes frequências tem comprimentos de ondas diferentes, as zonas de depressão serão alteradas de posição, minimizando a probabilidade da estação móvel se encontrar nessas zonas. Em resumo, minimizam-se os efeitos relativos ao *fast fading* e maximiza-se a estabilidade do *link*.

A diversidade de interferência provê redução dos níveis de interferência, pois, com a variação da frequência durante a comunicação, somente haverá interferência significativa em poucos milésimos de segundos de uma célula em outra, o que é imperceptível ao usuário final. Em resumo, minimiza-se a interferência entre células.

2.2.6 Problemas na transmissão do sinal de RF

O desvanecimento por múltiplos percursos ocorre quando há mais de um caminho na transmissão da estação móvel para a estação base ou vice-versa, o que pode ocorrer quando temos obstáculos entre os elementos citados. Temos então a diminuição seletiva de Rayleigh no caso da distância do obstáculo ser próxima à antena receptora, e dispersão de tempo no caso da distância ser grande.

É de grande importância o estudo dos problemas de transmissão, pois o *handover* depende intrinsecamente do nível de potência do sinal da comunicação. Ou seja, podem-se gerar problemas se não prevermos casos de tentativa de *handover* devido ao desvanecimento rápido do sinal, possibilitando, então, o efeito “ping-pong”. Também pode-se gerar problemas se for estipulado margens altas de *handover*, porque será perceptível para o usuário final a degradação da qualidade da chamada.

No caso do *Rayleigh Fading*, várias versões do mesmo sinal chegando até a antena de recepção do móvel devido às reflexões em obstáculos próximos a ele. Essas versões do sinal podem se diferir em fase e em amplitude. As variações do sinal ao longo do espaço caracterizam as zonas de depressão de *fading*. E o tempo entre essas depressões depende da velocidade do móvel e da frequência de operação do sistema celular. Frequência maior tem comprimento de onda menor e vice-versa, sendo que, por uma aproximação, a distância entre duas depressões de *fading* é cerca de metade de um comprimento de onda.

Outro problema é a dispersão de tempo, que é gerada pelas variadas versões do sinal que chegam à antena receptora devido à reflexão em objetos que estão distantes. Devido a essa grande distância, temos que, bits consecutivos interferem um no outro, fazendo com que o receptor não saiba qual é o bit correto a ser coletado no dado momento. Este efeito é denominado Interferência Intersimbólica (ISI).

Outro problema de transmissão encontrado é o alinhamento de tempo. Dado que cada estação móvel tem um *timeslot* alocado (em um quadro TDMA) em uma chamada, ele deve transmitir para a BTS neste dado *timeslot*, porém, caso ele esteja muito distante da BTS, o sinal por ele enviado chegará mais tarde. Logo, com o acúmulo dos atrasos entre envio do móvel e resposta da BTS, pode ocorrer interferência na transmissão de outro usuário pela sobreposição dos *timeslots*.

2.2.7 Solução para os problemas na transmissão do sinal de RF

A codificação do canal é uma forma existente de se detectar e corrigir erros em uma rajada de bits recebidos. Consiste em adicionar bits extras à mensagem para que um decodificador possa fazer determinadas operações entre os bits da mensagem e os bits adicionados e, então, detectar e possivelmente corrigir bits com falha.

Outra solução é a Multi Taxa Adaptativa (AMR), formada por diferentes *codecs* que, juntamente com a codificação de canal associada, seleciona a melhor taxa de *codec* de voz dadas as condições da razão de interferência do canal (C/I). Consiste em 8 *codecs* de voz, sendo 6 deles definidos para uso em canal *half-rate* (HR) e 2 em *full-rate* (FR). A diferença entre os *codecs* usados em HR e FR é que a codificação de canal utilizada em FR é maior, justamente para permitir maior tolerância a erros de bit e garantir maior qualidade na conversação. As 6 taxas de *codec* de voz em canal HR são: 4,75 kbps ; 5,15 kbps; 5,90 kbps; 6,70 kbps; 7,40 kbps; 7,95 kbps. E as outras 2 taxas para canal FR são: 10,2 kbps; 12,2 kbps.

O *interleaving* é um mecanismo utilizado para transpor o problema da perda de blocos de mensagem devido às depressões de diminuição seletiva. Ele consiste em reorganizar os bits dos blocos de mensagem para que, se houver perda de dados devido à depressão, a perda total de um bloco não implicará em ausência de informação para o receptor pois os outros blocos contém informações que anteriormente estavam somente no bloco perdido. Fazendo isso, conseguimos alterar a BER de cada bloco de mensagem, afastando-se a possibilidade de se obter BER de 100% (caso em que um bloco de mensagem sem *interleaving* é perdido).

Outro mecanismo utilizado para minimizar os efeitos das depressões de diminuição seletiva é o sistema de antenas distanciadas (diversidade). A diversidade de espaço consiste em montar-se 2 antenas receptoras (ao invés de uma) de forma que a distância entre as duas pode contornar o problema das diminuições seletivas. Vemos que a probabilidade da comunicação ser afetada pelas depressões diminui. Com um sistema operando a 900 MHz pode-se ter um ganho de 3 dB para uma separação de 5 a 6 metros das antenas receptoras. Num sistema de 1800 MHz essa distância é menor devido ao menor comprimento de onda. A diversidade de polarização é conseguida devido à implementação de 2 matrizes de antenas polarizadas diferentemente. Os tipos mais comuns de polarização são: horizontal/vertical e +45°/-45°. A diferença entre o ganho da diversidade de espaço e de polarização é desprezível, sendo que a de polarização tem a vantagem de necessitar de pouco espaço para sua implantação.

A equalização adaptativa minimiza os problemas relativos à dispersão de tempo. Funciona da seguinte forma: a BTS instrui a estação móvel a incluir em sua transmissão uma das seqüências de instrução já conhecidas por ambas as partes; a BTS e a estação móvel

incluem essa seqüência de instrução em suas transmissões; quem recebe a informação que contém essas seqüências características, faz a análise da mesma. Procura-se nessa análise encontrar a seqüência conhecida dentro da informação recebida. Logo, pode-se observar que os padrões de interferências nos bits da seqüência serão os mesmos que nos de interferência dos bits de dados da conversação (isso para a análise numa mesma rajada de bits); com base no padrão de interferência nos bits da seqüência de instrução, inicia-se o processo de correção dos bits de dados da conversação nessa transmissão.

Sabendo que o desvanecimento rápido também depende da freqüência de operação do sistema celular, uma técnica bastante utilizada para minimizar o efeito em questão é utilizar-se o salto em freqüência (*frequency hopping*). Zonas de depressões de *fading* existem em diferentes locais e para diferentes freqüências. O salto em freqüência sincronizado da BTS com a estação móvel nos diminui a probabilidade de termos um usuário sofrendo o indesejável efeito. O padrão GSM prevê 64 padrões de saltos, sendo 1 padrão que tem um único ciclo e 63 padrões pseudo-aleatórios que as operadoras podem selecionar. Os 2 tipos de saltos suportados pela BSC são os saltos de banda básica (entre diferentes transceptores da célula) e os saltos de sintetizador (no mesmo transceptor da célula).

O *timing advance* é o mecanismo que veio para contrapor-se ao problema de alinhamento de tempo. Trabalha no sentido de instruir a estação móvel a alterar o tempo de envio de bit (aumentar ou diminuir) em relação à transmissão do bit anterior. Tudo isso na tentativa de que o bit do móvel preencha unicamente o *timeslot* que é para ele reservado. O padrão GSM disponibiliza o máximo de 63 tempos de bits, o que limita o tamanho do raio de uma célula a aproximadamente 35 km. Porém existem equipamentos de alcance estendido que podem controlar distâncias de até 121 km utilizando-se 2 *timeslots*. [2].

2.2.8 Descrição de *Handover* e sua configuração na rede

O *handover* é uma funcionalidade extremamente necessária numa rede celular tendo em vista sua mobilidade característica. É um procedimento realizado no momento em que alguma estação móvel necessita mudar de célula, ou simplesmente de canal. É importante ressaltar que a estação móvel mencionada está com uma chamada em curso, pois quando não há chamada ativa, o procedimento do móvel de mudar de célula servidora é chamado de re-seleção, e não *handover*. O principal propósito do *handover* é manter uma chamada estabelecida com mobilidade.

Existem vários motivos para que uma estação móvel mude de célula, a saber: qualidade da chamada, nível de potência do sinal, carga de tráfego na célula servidora, entre outros que serão explicitados posteriormente.

Primeiramente, tem-se que o *handover* apenas acontece entre células que sejam vizinhas, e isso é um dos parâmetros a serem configurados na BSC. Durante uma chamada, a estação móvel mede o nível de potência do sinal das células vizinhas e a qualidade e o nível de potência do sinal da célula servidora. Estas informações são repassadas à BSC, que realiza periodicamente vários cálculos e executa programas que formarão uma lista de possíveis células candidatas para o *handover*.

Na figura 2.19, pode-se entender onde entra o processo de *handover*. Um usuário da rede celular trafega por uma avenida que tem cobertura de rede dada pela BTS 1 e pela BTS 2 da forma explicitada na figura. A estação móvel percorre o caminho de A para B, e, como pode-se observar no gráfico, a potência do sinal recebido da BTS 1 decai até o nível em que é necessário o *handover* para a BTS 2. Esta nova célula é, agora, capaz de oferecer o nível de potência do sinal satisfatório para uma boa qualidade na chamada da estação móvel.

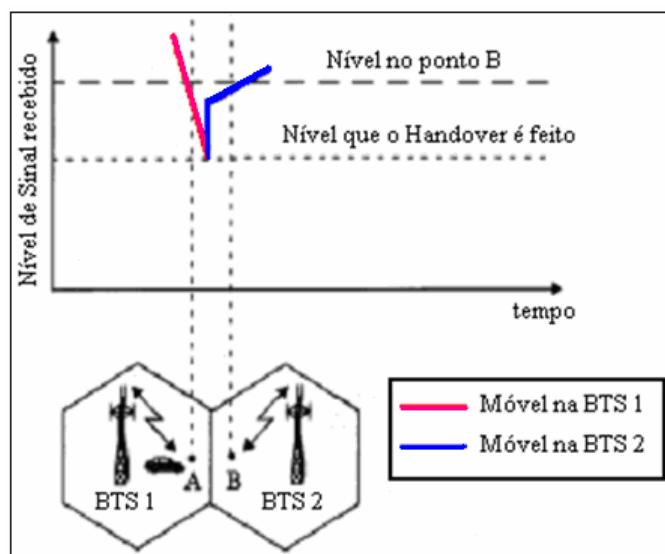


Figura 2. 19 – Detalhamento do processo de *Handover*

Na configuração do *handover* é necessário o ajuste de certos parâmetros como o limiar de recepção do sinal pela BTS e a histerese, para que problemas como o efeito “ping-pong” possam ser evitados, como será descrito a seguir. As figuras 2.20 e 2.21 explicitam a necessidade da estação móvel fazer *handover* para uma nova célula somente quando o nível potência do sinal da “BTS B” for maior que da “BTS A” de $L2+H$ (limiar mais histerese).

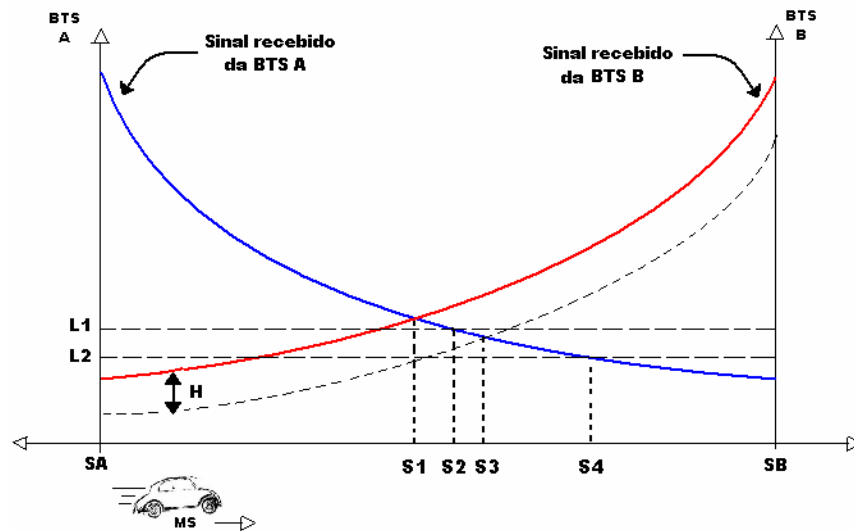


Figura 2. 20 – Limiares (L1;L2) e Histerese (H)

Na figura 2.20, L1 representa o limiar adicional relativo ao nível de potência do sinal da “BTS A” para que haja *handover* para “BTS B” (ponto S2); S3 representa o ponto em que a estação móvel faria *handover* para “BTS B” caso houvesse apenas o uso da histerese; e L2 representa o limiar adicional relativo ao nível de potência do sinal da “BTS A” já com a histerese (curva pontilhada) para que haja *handover* para “BTS B” (ponto S4);

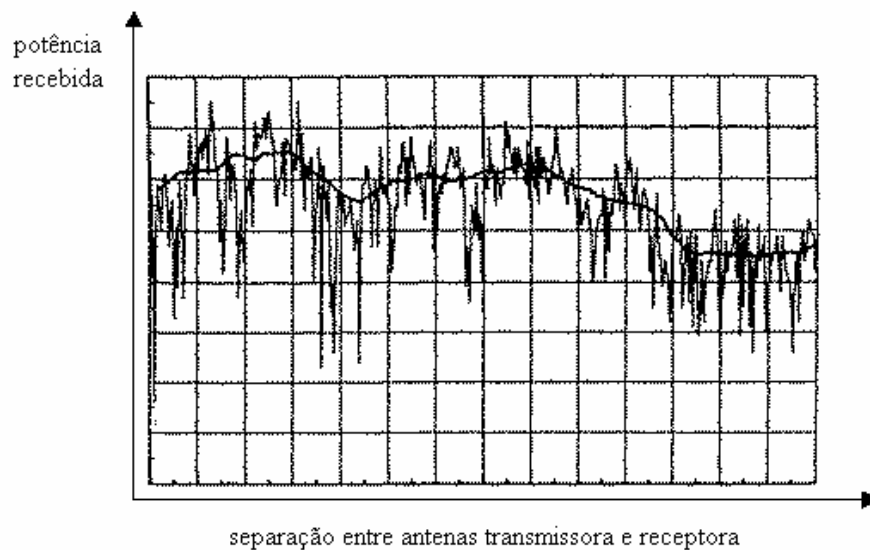


Figura 2. 21 – Desvanecimento Lento e Rápido

A figura 2.21 explicita o sinal que realmente é recebido pela estação móvel. O desvanecimento lento e rápido resultam em variações no nível de potência do sinal, que podem ocasionar na indecisão do móvel de ficar na “BTS A” ou na “BTS B” se não

houvessem o limiar e a histerese (ponto S1 da figura 2.20). Observa-se que no ponto S4 há uma menor probabilidade do sinal recebido da “BTS A” estar sendo afetado pelo desvanecimento, ou seja, a partir deste ponto a estação móvel faz o *handover* para “BTS B” com segurança de que não fará o retorno para a “BTS A”.

O *handover* é um processo que gera alguns parâmetros de qualidade para uma rede celular, como o “Call Dropping Probability”, que é probabilidade de que, feito um *handover*, a chamada seja terminada; e “Probability of unsuccessful *handover*”, que é a probabilidade de que um processo de *handover* solicitado não se realize.

Algumas métricas para o *handover* são: *Handover blocking probability*, que é a probabilidade de que o processo de *handover* iniciado não se complete; *Handover Probability*, probabilidade de que um *handover* ocorra antes de terminar a chamada; *Rate of Handover*, número de *handovers* por unidade de tempo; *Interruption duration*, intervalo de tempo durante um *handover* no qual uma estação móvel não está conectada a nenhuma estação base; e o *Handover delay*, tempo decorrido desde que se pede o *handover*, até produzi-lo.

Para a análise e otimização da rede celular da TIM na região de Anápolis, foi necessário analisar todos os dados, como geografia do local, dinâmica urbana, áreas de interesse para a operadora e as métricas de desempenho extraídas da BSC por ferramentas computacionais desenvolvidas pela operadora.

Conclui-se, então, que o processo de *handover* é um processo de alta relevância para o desempenho da rede celular. Ou seja, não basta realizar, por exemplo, um aumento do número de células da rede para aumentar o tráfego, e não pensar na alta carga de sinalização gerada pelas maiores quantidades de *handovers*; não basta fazer um ótimo plano de frequência e não analisar os dados gerados pela rede em operação para realizar otimizações.

3 LOCATING

No presente capítulo, serão descritas as estratégias adotadas pelo sistema GSM para determinar a melhor célula servidora para uma determinada estação móvel.

A funcionalidade *Locating* possui um algoritmo que determina se uma célula deve ou não realizar uma *handover*. Este algoritmo é implementado na BSC, e tem por objetivo fornecer à unidade móvel uma lista de células candidatas ao *handover* ordenadas em ordem decrescente de prioridade. O principal critério para determinar a prioridade das células na lista é a potência do sinal que a MS está recebendo de cada uma das células. No presente trabalho essa lista será chamada de Lista Final de *Locating*.

Os parâmetros de entrada para este algoritmo são fornecidos pelos relatórios de medição realizados pela unidade móvel, os quais contêm os valores apurados para a potência e qualidade do sinal da célula servidora, e também medições da potência de sinal das frequências de BCCH das células vizinhas.

Os critérios utilizados pelo algoritmo de *Locating* para definir a necessidade de *handover* são baseados nos parâmetros listados abaixo:

1. Potência e *path loss* do sinal recebido pela unidade móvel da célula servidora, bem como das frequências de BCCH das células vizinhas;
2. Qualidade do sinal recebido da célula servidora (BER - Taxa de Erro de Bits);
3. *Timing advance* usado pela estação móvel. O *timing advance* é medido pela BTS, e enviado para a unidade móvel a cada período de SACCH (480ms), com a finalidade de manter o sincronismo de transmissão;

3.1 O ALGORITMO DE *LOCATING*

A essência desse algoritmo é priorizar as células que transmitem os sinais detectados pela MS com maior potência. Porém, em algumas situações especiais, outros parâmetros podem ser utilizados para priorizar determinadas células na Lista Final de *Locating*, como por exemplo, o tráfego cursado nas células. A alocação de canal e a sinalização de *handover* não fazem parte deste algoritmo.

A figura 3.1 mostra um diagrama de fluxo que resume o algoritmo de *Locating*.

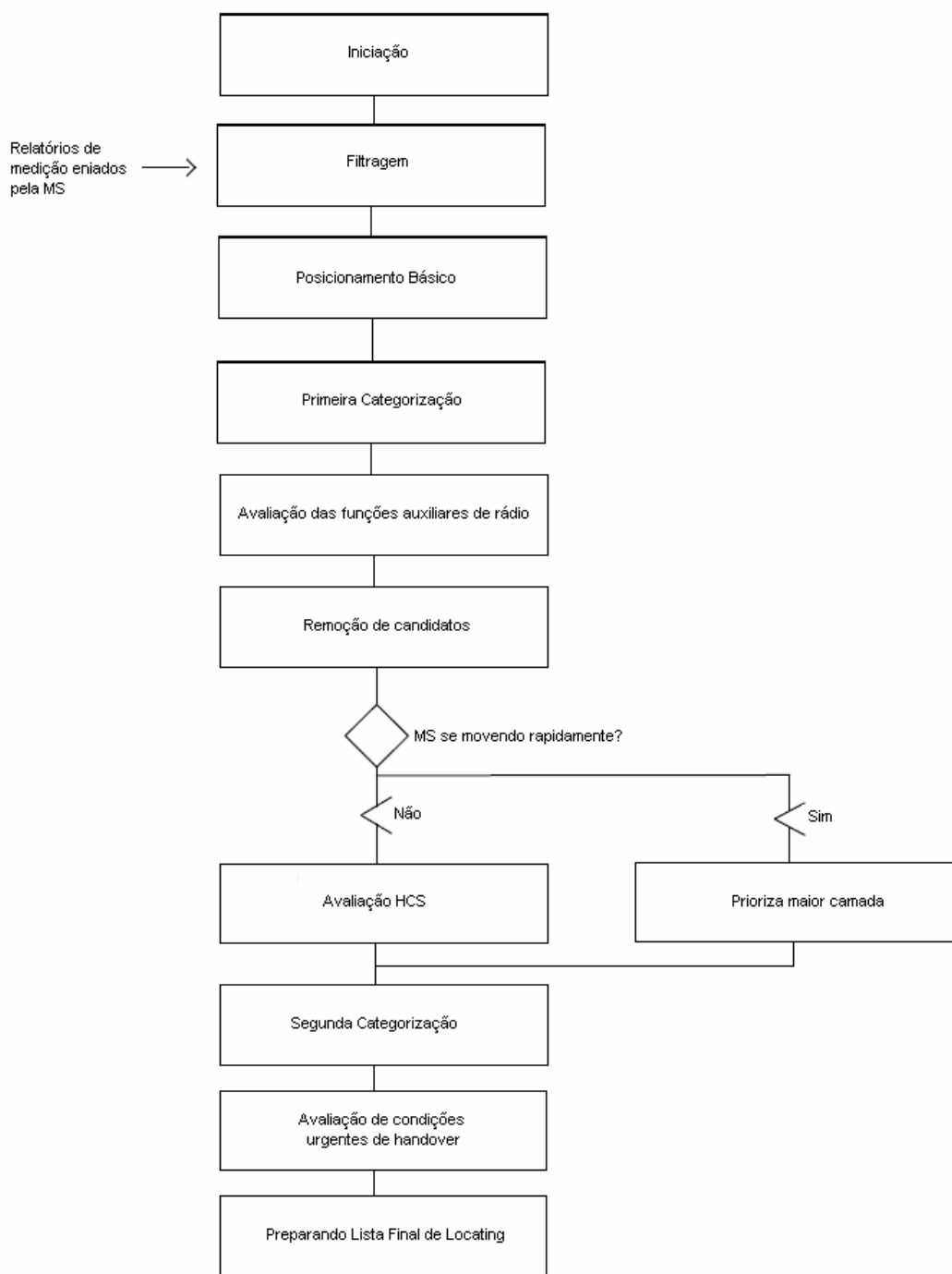


Figura 3. 1 – Diagrama de fluxo do Algoritmo de Locating.

Cada etapa desse algoritmo será descrita em detalhes no decorrer deste capítulo.

3.1.1 Iniciação

Nessa etapa é criado um processo de software, chamado de *Locating Individual*, responsável pelo controle do *Locating*.

Imediatamente após a realização de um *handover*, é desejável que a MS permaneça no mesmo canal por determinado tempo, pois os processos de medição realizados pela MS

necessitam de um período mínimo para estimar valores confiáveis que serão utilizados no algoritmo de *Locating*.

Dessa forma, no instante em que se cria um *Locating Individual*, um temporizador é iniciado, e até que este expire, a MS fica proibida de realizar um *handover*. No sistema GSM Ericsson, esse temporizador é chamado de TINIT, e varia de 0 a 120 períodos de SACCH (480ms).

3.1.2 Filtragem

Na etapa de filtragem, é feito o tratamento dos dados contidos nos relatórios de medição, enviados da MS para a BSC. A tabela 3.1 mostra os dados que são utilizados no algoritmo de *Locating*.

Tabela 3. 1- Dados usados no algoritmo de *Locating*.

Descrição dos dados	Sentido	Célula(s)	Tipo de Medição	Fonte
Potência do Sinal	<i>Downlink</i>	Servidora	<i>Full Set</i>	MS
Potência do Sinal	<i>Downlink</i>	Servidora	<i>Subset</i>	MS
Potência do Sinal	<i>Downlink</i>	Vizinhas	-	MS
Qualidade do Sinal	<i>Downlink</i>	Servidora	<i>Full Set</i>	MS
Qualidade do Sinal	<i>Downlink</i>	Servidora	<i>Subset</i>	MS
Qualidade do Sinal	<i>Uplink</i>	Servidora	<i>Full Set</i>	BTS
Qualidade do Sinal	<i>Uplink</i>	Servidora	<i>Subset</i>	BTS
<i>Timing Advance</i>	-	-	-	BTS
DTX Ativado	-	-	-	BTS
DTX Ativado	-	-	-	MS

As medições realizadas pela MS para a potência do sinal de *downlink*, e da qualidade dos sinais de *downlink* e *uplink* são realizadas nas formas *subset* e *full set*. Esses dois tipos de medição são baseados na funcionalidade de Transmissão Descontínua (DTX), ou seja, caso essa funcionalidade não esteja ativada a medição será do tipo *full set*, e caso contrário será do tipo *subset*. Na primeira, as medições são realizadas em todos os quadros TDMA durante um período de SACCH; na segunda são realizadas apenas nos quadros em que, de fato, ocorre transmissão.

Nos relatórios de medição realizados pela MS, os valores para as potências dos sinais medidos, são números inteiros adimensionais do intervalo [0,63], que correspondem ao intervalo de valores [-110 dBm, -47 dBm]. No algoritmo de *Locating* esses valores são chamados de RXLEV.

A grandeza que define a qualidade de um sinal é a Taxa de Erro de Bit (BER), que é estimada no processo de decodificação do sinal. Todos os valores de qualidade de sinal, contidos no relatório de medição realizado pela MS, são números inteiros do intervalo [0,7],

onde 0 representa uma ótima qualidade de sinal (baixa taxa de erro de bit), e 7 representa uma péssima qualidade de sinal (alta taxa de erro de bit).

Quando a MS transmite o relatório de medição para a BTS, essa acrescenta os valores da qualidade do sinal de *uplink* e o valor do *timing advance*, e envia o relatório para a BSC.

3.1.3 Posicionamento Básico

Essa é a principal etapa do algoritmo de *Locating*, pois é nesse momento que se cria uma lista preliminar de células candidatas ao *handover*, ordenadas de acordo com os valores de potência de sinal e *path loss* contidos nos relatórios de medição. Essa lista é chamada de Lista Básica de *Locating*.

O Sistema GSM Ericsson provê dois algoritmos para o estágio de Posicionamento Básico, o Ericsson 1 e o Ericsson 3. O primeiro algoritmo, adota a potência do sinal e o *path loss* como parâmetros de ordenação das células na Lista Básica de *Locating*. Já o segundo, adota apenas a potência do sinal como parâmetro de ordenação das células na Lista Básica de *Locating*. No presente trabalho será dada uma maior ênfase ao algoritmo Ericsson 1, por ser o algoritmo atualmente utilizado na rede GSM da operadora TIM Celular, que foi objeto de análise nesse estudo.

As três primeiras etapas do Posicionamento Básico, descritas nas seções 3.1.3.1, 3.1.3.2 e 3.1.3.3, são comuns para os algoritmos Ericsson 1 e Ericsson 3. As outras etapas descritas para o Posicionamento Básico se referem a penas ao Algoritmo Ericsson 1.

3.1.3.1 Correção da potência de saída da BTS

A figura 3.2 ilustra os pontos de referência para as potências que serão mencionadas nesse capítulo.

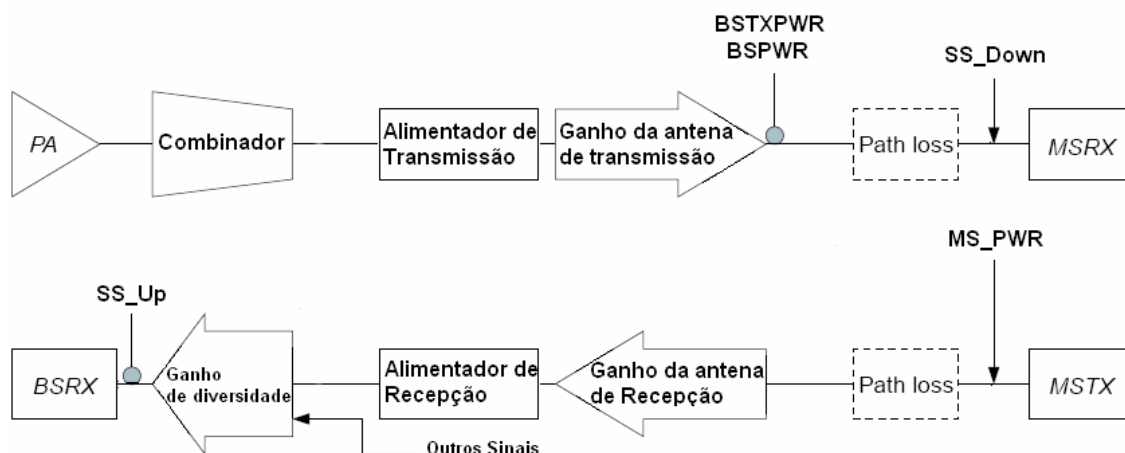


Figura 3. 2– Pontos de referência para as potências de *downlink* e *uplink*.

Na figura 3.2, PA representa um amplificador de potência (*Power Amplifier*), que possui a finalidade de amplificar a potência de saída da BTS.

BSTXPWR e BSPWR representam, respectivamente, as potências de transmissão do *downlink* para as frequências de TCH e de BCCH, após os sinais terem passado pelo combinador de sinais, o alimentador e a antena de transmissão. SS_Down é a potência do sinal de *downlink* recebido pela MS.

MS_PWR representa a potência de transmissão nominal da MS, e SS_Up é a potência recebida pela BTS.

A correção da potência de saída das BTS's das células vizinhas deve ser realizada, pois as medidas realizadas pela MS para a potência do sinal dessas células ocorrem nas frequências de BCCH. Esses canais podem ter uma potência de transmissão diferente dos canais de tráfego (TCH). Dessa forma, surge a necessidade de correção da potência do sinal das células vizinhas, já que a potência de transmissão das frequências de TCH é que serão de fato relevantes caso o móvel realize um *handover* para uma das células vizinhas.

A correção é feita pela diferença entre a potência de transmissão das frequências de BCCH (BSPWR) e a potência de transmissão das frequências de TCH (BSTXPWR), como mostrado pela expressão abaixo:

$$SS_Down_n = RXLEV_n + (BSTXPWR_n - BSPWR_n) \quad (1)$$

onde:

- n representa a n-ésima célula vizinha;
- SS_Down_n representa a potência do sinal corrigida da n-ésima célula vizinha;

Para a célula servidora existem três casos que se faz necessário realizar a correção da potência do sinal. Esses casos são descritos a seguir.

a) Uso da Frequência de BCCH

Se a célula servidora está utilizando a frequência de BCCH na transmissão do sinal, a mesma correção feita para a potência do sinal das células vizinhas deve ser realizada, como segue pela expressão abaixo:

$$SS_Down_s = RXLEV_s + (BSTXPWR_s - BSPWR_s) \quad (2)$$

onde s representa a célula servidora e SS_Down_s representa a potência do sinal corrigida da célula servidora;

b) *Frequency Hopping* Ativo

O *Frequency Hopping* é uma funcionalidade do sistema GSM que permite ao móvel alternar entre uma seqüência de freqüências durante uma conexão. Essa funcionalidade visa diminuir a interferência entre as células como explicado no capítulo 2.

As medições do $RXLEV_s$ são baseados em amostras feitas durante o período de medição (SACCH). Caso a freqüência de BCCH esteja incluída na seqüência de saltos do *Frequency Hopping* será necessário realizar uma correção desses valores, de acordo com a fórmula (3).

$$SS_Down_s = RXLEV_s + (BSTXPWR_s - BSPWR_s)/N \quad (3)$$

onde N representa o número de freqüências envolvidas no *frequency hopping*.

Entretanto, é possível configurar parâmetros do sistema que determinam para a MS excluir a freqüência de BCCH no momento de amostragem das medidas, não sendo necessário a correção citada anteriormente.

c) Controle de Potência Ativo

Quando a funcionalidade do controle dinâmico de potência da BTS é utilizada no sistema, é necessário a realização de uma correção do valor da potência do sinal de *downlink* da célula servidora medida pela MS.

Essa compensação é realizada pelo fato de que a potência de saída do sinal amostrado pode ter variado durante o período de medição. Caso além do controle dinâmico de potência da BTS, o *Frequency Hopping* também esteja sendo utilizado na célula servidora, a potência do sinal de *downlink* deve ser corrigida de acordo com a expressão (4).

$$SS_Down_s = RXLEV_s + (BSTXPWR_s - PWR_USED_s) * (N - 1)/N \quad (4)$$

onde PWR_USED representa a potência de saída utilizada pela BTS no momento da amostragem do sinal e N é o número de freqüências envolvidas no *frequency hopping*.

Se o *Frequency Hopping* não estiver sendo utilizado na célula servidora, a correção do sinal de *downlink* deve ser feita de acordo com a fórmula (5).

$$SS_Down_s = RXLEV_s + (BSTXPWR_s - PWR_USED_s) \quad (5)$$

3.1.3.2 Avaliação de Potência Mínima de Sinal

Depois de corrigidos, os sinais de cada célula vizinha são avaliados em relação a dois limiares de potência, um limiar para a potência de *downlink* ($MSRXMIN_n$) e outro para a potência de *uplink* ($BSRXMIN_n$). Esses limiares são definidos para cada célula individualmente e de acordo com a sensibilidade¹ da MS e da BTS. Dessa forma, apenas as células vizinhas que atendem, simultaneamente, aos critérios estabelecidos nas expressões (6) e (7) estarão presentes na Lista Básica de *Locating*.

$$SS_Down_n \geq MSRXMIN_n \quad (6)$$

$$SS_Up_n \geq BSRXMIN_n \quad (7)$$

onde SS_Up_n corresponde a um valor estimado para a potência do sinal de *uplink* da n-ésima célula vizinha. Esse valor é estimado de acordo com a expressão abaixo:

$$SS_Up_n = MS_PWR - L_n \quad (8)$$

onde MS_PWR representa a potência de transmissão nominal da MS e L_n representa o valor do *path loss* associado ao sinal de *downlink* da n-ésima célula vizinha dado por:

$$L_n = BSTXPWR_n - SS_Down_n \quad (9)$$

Na estimativa da potência do sinal de *uplink* das células vizinhas, assume-se que o *path loss* associado ao *downlink* é mesmo do *uplink*.

3.1.3.3 Subtração de Penalidades

As penalidades, ou punições, são valores subtraídos do SS_Down_n de alguma célula vizinha, com o propósito de diminuir a prioridade dessa célula na lista de *Locating*. Essas penalidades são válidas por um período de tempo determinado pelos administradores da rede GSM, que pode variar de 0 a 600s. O valor das penalidades varia de 0 a 63dB, e também pode ser configurado no sistema. Geralmente esses valores são configurados em seus máximos, para garantir que as células problemáticas não sejam priorizadas no algoritmo de *locating*.

A potência do sinal de uma célula, depois que foram aplicadas as penalidades, é chamada de $p_SS_DOWN_n$, calculada pela expressão abaixo:

$$p_SS_DOWN_n = SS_DOWN_n - PENALTY_n \quad (10)$$

¹ Potência mínima do sinal, em dBm, que a MS consegue detectar.

onde $PENALTY_n$ representa a penalidade aplicada a n-ésima célula.

Para o algoritmo Ericsson 3 essa é a ultima etapa, e as células são ordenadas na Lista Básica de *Locating* de acordo com as expressões (11) e (12).

$$RANK_s = SS_Down_s \quad (11)$$

e

$$RANK_n = p_SS_Down_n - OFFSET_{s,n} - HYST_{s,n} \quad (12)$$

onde $OFFSET_{s,n}$ e $HYST_{s,n}$ são, respectivamente, os valores do *offset* e da histerese para o *handover* da célula servidora para a n-ésima célula vizinha.

Quanto maior for o valor RANK, maior será a prioridade da célula na Lista Básica de *Locating*.

As penalidades podem ser aplicadas a uma célula por vários motivos, a seguir serão listados os principais.

a) Falha de *Handover*

Quando ocorre uma falha de *handover*, a célula para a qual o móvel tentou comutar fica sujeita a uma penalização no algoritmo de *locating*.

Essa penalização é necessária, pois não é desejável que um novo processo de *handover* seja iniciado para essa mesma célula, haja visto a possibilidade de ocorrência de outra falha.

b) Baixa Qualidade do Sinal

Quando a MS recebe da célula servidora (Célula A) um sinal de *downlink* com qualidade ruim, um *Handover* Urgente por Baixa Qualidade do Sinal é iniciado para a célula com maior prioridade na lista de *locating* (Célula B), e neste caso a Célula A deve ser punida no algoritmo de *locating* que será realizado pela célula B. Essa punição para a antiga célula servidora é necessária, pois evita o efeito “*ping-pong*”. Mais a frente será explicado com maiores detalhes o *Handover* Urgente por Baixa Qualidade do Sinal.

c) *Timing Advance* Excessivo

Quando o *timing advance* da célula servidora (Célula A) torna-se muito grande, é necessário que a unidade móvel realize um *Handover* Urgente por *Timing Advance* Excessivo para a célula com maior prioridade na lista de *locating* (Célula B). Assim como no caso

anterior, a Célula A deve ser penalizada no algoritmo de *locating* que será realizado pela Célula B, a fim de evitar o efeito “*ping-pong*”. Mais a frente será explicado com maiores detalhes o *Handover* Urgente por *Timing Advance* Excessivo.

3.1.3.4 Avaliação de Potência Suficiente de Sinal

Nessa etapa, todas as células vizinhas selecionadas pela Avaliação de Potência Mínima do Sinal, são analisadas em relação a dois limiares de potência, um limiar para a potência de *downlink* ($MSRXSUFF_n$) e outro para a potência de *uplink* ($BSRXSUFF_n$). Além desses limiares, é nessa etapa que são acrescentados os valores de histerese e de *offset* no Algoritmo Ericsson 1, com a finalidade evitar o efeito “*ping-pong*”. Os limiares são definidos para cada célula individualmente, já os valores de histerese e *offset* são definidos em relação a pares de célula, como ilustra a figura 3.3.

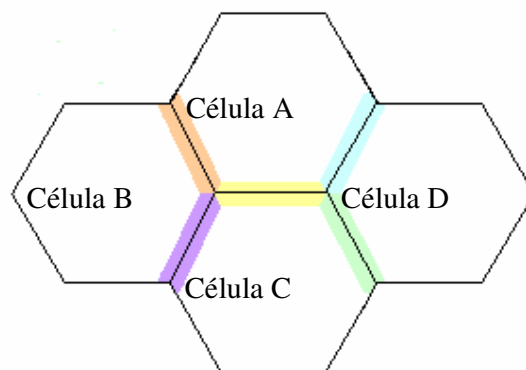


Figura 3. 3– Regiões de histerese entre células vizinhas.

Como ilustrado pela figura anterior, a histerese entre duas células vizinhas é igual nos dois sentidos, por exemplo, na figura 3.3 a histerese para o *handover* da Célula A para a Célula B é igual a histerese do *handover* da Célula B para a Célula A.

Em um plano geográfico idealizado (sem obstáculos), o efeito do *offset* é criar uma borda nominal entre as células, ou seja, tem o objetivo de deslocar a borda original para o lado da célula da célula vizinha, aumentando o tamanho da célula servidora. Já o efeito da histerese é criar uma área em volta da borda nominal (área de segurança), chamada de Corredor de Histerese. A figura 3.4 ilustra esses efeitos.

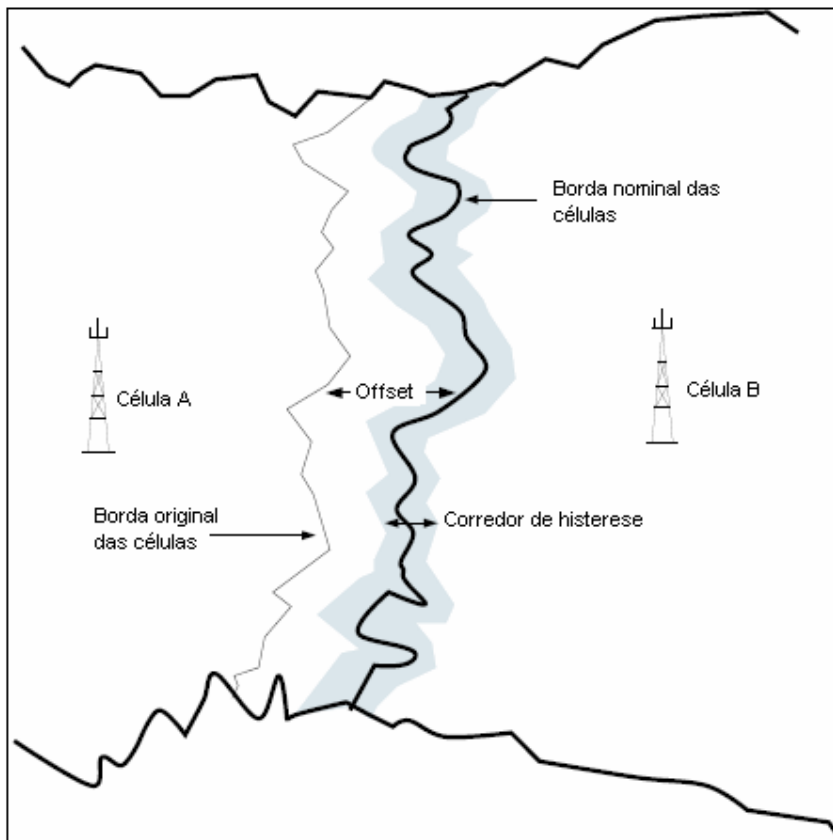


Figura 3. 4 – Efeitos geográficos da histerese e do *offset*.

A Avaliação de Potência Mínima do Sinal visa separar as células em dois grupos, um chamado de L-Células (maiores valores para a potência do sinal) e outro de K-Células (menores valores para a potência do sinal).

Dessa forma, as células que atendem, simultaneamente, aos critérios estabelecidos nas expressões (13) e (14) são incluídas no grupo das L-Células, e as que não atendem incluídas no grupo das K-Células.

$$p_{SS_DOWN_n} \geq MSRXSUFF_n - TROFFSET_{s,n} + TRHYST_{s,n} \quad (13)$$

$$p_{SS_UP_n} \geq BSRXSUFF_n - TROFFSET_{s,n} + TRHYST_{s,n} \quad (14)$$

onde $TROFFSET_{s,n}$ e $TRHYST_{s,n}$ são, respectivamente, os valores do *offset* e da histerese existente entre a célula servidora e a n-ésima célula vizinha, e $p_{SS_UP_n}$ corresponde a um valor estimado para a potência do sinal de *uplink* da n-ésima célula vizinha, após passar pelas três primeiras etapas do Posicionamento Básico.

O valor para $p_{SS_UP_n}$ é estimado de acordo com a expressão abaixo:

$$p_{SS_UP_n} = MS_PWR - p_{L_n} \quad (15)$$

onde MS_PWR representa a potência de transmissão nominal da MS e p_L_n representa o valor do *path loss* associado ao sinal de *downlink* da n-ésima célula vizinha, após ter passado pelas três primeiras etapas do Posicionamento Básico, dado por:

$$p_L_n = BSTXPWR_n - p_SS_Down_n \quad (16)$$

Novamente, para a estimativa da potência do sinal de *uplink* das células vizinhas, assume-se que o *path loss* associado ao *downlink* é mesmo do *uplink*.

A classificação de uma célula como L-Célula ou K-Célula depende da posição em que o móvel se encontra desta, ou seja, para móveis distintos uma célula pode ser ao mesmo tempo uma L-Célula, uma K-Célula ou até mesmo desprezada do algoritmo de *locating*.

Em um plano geográfico ideal, os limiares mínimos e suficientes determinam regiões delimitadoras como mostrado na figura 3.5.

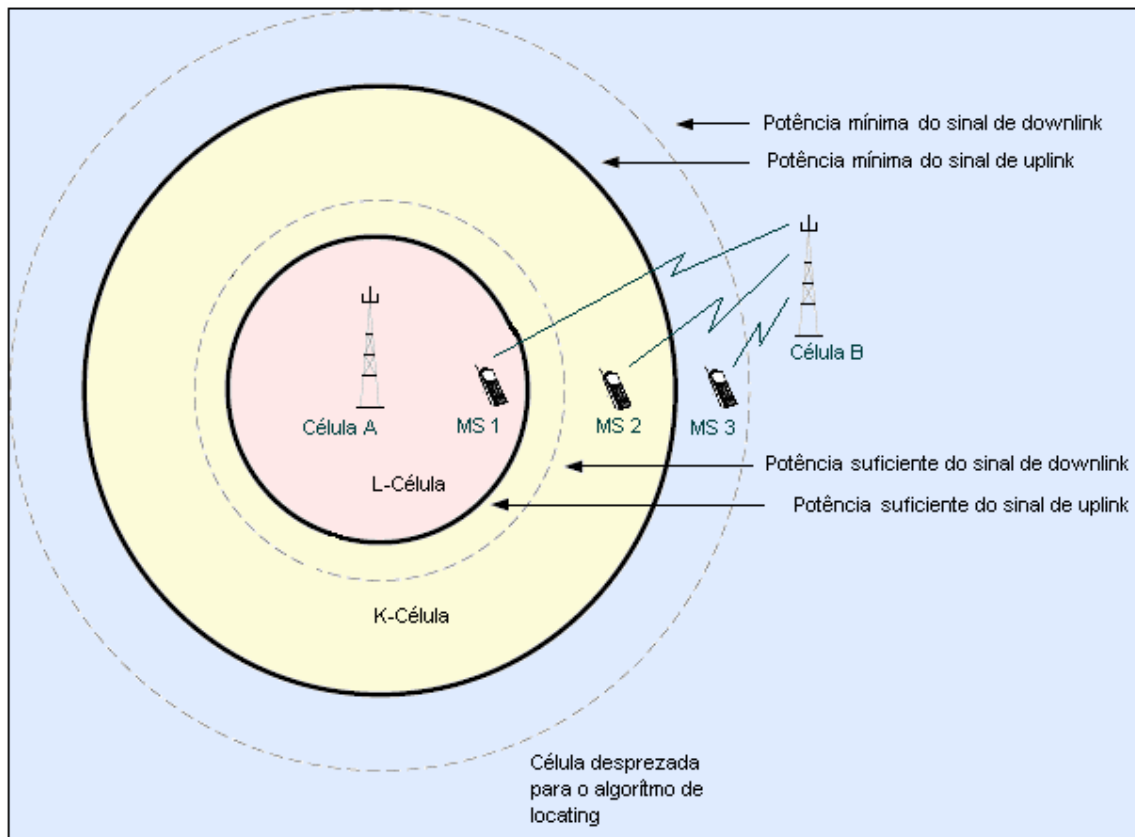


Figura 3. 5 - Áreas limitadas pelos níveis mínimo e suficiente da potência do sinal.

Pela figura anterior, a MS 1 que está dentro da região avermelhada, considerará a célula A como uma L-Célula, pois nessa região os critérios de nível suficiente de potência do sinal de *uplink* e *downlink* foram satisfeitos. Na região amarelada, a MS 2 irá considerar a célula A como uma K-Célula, pois nessa região os critérios de nível mínimo de potência do sinal de *uplink* e *downlink* são satisfeitos, mas o nível suficiente de potência do sinal de *uplink* nunca é

satisfeito. Já na região azulada, o nível mínimo de potência do sinal de *uplink* nunca é satisfeito, e como explicado no item 3.1.3.2, a MS 3 irá desprezar a célula A no algoritmo de *locating*.

a) Ordenação das L-Células

Após essa primeira análise, é feito um posicionamento das células pertencente a um mesmo grupo. Para o grupo das L-Células, essa ordenação é feita de acordo com o *path loss* de cada sinal, ou seja, quanto menor for o *path loss*, maior será a prioridade dessa célula no posicionamento.

Nessa etapa é acrescentado mais um valor de histerese ($LHYST$) e mais um valor de *offset* ($LOFFSET$), que também são definidos em relação a pares de células, com a finalidade de minimizar ainda mais o efeito “ping-pong”.

Dessa forma, os valores (L_RANK_n) utilizado para ordenar as L-Células são encontrados pela expressão (17):

$$L_RANK_n = p_L_n + LOFFSET_{s,n} + LHYST_{s,n} \quad (17)$$

Quanto menor for o valor de L_RANK_n , maior será a prioridade da n-ésima célula entre as L-células.

Na expressão (18), os valores $LOFFSET_{s,n}$ e $LHYST_{s,n}$ são somados ao invés de subtraídos, pois o objetivo dos valores de histerese e *offset* é diminuir a prioridade das células vizinhas, em relação à célula servidora, na Lista de *Locating*.

b) Ordenação das K-Células

No grupo das K-Células, a ordenação é feita de acordo com a potência do sinal, ou seja, quanto maior for a potência do sinal da célula, maior será a prioridade dessa célula no posicionamento.

Nessa etapa, também são acrescentados valores de histerese ($KHYST_{s,n}$) e de *offset* ($KOFFSET_{s,n}$), para que o efeito “ping-pong” seja minimizado.

Para cada K-Célula são calculados valores relativos à $MSRXSUFF_n$ e $BSRXSUFF_n$, como mostrado nas expressões (18) e (19):

$$K_DOWN_n = p_SS_DOWN_n - MSRXSUFF_n \quad (18)$$

$$K_UP_n = p_SS_UP_n - BSRXSUFF_n \quad (19)$$

O valor (K_RANK_n) utilizado para ordenar as K-Células é o menor valor entre K_DOWN_n e K_UP_n , subtraído dos valores de histerese e *offset*, como mostra a expressão abaixo:

$$K_RANK_n = \min(K_DOWN_n, K_UP_n) - KHYST_{s,n} - KOFFET_{s,n} \quad (20)$$

Quanto maior for o valor de K_RANK_n , maior será a prioridade da n-ésima célula entre as K-células.

c) Ordenação da Célula Servidora

Passadas todas as fases do Posicionamento Básico das células vizinhas, a célula servidora é analisada em relação ao limiar de potência suficiente de sinal, e então classificada como uma L-Célula ou como uma K-Célula.

Caso seja uma L-Célula, ela será posicionada em relação às outras células do grupo, porém não são considerados os valores de histerese ($LHYST_{s,n}$) e o offset ($LOFFSET_{s,n}$), ou seja, o valor L_RANK_s utilizado para posicionar a célula servidora será igual ao seu *path loss* (L_s).

Se a célula servidora for uma K-Célula, ela será ordenada em relação às outras células do grupo. São calculados valores relativos à $MSRXSUFF_s$ e $BSRXSUFF_s$, como mostrado nas fórmulas abaixo:

$$K_DOWN_s = SS_DOWN_s - MSRXSUFF_s \quad (21)$$

$$K_UP_s = SS_UP_s - BSRXSUFF_s \quad (22)$$

O valor (K_RANK_s) utilizado para ordenar a célula servidora é calculado como o menor valor entre K_DOWN_s e K_UP_s , sem considerar os valores de histerese ($KHYST_{s,n}$) e *offset* ($KOFFSET_{s,n}$).

3.1.3.5 Formação da Lista Básica de *Locating*

Finalmente, a Lista Básica de *Locating* é formada. As L-células são posicionadas com maior prioridade do que as K-células. A figura 3.6 mostra um diagrama de fluxo que resume o estágio de Posicionamento Básico.

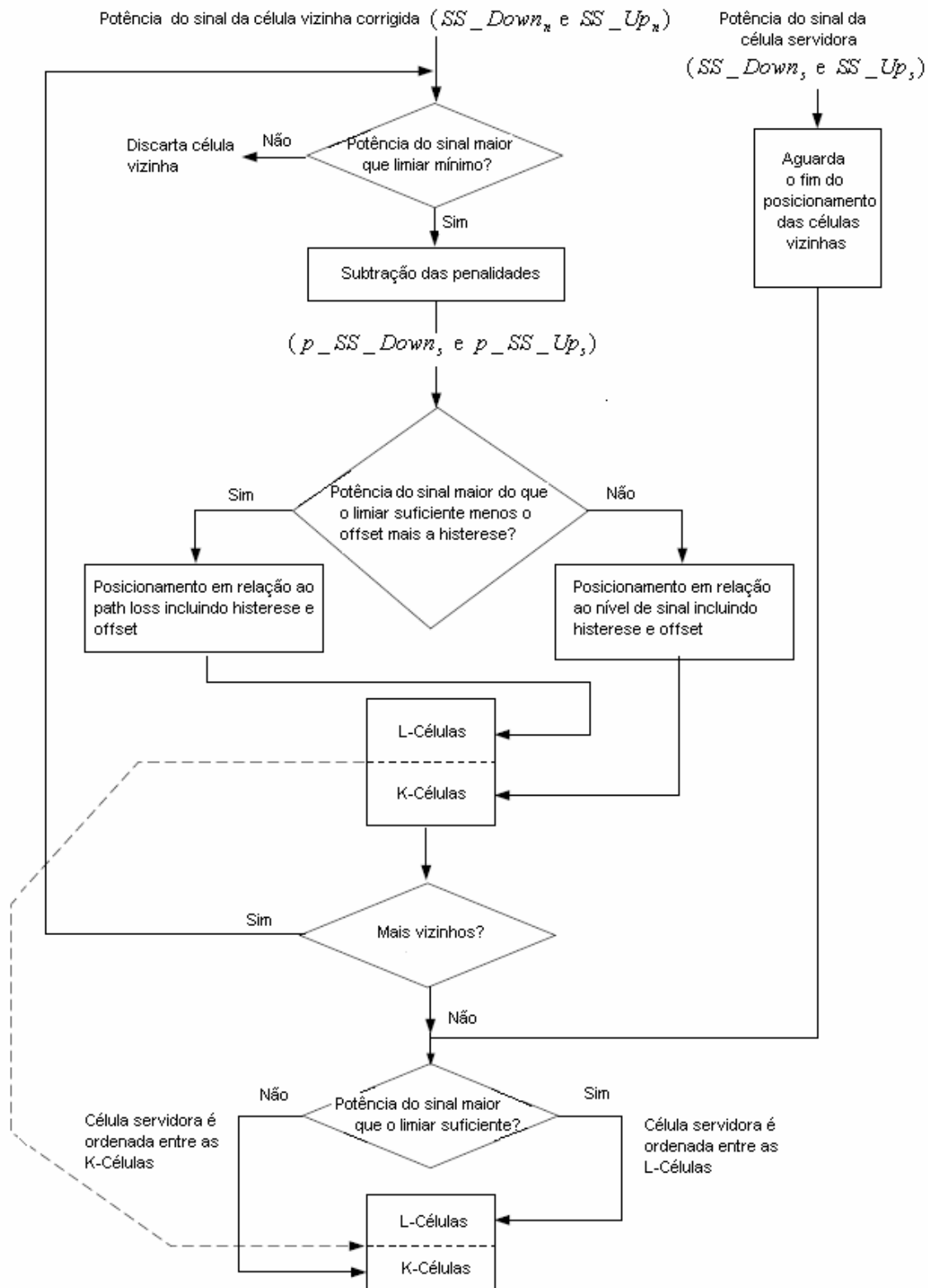


Figura 3. 6 – Diagrama de fluxo do Posicionamento Básico do Algoritmo Ericsson 1.

Os recursos oferecidos pelo algoritmo Ericsson 1 não são utilizados de uma forma eficiente nas células estudadas da rede GSM da TIM. Este fato foi constatado porque os limiares $MSRXSUFF_n$ e $BSRXSUFF_n$ são configurados com valores muito altos no sistema, o que fará

com que todas as células sejam classificadas como K-Células na etapa de Posicionamento Básico. Dessa forma, o algoritmo Ericsson 1 funcionará de forma semelhante ao algoritmo Ericsson 3, pois as células serão ordenadas apenas em relação às potências dos sinais, desprezando-se a ordenação pelos valores de path loss. Priorizar as células que possuem um baixo valor para o path loss, porém um sinal com potência suficiente para o estabelecimento de uma chamada, é muito importante porque diminui os níveis de interferência do sistema, já que as células transmitirão os sinais de *downlink* com potências mais baixas.

3.1.4 Primeira Categorização

Nessa etapa as células são divididas em três categorias, a saber: melhores células, piores células e célula servidora.

As células que possuem uma prioridade maior do que a célula servidora na Lista Básica de *Locating* são classificadas como melhores células, e as que possuem prioridade menor são classificadas como piores células.

Essa classificação é necessária para as avaliações das funções auxiliares de rádio, que serão descritas na seção posterior.

3.1.5 Avaliação de Funções Auxiliares de Rádio

As funções auxiliares de rádio visam modificar a prioridade das células na Lista Básica de *Locating*, motivadas principalmente por uma melhor distribuição de tráfego entre células vizinhas. No presente trabalho serão descritos as duas principais estratégias de modificação da Lista Básica de *Locating*, o HCS (Estrutura Hierárquica de Células), que será explicado na seção 3.1.4.1, e o CLS (*Cell Load Sharing*) descrito na seção 3.1.4.2.

3.1.5.1 Estrutura de Hierarquia de Células - HCS

O algoritmo de *Locating* é baseado principalmente na "*best server philosophy*", ou filosofia do melhor servidor. Isto quer dizer que, em geral, a célula servidora será a que transmite o sinal com a maior potência detectada pela MS. No entanto, células com nível de potência do sinal mais fraco, porém suficiente, podem prover uma capacidade importante para o sistema desde que tenham baixa interferência.

O HCS faz a distribuição do tráfego atribuindo prioridades entre as células. Na verdade, as células são agrupadas em camadas, e estas recebem as prioridades. Existem duas opções para essa funcionalidade, o HCS completo e o reduzido. No HCS reduzido, tem-se apenas uma banda HCS e até três camadas. Já no HCS completo, pode-se ter até 8 bandas HCS e 8

camadas. As duas opções utilizam o mesmo algoritmo que será explicado posteriormente. Quanto menor a banda e a camada, maior é a prioridade da célula.

a) Camadas HCS

São usadas principalmente quando células diferentes cobrem uma mesma área. Células com função e tamanho similar podem ser vistas como pertencentes à mesma camada. O HCS pode ser usado para atribuir prioridades as diferentes camadas.

Exemplos de camadas:

- Macro-células – Cobertura ampla
- Micro-células
- Células *Indoor*

b) Bandas HCS

As frequências disponíveis podem ser agrupadas em diferentes bandas, que não causam interferência umas nas outras. A fim de se evitar impactos negativos no planejamento de frequência com a expansão de uma camada, estas podem usar diferentes sub-bandas de frequências.

As frequências de 900 e 1800 MHz são naturalmente de bandas diferentes, sendo que cada uma dessas bandas pode ser dividida em sub-bandas de frequência.

Uma maneira eficiente de causar baixa interferência entre sub-bandas, é fazer com que apenas uma frequência de sub-banda cause interferência de canal adjacente em outra sub-banda. Uma banda HCS pode ter tanto frequências 900 MHz quanto 1800 MHz.

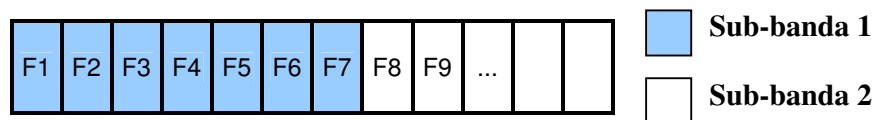


Figura 3. 7 – Sub-bandas de frequência.

c) Agrupamento de Camadas

Esse agrupamento pode ser feito de inúmeras maneiras. Todas as camadas podem pertencer à mesma banda HCS, ou pode se ter uma camada por banda, desde que, as camadas pertençam às bandas em ordem crescente. Porém, uma camada pode pertencer a apenas uma banda HCS.

A figura 3.8 representa um agrupamento de camadas.

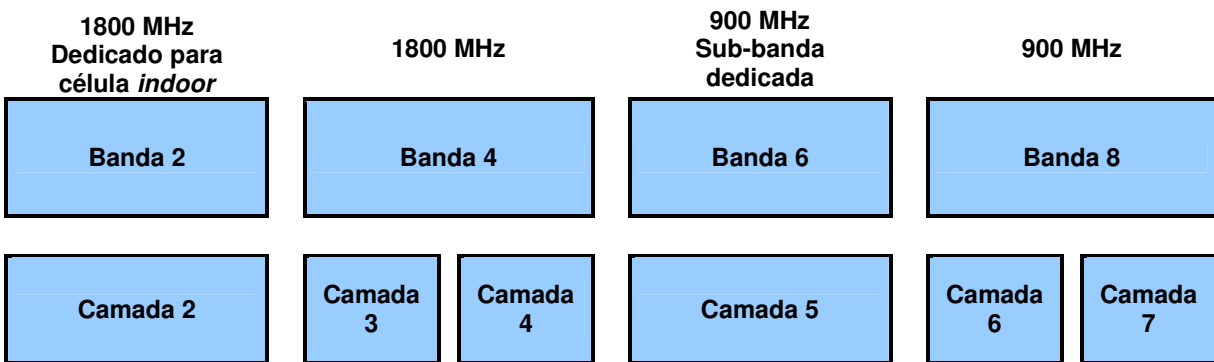


Figura 3. 8 – Agrupamento de camadas

No agrupamento mostrado na figura 3.8, pode-se mover a camada 4 para a banda 6 e pode-se mover a camada 5 para a banda 4. Porém, as duas operações não podem ser realizadas ao mesmo tempo, já que não seria obedecido a regra de que as camadas têm que pertencer às bandas em ordem crescente.

A avaliação das bandas HCS reordena a Lista Básica de *Locating* de acordo com as regras de prioridade. Existe um limiar de banda que determina se uma célula deve ser priorizada sobre células mais fortes de outras bandas HCS. Determina se a banda em questão possui potência de sinal suficiente para ser priorizada. Um outro limiar, o de camada, determina se uma célula deve ser priorizada sobre células mais fortes dentro da mesma banda HCS. É usado para regular o *trade-off* entre capacidade e interferência entre células da mesma banda HCS.

d) Algoritmo HCS

A figura 3.9 mostra um diagrama de fluxo que resume o algoritmo de HCS. Em vermelho têm-se as etapas do algoritmo.

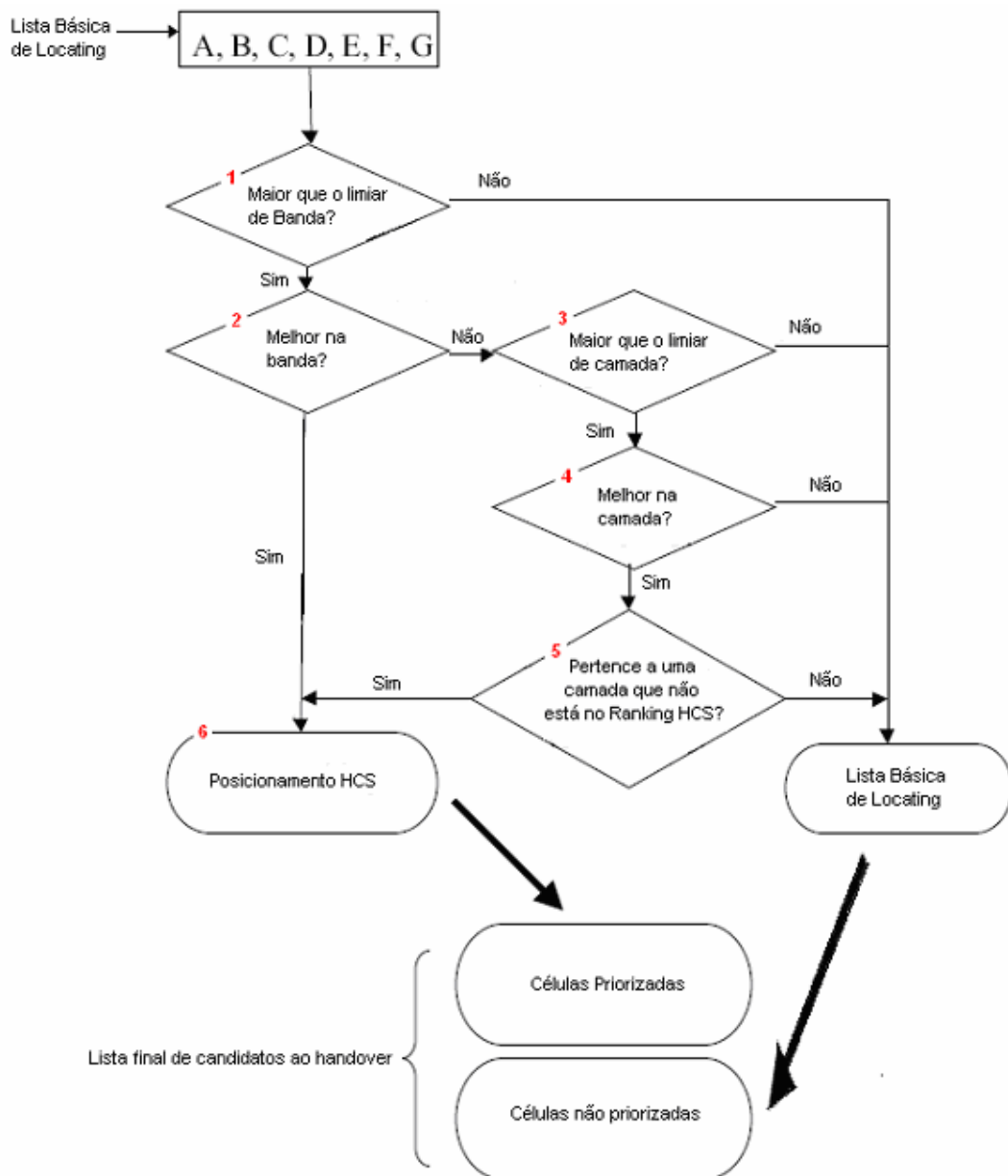


Figura 3. 9 – Algoritmo de HCS

Na etapa 1 é verificado se as células possuem potência de sinal maior do que o limiar de banda. As células que não atendem a esse critério voltam para a Lista Básica de *Locating* com a mesma prioridade.

Na etapa 2 são selecionadas as melhores células em cada banda. As células restantes vão para a etapa 3, onde são selecionadas as que possuem potência de sinal acima do limiar da camada. Aquelas que não atendem a esse critério voltam para a Lista Básica de *Locating*.

Na etapa 4 são selecionadas as melhores células em cada camada. As células restantes voltam para a Lista Básica de *Locating*.

Na etapa 5 é verificado se as células selecionadas pertencem a uma camada que não contenha células no ranking HCS e, em caso negativo, elas retornam para a Lista Básica de *Locating*.

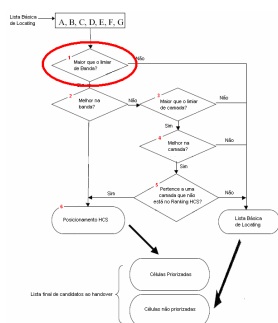
Por fim, é feito um posicionamento das células de acordo com as camadas. Quanto menor a camada, maior a prioridade. Essas células do Posicionamento HCS são priorizadas em relação às demais.

Como exemplo, considere a Lista Básica de *Locating* mostrada da tabela abaixo:

Tabela 3. 2 - Lista Básica de *Locating*.

Célula	Potência do Sinal (dBm)	Banda HCS	Camada HCS
G	-68	8	7
E	-72	8	6
B	-73	4	4
A	-74	4	3
C	-75	8	7
F	-78	4	4
D	-95	4	4

Primeiramente, é verificado se as células possuem nível de potência do sinal maior do que o limiar de banda, que é considerado -80 dBm. Assim:

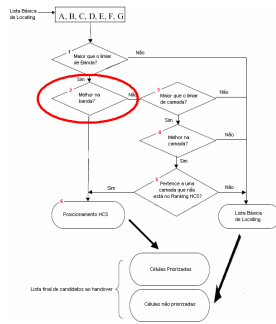


Célula	Potência do Sinal (dBm)	Banda HCS	Camada HCS
G	-68	8	7
E	-72	8	6
B	-73	4	4
A	-74	4	3
C	-75	8	7
F	-78	4	4
D	-95	4	4

Limiar de banda

Figura 3. 10 - Primeira etapa do HCS.

Como visto pela figura 3.10 a célula D será desprezada do posicionamento HCS, e voltará para a Lista Básica de *Locating*. Posteriormente, são selecionadas as melhores células de cada banda, como mostrado na figura 3.11.

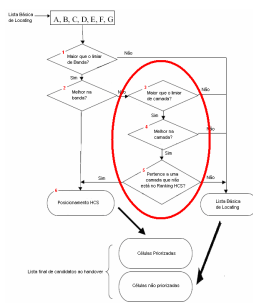


Célula	Potência do Sinal (dBm)	Banda HCS	Camada HCS
G	-68	8	7
E	-72	8	6
B	-73	4	4
A	-74	4	3
C	-75	8	7
F	-78	4	4
D	-95	4	4

Melhor na banda
Melhor na banda
Limiar de banda

Figura 3. 11 - Segunda etapa do HCS.

Na próxima etapa as células que possuem potência de sinal acima do limiar da camada são selecionadas. Assume-se como limiar de camada o valor de -79 dBm. Todas as células anteriormente selecionadas continuam no processo. Nas duas próximas etapas, são selecionadas as melhores células em cada camada, e verificado se essas células não pertencem a uma camada que já está no ranking HCS.

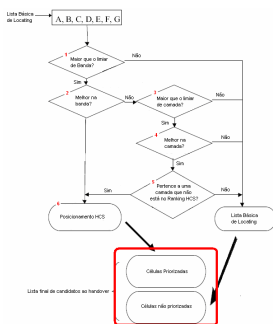


Célula	Potência do Sinal (dBm)	Banda HCS	Camada HCS
G	-68	8	7
E	-72	8	6
B	-73	4	4
A	-74	4	3
C	-75	8	7
F	-78	4	4
D	-95	4	4

Melhor na banda
Melhor na camada
Melhor na banda
Melhor na camada
Limiar de banda

Figura 3. 12 – Terceira, quarta e quinta etapa do HCS.

Finalmente, as células do ranking HCS são ordenadas em relação à camada, e priorizadas em relação às células da Lista Básica de Locating, formando-se então a lista final de candidatos ao handover.



Célula	Potência do Sinal (dBm)	Banda HCS	Camada HCS
A	-74	4	3
B	-73	4	4
E	-72	8	6
G	-68	8	7
C	-75	8	7
F	-78	4	4
D	-95	4	4

Figura 3. 13 – Lista Final de Locating modificada pelo HCS.

3.1.5.2 Cell Load Sharing

A funcionalidade *Cell Load Sharing* tem o objetivo de distribuir o tráfego de uma célula congestionada entre suas células vizinhas. A estratégia utilizada para esse balanceamento de tráfego é baseada na diminuição gradativa dos valores de histerese.

O parâmetro que define a necessidade de utilização do *Cell Load Sharing* é quantidade de canais de tráfego (TCH) livres, tanto na célula servidora, quanto nas células vizinhas que serão utilizadas para a distribuição do tráfego. Quando essa funcionalidade está habilitada para uma célula, a BSC fica monitorando os canais de tráfego dessa célula e de suas vizinhas, e caso o percentual de TCH's livres na célula servidora está abaixo de um limiar pré-estabelecido (CLSLEVEL_OUT) a funcionalidade é iniciada. Porém, apenas as células vizinhas que possuem um percentual de TCH's livres acima de um outro limiar (CLSLEVEL_IN) também pré-estabelecido, podem participar da distribuição de tráfego. A figura 3.14 ilustra esses limiares.

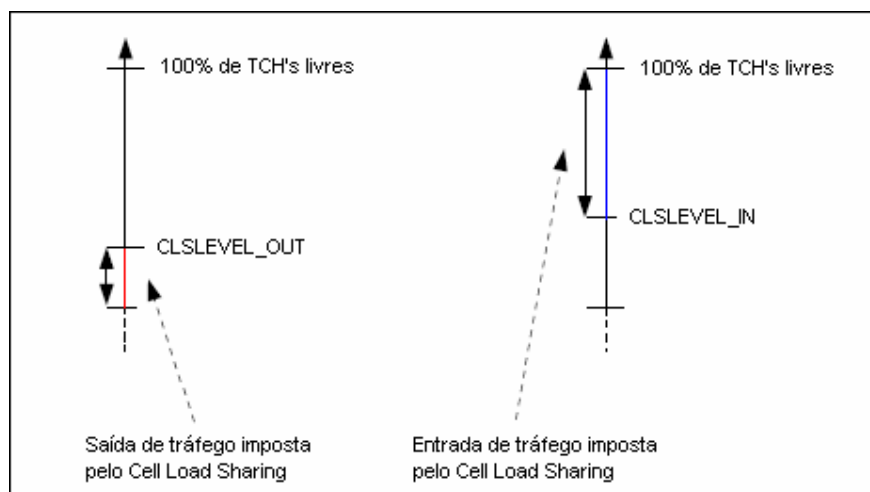


Figura 3. 14 – Limiares de *Cell Load Sharing*

Uma vez ativada a funcionalidade nas células, e detectado os critérios descritos no parágrafo anterior, a diminuição gradativa dos valores de histerese é iniciada, de acordo com a expressão abaixo:

$$h = H \times \left[1 - 2 \times \left(\frac{RHYST}{100} \right) \times \frac{(t - t_0)}{CLSRAMP} \right] \quad (23)$$

onde:

- h será a nova histerese utilizada no estágio de Posicionamento Básico;
- H representa os valores de KHYST, TRHYST ou LHYST;

- RHYST define o percentual máximo do valor de histerese que será reduzido, que varia de 0 a 100;
- CLSRAMP é um parâmetro que determina o tempo de duração do *Cell Load Sharing*, que varia de 0 a 30s.

A variável t_0 é o instante em que o *Cell Load Sharing* foi iniciado, ou seja, quando o percentual de TCH's livres na célula servidora está abaixo do limiar CLSLEVEL_OUT. A variável t representa o instante atual, e assume valores do intervalo $[t_0, t_0 + CLSRAMP]$.

Para um melhor entendimento, supõe-se $CLSRAMP = 20s$ e $RHYST = 80$. Quando $t = t_0$ o valor de h será igual ao valor de H , ou seja, no instante inicial ainda não houve diminuição da histerese.

Quando $t = t_0 + CLSRAMP$ o valor de h será igual a $-0,6 \times H$, ou seja, passados os 20s da ativação do Cell Load Sharing, os valores de histerese utilizados no estágio de Posicionamento Básico do algoritmo de *Locating* serão reduzidos a 60% de seus valores reais.

A figura 3.15 mostra a redução máxima, determinada pelo parâmetro RHYST, que a borda de histerese pode sofrer.

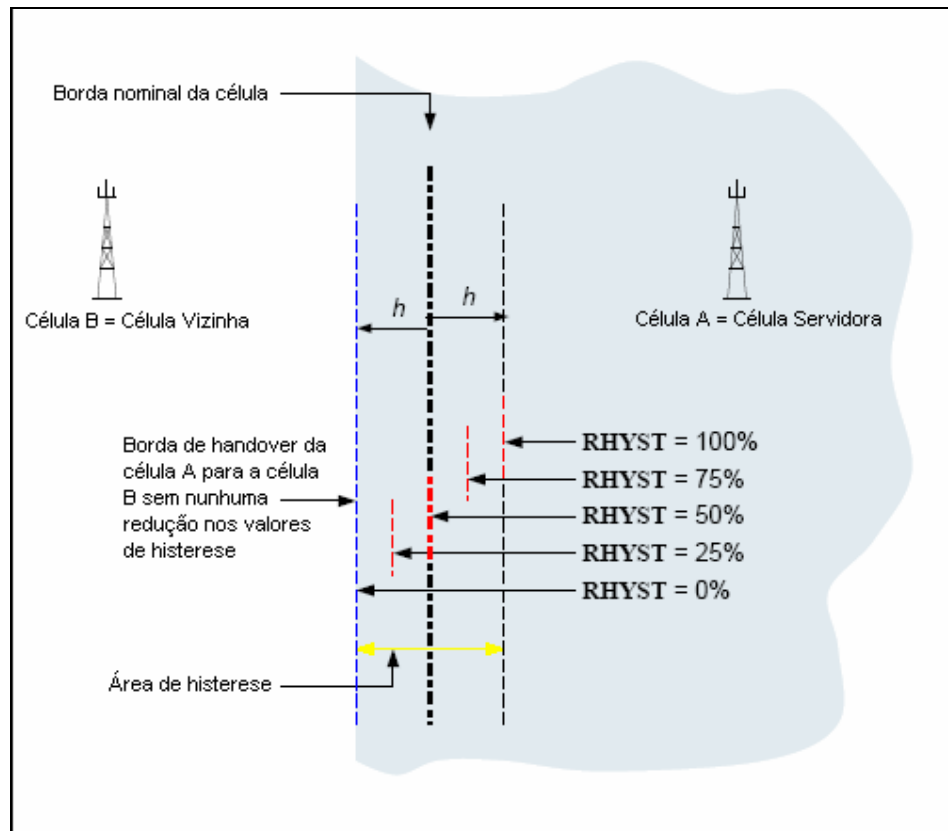


Figura 3. 15 – Máxima redução da borda de histerese de acordo com RHYST

Como podemos perceber pela figura 3.15, as unidades móveis que estão mais próximas da borda serão as primeiras a fazerem *handover* por *Cell Load Sharing* da célula A para a célula B.

O *Cell Load Sharing* é interrompido quando o percentual de TCH's livres da célula A torna-se maior do que o limiar CLSLEVEL_OUT, ou quando o tempo de duração determinado pelo parâmetro CLSRAMP termina.

Dessa forma, quando a funcionalidade é interrompida, os valores de histerese voltam ao normal, e provavelmente a Célula A será novamente ordenada com maior prioridade do que a célula B na Lista Final de *Locating* para as unidades móveis que fizeram *handover* por *Cell Load Sharing* para a célula B, o que provocará um *handover* dessas unidades móveis de volta para a célula A.

Por esse motivo, é recomendado que o *Cell Load Sharing* seja ativado apenas em momentos de picos de tráfego, e para regiões em que o tempo médio das ligações não ultrapasse 1 minuto, cenário típico de grandes eventos como *shows*.

O temporizador TINIT, mencionado na seção 3.1.1, controla o tempo mínimo entre dois *handovers* consecutivos de uma mesma unidade móvel. O TINIT pode assumir valor máximo de 57,6s. Para cenários como os descritos no parágrafo anterior, quando o *Cell Load Sharing* está ativado é recomendado que o TINIT seja configurado com seu valor máximo, pois como o tempo médio de ligação nesses ambientes não costuma passar de 1 minuto, somando o TINIT com o CLSRAMP é possível manter a unidade móvel na célula para a qual foi realizado um *handover* por *Cell Load Sharing* até o encerramento da chamada, otimizando o balanceamento de tráfego no ambiente.

3.1.6 Remoção de Candidatos

A remoção de células da Lista Final de *Locating* se dá basicamente pela análise de *timing advanced*. Caso esse parâmetro esteja muito elevado para uma determinada célula, esta é eliminada da lista de células candidatas ao *handover*. Essa etapa é necessária porque caso o móvel faça um *handover* para uma célula com elevado *timing advance*, provavelmente ocorrerá um *Handover Urgente* por *Timing Advance Excessivo*, o que não é desejado.

3.1.7 MS em Movimento Rápido

Toda célula que possui o HCS ativado faz uma análise da velocidade do móvel antes de realizar o algoritmo dessa funcionalidade. Toda MS que se move rapidamente é forçada a priorizar a célula de maior camada HCS.

Para um melhor entendimento desse caso, considere o cenário ilustrado na figura 3.16, em que um móvel possui uma chamada estabelecida na Célula A e move-se em alta velocidade por uma pista que passa ao lado de uma escola, que possui uma cobertura dedicada. Nesse contexto, existe uma área de cobertura comum para a Célula A e a Célula B. Considere ainda, que nas células está implementado o HCS reduzido, ou seja, uma única banda, onde a Célula A está na camada 2 e a Célula B na camada 1.

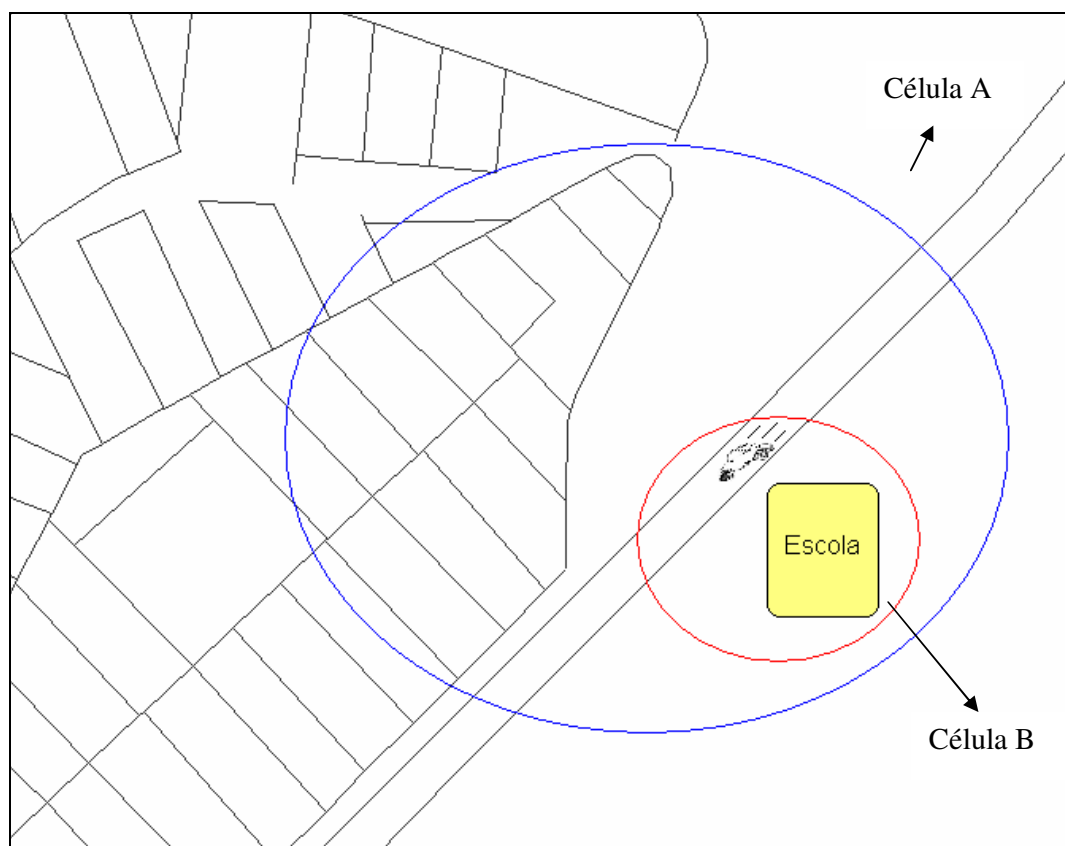


Figura 3. 16 – Cenário ilustrativo

Quando a MS entra na área de cobertura comum para as duas células, ela passa a receber um sinal da Célula B mais forte do que o sinal da Célula A. Sendo assim, pelo algoritmo de *Locating* a célula B será priorizada em relação à Célula A.

Porém, como a MS move-se rapidamente, ela é forçada a priorizar a célula de maior camada HCS, que no cenário em questão é a Célula A. Sendo assim, o móvel continuará com a conexão estabelecida nessa célula, apesar do sinal recebido da Célula B possuir uma potência maior.

Vale ressaltar que caso a MS não estivesse em alta velocidade, ela faria um *handover* para a Célula B, mesmo que o sinal recebido por essa célula fosse menor que o sinal recebido

pela Célula A, pois no algoritmo de HCS a Célula B seria priorizada em relação à Célula A, por estar em uma camada menor.

3.1.8 Segunda Categorização

Nessa etapa as células são divididas em três categorias, a saber: acima da célula servidora, abaixo da célula servidora e célula servidora.

As células que possuem uma prioridade maior do que a célula servidora na Lista Final de *Locating* são classificadas como acima da célula servidora, e as que possuem prioridade menor são classificadas como abaixo da célula servidora.

Caso nenhuma condição urgente de *handover* ocorra, as células classificadas como abaixo da célula servidora são eliminadas na Lista Final de *Locating*.

As condições urgentes de *handover* são descritas no capítulo posterior.

3.1.9 Condições Urgentes de *Handover*

3.1.9.1 *Handover* Urgente por Baixa Qualidade do Sinal

Para cada célula do sistema, são definidos limiares para os valores de qualidade do sinal de *downlink* e *uplink*. Esses limiares são chamados, respectivamente, de QLIMDL e QLIMUL.

Dessa forma, as condições para que seja realizado um *Handover* Urgente por Baixa Qualidade do Sinal são definidas pela expressão (24) e (25).

$$RXQUAL_{UP} > QLIMUP \quad (24)$$

ou

$$RXQUAL_{DL} > QLIMDL \quad (25)$$

onde $RXQUAL_{UP}$ e $RXQUAL_{DL}$ são, respectivamente, a qualidade do sinal de *uplink* e a qualidade do sinal de *downlink*.

Como explicado na seção 3.1.3.3, sempre que é realizado um *Handover* Urgente por Baixa Qualidade do Sinal, a antiga célula servidora sofre uma punição no algoritmo de *locating*.

Para um melhor entendimento desse cenário, considere as informações contidas na figura 3.17, que *path loss* existente entre a MS e as células A e B é o mesmo.

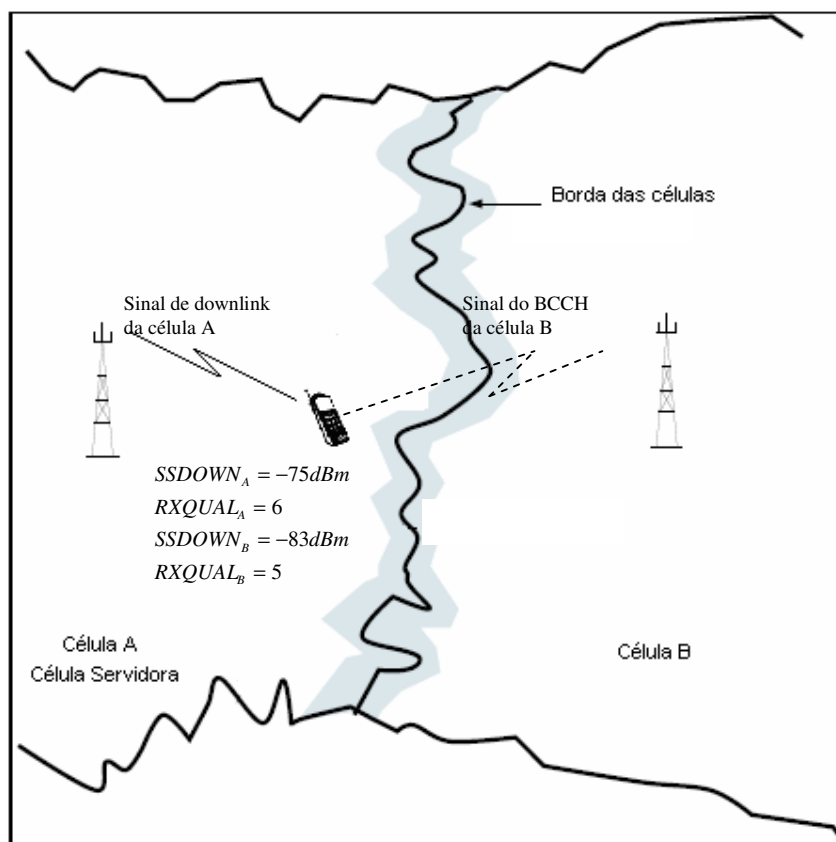


Figura 3. 17 – Estágios do Algoritmo de *Locating*

Suponha que o valor de QLIMDL para a célula A esta configurado em 5. Dessa forma, ocorrerá um *handover* urgente por baixa qualidade do sinal para a célula B, pois $RXQUAL_A > QLIMDL$.

Como $SSDOWN_A$ é maior do que $SSDOWN_B$, no ponto em que se encontra o móvel, provavelmente a célula B será ordenada com menor prioridade do que a Célula A na Lista Final de *Locating*, e um processo de *handover* de volta para a célula A será iniciado. Na célula A, um *handover* urgente devido à baixa qualidade do sinal será novamente disparado, dando origem assim a um efeito “ping-pong”.

Mas, se uma penalidade no valor 63dB é aplicada ao SS_DOWN_A , quando a MS fizer um *Handover* Urgente por Baixa Qualidade do Sinal da Célula A para a Célula B, o novo valor para a potência do sinal da célula A que será considerado no algoritmo de *Locating* será $p_SS_DOWN_A = SS_DOWN_A - 63 = -138dBm$.

Dessa forma, a célula B não mais será posicionada com menor prioridade do que a célula A na Lista Final de *Locating*, evitando assim o efeito “ping-pong”.

É importante frisar que essa penalidade poderá ser imposta à Célula A por um período máximo de 600s, como explicado na seção 3.1.3.3.

3.1.9.2 **Handover Urgente por Timing Advance Excessivo**

Para cada célula do sistema, é definido um valor limite para o *timing advance*, chamado de TALIM. Dessa forma, quando a expressão (26) for satisfeita, a MS irá realizar um *Handover* Urgente por Timing Advance Excessivo.

$$TA > TALIM \quad (26)$$

onde TA é o *timing advance* associado á célula servidora.

É necessário punição para a antiga célula servidora pelo mesmo motivo explicado no cenário de um *Handover* Urgente por Baixa Qualidade do Sinal.

3.1.10 Lista Final de *Locating*

Finalizando o algoritmo tem-se a Lista Final de *Locating*. Se não acontecer nenhum *handover* urgente, as células classificadas como abaixo da célula servidora serão desprezadas da lista. Caso exista alguma célula posicionada com prioridade maior do que a célula servidora, a unidade móvel realizará um *handover* para essa célula. Se não houver canais disponíveis na célula alvo a MS tentará realizar o *handover* para a próxima célula de maior prioridade que a célula servidora, caso exista.

A resposta para o alocamento de canal na célula para qual foi realizado o *handover* pode ser um sucesso ou uma falha. A falha pode ser devido ao congestionamento ou por uma falha de sinalização, e caso ocorra, a célula para a qual foi tentado o processo de *handover* será penalizada no algoritmo de *Locating*. Caso a resposta seja positiva, o temporizador TINIT, será iniciado para garantir a permanência da MS por um tempo suficiente para ser criada uma nova Lista Final de *Locating*.

3.2 **HANDOVER POWER BOOST**

O *Handover Power Boost* é uma funcionalidade que não faz parte do algoritmo de *Locating*, e possui o objetivo de melhorar os indicadores de *handover*, atuando no processo de sinalização deste.

A figura 3.18 ilustra como é realizado o processo de sinalização de *handover* entre duas células².

² Por simplicidade foi considerada apenas a sinalização de *handover* inter-célula, e a não ocorrência de falhas de sinalização.

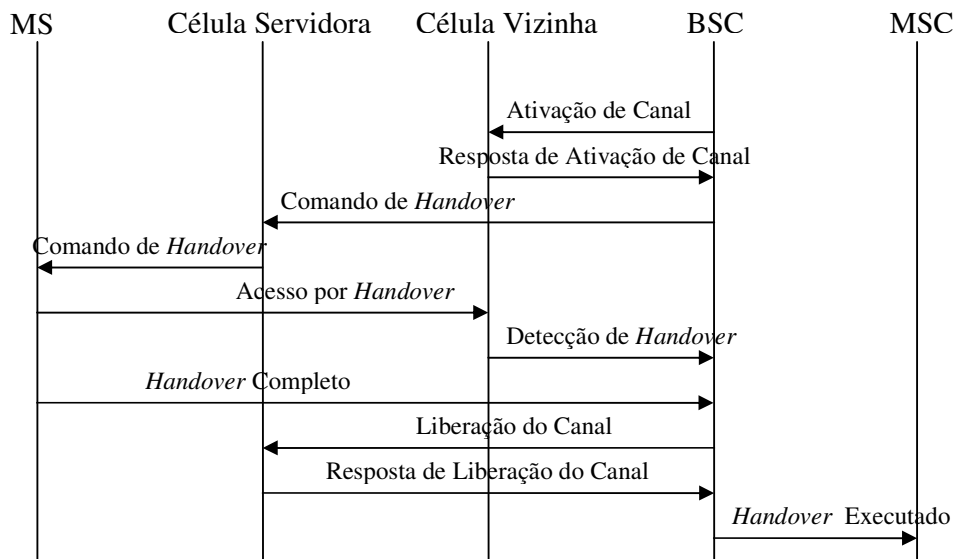


Figura 3. 18 - Sinalização do *handover* inter-célula

Quando a BSC identifica uma célula vizinha ordenada com maior prioridade do que a célula servidora na Lista Final de *Locating*, a sinalização de *handover* é iniciada.

A primeira mensagem enviada pela BSC ordena a célula vizinha alocar um canal de tráfego (TCH) para a MS. Alocado o TCH, a célula vizinha envia uma resposta para a BSC confirmando a alocação do canal solicitado.

Com o TCH já disponível para a MS, a BSC envia um comando de *handover* para a BTS, que retransmite essa sinalização para a MS, ordenando que essa estabeleça conexão com a célula vizinha especificada. O comando de *handover* é enviado através do FACCH (Canal de Controle Associado Rápido), contendo informações sobre as frequências de *downlink* e *uplink* da célula vizinha e sobre os níveis de potência permitidos nessa célula.

Detectando o comando de *handover*, a MS estabelece a conexão com a célula vizinha, e envia uma mensagem confirmando a nova conexão por *handover*.

A célula vizinha então informa para a BSC que o *handover* foi detectado, e logo em seguida, retransmite a mensagem da MS para a BSC informando que o *handover* foi completado com sucesso.

Recebendo a sinalização do sucesso de *handover*, a BSC ordena à célula servidora a liberar o canal de tráfego que estava sendo utilizado pela MS, e quando a BSC recebe a confirmação dessa liberação, envia uma mensagem para a MSC, para o controle dos indicadores de *handover* da rede.

Com o *Handover Power Boost* ativado, a sinalização de *handover* ocorre sempre com as potências de *downlink* e *uplink* configuradas em seus máximos permitidos.

Essa funcionalidade é recomendada quando as células encontram-se distantes entre si, que é o cenário característico da cobertura de rodovias. Quanto maior for a distância da MS em relação a ERB, maior será o valor do *path loss* para o sinal recebido. E como foi observado na figura 2.18, quanto maior o *path loss* menor é o nível de potência do sinal recebido pela MS.

Suponha duas células, Célula A e Célula B, que fazem a cobertura de um trecho de uma rodovia, e estão distantes uma da outra. Suponha ainda, que uma MS possui uma chamada estabelecida na célula A e move-se em direção à célula B. Dessa forma, chegará um momento em que o *path loss* do sinal recebido da célula A será muito grande, e haverá a necessidade de um *handover* para célula B. Porém, o sinal recebido da célula B também possui um *path loss* elevado, o que pode causar uma falha na sinalização de *handover*, e uma conseqüente queda da chamada.

Porém, se o *Handover Power Boost* estiver ativo, aumentam as chances da sinalização de *handover* acontecer com sucesso, pois todas as mensagens serão trocadas em níveis máximos de potência permitidos.

Essa funcionalidade não é indicada para regiões como grandes centros urbanos, pois são cenários que se caracterizam por possuírem uma grande quantidade de células próximas. Sendo assim, o uso do *Handover Power Boost* aumentaria os níveis de interferência de forma significativa, já que a quantidade de *handovers* nessas regiões é muito elevada.

3.3 COMPARATIVO NOKIA

Não há diferenças significativas entre o processo de *handover* implementado pela Ericsson e pela Nokia. Mudam-se os nomes dos processos e dos parâmetros, porém os mesmos tratam de situações semelhantes.

No sistema GSM Nokia, o critério básico para determinar a melhor célula servidora para a unidade móvel também é o nível de potência do sinal de *downlink* e *uplink*. Com o intuito de se evitar o efeito “ping-pong”, a Nokia também faz uso de valores de histerese e *offset* nos algoritmos de *handover*.

Assim como no sistema GSM Ericsson, existem estratégias no sistema Nokia que priorizam determinadas células para o balanceamento do tráfego. Um exemplo é a funcionalidade *Traffic Reason Handover (TRH)* do sistema Nokia, que é muito similar ao *Cell Load Sharing* do sistema Ericsson. Ambas as estratégias tem por objetivo a distribuição do tráfego de células congestionadas para células vizinhas com menos tráfego em curso. Assim

como no CLS, o TRH usa a porcentagem de TCH's livres como parâmetro de decisão para iniciar o procedimento de balanceamento de tráfego.

4 OTIMIZAÇÃO DE UMA REDE “VIVA”

Neste capítulo será feita a análise de uma rede GSM viva. Serão propostas otimizações para esta rede, e será feita a discussão dos dados coletados.

4.1 ASPECTOS GERAIS

Neste capítulo, será descrita toda a análise realizada na rede da cidade de Anápolis (GO), e serão apresentados os resultados de otimizações propostas em uma rede GSM viva. Para tanto, foi feita a escolha da cidade de Anápolis, onde há um sistema de complexidade média, o qual nos permitirá analisar isoladamente as otimizações propostas, já que em sistemas muito complexos existem uma grande diversidade de variáveis envolvidas, o que dificultaria a análise das otimizações propostas.

4.2 DESCRIÇÃO DO CENÁRIO ANALISADO

A rede TIM na cidade de Anápolis é composta por dezoito estações rádio-base, sendo a maioria destas divididas em três setores.

As ERB's são identificadas com o código nacional de localidades da cidade (ANS) e um número identificador da ERB com três dígitos, por exemplo:

Ex.: ANS001, ANS002, ANS005, ANS010, etc.

Para identificação dos setores (células) de cada uma das ERB's, acrescenta-se ao final do código da ERB, um número correspondendo ao setor em questão. Os setores de cada ERB são identificados através do azimute de sua antena. O setor cuja antena está com menor azimute é o setor 1, e assim por diante, contando no sentido horário. Isto, levando-se em consideração que o azimute, Az, assume valores apenas no intervalo: $0^\circ \leq Az < 360^\circ$.

Desta maneira, seguem os exemplos dos códigos de setores abaixo.

Ex.: Setor 1 de ANS001: ANS0011.

Setor 3 de ANS005: ANS0053.

Setor 1 de ANS011: ANS0111.

Nos mapas que serão apresentados neste capítulo, as ruas da cidade serão representadas em cinza, e os setores das ERB's estarão desenhados em vermelho, exceto em mapas legendados. Os códigos das ERB's correspondentes estarão logo ao lado do desenho dos

setores. Os mapas sempre terão o norte em sua vertical, e desta forma, os setores poderão ser facilmente identificados de acordo com a figura 4.1.

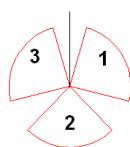


Figura 4. 1 – Identificação dos setores nos mapa

No caso das ERB's: ANS004, ANS008, ANS011 e ANS013, o setor 1 possui azimuth 0° .

Na figura 4.2 é mostrado o mapa das ruas de Anápolis, com o desenho dos setores das ERB's da TIM.



Figura 4. 2 – Mapa das ruas da cidade de Anápolis com a marcação dos setores das ERB's TIM.

Como vê-se no mapa, a ERB ANS019 está localizada distante da cidade de Anápolis. A ERB está localizada na rodovia Brasília-Anápolis.

4.2.1 Situação inicial

Durante um mês, foram extraídos diversos relatórios contendo os dados de desempenho dos indicadores de *handover*, queda de chamada e tráfego das ERB's de Anápolis. Foram

analisados, principalmente, dados referentes ao desempenho de *handover*, à queda de chamadas e ao tráfego nas células. É importante a análise de todos esses parâmetros de forma conjunta, pois deseja-se a melhora nos indicadores de *handover* sem o comprometimento do tráfego nas células, e sem um aumento no número de quedas de chamadas. Além disso, não é comercialmente interessante para a empresa que haja melhora nos indicadores de *handover*, e um aumento (percentual ou absoluto) das quedas de chamadas, ou diminuição do tráfego, pois isto acarretaria numa diminuição da receita da empresa.

Será interessante obter melhora nos indicadores de quedas de chamadas, pois a empresa é avaliada neste quesito pela ANATEL, através do indicador de qualidade SMP-7, tendo uma meta de no máximo 1,5% de quedas de chamadas em sua rede.

Em uma primeira análise, foram observadas que ocorreram apenas três tentativas de *handover* em duas das três células do ANS005, o que é bastante incomum para qualquer ERB.

Na TIM, tem-se uma meta interna de que 95% dos *handovers* devem ser bem sucedidos. Nos gráficos das figuras 4.3 e 4.4, é mostrada a situação inicial com respeito ao desempenho de *handover* por célula através da média³ percentual de insucessos de *handover*.

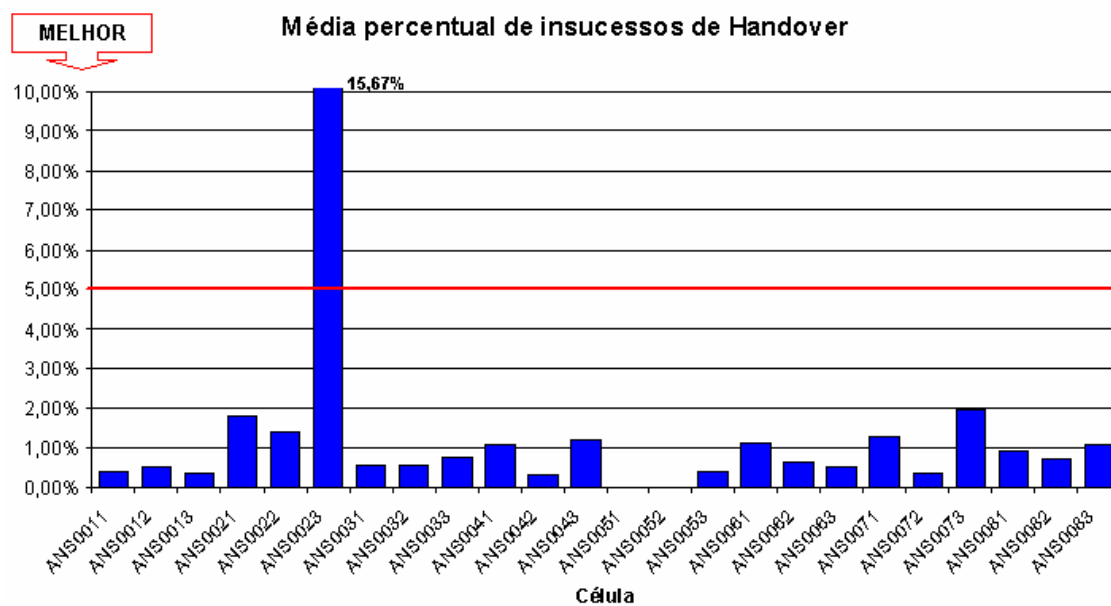


Figura 4.3 – Gráfico de desempenho de *Handover* para as células das ERB's ANS001 a ANS008.

³ A média calculada para os indicadores apresentados neste capítulo, é média ponderada exceto quando se tratar de um número absoluto, como tentativas ou quedas. Nestes casos tem-se média simples. A ponderação da média foi feita utilizando-se como pesos o número de eventos ocorridos do indicador no dia, para a determinada célula.

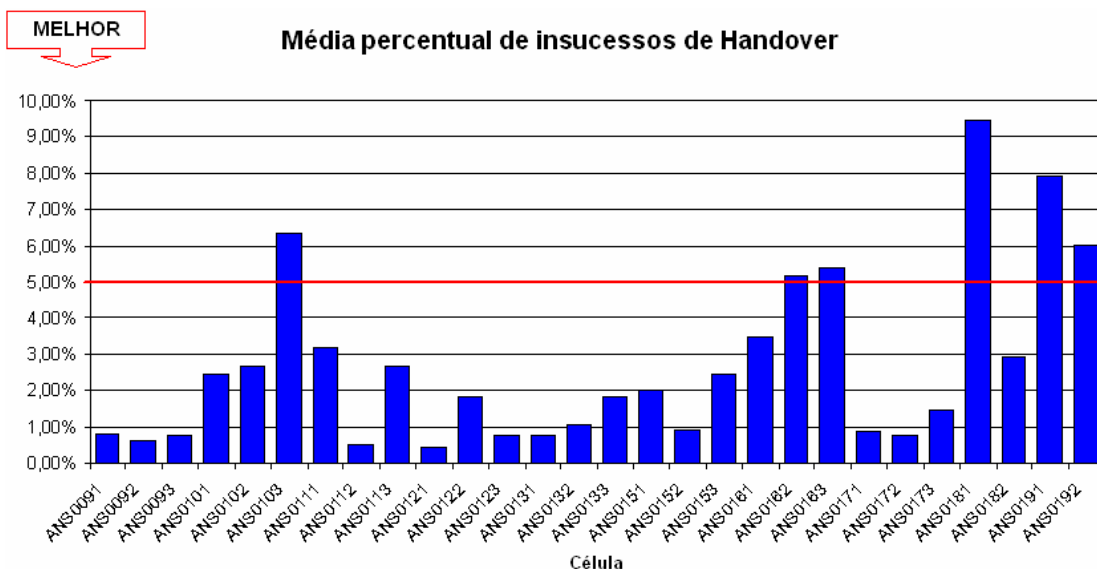


Figura 4. 4 – Gráfico de desempenho de *Handover* para as células das ERB's ANS009 a ANS019.

Nota-se nos gráficos das figuras 4.3 e 4.4 que, geralmente, o pior desempenho de *handover* ocorre para as células localizadas nas bordas da cidade, sobretudo, em células de final de cobertura, ou em células que necessitam fazer *handover* com células de estrada, casos do ANS0181, ANS0191 e ANS0192. Percebe-se também, que as células ANS0023 e ANS0103 apresentam desempenho muito ruim, mesmo para células em final de cobertura.

As figuras 4.5 e 4.6 ilustrarão o desempenho da rede em relação ao percentual de quedas de chamadas.

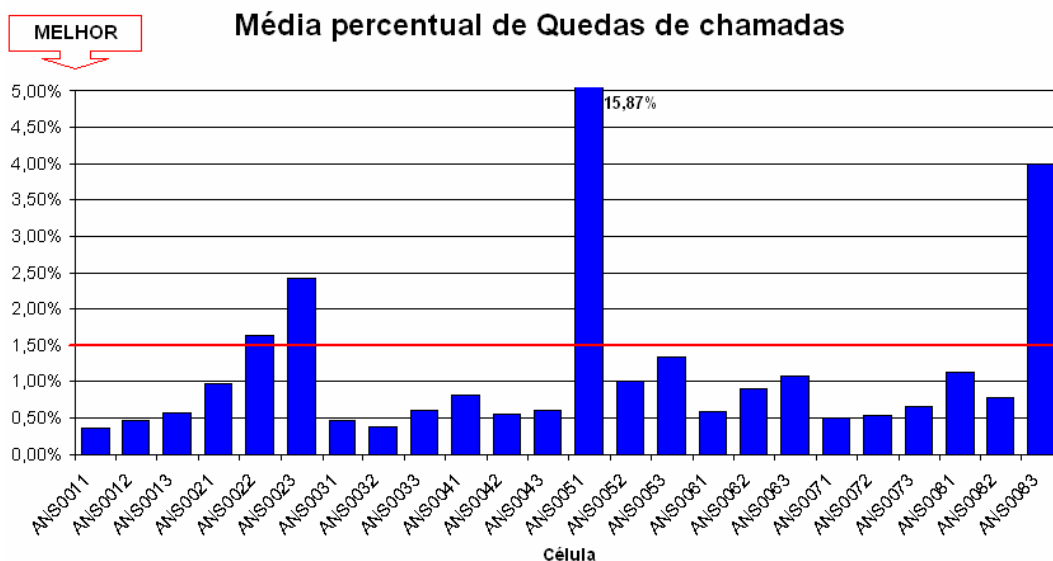


Figura 4. 5 – Gráfico de quedas de chamadas para as células das ERB's ANS001 a ANS008.

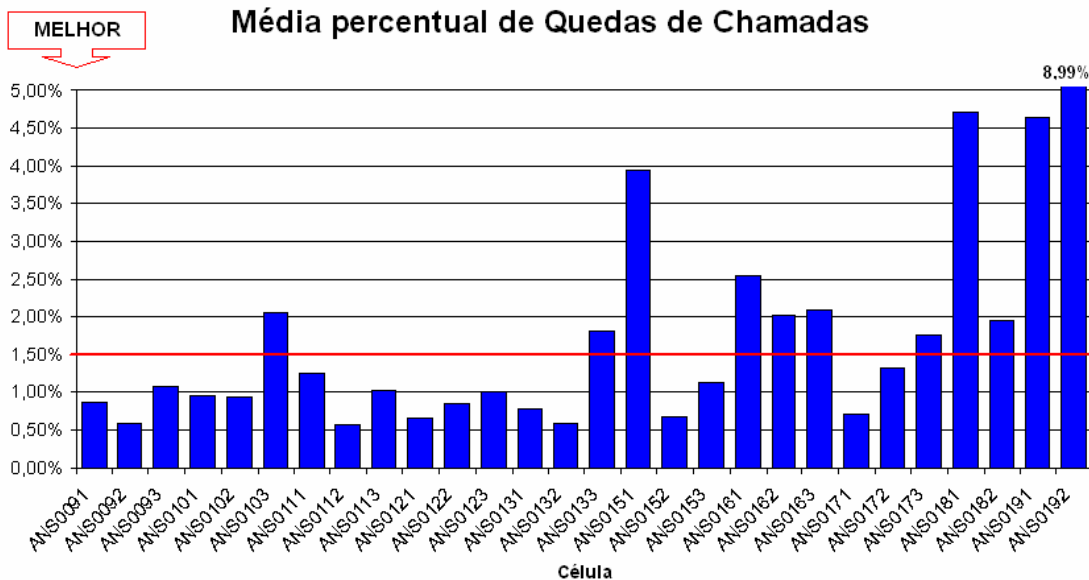


Figura 4. 6 – Gráfico de quedas de chamadas para as células das ERB's ANS009 a ANS019.

Como era de se esperar, as células em final de cobertura mostraram desempenho bastante ruim nos indicadores de quedas de chamadas. Destaca-se também, o péssimo desempenho da célula ANS0051. Não era esperado um desempenho tão ruim para esta célula, pois a mesma não é exatamente uma célula em final de cobertura.

Os gráficos das figuras 4.7 e 4.8, mostram o tráfego médio nas células durante o período. O tráfego será sempre analisado no horário de maior movimento (HMM), e a média calculada nestes casos será a média simples. Será mostrado também o tráfego máximo ofertado por estas células e a indicação de 90% do tráfego máximo. Na TIM, é solicitada ampliação da capacidade da célula quando esta atinge 90% da sua capacidade máxima.

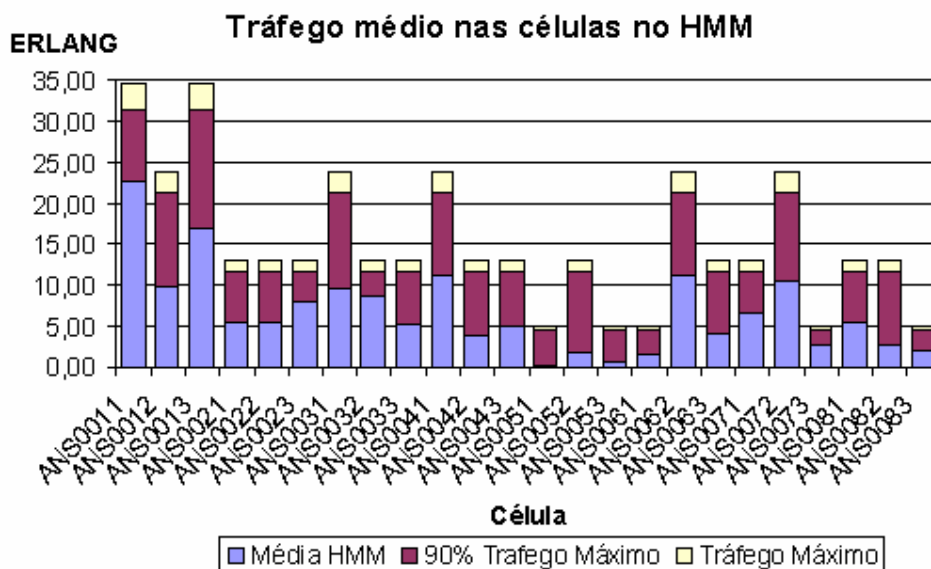


Figura 4. 7 – Gráfico do tráfego médio para as células das ERB's ANS001 a ANS008 no horário de maior movimento.

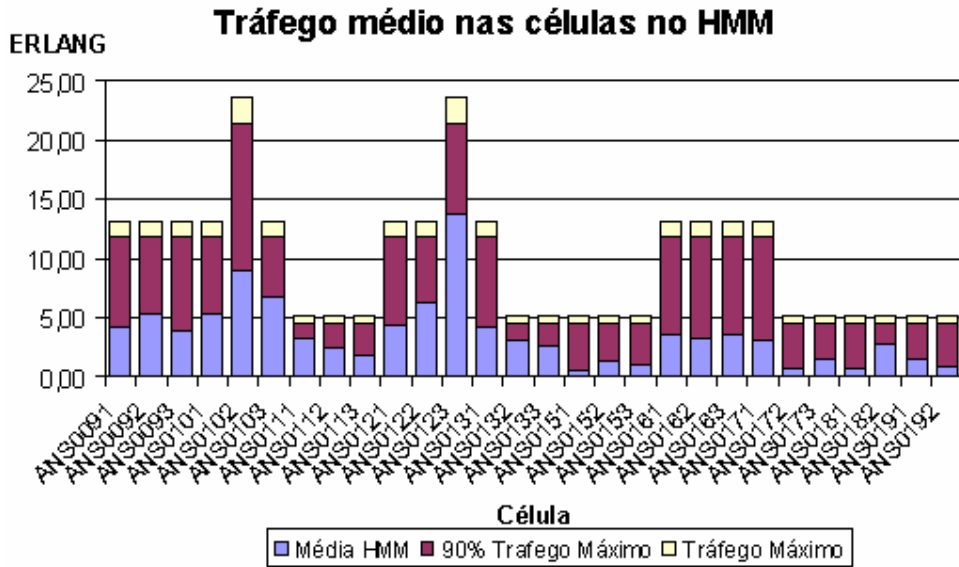


Figura 4. 8 – Gráfico do tráfego médio para as células das ERB's ANS009 a ANS019 no horário de maior movimento

Percebe-se que o tráfego nas células do ANS005 está muito aquém da capacidade máxima ofertada por estas e por sua localização na cidade. Este caso será explorado mais adiante neste capítulo.

Com base nos gráficos mostrados nesta seção, e na análise do mapa, serão propostas as primeiras otimizações.

4.3 PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

Foi criado um fluxograma do processo de otimizações, mostrado na figura 4.9, para uma visão geral do processo a ser utilizado.

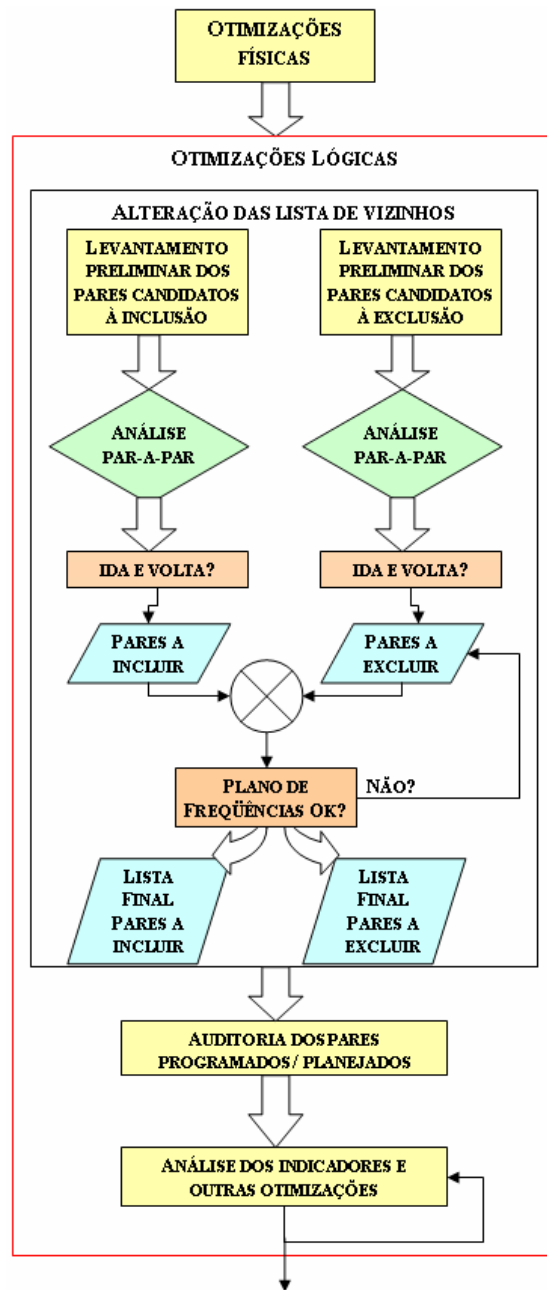


Figura 4. 9 – Fluxograma para otimizações.

Como mostra o fluxograma, nosso processo de otimização será dividido em duas etapas: otimizações físicas e otimizações lógicas. As otimizações físicas foram detalhadas na seção 2.2.5.1.

Dentro do processo de otimização lógica, após as etapas descritas na seção 2.2.5.2, temos uma etapa bem definida, a etapa da alteração da lista de vizinhos. A lista de vizinhos é a definição de para quais células, a célula servidora pode realizar o *handover*. A célula servidora e cada um de seus vizinhos são chamados de pares de *handover*.

Nesta etapa de alteração de vizinhança, primeiro fez-se um levantamento preliminar, baseado no mapa de melhor servidor, dos pares de *handover* a serem excluídos, observando os indicadores de desempenho de *handover* par-a-par. Esta análise foi feita tomando como base os pares que apresentavam poucas tentativas de *handover*. Além disso, fizemos um levantamento dos pares a serem incluídos analisando o mapa.

Feito este levantamento preliminar dos pares, cada um dos pares propostos para inclusão ou exclusão foi analisado com maior cautela, levando em conta fatores como: localização das ERB's, relevo, áreas de cobertura em comum entre as células, número de tentativas de *handover* em função da localização e do tráfego, porcentagem de sucessos de *handover* e se é uma célula em final de cobertura.

Após a análise par-a-par, foram verificados se os pares de volta dos pares propostos para inclusão/exclusão também constam nas listas. Ou seja, para um par ANSXXX-ANSYYY, conferiu-se se o par de volta, ANSYYY-ANSXXX, estava incluso. Apenas em situações muito particulares os pares são incluídos ou excluídos em apenas um sentido, o que não será o caso numa cidade típica como Anápolis.

Com as listas de inclusão e exclusão concluídas, foi feita uma lista prévia dos pares que estariam programados na BSC. Esta lista foi feita para verificarmos problemas no plano de frequências. A verificação feita nesta etapa foi no sentido de evitar que existisse algum vizinho com mesma frequência de BCCH da célula atual, e verificar se não existiria algum vizinho do vizinho com mesma frequência de BCCH. Se ocorresse algum destes casos, possivelmente as células teriam a mesma combinação BSIC-BCCH e o móvel poderia realizar medições equivocadas como mencionado na seção 2.2.4.

Terminada a análise do plano de frequências, fez-se a inclusão e exclusão dos pares na rede.

Após a alteração da lista de vizinhos, fez-se uma auditoria dos pares programados e planejados. Esta foi uma etapa bastante simples que visou à conferência da lista de vizinhos. Foi retirada da BSC a lista de vizinhança com os pares programados para as ERB's de Anápolis, e esta lista foi comparada com a lista de vizinhança planejada – retirada do banco de dados da empresa. A auditoria teve como objetivo, analisar se as otimizações propostas na lista de vizinhança foram feitas de forma correta.

Em seguida, foram coletados os dados dos indicadores, e com base na análise destes, foram sugeridas outras otimizações para a rede, como por exemplo, o ajuste dos valores de histerese e a ativação do *Handover Power Boost* para células de rodovia.

4.4 RESULTADOS DAS OTIMIZAÇÕES

4.4.1 Otimizações Físicas

Nesta etapa, descrita no capítulo 2, descobriu-se que os cabos das antenas dos setores do ANS005 estavam trocados, devido a erros na instalação, o que explica o péssimo desempenho das células dessa ERB. Com os cabos das antenas trocados, o que estava planejado para uma célula, incluindo sua lista de vizinhos, ocorria para outra célula da ERB. Após esta etapa, foi percebida uma melhora considerável em todos os indicadores das células dessa ERB, conforme os gráficos das figuras 4.10 e 4.11. A listra amarela, mostra quando foram feitas as otimizações físicas.

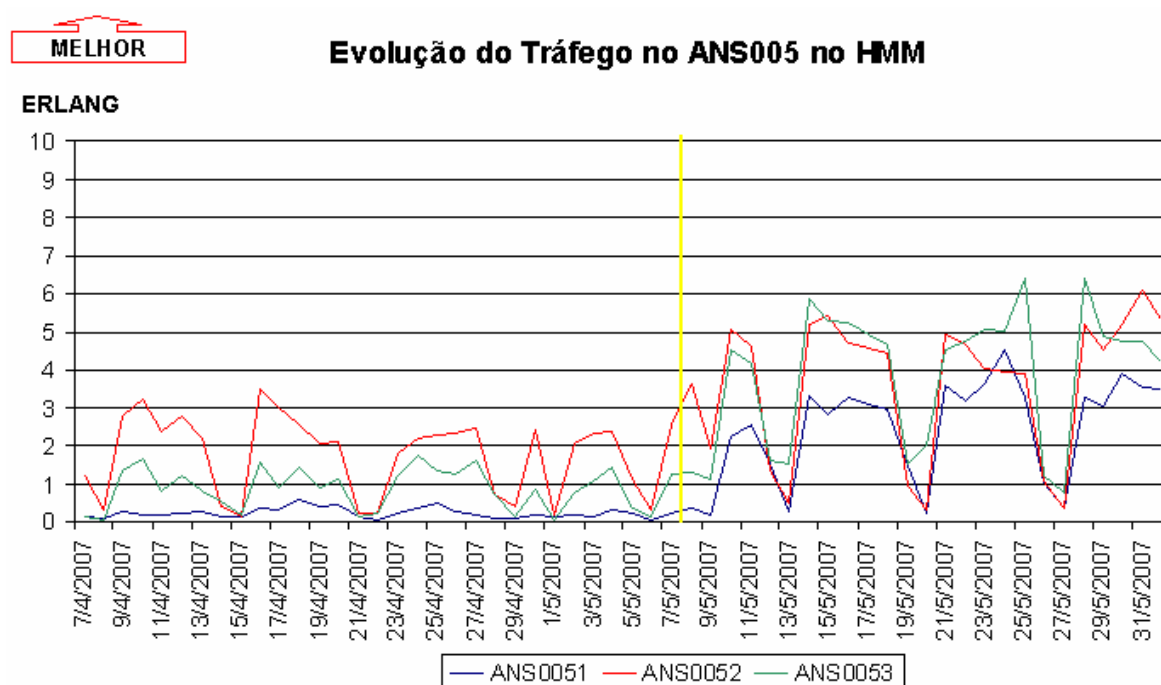


Figura 4. 10 – Gráfico da evolução do tráfego nas células do ANS005, no horário de maior movimento.

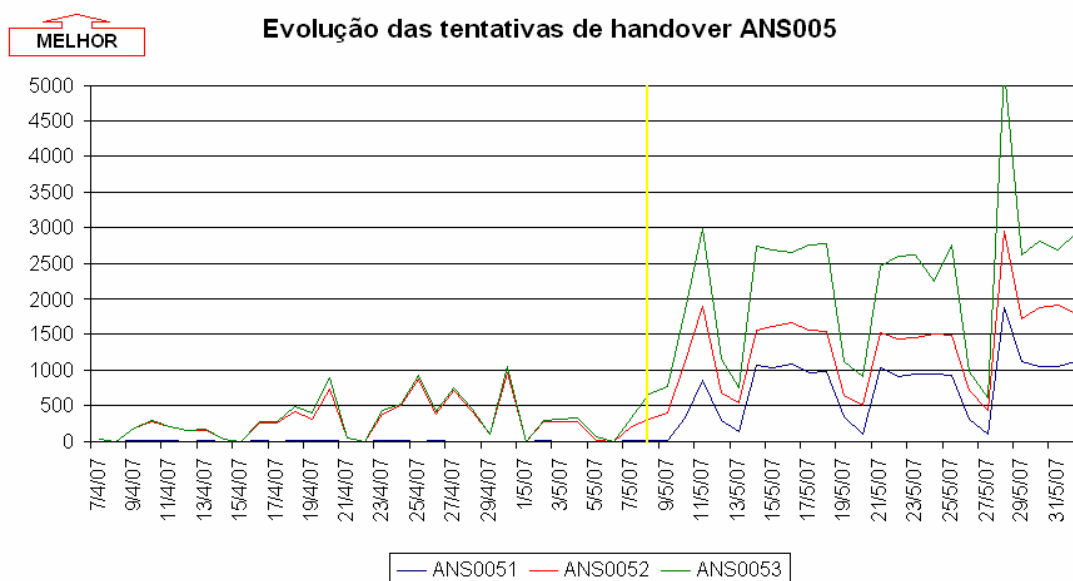


Figura 4. 11 – Gráfico da evolução do número de tentativas de *handover* nas células no ANS005.

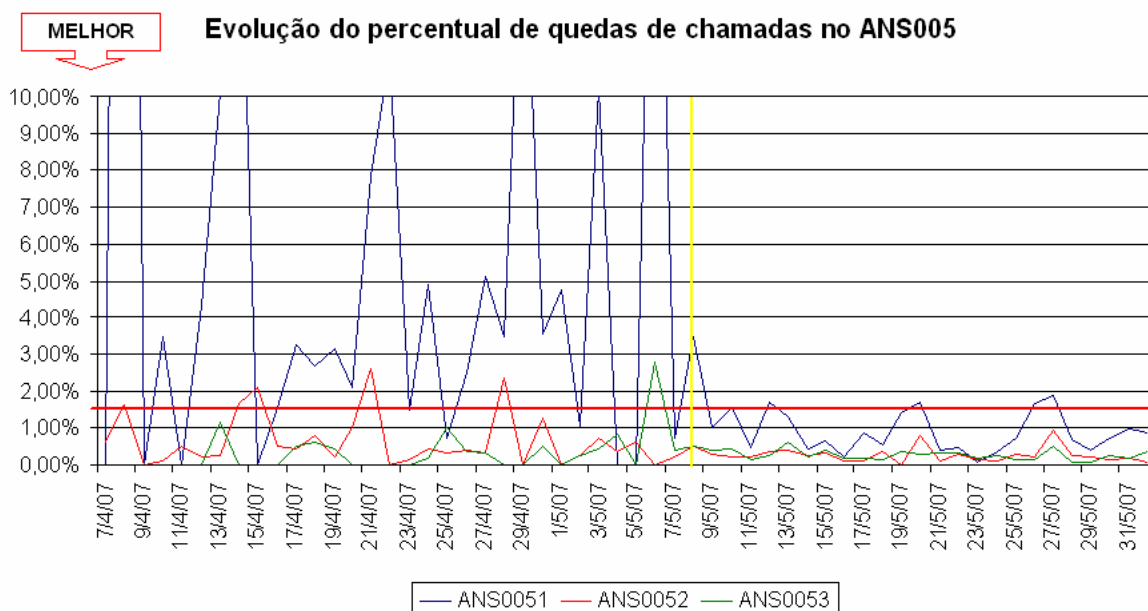


Figura 4. 12 – Gráfico da evolução do percentual de quedas de chamadas nas células no ANS005.

Estes gráficos confirmam que o problema principal para o fraco desempenho das células do ANS005 se devia a um erro na instalação do equipamento, que foi corrigido na etapa de otimizações físicas. O desempenho percentual diário das quedas de chamadas, antes muito oscilatórios, com picos de até 54%, teve queda brusca, e passou a se enquadrar na meta da ANATEL. Pelo gráfico da figura 4.10, percebe-se um aumento no tráfego cursado nessa ERB.

4.4.2 Otimizações Lógicas

As funcionalidades mencionadas na seção 2.2.5.2 não sofreram alteração. Algumas destas já estão ativas em Anápolis, como o DTX, e outras não, como o *Frequency Hopping*.

Como a implementação destas funcionalidades gera custo para a empresa, não foi sugerida a implementação das mesmas.

4.4.2.1 Alteração da lista de vizinhos

Fez-se esta análise conforme descrito anteriormente na seção 4.3 e chegou-se a uma lista de vizinhos a incluir e excluir, mostradas nas tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

Tabela 4. 1 – Lista de pares de *handover* que foram incluídos nas listas de vizinhança.

Célula	Vizinho	Célula	Vizinho	Célula	Vizinho
ANS0011	ANS0031	ANS0041	ANS0062	ANS0101	ANS0073
ANS0012	ANS0033	ANS0042	ANS0032	ANS0102	ANS0063
ANS0013	ANS0041	ANS0043	ANS0122	ANS0122	ANS0043
ANS0023	ANS0101	ANS0052	ANS0172	ANS0131	ANS0031
ANS0031	ANS0011	ANS0053	ANS0163	ANS0151	ANS0192
ANS0031	ANS0131	ANS0062	ANS0041	ANS0163	ANS0053
ANS0032	ANS0042	ANS0063	ANS0102	ANS0172	ANS0052
ANS0033	ANS0012	ANS0073	ANS0101	ANS0192	ANS0151
ANS0041	ANS0013	ANS0101	ANS0023		

Tabela 4. 2– Lista de pares de *handover* que foram excluídos nas listas de vizinhança

Célula	Vizinho	Célula	Vizinho	Célula	Vizinho
ANS0011	ANS0061	ANS0062	ANS0181	ANS0121	ANS0132
ANS0011	ANS0122	ANS0063	ANS0012	ANS0121	ANS0171
ANS0012	ANS0063	ANS0071	ANS0093	ANS0122	ANS0011
ANS0012	ANS0092	ANS0071	ANS0121	ANS0122	ANS0013
ANS0012	ANS0121	ANS0072	ANS0122	ANS0122	ANS0072
ANS0012	ANS0173	ANS0091	ANS0123	ANS0123	ANS0091
ANS0013	ANS0023	ANS0092	ANS0012	ANS0132	ANS0013
ANS0013	ANS0122	ANS0092	ANS0132	ANS0132	ANS0092
ANS0013	ANS0132	ANS0092	ANS0133	ANS0132	ANS0121
ANS0021	ANS0061	ANS0092	ANS0162	ANS0133	ANS0092
ANS0023	ANS0013	ANS0093	ANS0032	ANS0162	ANS0092
ANS0032	ANS0093	ANS0093	ANS0071	ANS0163	ANS0061
ANS0033	ANS0173	ANS0102	ANS0112	ANS0171	ANS0121
ANS0061	ANS0011	ANS0112	ANS0102	ANS0173	ANS0012
ANS0061	ANS0021	ANS0121	ANS0012	ANS0173	ANS0033
ANS0061	ANS0163	ANS0121	ANS0071	ANS0181	ANS0062

Na figura 4.13 é mostrado o número médio de tentativas diárias de *handover* dos pares excluídos. Vale ressaltar que ainda que a exclusão dos pares foi baseada também na localização das ERB's, análise do relevo, nas áreas de cobertura das células, na porcentagem de sucessos de *handover* e se é uma célula em final de cobertura.

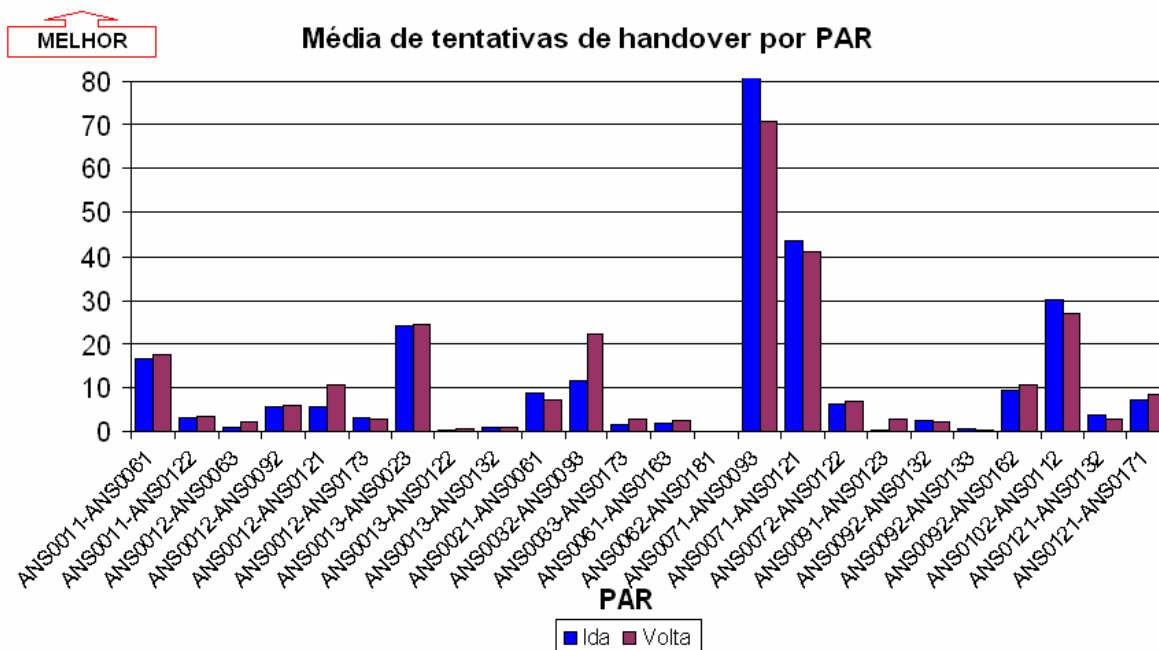


Figura 4. 13 – Gráfico da média de tentativas de *handover* dos pares excluídos das listas de vizinhança.

O gráfico da figura 4.13 mostra que todos os pares excluídos tinham poucas tentativas de *handover*. Para o par ANS0071-ANS0093, apesar de não ter um número tão baixo de tentativas de *handover*, as células não possuem fronteiras de cobertura.

Os gráficos 4.14 e 4.15 mostram número de tentativas de *handover* para cada par incluídos e o percentual médio de insucessos de *handover* por par, respectivamente.

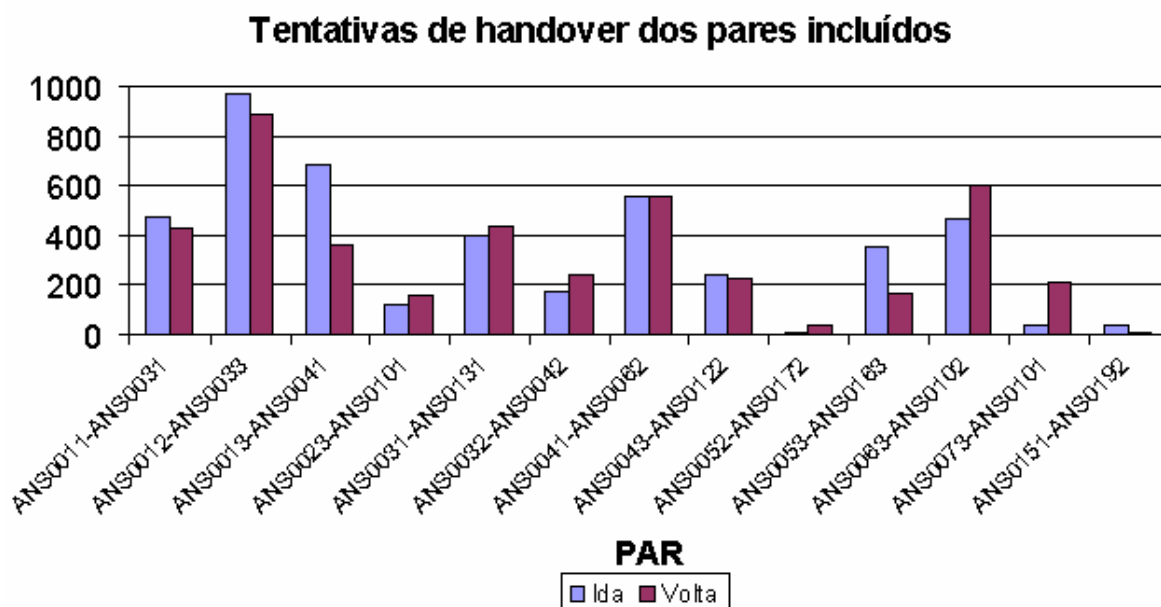


Figura 4. 14 – Média de tentativas de *handover* dos pares incluídos nas listas de vizinhança.

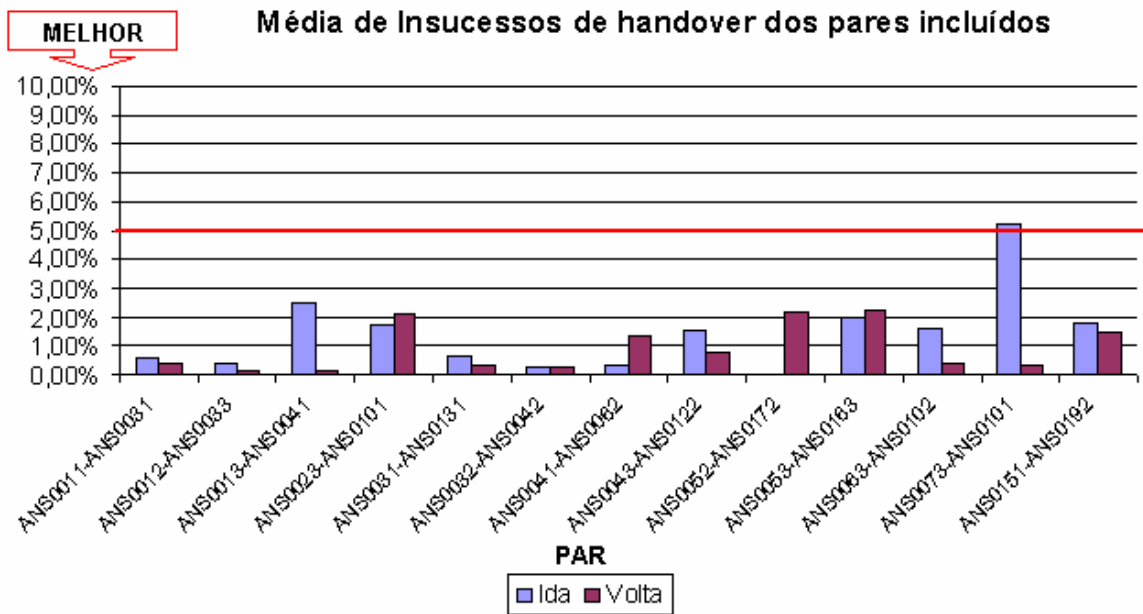


Figura 4. 15 – Média de insucessos de *handover* dos pares incluídos nas listas de vizinhança.

Pelos gráficos das figuras 4.14 e 4.15. nota-se que foi obtido um bom desempenho, no geral. Apenas o par ANS073-ANS101 ficou acima da meta estipulada para insucessos de *handover*, e mesmo assim, pouco acima da meta. Os pares ANS0052-ANS0172 e ANS151-ANS192, apesar do baixo número de tentativas, são pares necessários para a rede, análise esta feita com o auxílio do mapa da figura 4.2.

Após a alteração das listas de vizinhança, com a inclusão e exclusão dos pares de *handover* mostrados nas tabelas 4.1 e 4.2, foram obtidos os seguintes resultados:

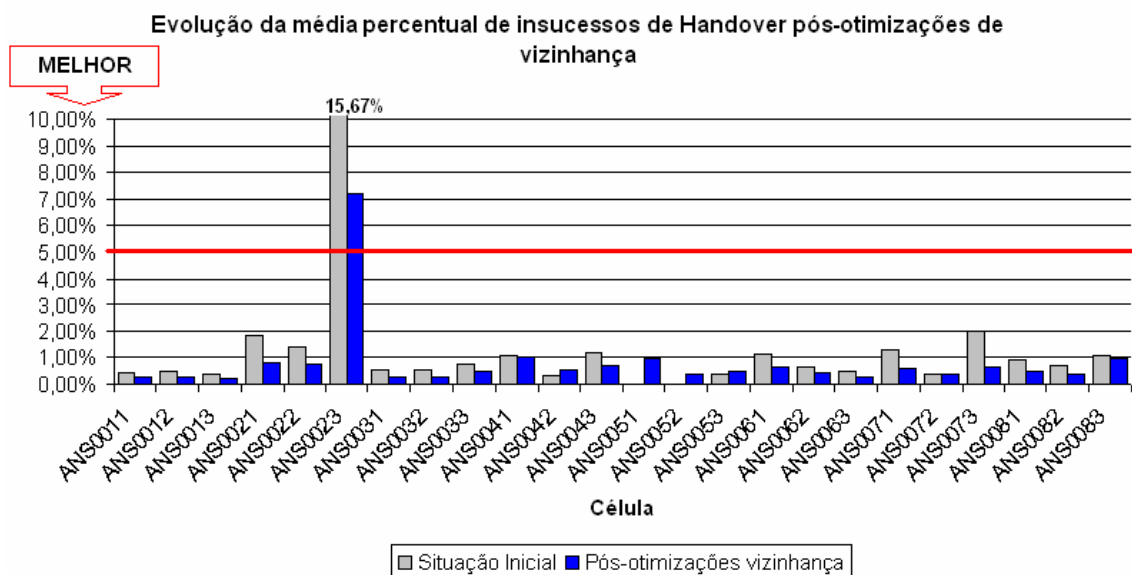


Figura 4. 16 – Gráfico da evolução da média percentual de insucessos de *handover* após as otimizações feitas na lista de vizinhança e as otimizações físicas nas células das ERB's ANS001 a ANS008.

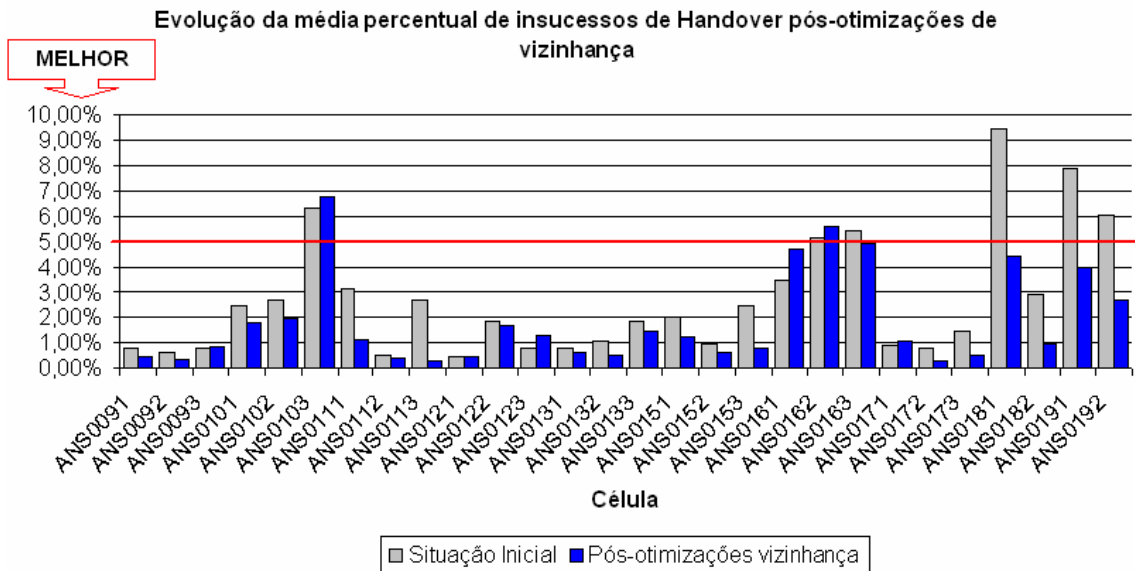


Figura 4. 17 – Gráfico da evolução da média percentual de insucessos de *handover* após as otimizações feitas na lista de vizinhança e as otimizações físicas nas células das ERB's ANS009 a ANS019.

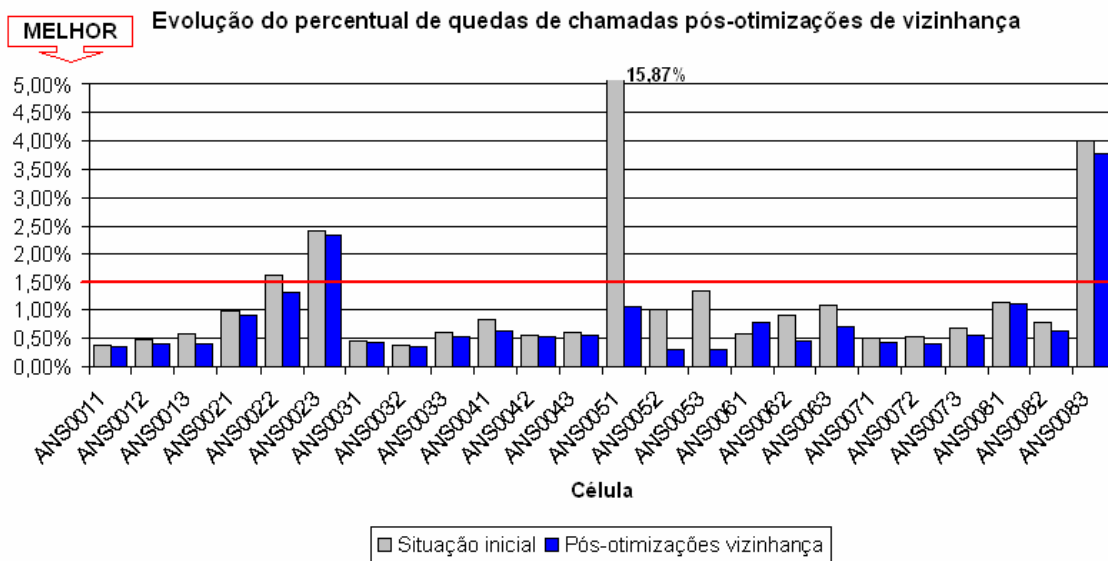


Figura 4. 18 – Gráfico da evolução da média percentual de quedas de chamadas após as otimizações feitas na lista de vizinhança e as otimizações físicas nas células das ERB's ANS001 a ANS008.

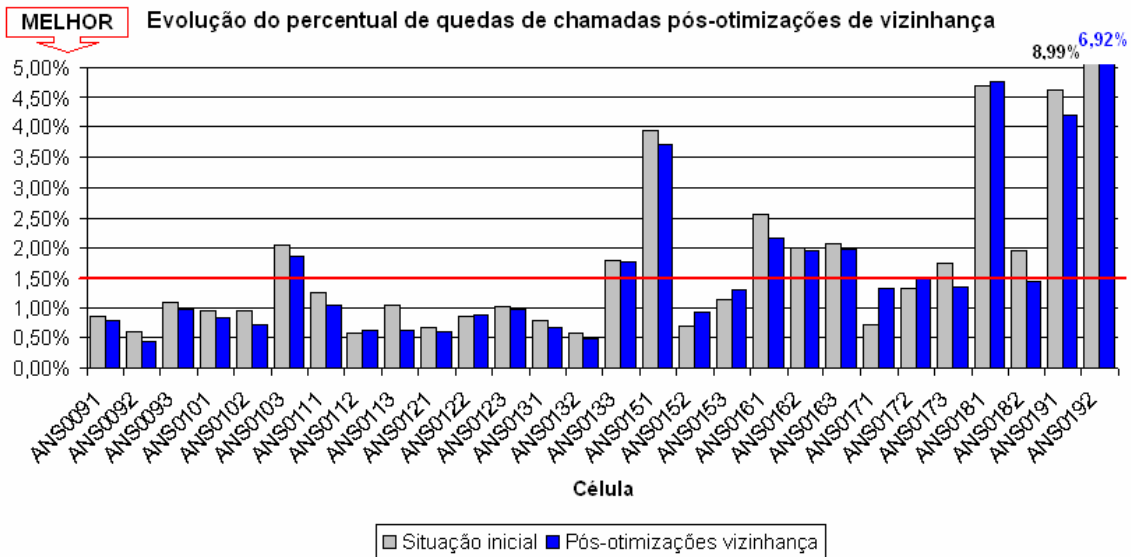


Figura 4. 19 – Gráfico da evolução da média percentual de quedas de chamadas após as otimizações feitas na lista de vizinhança e as otimizações físicas nas células das ERB's ANS009 a ANS019.

Pelos gráficos 4.16 a 4.19, percebe-se que, em geral, as otimizações provocaram melhoras de desempenho em todos os indicadores. Os casos em que houve piora nos indicadores se referem, em sua maioria, a células em final de cobertura. Nota-se ainda, que as células que estão com os indicadores acima das metas estipuladas também são células em final de cobertura. A figura 4.20 mostra o mapa de Anápolis com as células desenhadas. Em azul, destacamos as células cujos indicadores de quedas de chamadas ainda estão fora da meta.

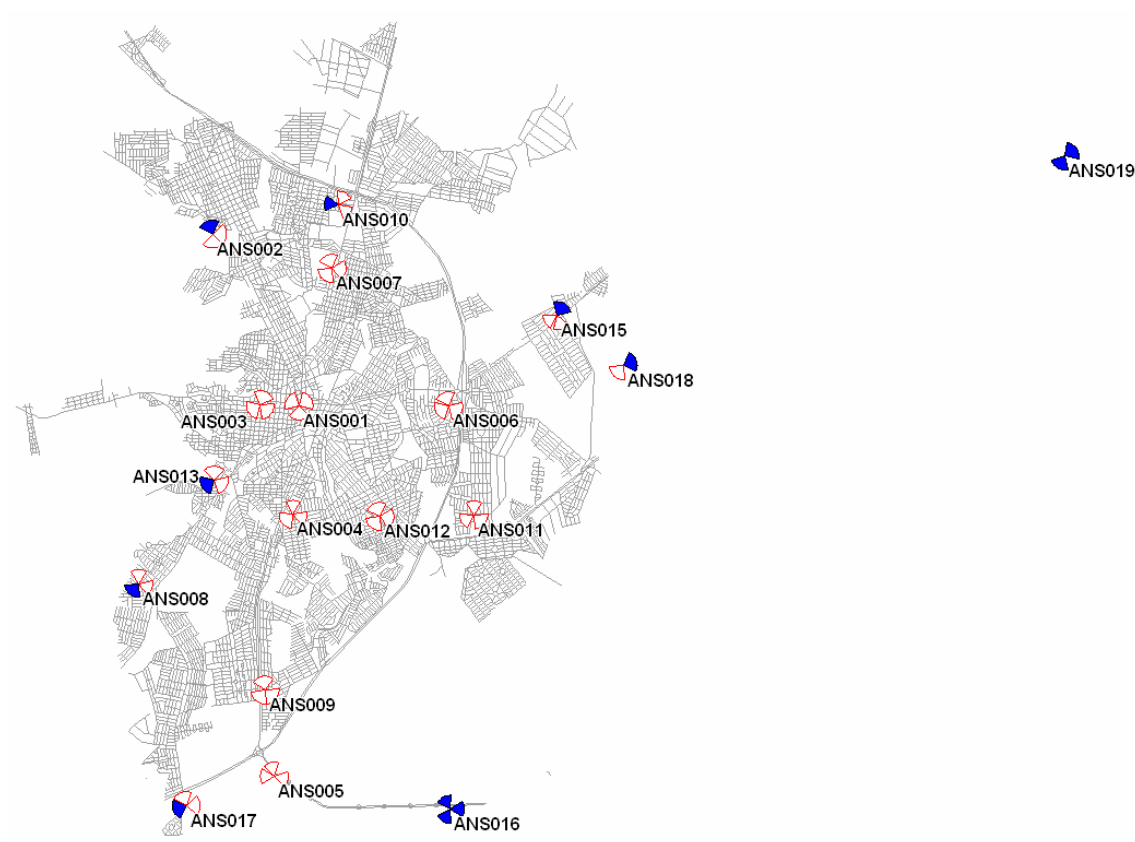


Figura 4. 20 – Mapa das ruas da cidade de Anápolis com a marcação dos setores das ERB's TIM. Em azul, as células com percentual médio de quedas de chamadas acima da meta.

Nota-se que a média de insucessos de *handover* nas células ANS0023 e ANS0103 ainda está bastante ruim. As figuras 4.21 e 4.22 mostram o número de insucessos de *handover* que envolvem as células mencionadas, com todos seus pares de vizinhança pós-otimizações. Os números que aparecem em cima das barras se referem ao número de tentativas de *handover*, ocorridas entre o determinado par de *handover*.

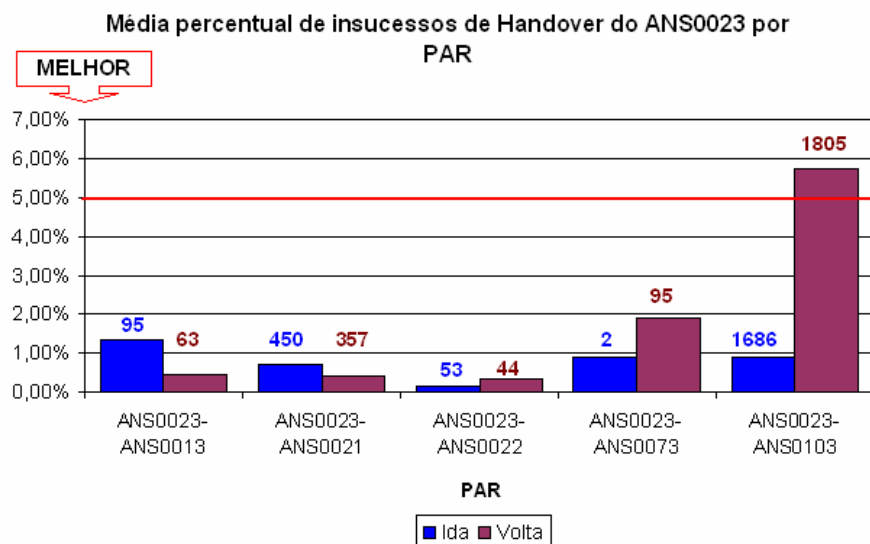


Figura 4. 21 – Gráfico da média percentual de insucessos de *Handover* do ANS0023 pós-otimizações com todos seus pares de *handover*, ida e volta.

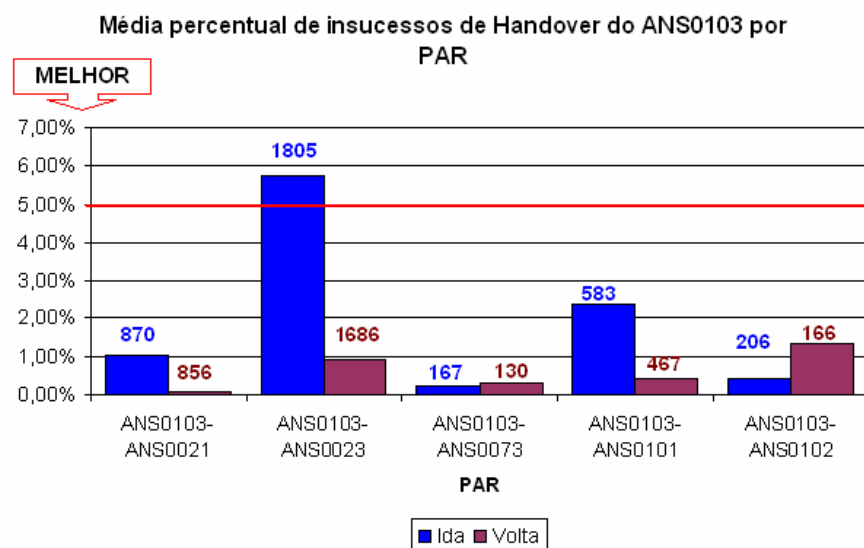


Figura 4. 22 – Gráfico da média percentual de insucessos de *Handover* do ANS0103 pós-otimizações com todos seus pares de *handover*, ida e volta.

Pela análise dos gráficos, conclui-se que o grande problema para os insucessos de *handover* nas células ANS0023 e ANS0103 está, de fato, no par ANS0023-ANS0103, e, mais precisamente no *handover* da célula ANS0103 para a célula ANS0023. Na seção 4.4.2 este caso será discutido mais a fundo.

As figuras 4.23 e 4.24 mostram o tráfego nas células após as otimizações.

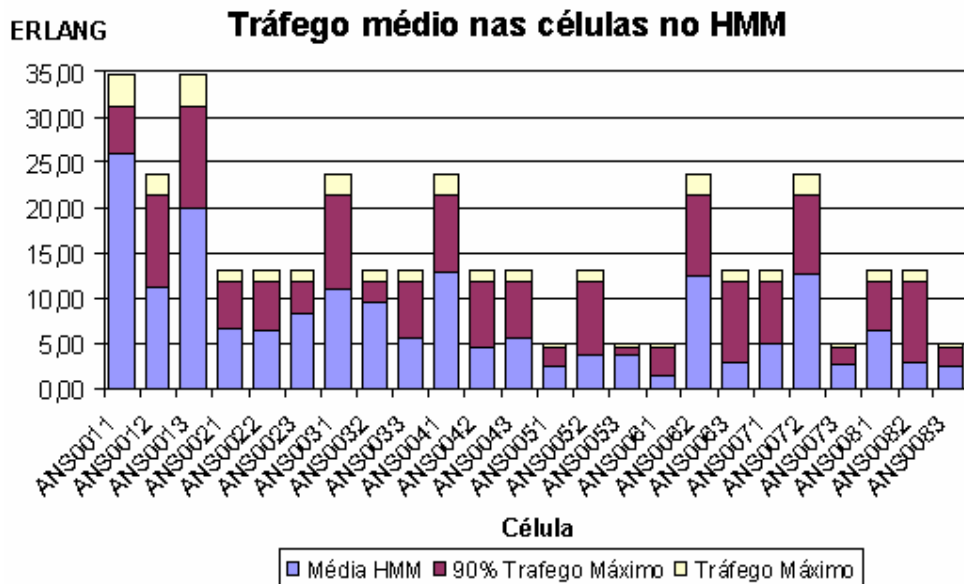


Figura 4. 23 – Gráfico do tráfego médio para as células das ERB's ANS001 a ANS008 no horário de maior movimento.

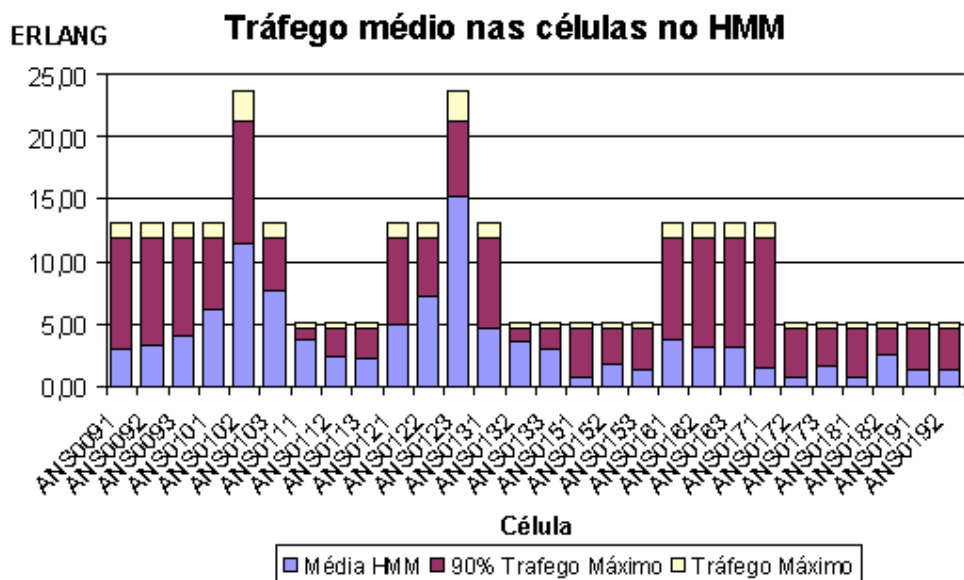


Figura 4. 24 – Gráfico do tráfego médio para as células das ERB's ANS009 a ANS019 no horário de maior movimento.

Vê-se nos gráficos das figuras 4.23 e 4.24 que nas células com maior tráfego, este não está próximo do tráfego exigido para ampliação (90% do tráfego máximo). Assim, não será feita nenhuma otimização com o intuito de se balancear o tráfego nas células, como por exemplo, utilizando-se as funcionalidades de HCS e *Cell Load Sharing*, detalhadas nas seções 3.1.4.1 e 3.1.4.2, respectivamente.

4.4.2.2 Análise dos indicadores e outras otimizações

Como visto nos gráficos mostrados na seção 4.3.2.1, a maioria dos problemas da rede está nas células de final de cobertura ou em células que necessitam fazer *handover* com células de estrada. O principal problema em termos de insucessos de *handover* ocorre no par ANS0103-ANS0023. As células onde se tem maior percentual médio de quedas de chamadas são também células de final de cobertura, sendo as células do ANS019 as mais problemáticas neste ponto.

No caso do par ANS0103-ANS0023, o mapa das ruas de Anápolis, mostrado na figura 4.25, ajudará na análise.

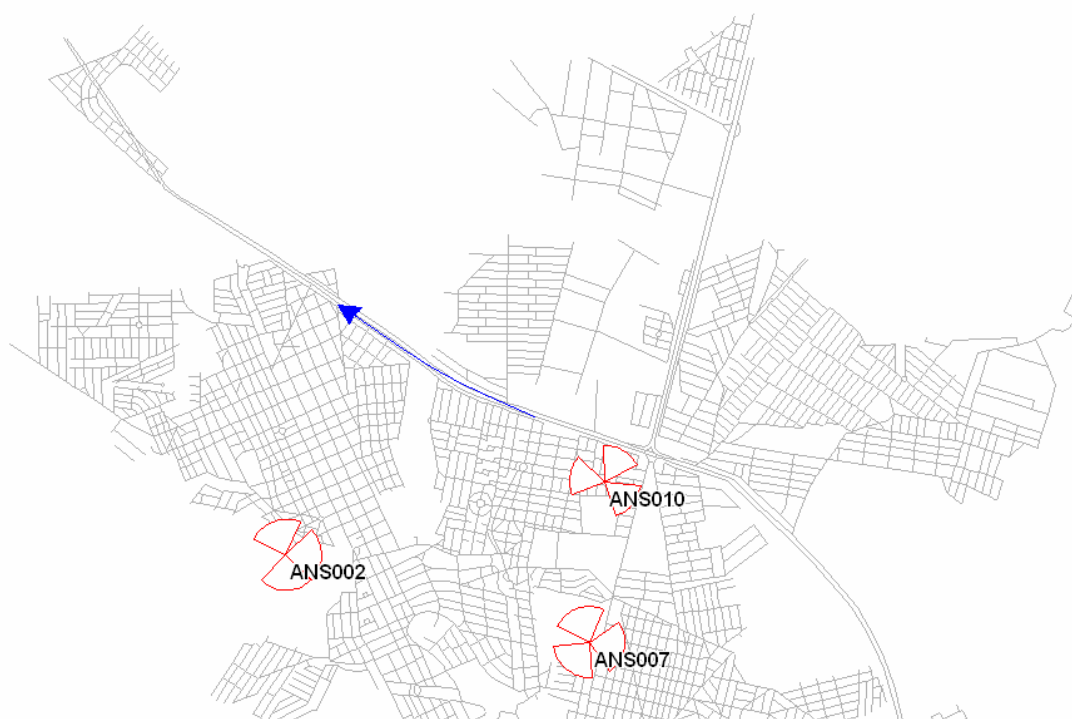


Figura 4. 25 – Mapa das ruas da cidade de Anápolis, centralizado nas ERB's ANS002 e ANS010.

Como visto na seção 4.3.2.1, o problema maior de insucessos de *handover* nestas células se dá no *handover* da célula ANS0103 para a célula ANS0023. Ou seja, muito possivelmente, para um assinante se deslocando pela rua na direção da seta marcada em azul no mapa da figura 4.25. Provavelmente o móvel estava sendo servido pela célula ANS0103 e a célula ANS0023 só era priorizada na Lista Final de *Locating* quando o móvel está muito afastado da célula o que torna o valor do *Path Loss* muito elevado não permitindo que a sinalização de *handover* seja completada. Assim, foi sugerido diminuir a histerese entre as células. Com a histerese menor, esperava-se que o *handover* ocorra mais rapidamente para a ANS0023, pois uma menor diferença entre o nível de potência do sinal das células será exigida para a

realização do *handover*. Dessa maneira, o número de insucessos de *handover* poderia ser diminuído.

Alterou-se o valor da histerese de 4dB para 3dB. A escolha do valor de 3dB foi motivado pelo fato da histerese ser tipicamente configurada entre 3 e 7dB. Os gráficos das figura 4.26 e 4.27 mostram os resultados obtidos após esta otimização. A listra amarela no Figura 4.27 indica a data em que foram realizadas as otimizações de histerese.[2].

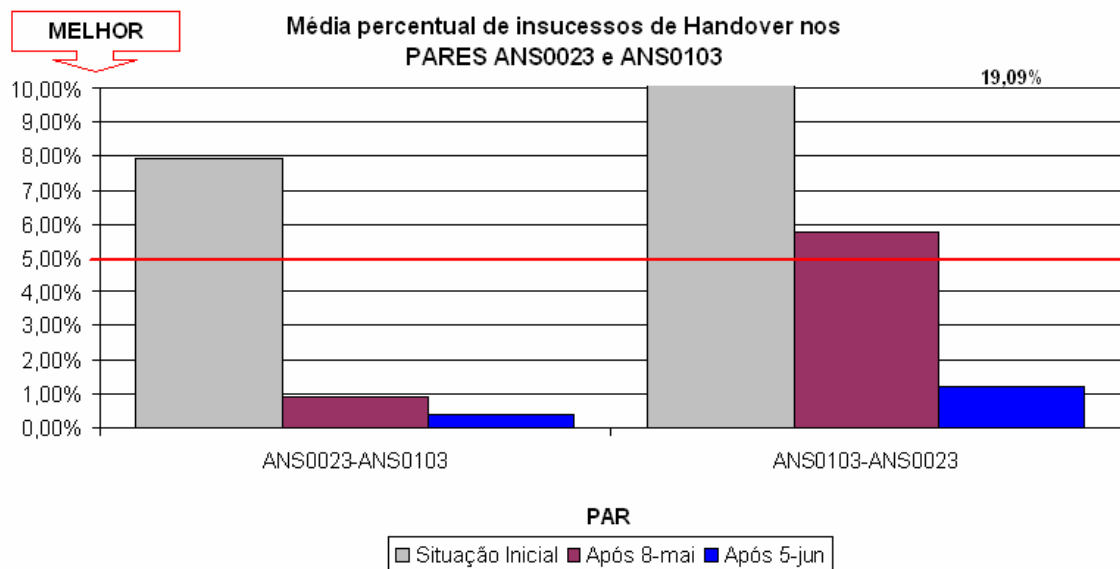


Figura 4. 26 – Média percentual de insucessos de *Handover* nos pares ANS0023-ANS0103 e ANS0103-ANS0023 pós-otimizações de histerese.

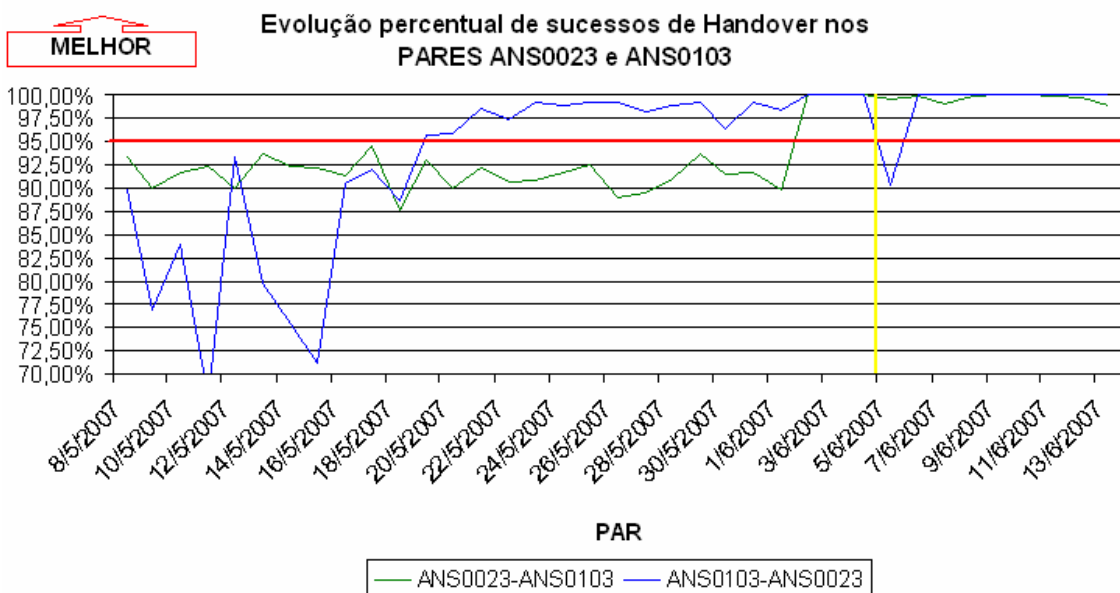


Figura 4. 27 – Gráfico da evolução do percentual de sucessos de *Handover* nos pares ANS0023-ANS0103 e ANS0103-ANS0023 pós-otimizações de histerese.

Os gráficos das figuras 4.26 e 4.27 apresentaram a evolução esperada para o problema de insucessos de *handover* no par, sobretudo no par ANS0103-ANS0023 que era o mais crítico, apresentando uma queda de 5,76% para 1,19% de insucessos de *handover*.

Para o problema das quedas de chamadas nas células de borda, foi proposta a aplicação da funcionalidade *Handover Power Boost*, descrita no capítulo 3. Ativamos o *Handover Power Boost*, para as células da tabela 4.3 Acredita-se que parte das quedas de chamadas registradas nestas células deve-se a quedas de chamadas durante o processo de *handover*. Ativando esta funcionalidade nestas células, pode-se diminuir o número de quedas de chamadas nos pares de *handover* mostrados na tabela 4.4.

Tabela 4. 3– Células que tiveram a funcionalidade *Handover Power Boost* ativada.

Célula
ABIG022
ANS0151
ANS0181
ANS0191
ANS0192

Tabela 4. 4 – Pares de *handover* que esperávamos melhora nos indicadores de quedas de chamadas com a ativação da funcionalidade.

PARES	
IDA	VOLTA
ABIG022-ANS0181	ANS0181-ABIG022
ABIG022-ANS0191	ANS0191-ABIG022
ANS0151-ANS0181	ANS0181-ANS0151
ANS0151-ANS0192	ANS0192-ANS0151
ANS0181-ANS0192	ANS0192-ANS0181

A célula ABIG022 é uma célula de uma ERB localizada em Abadiânia (GO). Ela foi incluída na análise, pois a célula ANS0191 tem par de *handover* com esta célula, e assim pode-se melhorar os indicadores no ANS0191. Estas duas ERB's estão localizadas na rodovia Brasília – Anápolis, assim, um assinante a caminho de Anápolis, ou Goiânia, certamente faria o *handover* entre estas células. A figura 4.28 mostra um mapa mostrando a localização da ERB ABIG02 em relação a Anápolis.

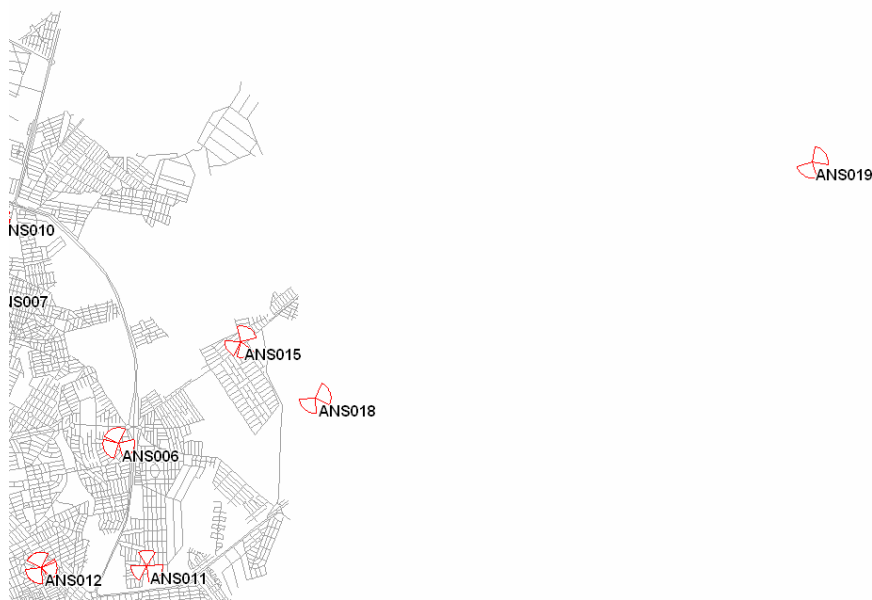


Figura 4. 28 – Mapa mostrando a localização da ERB ABIG02 em relação a Anápolis.

A Figura 4.29 mostra o resultado da otimização tendo em vista os insucessos de *handover* par-a-par para os pares da tabela 4.4.

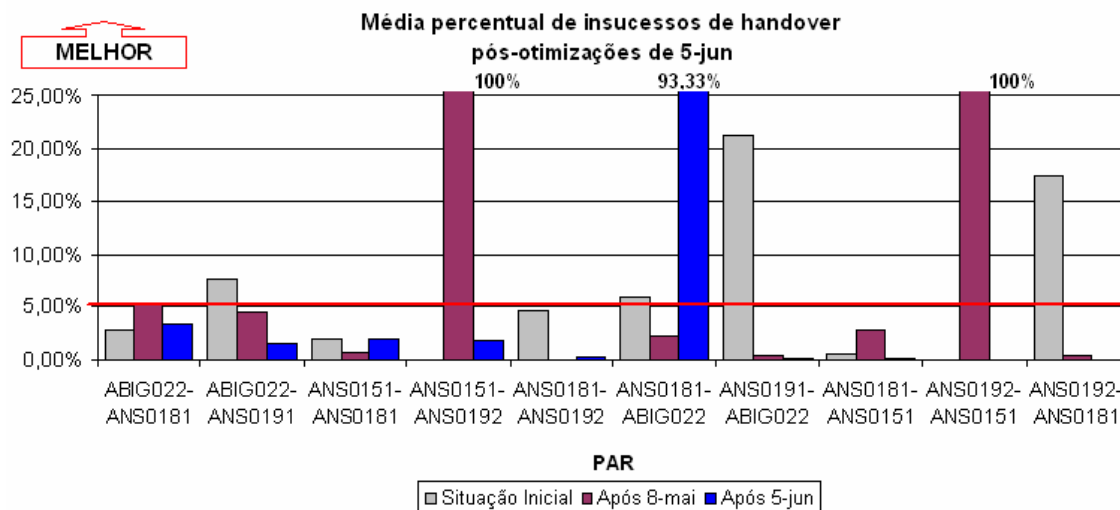


Figura 4. 29 – Gráfico da evolução da média percentual de sucessos de *handover* após a ativação do *Handover Power Boost* par-a-par.

Na Figura 4.29, as barras de situação inicial não aparecem para os pares ANS0151-ANS0192 e ANS0191-ANS0151, pois estes foram incluídos nas otimizações de vizinhança. Em outros pares que as barras não aparecem, deve-se ao fato de não ter ocorrido nenhuma tentativa de *handover*, caso dos pares ANS0192-ANS0151 e ANS0192-ANS0181.

Na análise do gráfico 4.29, vê-se, que, em geral, foi obtida melhora nos pares, exceto no par ANS0181-ABIG022, e nos pares em que não houveram tentativas. Na verdade, o par ANS0181-ABIG022 apresentou apenas 6 tentativas de *handover*, e destas somente uma foi concluída com sucesso. O baixo número de tentativas pode ser explicado olhando o mapa da figura 4.28. Um móvel servido pela célula ANS0181 se deslocando na direção da célula ABIG022 deveria primeiro realizar o *handover* para ANS0192.

Os pares citados, que apresentavam desempenho ruim ou baixo número de tentativas, deveriam ser analisados por um período maior para possível exclusão, na permanência da situação, o que não foi possível, pois não haveria tempo hábil para consolidação dos dados pós-otimizações.

A Figura 4.30 apresenta a evolução dos indicadores de quedas de chamadas nas células da tabela 4.3.

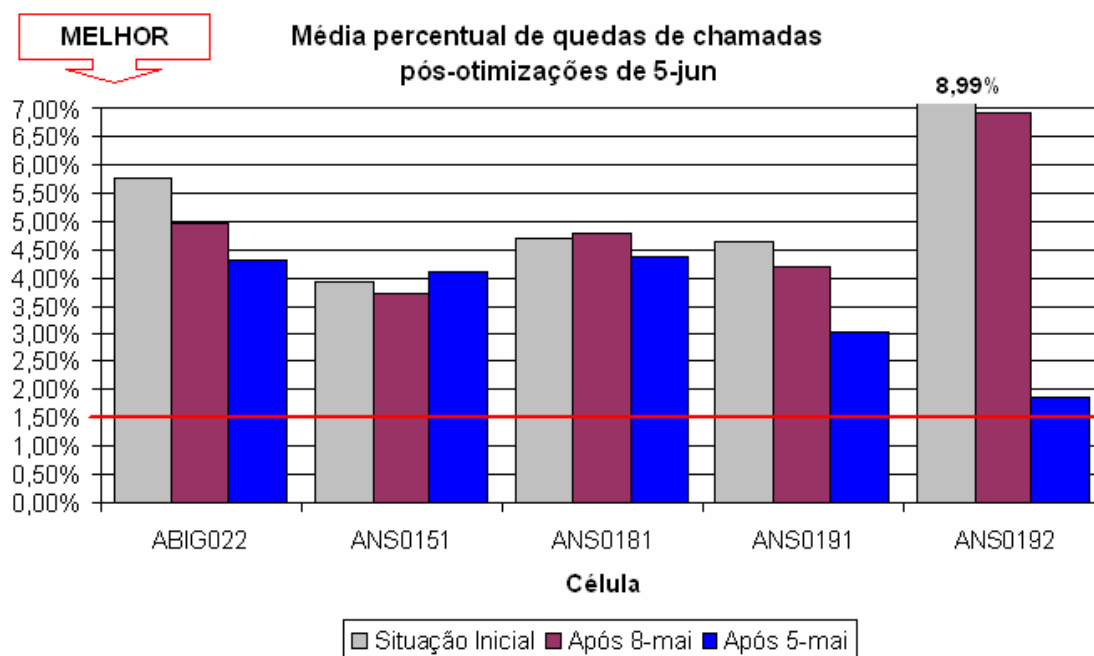


Figura 4. 30 – Gráfico da evolução da média percentual de quedas de chamadas após a ativação do *Handover Power Boost*.

A ativação da funcionalidade apresentou melhora para as células ABIG022, ANS0181 e ANS0191 no indicador de quedas de chamadas. Já no caso da célula ANS0151, obtivemos leve piora. Para a ANS0192, podemos afirmar com certeza que a ativação da funcionalidade gerou grande melhora no percentual médio de quedas de chamadas.

Os pares de *handover* obtiveram maior percentual de sucessos. O par ANS0151-ANS0192 que não tinha sucesso em suas poucas tentativas (26, em média), passou a ter sucesso e maior número de tentativas (82, em média).

Assim, encerra-se este capítulo que mostrou as otimizações propostas na rede e seus resultados. As otimizações tiveram resultados muito satisfatórios, gerando melhorias em todas as etapas do processo.

5 CONCLUSÃO

No capítulo 3 foi explicado o algoritmo de *Locating*, que é responsável por gerenciar o processo de *handover* na rede GSM estudada. Como citado neste capítulo, a operadora TIM Celular faz uso do algoritmo Ericsson 1 para etapa do Posicionamento Básico, etapa que faz parte do algoritmo de *Locating*.

Porém, como explicado no último parágrafo da seção 3.1.3.5, a operadora TIM não utiliza de forma eficiente os recursos oferecidos pelo algoritmo Ericsson 1. Infelizmente, não foi possível realizar no presente estudo as alterações para que estes recursos fossem melhores utilizados. Fica como sugestão para trabalhos futuros uma análise mais detalhada sobre esse caso, o que poderia melhorar de forma satisfatória o desempenho dos indicadores do sistema.

As otimizações propostas no capítulo 4, no geral, foram muito bem sucedidas. As etapas de otimizações propostas foram importantes em diferentes aspectos para a otimização da rede como um todo. Nas análises feitas durante a etapa de otimizações físicas, foi detectado que os cabos das antenas dos setores do ANS005 estavam trocados. Corrigido esse problema, foi conseguida uma melhora nos indicadores dessa ERB de forma muito satisfatória, como fica comprovado pelos gráficos mostrados nas figuras 4.10, 4.11 e 4.12.

Foi visto que a etapa de alteração da lista de vizinhos, por si só, tem um efeito bastante positivo nos indicadores analisados, minimizando os problemas na rede de forma eficiente. A maioria dos pares de *handover* incluídos teve desempenho bastante satisfatório. Para análise e possível remoção dos pares que não obtiveram desempenho aceitável, seria necessário maior tempo para medição dos indicadores pós-otimizações, para confirmação do mau desempenho destes. Mas um bom indicador de que não houve deteriorização grave é o índice de queda de chamadas, que permaneceu ou estável ou com ligeira melhora.

Na etapa final de análise dos indicadores, propôs-se a ativação de uma funcionalidade avançada. Foi proposta a ativação da funcionalidade *Handover Power Boost* com o intuito de diminuir o número de quedas de chamadas durante o processo de *handover*. Esta otimização provocou uma grande melhora em uma das células propostas, apesar de nas outras células não ter surtido o efeito esperado.

Por fim, na análise realizada para os indicadores das células vizinhas ANS0103 e ANS0023, constatou-se que o problema estava no valor muito alto de histerese configurado para esse par de células. Corrigiu-se o problema com a diminuição do valor histerese para o par.

Conclui-se que o processo de otimização se mostrou bastante eficiente, fazendo com que a grande maioria das células se enquadrassem nas metas estipuladas para o desempenho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GSM association c1987-2007. *GSM facts and figures*. Disponível em: <http://www.gsmworld.com/news/statistics/index.shtml>.
- [2] ERICSSON, “**ALEX – Active Library Explorer, Base Station System BSS R9.1**”, EN / LZN 719 0002 R1D, 2001 – 2002.
- [3] HEINE, Gunnar, “*GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation*”, Artech House Publishers, London, 407 p., 1999.
- [4] HALONEN, T., MELERO, J., “*GSM, GPRS & EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS*”, John Wiley & Sons, LTD, 2nd Ed., 608 p., 2003.
- [5] ERICSSON, “*GSM System Survey*”, *electronic documentation* LZU 108 852 R6A, 1998.
- [6] RAPPAPORT, “*Wireless Communications: Principles and Practice*”, Prentice Hall, 2nd Ed., 707 p., 2002.
- [7] SAUNDERS, S. R. “**Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems**”, John Wiley and Sons, LTD, 2nd Ed., 517 p., 2007.
- [8] LEE, W. C. Y., “*Wireless & Cellular Communication*”, Mcgraw-Hill Professi, 3rd Ed., 797 p., 2006.
- [9] STALLINGS, W., “*Wireless Communications and Networking*”, Prentice Hall, New Jersey, 2nd. Ed., 2002.
- [10] YACOUB, M. D., “**Foundations of Mobile Radio Engineering**”, CRC Press, 1st Ed., 481 p., 1993.
- [11] NOKIA, “**RF Power Control and Handover Algorithm**”, Nokia BSC S10.5 ED, *Product Documentation*, 155 p., 2003.

ANEXO 1

Segue em anexo o mapa de cobertura da rede GSM da TIM Brasil para a cidade de Anápolis (Goiás), foco de estudo do presente trabalho. Observa-se no mapa a presença de uma célula (ANS020) que não foi implantada até o momento, porém seu projeto já está feito e a nova célula entrará em funcionamento dentro de pouco tempo, objetivando satisfazer a demanda crescente por tráfego na região em que está localizada.

