

Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Elétrica – ENE
Projeto final – Relatório
Orientador: Prof. Leonardo R.A.X. Menezes
1º Semestre de 2002
Brasília 23/04/2002

Obtenção dos limiares de handoff de uma Estação Rádio-Base utilizando-se análise estatística

Brasília 23/04/2002.....	1
Roberto Monteiro de Barros Reis 96/05142.....	2
PALAVRAS-CHAVE.....	6
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 Formulação do problema.....	14
3 Visão geral sobre o sistema celular.....	15
3.1 Os primeiros sistemas de telefonia móvel.....	15
3.2 Reutilização de frequência.....	15
3.3 O conceito celular.....	16
3.4 Handoff.....	17
3.5 Arquitetura do sistema celular.....	17
3.6 O que é uma célula?.....	17
3.7 O que é um cluster?.....	18
3.8 O que é Área Geográfica de Serviço Celular?.....	18
Figura 3.1 – Exemplo de cluster e reuso de frequências.....	18
3.9 Componentes do sistema celular.....	18
3.10 Rede Telefônica Comutada (RTPC).....	19
3.11 Central de Multiplexação Digital (DMS).....	19
3.11.1 Estabelecimento da chamada.....	19
3.11.2 Desconectar a chamada.....	19
3.11.3 Funções de tarifação.....	20
3.11.4 Fazer interface.....	20
3.11.5 Monitoração.....	20
3.12 Estação Radiobase.....	20
3.12.1 Fontes de energia.....	20
3.12.2 Equipamento de interface (Bastidor de Equipamento Comum).....	21
3.12.3 Bastidor de rádio.....	21
3.12.4 Sistemas de antena.....	21
4 Drive testing.....	22
4.1 Exigências básicas e preparação.....	23
4.2 Calibração e Setup do equipamento.....	24
4.3 Drive test de um cell site existente.....	24
4.4 Coleta de dados.....	25
4.5 Processamento dos resultados.....	26

5 Módulos periféricos do sistema.....	28
5.1 Interface do PM.....	28
5.2 Tipos de módulos periféricos.....	29
5.3 Periférico Celular Inteligente (ICP).....	29
5.4 Capacidade de um ICP.....	30
6 Considerações sobre performance de um sistema celular.....	32
6.1 Performance de chamadas.....	32
Figura 6.1 - Queda de chamadas de uma estação de borda do sistema.....	35
Figura 6.2 - Queda de chamadas de uma estação localizada no centro da área de cobertura da operadora.....	35
Figura 6.3 - Queda de chamadas de todo o sistema.....	35
Figura 6.4 - Índice de chamadas não completadas de uma dada estação.....	36
6.2 Engenharia de tráfego.....	37
6.3 Engenharia de capacidade.....	37
6.4 Virtual Mobile Local Areas (VMLAs).....	38
7 Algumas considerações sobre handoffs.....	42
7.1 RSSI e Controle Dinâmico de Potência.....	42
7.2 Processo de handoff.....	42
Figura 7.1 – Pedido de handoff pelo fato do RSSI estar abaixo do HOTL da célula.....	43
Figura 7.2 – Processo básico de handoff (1 de 5).....	44
Figura 7.3 – Processo básico de handoff (2 de 5).....	44
Figura 7.4 – Processo básico de handoff (3 de 5).....	45
Figura 7.6 – Processo básico de handoff (5 de 5).....	46
Figura 7.7 – Processo de handoff em um sistema TDMA (1 de 2).....	47
Figura 7.8 – Processo de handoff em um sistema TDMA (2 de 2).....	48
7.2.1 Handoff propriamente dito.....	48
7.2.2 Handoff assistido pela MAHO.....	50
7.2.3 BER Handoff.....	51
7.3 Otimização de handoffs.....	52
Figura 7.9 – Otimização de handoffs.....	53
Figura 7.10 – Parâmetros de handoff.....	54
Figura 7.11 – Ping-pong.....	54
Figura 7.12 – Fronteiras de handoff com ping-pong.....	55
Figura 7.13 – Fronteiras de handoff com PCPTL ajustado.....	55
8 Conceitos básicos da Inferência Estatística.....	56
8.1 População e Amostra.....	56
8.2 Parâmetros e Estatísticas.....	57
8.3 A Distribuição da Média Amostral e o Teorema Central do Limite.....	59
Figura 8.1- Relação entre $E()$ e μ e entre $DP()$ e n	61
8.4 Estimação Pontual e Estimação por Intervalo.....	62

8.4.1 Estimação por Intervalo.....	62
8.4.2 Intervalos de Confiança para a Média de Uma População – Grandes Amostras.....	64
Figura 8.2 – Distribuição de z	65
Figura 8.3 – Relação entre o coeficiente de confiança e o comprimento do intervalo de confiança para a média populacional.....	67
9 Escolha da região a ser estudada e análise dos resultados de um Drive test realizado no local.....	68
Figura 9.1 – Resultados do Drive Test tendo como base apenas o setor X da ERB em questão.....	68
Figura 9.2 – Resultados do Drive Test tendo como base apenas o setor Y da ERB em questão.....	69
Figura 9.3 – Resultados do Drive Test tendo como base apenas o setor Z da ERB em questão.....	69
Tabela 9.1 – Dados obtidos para o Setor X.....	71
Tabela 9.2 – Dados obtidos para o Setor Y.....	73
Tabela 9.3 – Dados obtidos para o Setor Z.....	74
10 Estudo estatístico dos dados obtidos.....	75
10.1 Uma análise equivocada.....	76
Figura 10.1 – Gráfico para o Setor X.....	78
Figura 10.2 - Gráfico semilog para o Setor X.....	78
Figura 10.3 – Gráfico para o Setor Y.....	79
Figura 10.4 – Gráfico semilog para o Setor Y.....	79
Figura 10.5 – Gráfico para o Setor Z.....	80
Figura 10.6 – Gráfico Semilog para o Setor Z.....	80
10.2 Obtenção dos parâmetros estatísticos para a cobertura dos três setores considerados....	81
Figura 10.7 – Gráfico para os dados do Setor X.....	82
Figura 10.8 - Gráfico semilog para o Setor X.....	82
Figura 10.9 – Gráfico para o Setor Y.....	83
Figura 10.10 – Gráfico semilog para o Setor Y.....	83
Figura 10.11 – Gráfico para o Setor Z.....	84
Figura 10.12 – Gráfico semilog para o Setor Z.....	84
Figura 10.13 – Histograma dos dados de potência do sinal recebido do setor X.....	87
Figura 10.14 – Histograma dos dados de potência do sinal recebido do setor Y.....	87
Figura 10.15 – Histograma dos dados de potência do sinal recebido do setor Z.....	88
Tabela 10.1 – Valores de $z_{\alpha/2}$ associados aos Coeficientes de Confiança mais utilizados na prática.....	88
11 ANÁLISE DAS FRONTEIRAS DE HANDOFF ATRAVÉS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS REALIZADAS NO CAPÍTULO ANTERIOR.....	90
Figura 11.1 – Distribuição normal de z	90
Figura 11.2 – Obtenção dos limiares de handoff pela análise estatística dos dados obtidos.....	91
12 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS FRONTEIRAS DE HANDOFF.....	92
Tabela 12.1 – Handoffs realizados pela ERB de estudo antes e depois do ajuste dos limiares de handoff.....	93
Tabela 12.2 – Dados da ERB de estudo quanto ao aumento na taxa de erro.....	94
13 CONSEQUÊNCIAS DESTES RESULTADOS SE FOSSEM UTILIZADOS EM UMA OPERADORA DE TELEFONIA CELULAR.....	95
14 CONCLUSÕES.....	97
15 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

PALAVRAS-CHAVE

Amostra

Subconjunto de itens extraídos de uma população, por meio do qual pretendemos obter informações sobre esta população.

AMPS

Serviço Avançado de Telefonia Móvel. Serviço telefônico celular analógico.

Atenuação

Enfraquecimento de um sinal em consequência da passagem por alguns obstáculos.

BER

Taxa de Erro de Bit. Uma medição de qualidade em uma conexão digital. A BER é o coeficiente de bits com erro em relação ao número total de bits transmitidos. A BER geralmente é expressa em potências de dez.

Bloqueio

O evento de ter uma tentativa de chamada bloqueada por algum motivo, normalmente porque um tronco não estava disponível para transportá-la, ou então por um número insuficiente de rádios que suportem o tráfego cursado.

C/I

Relação Portadora/Interferência. A relação do sinal desejado comparada com outros sinais de interferência na mesma frequência é normalmente expressa em dB. Mais frequentemente se refere à relação de uma portadora desejada com a portadora do co-canal mais forte que é expressa em dB.

CCC

Complexo de Comutação e Controle. A parte da central DMS-MTX que contém todas as funções de controle central incluindo o Controlador Central de Mensagens (CMC), a CPU, o Armazenamento de Programa (PS) e o Armazenamento de Dados (DS).

CCH

Canal de Controle, também denominado de Canal de Sinalização. A interface de estabelecimento de chamada e gerenciamento entre a estação radiobase e o móvel.

Célula

Uma área localmente definida de cobertura de rádio servida por um ou mais Transceptores de Estação Base (BSTs).

Central

Centro de Comutação Telefônica ou uma determinada área servida por uma operadora de comunicações comum. A operadora presta serviços de acordo com a tarifa da central, segundo os regulamentos da área, conforme estabelecido pelas tarifas apresentadas pela operadora.

CGSA

Área Geográfica de Serviço Celular. Uma área geográfica especificada, designada pela Federal Communications Commission (FCC) para serviço celular que define a área de serviço real em qualquer momento.

Cluster

Conjunto de várias células.

Co-canal

Atribuição de um canal pelo qual dois ou mais canais compartilham a mesma frequência de operação. Consulte C/I.

Datafill

Nome dado ao conjunto de dados, dispostos em tabelas, a todas as informações (destinadas à Central) de uma ERB.

DCC

Código Digital de Cores. Um determinado código usado para identificar ERBs analógicas.

Distribuição amostral

Distribuição que descreve o padrão de variação dos valores de uma estatística, para diferentes amostras extraídas da população de interesse.

DMS

Sistema Multiplex Digital. Um sistema de comutação de central no qual todos os sinais externos são convertidos em dados digitais e armazenados em timeslots designados. A comutação é executada pela re-atribuição dos timeslots originais.

DRU

Unidade de Rádio de Modo Dual. Rádio celular da Northern Telecom que pode operar tanto no modo analógico como no modo digital. A TRU (Unidade de Transmissão/Recepção) e o MPA (Modulador/Amplificador de Potência) formam uma DRU que é o pacote de rádio completo. A DRU é instalada no bastidor de Rádio Frequência (RF) na estação radiobase preparada para Digital 800 da Northern Telecom (NT800DR).

DS30

Tipo de enlace que proporciona uma interface entre os componentes internos de um dispositivo de hardware. Dois tipos de enlaces DS30 são usados pela Northern Telecom, DS30A e DS30X.

DVCC

Código de Cores de Verificação Digital. Código de verificação de 8 bits transmitido entre a unidade móvel e a estação radiobase. O DVCC é usado em Acesso Múltiplo de Divisão de Tempo (TDMA) celular para estabelecer diferenças entre as unidades móveis da mesma frequência.

ERB

Estação Radiobase.

ERP

Potência Efetiva Irradiada. Um valor que é normalmente medido na antena.

Estatística

Função das observações amostrais, que não depende de parâmetros desconhecidos.

FCC

Federal Communications Commission. Agência federal regulamentadora dos Estados Unidos encarregada da regulamentação do uso do espectro de frequência.

GPS

Sistema de Posicionamento Global. Os dispositivos GPS usam sinalizadores de rádio via satélite para ajudar na identificação das coordenadas do local (latitude/longitude).

Handoff

Processo de transferência de uma conversação de uma unidade móvel de um canal de Rádio Frequência (RF) em uma célula com baixo RSSI (Indicador de Intensidade de Sinal Recebido) para um canal de RF com um RSSI mais alto em outra célula.

Handover

Processo de transferência de uma conversação de uma unidade móvel para um canal de Rádio Frequência (RF) em outro setor de uma célula.

HOTL

Limiar Inferior de Handoff. Nível pré-definido em dBm, especificado nas tabelas de dados. Quando um RSSI de uma unidade móvel ficar abaixo do HOTL estabelecido na Tabela CELLDATA, o móvel se torna candidato a handoff.

ICP

Periférico Celular Inteligente. Periférico da central de comutação que proporciona uma interface entre a estação radiobase e a central. O ICP também controla as operações da estação radiobase.

ICPO+

Periférico Celular Inteligente Internacional avançado (ICPO+) é a versão internacional da Nortel que suporta o PCM30. O ICPO+, dimensionado com recursos de software básico internacional da MTX, oferece todos os avanços necessários para suportar portadoras do lado do periférico (lado p) do PCM30 a partir de um Periférico Celular Inteligente (ICP).

ICRM

Módulo Remoto Celular Integrado. Um periférico da estação radiobase que serve como uma interface entre o Periférico Celular Inteligente (ICP) e os subsistemas de transmissão de rádio. O ICRM é projetado para suportar tanto os equipamentos de rádio frequência (RF) analógicos como digitais

LCR

Receptor de Canal de Localização. Unidade de rádio designada para medir e informar a intensidade de sinal em dBm de candidatos a handoff nas células vizinhas.

MAHO

Handoff Assistido pela Unidade Móvel. Processo no qual o móvel monitora a intensidade do sinal que ele recebe da ERB em que está e das ERBs vizinhas para determinar quando o handoff é necessário.

MAHOPARM

Tabela de onde se originam os dados de células adjacentes do sistema, para proporcionar ao móvel que realize handoff assistido pela MAHO.

MAS

Área de Serviço Móvel. Uma região definida dentro de uma área Geográfica de Serviço Celular (CGSA) na qual os assinantes móveis podem ser servidos.

OM

Operational Measurements. São os indicadores que contém todos os dados sobre a performance de um sistema celular.

Parâmetro

Medida numérica que descreve alguma característica de uma população.

PCM30

Modulação por Códigos de Pulsos 30. Um padrão de transmissão digital que proporciona 30 canais de voz e dois canais de sinalização.

PCPTL

Limiar Inferior por Par de Célula.

PM

Módulo Periférico. Módulo de hardware que executa tarefas específicas no sistema sem fio.

População

Totalidade dos itens (elementos) sob consideração e que será o objeto da ação que iremos adotar.

RDTC

Canal de Tráfego de Direção Reversa.

Re-sintonia

Processo de mudança de atribuição de canal de uma célula ou grupo de células.

RF

Rádio Frequência. O grupo de energia eletromagnética cujo comprimento de ondas está entre a faixa de áudio e de luz. As ondas de RF são usadas para transmitir sinais de voz e dados entre uma unidade móvel e o sistema sem fio.

RNUM

Parâmetro utilizado na configuração das VMLAs.

RSA

Área de Serviço Rural. Área Geográfica de Serviço Celular (CGSA) muito pouco povoada regulamentada pela Comissão Federal de Comunicações (FCC).

RSSI

Indicador de Intensidade de Sinal Recebido. Uma medida da intensidade do sinal de RF, expressa em dBm, entre a estação base e a unidade móvel. Quando o valor do RSSI estiver abaixo de um nível aceitável, a unidade móvel se torna candidata a handoff para outra célula.

SAT

Tom de Áudio de Supervisão. Um tom de identificação de 5970, 6000 ou 6030 Hz que modula o canal de voz AMPS e o sinal de voz. É transmitido de uma estação radiobase simultaneamente com a voz através de um Canal de Voz (VCH) e transmitido de volta através do loop por uma Unidade de Assinante Móvel (MSU). O recebimento do tom correto, enviado de volta através do loop, verifica a integridade do percurso bidirecional e confirma que o sinal recebido é o sinal desejado e não uma interferência de co-canal de outra célula.

TDMA

Acesso Múltiplo por Divisão no Tempo. Formato de transmissão que permite a ocorrência de várias conversações digitais (três em TDMA-3) no mesmo canal de Rádio Frequência (RF). As

unidades móveis alternam os dados de transmissão/recepção em time slots específicos de um quadro de TDMA.

VCH

Canal de Voz. Um canal de Rádio Frequência (RF) usado para transmitir conversações de voz celulares. O VCH é também uma parte integral de estabelecimento, handoff e desconexões de chamada.

VMLA

Área de Localização Virtual do Móvel. Localização da unidade móvel no momento. A VMLA possui uma lista com os Números de Registro (RNUM) para a partição na qual a unidade móvel se registra. A VMLA está configurada para todas as partições e é fornecida ao móvel quando ele se registra na partição; é enviada ao móvel pela mensagem de aceitação do registro.

1 INTRODUÇÃO

Uma grande necessidade presente hoje em dia quando se fala de telefonia celular é a questão de reduzir-se o processamento das centrais celulares, cada vez mais sobrecarregadas com o abrupto aumento do uso de telefones celulares. Dados das duas operadoras celulares daqui do Distrito Federal mostram que, nos horários de pico de utilização do sistema esta taxa de processamento chega a 60%, o que já é considerado bastante alto. Somando-se a isto, tem-se o crescente aumento da interface dos meios de comunicação em massa com os telespectadores por meio da internet e de telefones fixos e celulares. Neste ponto poderia-se pensar como solução para esta necessidade a expansão das centrais celulares. Contudo, isto fica um pouco inviável quando observa-se o enorme custo que isto representa. Com isso, cresce constantemente a busca pela otimização do sistema, que se apresenta como uma maneira relativamente simples e eficaz na solução deste problema, e sem muitos custos para as operadoras. Dentro do conceito “otimização” existe a procura por meios de expandir a cobertura de estações rádio-bases, diminuição de interferência (que causam taxas de erro que são percebidos nos cortes de sinal nas ligações), otimização da taxa de handoffs, entre outros... Concentrou-se este trabalho neste último ponto, tentando apresentar uma maneira simples, barata, porém eficaz de reduzir o processamento da central otimizando a taxa de handoffs que cada uma de suas estações rádio-base realiza.

Hoje em dia a otimização de handoffs nas operadoras é feita baseando-se em medidas teóricas obtidas pelas ferramentas de predição de cobertura, que são em grande parte imprecisas, pois geralmente a situação da cobertura obtida com a instalação de uma ERB (Estação Rádio-Base) é bem diferente daquela prevista no projeto e em sua simulação. Pode-se constatar também que geralmente elas utilizam um valor já pré-estabelecido pela grande maioria de suas estações, e o alteram apenas em casos específicos. Isto se mostra, na prática, como uma maneira com pouca precisão de tratarmos uma questão tão importante para seu sistema.

Este trabalho visa ao tratamento estatístico de alguns dados obtidos por ferramentas de coleta de cobertura, geralmente realizados pelas operadoras de telefonia celular para a execução de “Drive Tests”, quando a cobertura real de uma dada ERB é comprovada na prática. Tomando-se os dados específicos de uma dada Estação Rádio-Base e analisando-se cada um de seus três setores separadamente, pode-se verificar a intensidade de sinal (Potência) em cada ponto medido, e com isso temos, para cada distância, o seu valor de potência recebida correspondente,

conforme verificaremos mais adiante. Em seguida, estes dados serão trabalhados usando-se algumas ferramentas matemáticas e estatísticas para chegar-se a algumas aplicações importantes acerca da tentativa de otimização de handoffs baseando-se em uma situação prática. No final deste trabalho, serão apresentados alguns resultados obtidos com este estudo, que poderão indicar uma alternativa para o tratamento deste problema.

2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Encontrar uma maneira alternativa de otimizar o processamento das centrais celulares, diminuindo-se a taxa de handoffs realizados, baseando-se em um tratamento estatístico tomando-se como base os resultados práticos de medição de cobertura de uma dada Estação Rádio-Base. Convém salientar neste ponto que estaremos realizando este estudo baseando-se em centrais de fabricação Nortel, visto que as duas operadoras de telefonia celular atualmente operando no Distrito Federal utilizam esta tecnologia. Entretanto, os resultados obtidos seriam similares a outras tecnologias, conforme veremos no decorrer da análise de resultados.

3 VISÃO GERAL SOBRE O SISTEMA CELULAR

(Ver Ref. 15.1)

O sistema celular foi projetado para conectar usuários de rádios ou telefone móvel entre si e à rede telefônica pública comutada (RTPN). Neste tópico apresentaremos alguns conceitos acerca de telefonia celular.

3.1 Os primeiros sistemas de telefonia móvel

O primeiro sistema comercial de telefonia móvel foi introduzido em 1946 na cidade de St. Louis (Missouri, EUA). A Europa, que ainda passava pelo processo de reconstrução em consequência da guerra, introduziu o sistema alguns anos mais tarde. Esses sistemas pioneiros usavam rádios FM e um único transmissor potente que cobria uma área de até cinquenta quilômetros de raio. As chamadas eram completadas manualmente por um operador para a rede de telefonia fixa.

Com o crescimento da demanda pelo serviço de telefonia móvel, os prestadores de serviço concluíram que as premissas básicas de engenharia usadas nas redes de linha fixa não se aplicavam perfeitamente aos sistemas móveis. Enquanto as chamadas telefônicas fixas duravam em média pelo menos 10 minutos, as chamadas móveis normalmente levavam 90 segundos. Os engenheiros que esperavam atribuir 50 ou mais telefones móveis ao mesmo canal de rádio, concluíram que ao adotar este procedimento, aumentavam a probabilidade de o usuário não conseguir obter o tom de discar (probabilidade de bloqueio de chamada), chegando a níveis inaceitáveis. Consequentemente, ocorrendo assim uma rápida queda na qualidade do serviço.

3.2 Reutilização de frequência

O grande aumento da demanda e a baixa qualidade do serviço oferecido fez com que os prestadores de serviço móvel pesquisassem métodos para melhorar a qualidade do serviço, e suportassem mais usuários nos sistemas.

A inovação decisiva adotada pela indústria para solucionar esse dilema foi o conceito da “reutilização de frequência”. Se apenas um pequeno número de frequências de canal de rádio estivesse disponível para os sistemas móveis, os engenheiros tinham de encontrar uma maneira de reutilizar esses canais, a fim de transportar mais de uma conversação de uma só vez. A

reutilização de frequência foi implementada através de uma reestruturação da arquitetura do sistema de telefonia móvel chamado de “conceito celular”.

3.3 O conceito celular

O serviço móvel tradicional foi estruturado de forma semelhante ao da transmissão de TV. Um transmissor muito potente, localizado no ponto mais alto da área tinha capacidade para transmitir num raio de até cinquenta quilômetros. O “conceito celular” estruturou de maneira bem diferente a rede de telefonia móvel. Em vez de usar apenas um transmissor potente, vários transmissores de baixa potência foram colocados por toda a área de cobertura. Por exemplo, dividindo a região metropolitana em cem áreas diferentes (células) com cada um dos transmissores de baixa potência usando doze canais, a capacidade do sistema pôde ser aumentada de doze canais (um transmissor potente) para mil e duzentos canais (cem transmissores de baixa potência). Isto representou um grande avanço para a telefonia móvel celular.

Os problemas de interferência resultantes da utilização do mesmo canal pelas unidades móveis em áreas adjacentes mostraram que todos os canais não podem ser reutilizados em todas as células. Conseqüentemente, algumas áreas tinham que ser puladas antes que o mesmo canal pudesse ser reutilizado. Apesar desse processo ter afetado a eficácia do conceito original, a reutilização de frequência ainda era uma solução viável para os problemas apresentados nos sistemas de telefonia móvel.

Os engenheiros logo descobriram que os efeitos da interferência não eram resultado da distância entre as áreas, mas da proporção da distância em relação ao raio (potência do transmissor). Essa descoberta provou ser de grande utilidade, pois uma redução em cinquenta por cento no raio de uma área resultava em quatro vezes o número de clientes em potencial. Os sistemas baseados em áreas com raio de um quilômetro podiam ter cem vezes mais canais que aqueles com raio de dez quilômetros. Suposições levaram logo à conclusão de que com a redução do raio das áreas para algumas centenas de metros, milhões de clientes poderiam ser atendidos.

Infelizmente, estudos sobre o custo econômico inviabilizaram o conceito de se criar sistemas completos com várias áreas menores. A fim de superar essa dificuldade, os operadores de sistema desenvolveram a idéia da “divisão de célula”.

Essa nova abordagem foi usada para reutilizar frequências dividindo uma área em várias outras menores, a medida em que essa área ia ficando saturada. Desse modo, os centros urbanos podiam ser divididos em tantas áreas quantas fossem necessárias para fornecer serviços com níveis aceitáveis em regiões de tráfego intenso, enquanto células maiores e de custos menores podiam ser usadas para cobrir regiões rurais remotas.

3.4 Handoff

O último obstáculo para o desenvolvimento da rede celular era o problema gerado quando um telefone móvel se deslocava de uma área para outra, durante uma chamada. Como áreas adjacentes não usam os mesmos canais de rádio, a chamada deve cair ou ser transferida de um canal de rádio para outro quando o telefone móvel atravessa a linha entre as áreas. Como a queda de chamada era inadmissível, foi criado o processo de handoff. No handoff a rede de telefonia móvel transfere automaticamente a chamada de um canal de rádio a outro, assim que um telefone atravessa células adjacentes. O handoff é transparente para o usuário. Iremos detalhar este tópico posteriormente, pois é parte fundamental deste trabalho.

3.5 Arquitetura do sistema celular

Na moderna telefonia celular as regiões rural e urbana são divididas em áreas de acordo com diretrizes específicas de dimensionamento. Os parâmetros de distribuição, como por exemplo a quantidade de divisão de células e tamanho das mesmas são determinados por engenheiros experientes em arquitetura do sistema celular. Os canais de rádio de cada região são reutilizados de acordo com um plano.

3.6 O que é uma célula?

O termo celular vem do nome dado às áreas resultantes da divisão de uma região de cobertura. Essas áreas são chamadas de células. As células são representadas na forma de um hexágono, o que é útil na modelagem da propagação. Na realidade, células possuem formas bem irregulares.

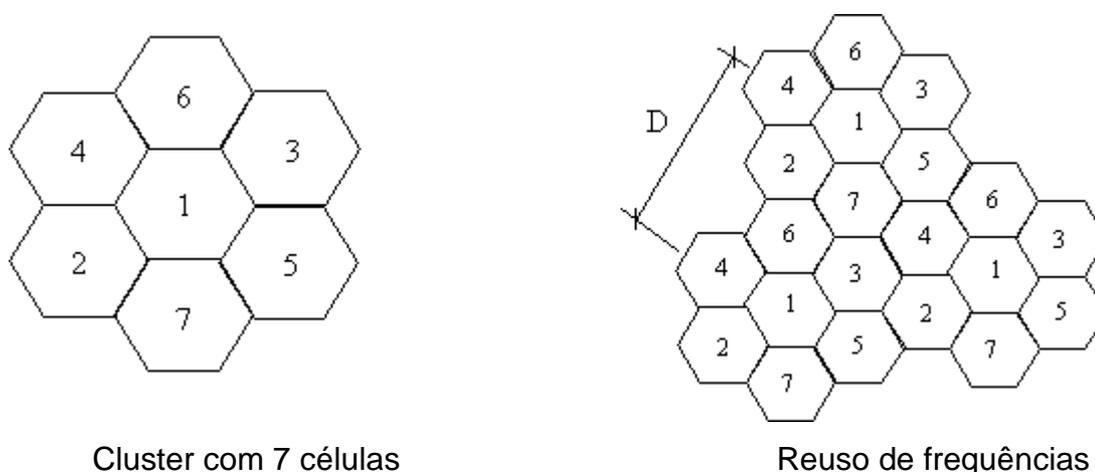
3.7 O que é um cluster?

Um cluster é um grupo de células. Nenhum canal é reutilizado dentro de um cluster. Normalmente, em um cluster temos 4, 7 ou 12 células. A figura 3.1 mostra um exemplo de cluster e um exemplo de reuso de frequências.

3.8 O que é Área Geográfica de Serviço Celular?

A área geográfica de serviço celular é a área onde o sistema celular deve fornecer um serviço confiável. A área geográfica de serviço celular (CGSA) é uma área geográfica específica, designada pelos contornos do serviço determinados pelo Licenciado e aprovado pela Federal Communication Commission (FCC) para serviço celular, que define em qualquer época, a área de serviço real.

Dentro da CGSA existe uma Área Estatística Metropolitana (MAS) e uma Área de Serviço Rural (RSA). A MAS é uma área designada, determinada de acordo com a densidade populacional em torno de uma ou mais populações de condados ou cidades. A RSA é uma CGSA pouco habitada.



Cluster com 7 células

Reuso de frequências

Figura 3.1 – Exemplo de cluster e reuso de frequências

3.9 Componentes do sistema celular

O sistema celular oferece às estações telefônicas móvel e portátil o mesmo serviço fornecido às estações fixas por linhas conectadas convencionais. O sistema celular tem capacidade de servir centenas de milhares de assinantes em uma grande área metropolitana. O sistema de comunicação celular consiste em quatro componentes principais que trabalham juntos para fornecer serviço móvel aos assinantes. São eles:

- Rede telefônica pública comutada (RTPC);
- Central (DMS-MTX);
- Estação Rádio-Base com sistema de antena;
- Unidade móvel de assinante;

3.10 Rede Telefônica Comutada (RTPC)

A Rede Telefônica Pública Comutada (RTPC) é formada por redes locais, redes de área da central e pelas redes de longo alcance que interconectam telefones e outros dispositivos de comunicação de forma mundial.

3.11 Central de Multiplexação Digital (DMS)

A Central de Multiplexação Digital (DMS) é o coração das redes de comunicação celular. Trata-se de um computador modular que usa pacotes de software projetados para endereçar aplicações específicas de telecomunicações. A DMS é composta de várias placas e módulos eletrônicos que estão alojados em bastidores do tipo gabinete.

A Central DMS-MTX é responsável por:

- Estabelecer a chamada;
- Desconectar a chamada;
- Funções de tarifação;
- Fazer interface;
- Monitoração;

3.11.1 Estabelecimento da chamada

O estabelecimento da chamada é o processo de estabelecer os circuitos necessários para conectar o terminal chamador e o terminal chamado.

3.11.2 Desconectar a chamada

Eliminação da chamada é o processo de liberação dos circuitos usados para conectar o terminal chamador ao terminal chamado.

3.11.3 Funções de tarifação

A DMS é responsável pela manutenção dos registros de todas as informações relativas às chamadas. Essas informações são usadas para gerar a tarifação do assinante.

3.11.4 Fazer interface

Outra função da DMS é fazer a interface entre os sistemas de telefonia fixa e outras redes móveis. Essa interface é possível utilizando-se um componente de hardware chamado tronco. Troncos são conexões que permitem que diferentes componentes de uma rede conversem entre si.

3.11.5 Monitoração

A DMS monitora o desempenho (através de OMs e Logs) e as falhas da estação radiobase. A DMS também avalia e monitora sua própria atividade.

3.12 Estação Radiobase

O termo *estação radiobase* é usado para descrever a localização física do equipamento de rádio que faz a cobertura dentro de uma célula. A relação de hardware instalados em uma estação radiobase inclui:

- Fontes de energia;
- Equipamento de interface (Equipamento comum);
- Transceptores de rádio frequência;
- Sistemas de antena;

3.12.1 Fontes de energia

As fontes de energia alimentam o equipamento da estação radiobase com a energia necessária para executar uma operação adequada. Por exemplo, estações radiobase urbanas usam energia elétrica CA com sistemas de bateria de reserva, enquanto algumas áreas rurais usam geradores em vez de sistemas de bateria de reserva.

3.12.2 Equipamento de interface (Bastidor de Equipamento Comum)

O equipamento de interface é responsável pela comunicação com os transmissores de rádio e por garantir uma interface de mensagens confiável entre o canal de rádio e a Central de Multiplexação Digital.

3.12.3 Bastidor de rádio

A seção de transmissão do transceptor prepara o sinal de informação de forma adequada para fazer a transmissão. O sinal recebido pelas antenas é decodificado pela seção de receptor, da forma mais significativa possível para que a informação possa ser imediatamente extraída.

3.12.4 Sistemas de antena

Os sistemas de antena são responsáveis pela transmissão/recepção dos sinais das ondas de rádio. O tipo de sistema de antena usado é fator determinante no tamanho e localização da área de cobertura.

4 DRIVE TESTING

(Ver Ref. 15.2)

Drive test inclui a medição do desempenho de uma única célula ou um conjunto de células para determinar as características operacionais pré-definidas do sistema. Há duas categorias principais que determinam as exigências e a metodologia presentes em um Drive testing:

- Avaliação de cobertura de uma nova ERB;
- Examinação da cobertura de um sistema existente;

Embora uma grande parte do processo de coleção de dados seja automatizada, há momentos em que certos eventos podem garantir atenção especial ou intervenção do operador de Drive test. É fortemente aconselhado que pelo menos duas pessoas administrem o Drive test, pois uma pessoa tem que dedicar total atenção na condução do veículo, pois o não cumprimento deste geralmente leva a alguns acidentes.

Um drive test se refere a um ato de campo que valida um sistema celular. Esta validação é essencial para verificação da operação de um sistema. Como tal, há muitos outros mecanismos adicionais que também podem prover uma boa operação de sistema global. Contudo, o drive test provê dados empíricos acerca da propagação do sinal e acerca dos eventos que processam a chamada de um sistema, além de ajudar na identificação de erros de hardware e de datafill.

Para maximizar a efetividade do Drive test, especifique o objetivo do mesmo. Podem ser aplicados em um Drive test os seguintes tipos de análise:

- Análise da propagação do sinal - Optimização do sistema (Melhor Servidor e relação C/I);
- Análise dos eventos de chamada - Optimização de parâmetros (Processamento de chamadas);
- Análise da qualidade da chamada - através de um avançado equipamento de testes;

Antes, para planejar um Drive test, as seguintes ações preliminares são recomendadas:

- Atualização do banco de dados – de forma estar com as tabelas relativas às frequências dos canais de controle e de adjacências sempre atualizadas;

➤ Manutenção de hardware - Uma reotimização anual do sistema, além de algumas inspeções são

fundamentais para assegurar a integridade da análise;

➤ Monitoração do sistema (OM e análise de logs) - Todo esforço na identificação de falhas do sistema podem ser considerados prioritários para a execução de um Drive test. Se fizermos um Drive testing em uma região em que haja falhas de sistema (queda de chamadas, interferência) podem invalidá-lo, e a consequência seria a repetição do mesmo no local.

O Drive testing é uma parte importante do teste de desempenho do sistema e provê uma análise muito poderosa das condições de qualidade de sua operação. Como vimos, há numerosas análises que podem ser executadas. Dependendo da informação desejada, pode-se inclusive analisar os dados em tempo real, trazendo-se resultados imediatos. O equipamento inclui inclusive uma exibição para análise de dados em tempo real. Geralmente incluem:

- Recebimento do nível de sinal do melhor servidor e de pelo menos dois de seus melhores servidores adjacentes. (Monitoração do canal de controle);
- O DCC de cada canal de controle;
- Estatísticas da chamada em progresso - Nível de sinal da célula servidora, Relação C/I do atual canal de voz, comparado com o seu co-canal mais próximo, BER...

Com posterior processamento dos resultados, pode-se tratar a informação de uma maneira mais útil, de forma estatística, ou em forma de gráficos. Esta seção trará mais detalhes sobre a execução e a análise de um drive test.

4.1 Exigências básicas e preparação

Para maximizar a eficiência do esforço de teste de passeio, devemos estabelecer as exigências básicas de preparação:

➤ Calibração do equipamento - faça a calibração do equipamento de Drive test, pelas instruções do fabricante. A calibração de RF não é uma tarefa longa e a ré-calibração assegurará uma boa coleção de dados. Os dados obtidos serão usados para formar uma decisão que poderá afetar a performance de uma rede existente ou, no caso de uma avaliação de um novo cell site, pode influenciar margem de erro perigosa, inclusive financeiramente;

- Defina o propósito do teste – se o drive test for para a análise de um novo cell site, identifique os objetivos chave deste dentro da rede atual. Planeje-o de modo que os dados obtidos sejam suficientes para determinar que estes objetivos sejam atingidos. Se o drive test envolver um site existente, defina claramente a anomalia do sistema (handoffs mal direcionados, excessiva relação C/I, etc...)
- Colete a documentação apropriada de suporte – que serve como referência para uso durante o drive test. Inclui topografia da região ou mapas de área, com escala não inferior do que 1:100.000, para uma clara representação do local onde os dados estão sendo coletados.
- Database do sistema – que consiste em todas as facilidades operacionais dentro do sistema. Esta database deve conter toda informação acerca do site em estudo, como localização, ERP, tipo de antena e azimute, etc...

4.2 Calibração e Setup do equipamento

A calibração do equipamento de RF é extremamente importante, e não necessita de equipamentos especializados. Entretanto, a não-calibração irá comprometer potencialmente a acurácia dos dados obtidos.

É recomendado que o equipamento de drive test contenha um receptor de GPS de modo a uma coleta mais completa dos dados. A perda do sinal do GPS pode resultar em perda de dados importantes.

É recomendado também que seja destinado um único veículo, e que este seja específico, para a realização dos Drive tests. Isto facilita a manutenção da calibração do equipamento, e a igualdade das condições na obtenção dos dados para diferentes análises.

Finalizando, durante a coleta de dados, é recomendável que o tamanho limite do tamanho dos arquivos do banco de dados não seja muito grande (mais ou menos 1 MB) e que sejam salvos com os nomes dos locais em que foram realizados os testes. Isto garante a fácil identificação dos arquivos, além de dificultar a perda acidental de alguns deles.

4.3 Drive test de um cell site existente

No caso de um cell site existente no sistema, a necessidade de seu drive test pode ser a análise da performance do sistema para futuras comparações. Por outro lado, pode haver uma

anomalia particular que foi gerada, de algum modo, e pode estar trazendo resultados negativos para a operação do sistema. Convém lembrar que a diferença máxima permitida entre os resultados obtidos com os softwares de simulação e com drive tests é de 8 dB. Acima disso, pode haver uma falha na configuração do equipamento ou em sua calibração, comprometendo a qualidade dos dados. Caso contrário, pode haver situações não previstas nas simulações que estejam ocorrendo. Neste caso o drive test serviria novamente para a localização de falhas do sistema.

Um drive test pode trazer excelentes resultados para a resolução de problemas, conforme foi dito anteriormente, pois pode indicar os locais específicos em que as falhas acontecem. Entre alguns destes resultados, pode-se citar:

- Otimização do sistema e do processamento de chamadas;
- Análise de problemas de cobertura e do modelo de propagação;
- Problemas de handoff – Determinação das fronteiras de handoff;

Uma análise do processamento de chamadas identifica se a chamada ocorre pela célula apropriada e também identifica o número de handoffs de uma determinada área. Em geral, um número excessivo de handoffs causam uma maior susceptibilidade do sistema com relação a queda de chamadas, ou seja, pode fazer com que a ERB em questão apresente um alto índice de queda de chamadas, influenciando na piora da performance do sistema como um todo.

Uma análise completa do sistema com relação a interferências por co-canais ou por canais adjacentes nos ajuda a identificar as áreas onde o reuso de frequências requer uma nova análise, percebida na má qualidade de voz na área da célula (interferência por co-canal). Os dados observados em tempo real podem ser expandidos para incluir a interferência por canal adjacente.

4.4 Coleta de dados

Para a realização de um drive test precisamos das frequências dos canais de controle e de informações das células e setores do sistema analisado. Estes dados são importados para o equipamento de Drive test para que possamos monitorar facilmente o progresso do teste. O plano

de frequências pode também ser útil para a análise de interferências co-canal e canal adjacente durante a análise da região.

Complementando, para uma boa análise do sistema, e para uma coleta de dados otimizada, o operador deve antes especificar a região em que será realizado o teste, delimitando-a perfeitamente, de preferência fazendo-se o contorno do local, e em seguida ir detalhando progressivamente. Além disso, deve-se estar sempre atento com a coleta de dados, se estes estão sendo coletados, para evitar que todo um trabalho seja perdido, e a repetição do teste no local seja necessária. Entre estes cuidados, citamos:

- Cuidado com a observação das leituras do GPS (se este está funcionando normalmente), e se, com o carro em movimento a posição está se alterando normalmente;
- Cuidado com o incremento do tamanho do arquivo (se este estiver coletando os dados corretamente, o arquivo deverá “aumentar” indefinidamente, até que o teste seja finalizado);
- Atentar se os níveis de sinal estão sendo lidos em tempo real, pois caso contrário o software não estará colhendo as informações necessárias para o posterior processamento dos resultados;

4.5 Processamento dos resultados

Uma função importante do equipamento de drive test é a habilidade em processar os dados coletados no drive test. Abaixo seguem algumas de suas principais características, que permitem uma melhor análise por parte da pessoa responsável pela análise do drive:

- Canal de controle servidor de cada local;
- Monitoração de chamadas, que incluem análises individuais, a saber:
 - Mostra da melhor estação servidora, mostrando SAT e VMAC;
 - Locais de handoff;
 - Intensidade de sinal do canal de voz servidor;
 - Relação C/I (comparando-se somente com a observação dos canais em serviço);
 - BER e alinhamento de slot;
- Banco de dados dos eventos monitorados para inclusão em outro software, para eventual análise;

- Exportação da rotina de intensidades de sinal gravados para análise dos softwares de propagação;
- Display totalmente configurável para melhor representação dos eventos, como diferenciação das intensidades de sinal coletados por meio de colorações diferentes;

Logicamente, todas estas ferramentas devem ser combinadas de modo a proporcionar ao engenheiro responsável uma boa análise de todos os dados coletados. Ao engenheiro, cabe a habilidade de extrair ao máximo as informações obtidas, pois são muito úteis em vários tipos de estudo, conforme foi dito anteriormente. Neste trabalho inclusive, os resultados de drive test foram utilizados e necessário para todas as análises que foram feitas, conforme veremos adiante.

5 MÓDULOS PERIFÉRICOS DO SISTEMA

(Ver Ref. 15.1 e 15.6)

Estaremos abordando neste tópico alguns conceitos básicos sobre alguns módulos que compõem um sistema celular (logicamente pensando num sistema Nortel, conforme dito anteriormente). Isto será feito devido ao fato de que precisaremos de algumas informações contidas neste capítulo para a posterior análise e discussão dos resultados obtidos com este projeto.

Os módulos periféricos (PMs) do sistema celular são unidades montadas em sub-bastidor ou bastidor que fornecem interface entre a matriz de comutação digital do sistema e as facilidades de transmissão digitais ou analógicas, circuitos de serviço ou PMs subsidiários. O subsistema de PM adapta as características destas diversas fontes ao formato de multiplexação por divisão de tempo, 2.56 Mbps e 32 canais usado no sistema celular. O subsistema de PM também serve como interface entre o sistema e os canais de rádio frequência (RF).

Cada PM tem um Processador Periférico (PP) que executa as ações de processamento local e controla o fluxo de mensagens entre si e o componente de controle. Esta ação autônoma do PP alivia o componente de controle das tarefas de processamento local de rotina, permitindo que o PP se concentre em atividades de nível mais alto.

5.1 Interface do PM

Os PMs fazem interface com a matriz por meio de vias de voz duplicadas. Uma via de voz duplicada é fornecida para uma chamada a partir do PM de originação até o PM de terminação através da matriz. A via de voz reserva espaço da interface para o envio de informações e mensagens de controle entre o componente de controle e o PM.

O sistema sem fio proporciona um formato de 32 canais para a comunicação com os PMs. Dos 32 canais, 30 são usados como vias de voz entre o PM e a matriz. Um dos dois canais restantes (o outro não é usado) fornece vias para um sistema interno de mensagens. Este sistema facilita as interfaces de controle e comunicação entre o PM e a matriz de comutação.

Cada conexão de 32 canais entre um PM e a matriz consiste em vias separadas de transmissão e de recepção. Um enlace de voz é um conjunto de vias de transmissão e de recepção de 32 canais a 4-fios. Este formato de transmissão é chamado de DS30. Os enlaces de

voz são duplicados e contêm um número igual de enlaces entre um PM e cada plano (0 e 1) da matriz.

5.2 Tipos de módulos periféricos

O número e o tipo de PMs em uma central particular são determinados pelo uso planejado no sistema. O sistema usa os seguintes PMs:

- Controlador de Tronco Digital;
- Periférico Celular Inteligente;
- Módulo de Processamento Sinal Digital;
- Módulo Remoto Celular Integrado;
- Módulo de Tronco Compactado;
- Módulo de Tronco de Serviço;

Não é objeto de interesse deste projeto o conhecimento aprofundado de todos estes itens, mas sim de apenas um, o Periférico Celular Inteligente (ICP), pois tem papel fundamental na análise dos resultados obtidos neste trabalho. Por isso, iremos detalhar apenas este item.

5.3 Periférico Celular Inteligente (ICP)

O Periférico Celular Inteligente (ICP) é um controlador de estação radiobase baseado no Controlador de Tronco Digital RDSI (DTCI). O DTCI suporta a Matriz Digital de Serviço Integrado (RDSI).

Um dos objetivos principais do ICP é proporcionar uma transição suave de sistemas celulares analógicos para digitais. O ICP também fornece uma maior capacidade de processamento de chamadas celulares, reduz os custos do equipamento celular e oferece uma interface padrão e um protocolo de mensagens para acomodar os diversos equipamentos de RF da Nortel localizados nas estações radiobase existentes.

O projeto, a potência e a funcionalidade do ICP eliminam a necessidade de um Controlador de Tronco Digital (DTC) e de um Controlador de Estação Radiobase (CSC) em sistemas analógicos. Pelo fato do ICP usar o Acesso de Taxa Primária (PRA), elimina-se a necessidade do uso do Controlador de Entrada e Saída (IOC) com o objetivo de fornecer enlaces de dados de

reserva e ativos para a estação radiobase. A localização do ICP na estação de comutação permite a transferência das funções de processamento de chamadas e de manutenção da central para o ICP.

O ICP combina as funções de entroncamento do DTC e as funções de controle celular do CSC em um módulo periférico. Ele suporta os troncos de sinalização de bits A e B, troncos de voz, e canais D para as estações radiobase.

O ICP é conectado aos equipamentos da estação radiobase por meio de enlaces DS1 em um feixe T1.

O sistema suporta chamadas baseadas em ICP e em CSC. O número máximo de células CSC permanece em 128. O número total de células ICP mais as células CSC suportadas em um sistema é de 512.

ICPO+

O Periférico Celular Inteligente Internacional Avançado (ICPO+) é a versão internacional do ICP da Nortel que suporta o PCM30. O ICPO+ dimensionado com o pacote de recursos de software NTXG85AB, o MTX International Basic, fornece todos os avanços necessários para suportar portadoras do lado do periférico (lado p) PCM30 de um Periférico Celular Inteligente (ICP).

5.4 Capacidade de um ICP

Conforme vimos anteriormente, o Periférico Celular Inteligente (ICP) é um membro do grupo de módulos periféricos do sistema, e que provê um aumento da capacidade de processamento de chamadas. Os seguintes elementos impactam a capacidade de um ICP:

- Configuração da célula (Omni ou setorizada);
- Tentativa de chamada em hora de alta ocupação do sistema;
- Parâmetros de mobilidade do sistema:
 - Taxa de handover entre setores de uma mesma célula;
 - Taxa de handoffs solicitados e realmente efetivados;

- Taxa de registros em unidades móveis (entre duas VMLAs diferentes ou somente registro periódico, feito em um determinado período de tempo;
- Número de pagings realizados;
- Taxa de pedidos de localização (locate requests) e de resposta (locate response);

Neste trabalho, serão estudados alguns conceitos acerca de otimização de handoffs de um sistema. Esperamos que, no final dos resultados, possamos diminuir a taxa de handoffs solicitados e realizados em um sistema, e com isso diminuir o processamento dos ICPs. Ou pelo menos indicar um caminho fundamentado na análise de uma estação do sistema, para ser repetido posteriormente em todas as outras ERBs do sistema.

Maiores considerações sobre o processamento de um ICP serão apresentados na análise dos resultados obtidos.

6 CONSIDERAÇÕES SOBRE PERFORMANCE DE UM SISTEMA CELULAR

(Ver Ref. 15.3, Ref. 15.5 e Ref. 15.6)

Existem 3 áreas que devem ser consideradas na otimização de um sistema:

➤ Engenharia de capacidade:

Engenharia de capacidade se refere ao controle de toda atividade de mensagens existente através de todo o sistema, basicamente registros de móveis e paging. Inclui módulos da Central de operação do sistema (CCC da operadora).

➤ Engenharia de tráfego:

Engenharia de tráfego se relaciona com o controle de todo o tráfego cursado pelos canais e troncos para suportar a atividade de chamadas.

➤ Engenharia de performance de chamadas:

Engenharia de performance de chamadas se refere à otimização da performance de chamadas no acesso ao sistema, duração de chamadas e mobilidade (handoff). Um engenheiro de performance de chamadas deve estabelecer e manter o sistema e ainda analisar seu funcionamento diariamente para evitar possíveis distúrbios de performance.

É importante dizer que as três áreas acima estão intimamente relacionadas. Pegando-se o exemplo de uma engenharia de tráfego mal feita, o sistema poderá apresentar bloqueio em alguns setores, e com isso afetar a performance de chamadas. Da mesma forma com a engenharia de capacidade, pois, conforme veremos mais adiante, se fizermos algumas escolhas erradas, podemos estar aumentando demasiadamente o processamento na central da operadora, e com isso danificando novamente a performance de chamadas.

6.1 Performance de chamadas

O acompanhamento da performance de chamadas de um sistema celular é um dos principais aspectos a serem analisados, pois são relacionados diretamente com a satisfação do cliente. Se este item não estiver apresentando resultados satisfatórios, a operadora terá sérios problemas com seus clientes e a Anatel (que fiscaliza os sistemas operacionais, principalmente neste item). Se o cliente não estiver satisfeito, acaba trocando de operadora, o que neste mercado extremamente competitivo não é muito vantajoso.

Um engenheiro de performance de chamadas está sempre analisando os seguintes itens:

➤ Índice de queda de chamadas:

Se refere à porcentagem de queda de chamadas que ocorreram em cada setor da ERB, numa certa data. Neste item são consideradas apenas as quedas de chamadas que não foram causadas no handoff entre duas células vizinhas, ou seja, dentro de uma mesma ERB. Suas possíveis causas se referem à uma falha de processamento da estação ou então da CCC ou então a uma possível interferência de uma estação vizinha. Entretanto, se durante uma conversação, por exemplo, a bateria do celular acaba, é considerado uma queda de chamada, e isto não tem como ser corrigido.

➤ Índice de queda de chamadas por handoff:

Se refere à porcentagem de queda de chamadas que ocorreram no processo de handoff entre duas células vizinhas. Geralmente ocorre com mais frequência que o item anterior, e pode ser causado por uma falha de processamento da ERB ou da CCC ou então por uma falha no preenchimento do DATAFILL da estação (Base de dados da ERB, onde em um dos itens consta uma tabela com os pares de handoff, ou seja, as ERBs em que ela pode fazer handoff. Se um destes pares estiver faltando, pode ocorrer um alto índice de queda de chamadas no setor). Convém ressaltar que as ERBs de “borda”, que se situam nos pontos mais distantes de todo o raio de cobertura da operadora, possuem um índice muito maior que as outras, pelo fato de não terem estações que possam sustentar a chamada do cliente.

➤ Índice total de queda de chamadas:

Se refere ao índice total de queda de chamadas da estação. É dado por uma combinação entre os dois itens anteriores.

➤ Índice de queda de chamadas do sistema:

É um índice que indica a performance de queda de chamadas de todo o sistema em um determinado dia. A ANATEL estabelece que este valor deve estar sempre menor que 2%. Este é um dos parâmetros mais importantes a serem analisados, e os engenheiros de performance estão sempre preocupados com isso. Se o índice estiver muito elevado, convém melhorar a cobertura do sistema (ampliação da cobertura), além da interferência entre as células do sistema. Assim, evita as quedas de chamadas por handoff, que é o principal fator deteriorante deste item.

➤ Índice de completamento de chamadas:

Este é outro item muito importante a ser considerado na performance do sistema. De todas as chamadas originadas em um móvel, pelo menos 98% delas devem ser completadas. Neste item considera-se que uma chamada não atendida foi originada normalmente. O problema quando a chamada não se completa está no seu endereçamento para a CCC (Central de comutação e controle), que às vezes, por um problema qualquer não consegue “encontrar” o outro usuário. Também ocorre com frequência quando as chamadas são feitas entre operadoras diferentes, pois aumenta a probabilidade de falhas. Outro parâmetro que afeta este índice é o bloqueio, que será visto mais adiante.

➤ Índice de terminação de chamadas:

Em alguns casos, as chamadas originadas em uma dada estação conseguem ser completadas com uma alta eficiência, mas não conseguem ser “terminadas”. Ou seja, por alguma falha de processamento ou endereçamento, um cliente nesta estação consegue originar chamadas normalmente, mas não consegue recebe-las. Este problema pode ser causado novamente por uma falha em um dos módulos de processamento da CCC da operadora.

➤ Índice de bloqueio de chamadas:

Este item está relacionado ao fato de, quando não houverem “canais” disponíveis para a originação de uma chamada dentro de uma estação, a chamada não poder ser completada. A ANATEL estabelece que este índice não deve ser superior a 2%. Quando isto ocorre, a solução é a adição de mais rádios na estação, afim de disponibilizar um maior número de canais para as conversações.

A seguir são apresentados, em forma de gráficos (figuras 6.1, 6.2 e 6.3), algumas análises para uma estação virtual em um dado intervalo de tempo (9 dias), de modo a enriquecer um pouco o que foi dito:

100X

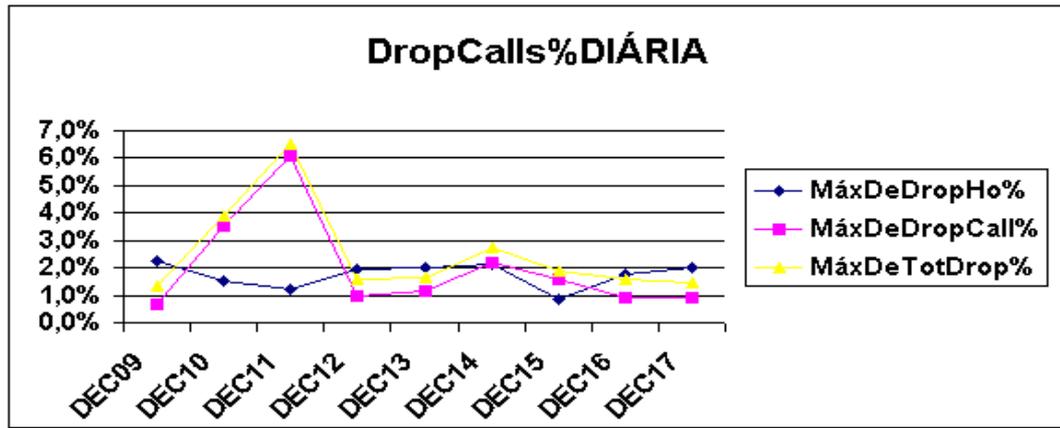


Figura 6.1 - Queda de chamadas de uma estação de borda do sistema

17Y

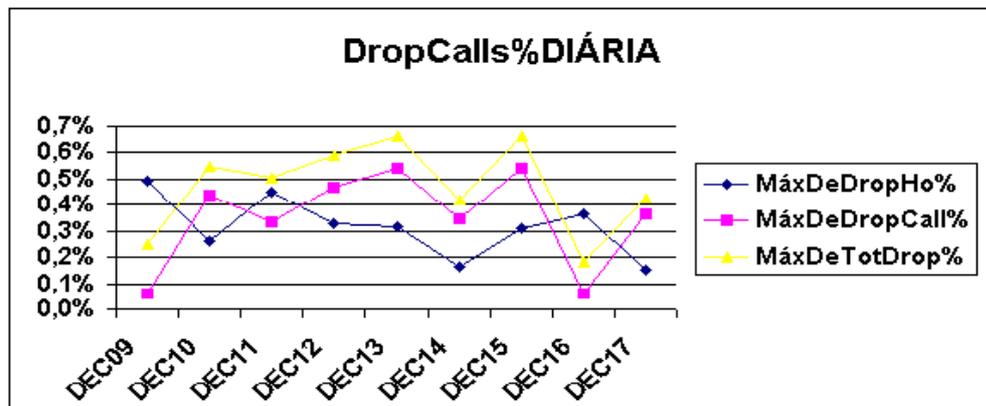


Figura 6.2 - Queda de chamadas de uma estação localizada no centro da área de cobertura da operadora

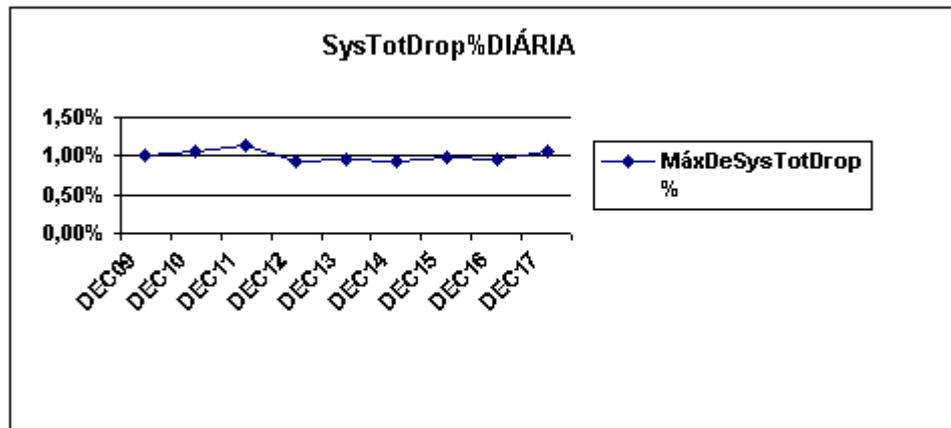


Figura 6.3 - Queda de chamadas de todo o sistema

26X

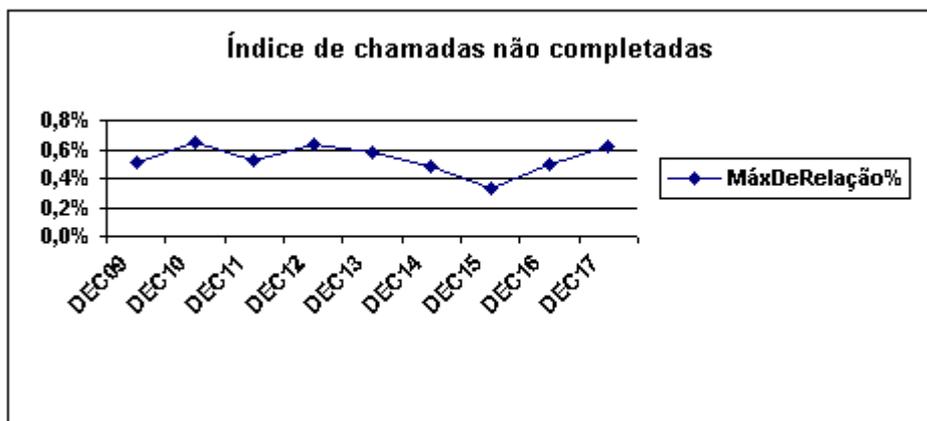


Figura 6.4 - Índice de chamadas não completadas de uma dada estação

Pelos gráficos apresentados acima pode-se perceber alguns aspectos interessantes. O primeiro deles é que uma estação de borda do sistema realmente possui um alto índice de queda de chamadas por handoff, o que não ocorre com uma ERB que se localiza no centro da área de cobertura. Outro aspecto interessante é que o comportamento do sistema varia de forma probabilística, ou seja, pode, em condições normais, ser previsto por um bom engenheiro, pois dificilmente será muito diferente de outros dias analisados. Convém ressaltar também que os dias 09, 10, 16 e 17 correspondem a finais de semana, e por isso apresentam dados diferentes dos outros dias. Isto ocorre pelo fato do volume de chamadas ser bem menor nestes dias, e com isso a porcentagem de queda de chamadas é influenciada. Contudo, o comportamento da distribuição de chamadas nos finais de semana apresentam mais ou menos a mesma performance dos outros finais de semana. Tudo isto se deve ao caráter cíclico de todo sistema celular majoritário. Em sistemas complexos isto será observado, excetuando-se nas ocasiões em que tivermos problemas de funcionamento num certo dia.

Historicamente, o dia de maior tráfego ocorre nas quintas-feiras, e por este motivo este é o dia da semana em que a ANATEL colhe os registros de performance de todos os sistemas celulares operacionais no país.

Convém acrescentar que, para o caso das duas operadoras celulares de Brasília, todos os dados referentes à performance do sistema são capturados diariamente em forma de OMs (Operational Measurement), no caso de centrais "Nortel". Assim, estes dados são trabalhados em

um banco de dados qualquer, e separados em forma de tabelas, que podem ser utilizadas para o cálculo de todos os parâmetros de performance, tanto de chamadas, como de tráfego e paging.

6.2 Engenharia de tráfego

Este é outro aspecto muito importante a ser considerado na análise da performance de sistemas celulares. Baseado nas técnicas de tráfego, pode-se obter o número de canais que uma estação precisa apresentar para poder suprir a demanda de conversação de uma dada região. Quando a estação está implementada, muitas vezes percebe-se que o tráfego previsto não corresponde ao tráfego cursado. Recomenda-se que este valor esteja no máximo em 80% da capacidade total de utilização dos troncos da estação, quando é feita a análise de hora em hora. Se estiver acima deste valor, poderemos estar enfrentando uma situação de bloqueio, pois a precisão da análise é para intervalos de 60 minutos, e pode-se estar tendo um pico em, por exemplo, apenas 10 minutos dentro desta hora analisada. Assim, quando isto ocorre, a solução está na adição de novos canais à estação, sempre tendo-se cuidado com o aumento da interferência entre as células do sistema. Quando o contrário ocorre, ou seja, a tráfego de um setor é muito abaixo da sua capacidade, convém retirar alguns de seus canais de funcionamento, afim de otimizar a performance do sistema.

Outro aspecto importante a ser analisado em Engenharia de tráfego se refere aos “Killer trunks”, que, como o próprio nome diz (traduzindo-se, “troncos assassinos”) são caracterizados por troncos de uma dada estação em que o tráfego cursado é muito abaixo do oferecido, mas esta situação não ocorre com os outros troncos dentro do mesmo setor. Quando isto acontece, é bem provável que este esteja com problemas de funcionamento. A solução neste caso seria “resetá-lo”, ou seja, tirá-lo de funcionamento, carrega-lo novamente, e coloca-lo novamente em funcionamento. Geralmente desta maneira solucionamos o problema. Caso contrário, devemos fazer uma análise completa do rádio da estação a qual este tronco pertence, e, em último caso devemos providenciar a sua troca por um outro rádio. Um bom engenheiro de tráfego está sempre observando o comportamento do tráfego em todo o sistema, de modo a otimizá-lo, evitando problemas futuros de funcionamento e ainda assim melhorando sua performance.

6.3 Engenharia de capacidade

Este item se refere, como foi apresentado anteriormente, a todo o serviço de mensagens entre um móvel sua estação e sua CCC. Não se refere ao serviço de mensagens de texto entre

celulares, mas sim a todas as mensagens de paging, ou registros dos móveis. Por exemplo, se uma chamada for originada para algum móvel de uma dada operadora, a sua CCC “procura” seu último registro de paging realizado, e então determina a região da sua cobertura em que o cliente se encontra, para então direcionar a sua chamada. Se refere ainda a todos os testes realizados na estação de medição do sinal do aparelho do cliente, e se este estiver abaixo do limiar de handoff, prover esta mudança para outra estação. Tudo isto é feito pelo “locate” da estação rádio-base, e todo este tráfego de mensagens entre estação e sua central é um item de tráfego de paging.

Contudo, o mais importante a ser considerado por um engenheiro de capacidade é a escolha correta dos VMLAs (Virtual Mobile Local Áreas) de toda a região de cobertura da operadora, de modo a reduzir a taxa de processamento da central, afim de prover uma maior qualidade do serviço celular. Isto será visto de forma mais aprofundada a seguir:

6.4 Virtual Mobile Local Areas (VMLAs)

As VMLAs de um dado sistema celular operacional são construções lógicas usadas para minimizar o tráfego de paging pelo rastreamento da localização de um móvel via um conjunto de áreas de registros. Uma VMLA é construída a partir de um número de partições, onde cada uma possui um identificador chamado número de registro (RNUM). Partições que apresentam um mesmo RNUM, se encontram em uma mesma VMLA, mas o contrário não pode ser sempre verificado, visto o fato que dentro de uma VMLA se encontram várias partições.

É importante dizer neste momento que um bom engenheiro de paging (ou de capacidade) faz a correta divisão de todo o sistema em unidades de VMLAs. Se este trabalho é bem feito, reduz-se drasticamente a atividade de processamento de uma central. Esta escolha considera dois parâmetros básicos:

- Número de células/partições que compõem o VMLA:

O número de partições que compõem um VMLA depende muito do tráfego em suas partições, pois determina toda a informação de paging nos canais de controle das estações que compõem este VMLA. Geralmente não se escolhe uma região para um mesmo VMLA que englobe células com alta capacidade de tráfego de voz, pois neste caso o tráfego de paging dentro desta VMLA será também muito intenso, e prejudicará a performance do sistema.

➤ O Layout físico do VMLA:

Não há restrições para a geometria da região do VMLA. Entretanto, devem ser modelados para refletir áreas de modelos de mobilidade locais, e suas bordas devem sempre ser localizadas em áreas de baixa mobilidade. Ou seja, o tráfego de paging entre as estações e a central em forma de registros de móveis ocorrem sempre quando este se locomove para outra região com VMLA diferente. Neste momento, um novo registro é feito na CCC. Assim, se a borda do VMLA estiver localizada em um local de intenso tráfego de paging, com várias movimentações de móveis transitando de uma região para outra, serão feitos vários registros, e então haverá muita atividade de processamento na central. Assim, nos centros dos VMLAs escolhe-se sempre as regiões de maior mobilidade, enquanto que nas bordas se localizam as regiões com menor mobilidade.

O tamanho de um VMLA deve refletir a atividade dentro do sistema. Depende do montante de tráfego de mensagens de paging que são geradas dentro de suas partições. Uma tentativa de terminação de chamada de um móvel gerará uma (ou mais de uma, em caso de “page retry”) mensagens de paging. Assim, o número total de mensagens de paging em um VMLA será o total do número de tentativas de terminação de chamadas para todas as suas partições mais uma pequena parte baseada na taxa de “page retry”, que porventura tenha ocorrido. Este total de mensagens de paging deverá ser menor que a capacidade limite suportada pelo VMLA.

➤ Cálculo da performance de paging:

As equações apresentadas a seguir se referem ao cálculo de performance dos serviços de paging. Podem ser usadas para identificar sua performance em três níveis diferentes de redes: Setor, VMLA e central. Para identificar performance de paging de VMLA ou de central, é necessário somar as OMs (Operational Measurements) para as partições desejadas.

➤ Taxa total de sucesso de paging:

Este parâmetro indica a taxa de sucesso dos paging iniciais e retraídos, coletivamente. Se este valor é baixo, então são necessárias modificações na rede para aumentar sua capacidade de paging. É dada por:

Total de pagings respondidos

Total de tentativas de pagings

- Taxa de sucesso de paging inicial:

Um paging é dito inicial quando obtêm-se êxito na primeira tentativa de comunicação entre a estação e a central. Este percentual deve ser maior que o percentual da taxa de sucesso de paging, pois os “page retry” não entram no seu cálculo. É dada por:

$$\frac{\text{Total de pagings respondidos} - \text{total de pagings respondidos por "page retry"}}{\text{Total de tentativas de pagings}}$$

- Taxa total de sucesso de “page retry”:

Esta taxa especifica a percentagem de “page retries” que receberam uma resposta. Um paging é dito “page retry” após a primeira tentativa de paging ter falhado. Um baixo percentual desta taxa e uma alta taxa de sucesso de paging inicial pode indicar que o plano de VMLAs está otimizado. Esta taxa é dada por:

$$\frac{\text{Total de pagings recebidos por "page retry"}}{\text{Total de tentativas de "page retry"}}$$

- Análise da performance de registros:

O principal objetivo do planejamento de um VMLA é distribuir a ocupação da informação que eventualmente trafega em um dado canal de controle. Isto requer que o tráfego de paging e registros seja considerado coletivamente quando tentamos determinar quais partições serão locadas em cada VMLA. O tráfego de registros pode ser medido com os registros de OMs. Para partições localizadas em bordas de uma VMLA, áreas de registros devem ocupar uma alta porcentagem do tráfego de registros. Para partições próximas ao centro da VMLA, este tráfego deve ser eventualmente distribuído através dos diferentes tipos de registros.

A seguir serão apresentadas algumas fórmulas que juntas permitem a análise completa da performance de registros de um dado sistema celular:

- Porcentagem de tentativas de registros em uma VMLA:

Total de pedidos de registros aceitos

Total de tentativas de registros

- Porcentagem de tentativas de registros de “power-up”:

Geralmente se refere a um paging em que o móvel solicita um aumento de potência transmitida do rádio da ERB para o seu celular.

Total de pedidos de registros de “power-up” aceitos

Total de tentativas de registros

- Porcentagem de tentativas de registros de “power-down”:

Geralmente se refere a um paging em que o móvel solicita um decréscimo de potência transmitida do rádio da ERB para o seu celular.

Total de pedidos de registros de “power-down” aceitos

Total de tentativas de registros

7 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE HANDOFFS

(Ver Ref. 15.4 e Ref. 15.5)

O *handoff* permite ao móvel que está em conversação deslocar-se dentro de uma área de serviço celular. Se a intensidade do sinal do móvel cair abaixo de um limiar pré-programado será solicitado um *handoff*, que poderá ser feito para um canal de voz na mesma célula ou em uma adjacente, inclusive pertencente a um sistema vizinho. Em qualquer dos casos, o processo é basicamente o mesmo. A seguir, apresentamos a sequência de *handoff* de uma chamada.

7.1 RSSI e Controle Dinâmico de Potência

Quando o móvel está em conversação, o rádio do canal de voz localizado na ERB monitora o Indicador de Intensidade de Sinal Recebido – RSSI (*Received Signal Strength Indicator*). À medida em que o móvel se afasta da antena o RSSI diminui. Inversamente, à medida em que o móvel fica mais próximo da ERB o RSSI aumenta. O RSSI medido dispara alterações na potência de transmissão do móvel. Os móveis têm capacidade de transmitir em oito níveis de potência, denominados 0 a 7, com uma diferença de 4 dBW entre os níveis a partir de uma potência nominal de saída de 3 watts a 1mW. Estes níveis de saída de baixa potência consideram uma tolerância para o edifício das microcélulas, e isto pode aumentar a capacidade do assinante.

À medida em que o móvel se afasta da ERB servidora, e seu RSSI diminui, essa redução é detectada, o rádio da ERB envia uma mensagem através do FVC (Canal de Voz Analógico (ou Digital) Direto, usado no sentido de uma ERB para uma estação móvel), informando o móvel que ele deve aumentar sua potência de transmissão. Isto aumenta o RSSI do móvel. À medida em que o móvel fica mais próximo da ERB, uma mensagem no FVC diminui a potência de transmissão do móvel. Esta forma de controle de potência do móvel, denominada Controle Dinâmico de Potência – DPC (*Dynamic Power Control*), pode ajudar a reduzir os problemas de interferência.

O RSSI também é usado para disparar o processo de *handoff*.

7.2 Processo de *handoff*

Quando o móvel está em conversação afastando-se de sua ERB servidora, o RSSI em relação à mesma diminui. A ERB então envia uma mensagem ao móvel para que este aumente sua potência de saída para compensar essa redução. Por fim, o móvel alcança a potência máxima e o RSSI continua a cair, sem ser possível aumentá-lo mais. Quando o RSSI cair abaixo

de um nível pré-ajustado, denominado Limiar Inferior de *Handoff* – **HOTL** (*Handoff Threshold Low*), o rádio que suporta a chamada em andamento na ERB servidora requisita da central celular que seja feito *handoff*. Este é o tipo de *handoff* mais comum em um sistema celular, e é comumente chamado de **handoff assistido pela MAHO**, cujas características serão estudadas adiante. A figura 7.1 ilustra a queda do RSSI de uma célula, com seu respectivo HOTL.

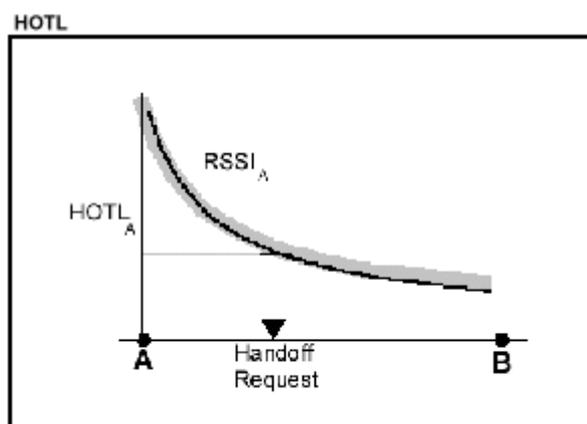


Figura 7.1 – Pedido de handoff pelo fato do RSSI estar abaixo do HOTL da célula

As figuras 7.2 a 7.6 denotam a seqüência de processos que ocorrem em um handoff.

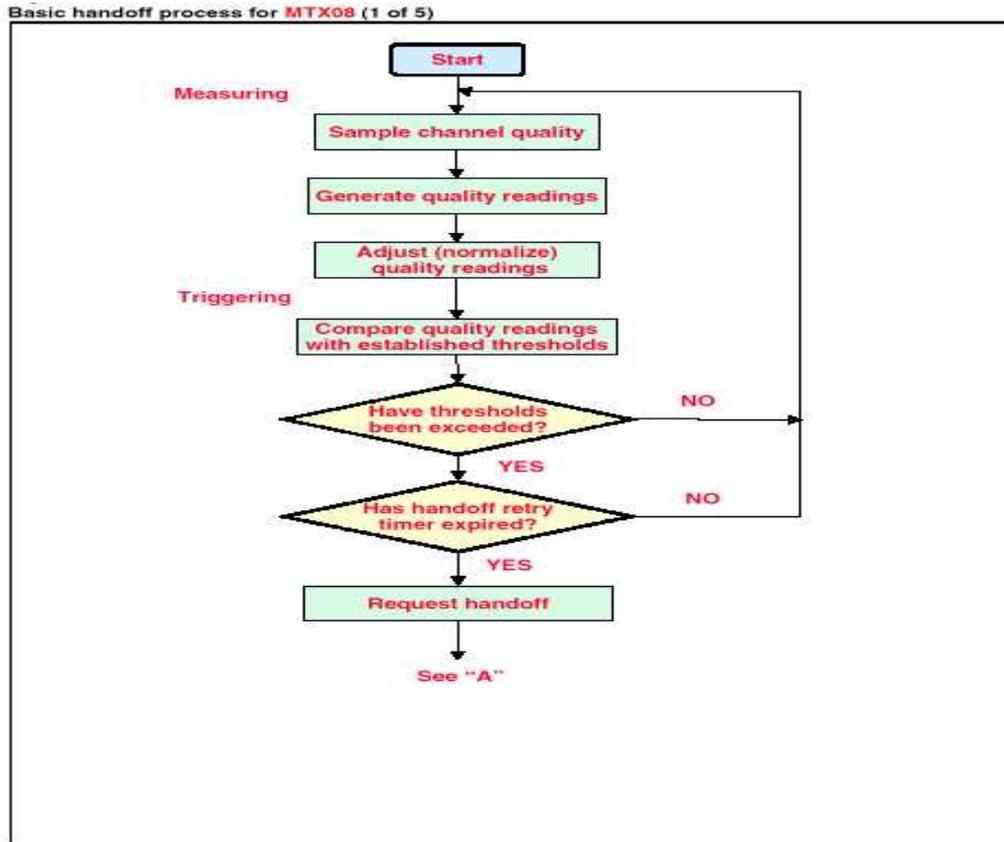


Figura 7.2 – Processo básico de handoff (1 de 5)

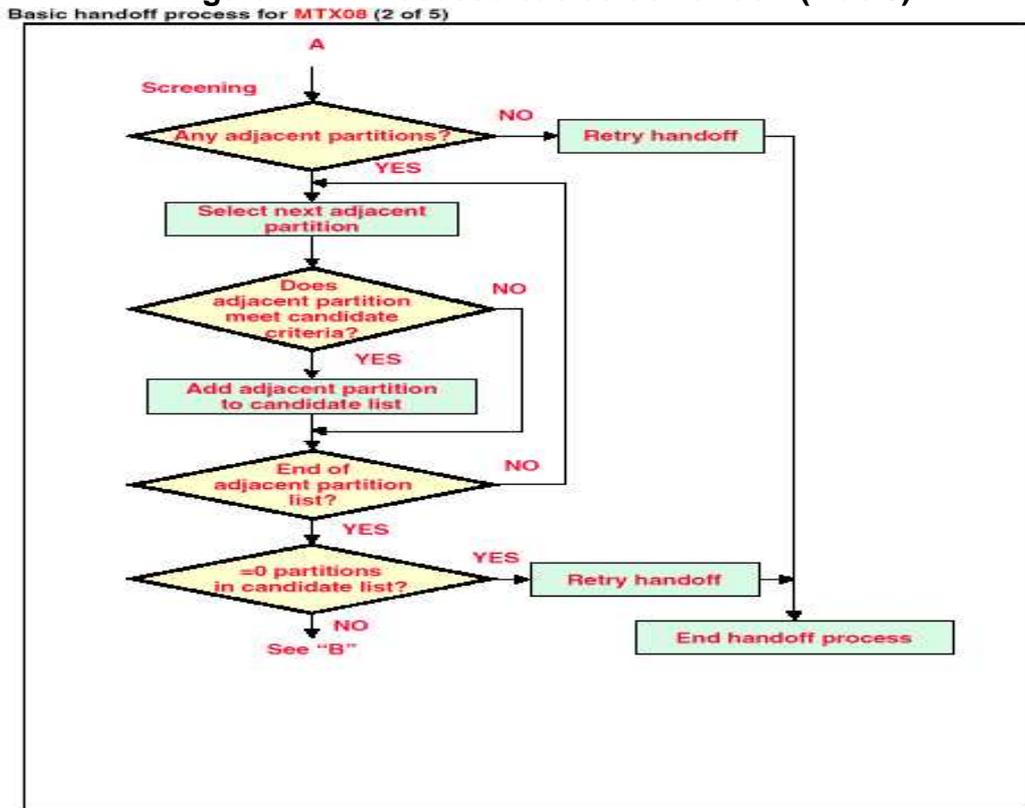


Figura 7.3 – Processo básico de handoff (2 de 5)

Basic handoff process for MTX08 (3 of 5)

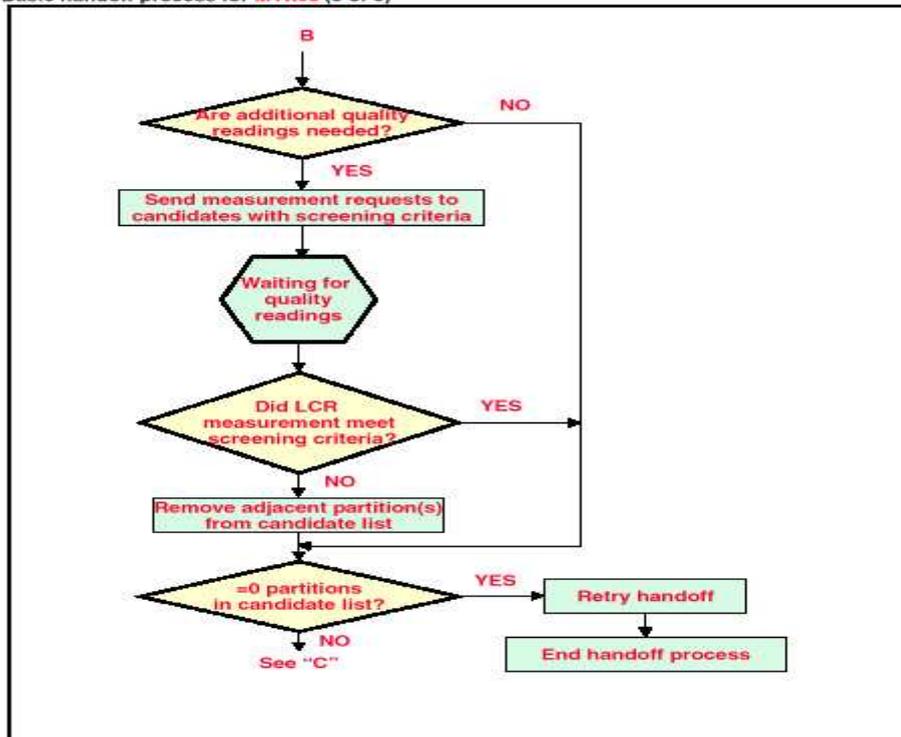


Figura 7.4 – Processo básico de handoff (3 de 5)

Basic handoff process for MTX08 (4 of 5)

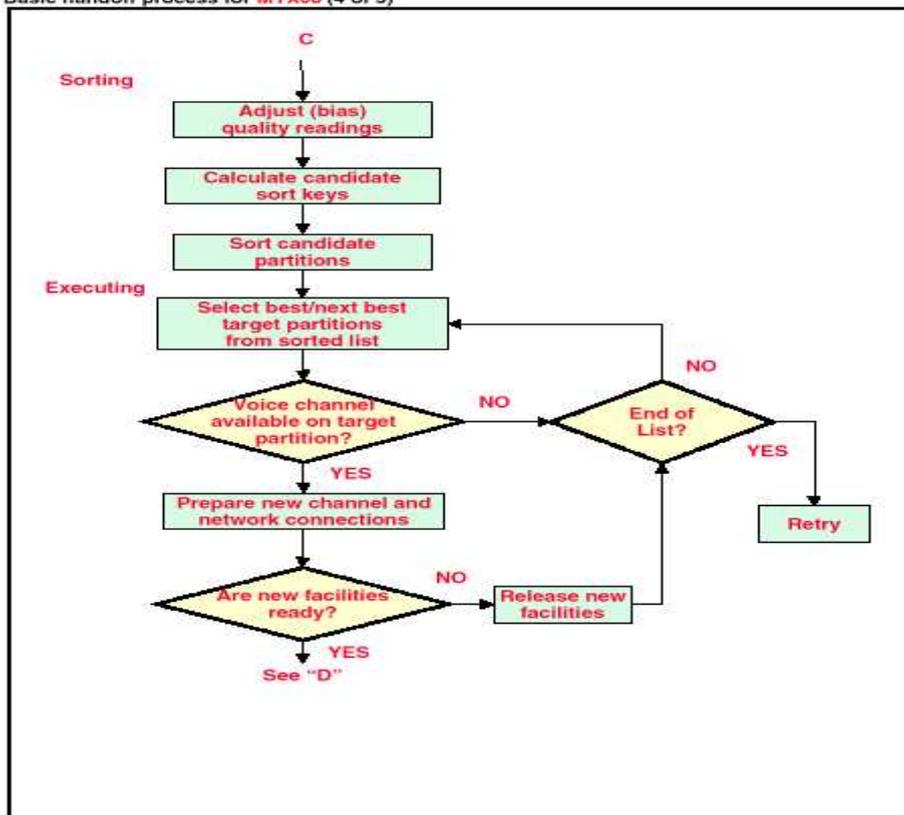


Figura 7.5 – Processo básico de handoff (4 de 5)

Basic handoff process for MTX08 (5 of 5)

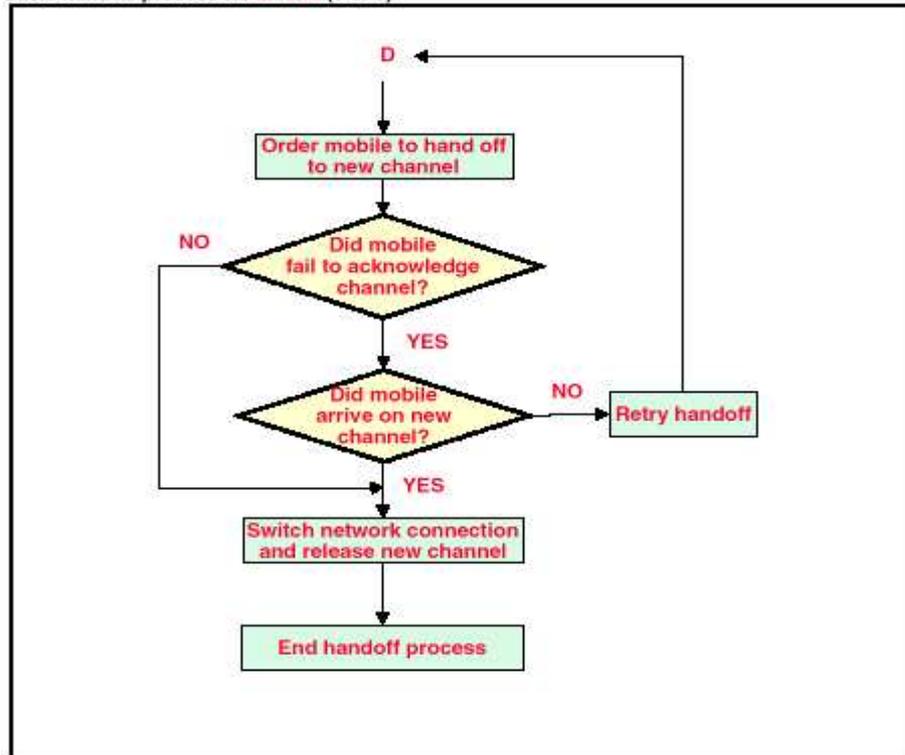


Figura 7.6 – Processo básico de handoff (5 de 5)

Em um sistema TDMA o processo de handoff pode ser ilustrado mais especificamente nas figuras 7.7 e 7.8.

General analog handoff call flow (1 of 2)

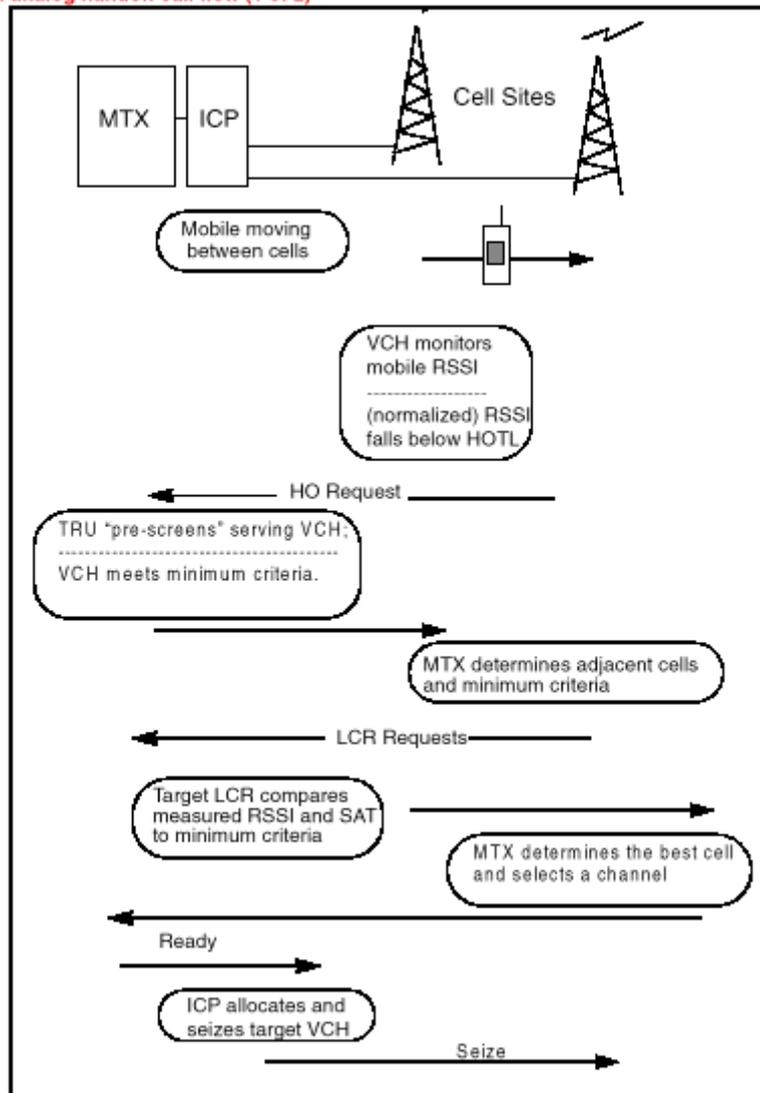


Figura 7.7 – Processo de handoff em um sistema TDMA (1 de 2)

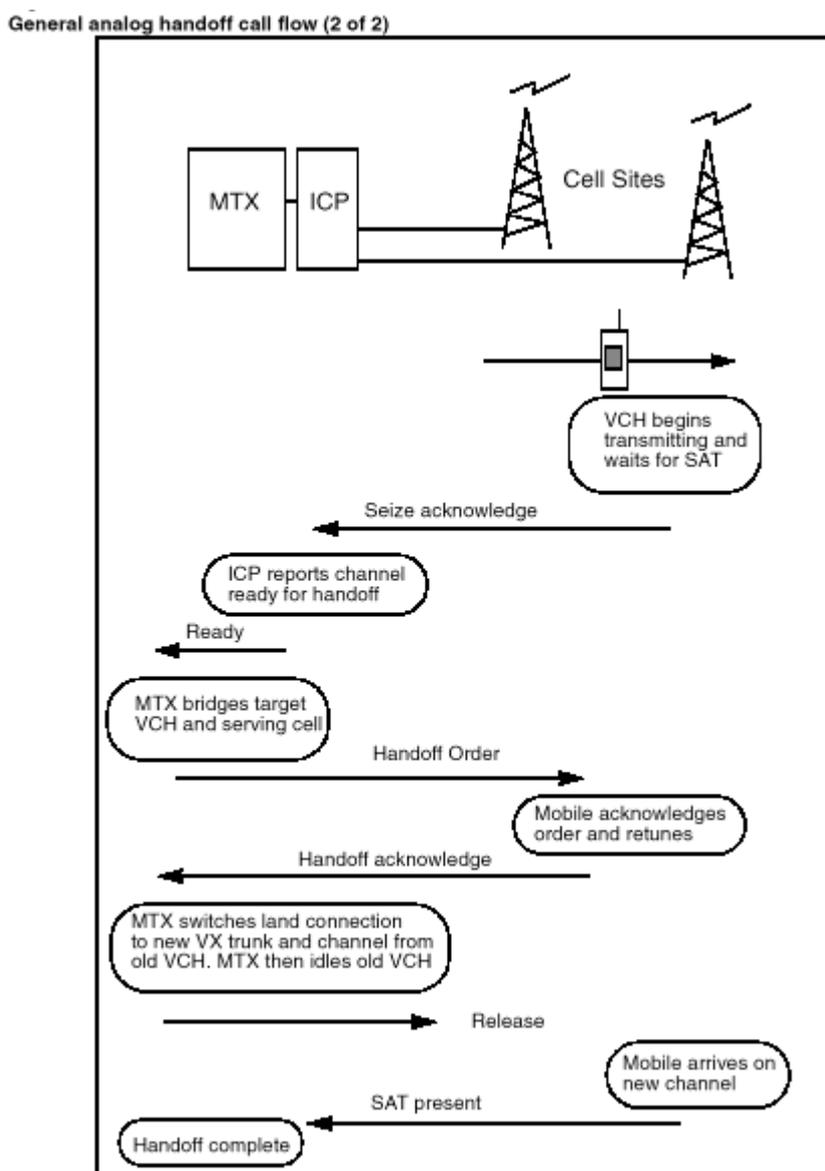


Figura 7.8 – Processo de handoff em um sistema TDMA (2 de 2)

Pela análise das figuras 7.7 e 7.8, pode ser percebida sempre a palavra “MAHO”, cujo significado será mostrado posteriormente.

Há três tipos de processos de handoff, o handoff propriamente dito, o **handoff assistido pela MAHO** e o **BER handoff**.

7.2.1 Handoff propriamente dito

Este é o tipo de handoff utilizado dentro de um sistema celular analógico (ou em ERBs analógicas), e também em alguns casos em ERBs digitais. Conforme foi dito anteriormente, quando o móvel está com uma intensidade de sinal abaixo do nível especificado para o seu

HOTL, irá iniciar o processo de handoff. A central envia uma solicitação de medida de RSSI aos Receptores de Localização – **LCR** (Locate Channel Receiver) da célula servidora e das adjacentes. Para medir o RSSI da chamada em andamento, os LCRs se sintonizam no Canal de Voz em que o móvel está transmitindo.

O LCR é um rádio que pode sintonizar qualquer Canal de Voz para medir o RSSI de um móvel.

Cada LCR sintoniza o Canal de Voz do móvel, mede o RSSI e informa a medida para a Central, que compara as medidas e determina qual ERB tem o sinal mais forte.

A seguir, a central seleciona um Canal de Voz livre nesta ERB e o aloca para receber a chamada que sofrerá *handoff*. Então o novo Canal de Voz, na célula alvo, começa a transmissão do SAT.

A central também envia uma Ordem de *handoff* à ERB, que a envia ao móvel, e que contém a designação do novo Canal de Voz e indica a potência que deverá ser transmitida (através dos *steps* de potência já mencionados anteriormente). Para isto utiliza a sinalização *blank & burst* no FVC em que o móvel ainda está conversando.

Recebendo a Ordem de *handoff*, o móvel sinaliza ao VCH servidor que recebeu corretamente a ordem, transmitindo o ST durante 50 ms no RVC. O rádio na ERB é desalocado e o móvel sintoniza o canal alvo designado na outra célula.

Então o móvel verifica se o SAT está de acordo com o que foi informado na mensagem de *Handoff* e o retransmite de volta à ERB (*loop-back* de SAT).

Quando a nova ERB recebe o SAT, estando ele correto, o VCH envia uma mensagem de SAT_Present à central móvel, informando-a que o móvel já está no canal designado para receber a chamada.

A via de áudio do novo Canal de Voz fica habilitada e então a conversação continua na nova célula, sem interrupção de serviço! Este processo leva cerca de um quarto de segundo.

7.2.2 Handoff assistido pela MAHO

Este é o tipo de handoff mais utilizado dentro de um sistema celular digital. Conforme foi dito anteriormente, quando o móvel está com uma intensidade de sinal abaixo do nível especificado para o seu **HOTL**, irá iniciar o processo de handoff. Em uma tecnologia TDMA, o móvel pode auxiliar o processo de medidas de potência, que é realizado para se saber qual a melhor ERB a receber um móvel, que faça *handoff*. Neste caso, ao invés de se utilizar as medidas dos LCRs (que no TDMA são chamados especificamente de DLRs – *Digital Locate Receivers*), é o próprio móvel quem mede os RSSIs necessários ao processo de *handoff*.

Este *handoff* denomina-se Handoff assistido pelo móvel – **MAHO** (Mobile Assisted Handoff).

Para ser capaz de realizar um handoff utilizando o MAHO, um móvel de modo dual deve ser capaz de medir:

- O RSSI e o BER do DTC Direto – FDTC (*Forward Digital Traffic Channel*);
- RSSI de até 12 FOCCs existentes em células adjacentes à ERB;

Neste caso o móvel mede os RSSIs das ERBs que estão à sua volta, próximas o suficiente para receber um handoff, e que estejam presentes na tabela **MAHOPARM**, onde são determinadas as possíveis células em que um móvel localizado nesta estação possa fazer handoff. Se uma estação não estiver presente nesta tabela, o móvel não fará sua leitura de sinal, mesmo que este seja mais forte que todos os outros. Especificamente, o móvel mede os FOCCs, pois são canais transmitidos continuamente pelas ERBs. No TDMA há uma mensagem que é enviada ao móvel, informando os canais que devem ser medidos. O móvel, por sua vez, informa à ERB as medidas realizadas através de uma mensagem apropriada no Canal de Tráfego Digital Reverso – **RDTC** (*Reverse Digital Traffic Channel*).

O móvel dual também é capaz de medir o RSSI do FDTC que lhe serve a chamada em andamento e também a taxa BER no mesmo. Estas medidas também são repassadas à central.

Depois que o *handoff* for disparado, a central móvel, baseada nas medidas de RSSI realizadas na ERB e as realizadas pelo móvel (MAHO), determina qual célula é a melhor candidata. A célula alvo pode, ou não, estar preparada para conversação digital. Se a nova ERB

for somente analógica, o móvel dual será informado de que após o handoff, a chamada continuará no sistema AMPS, e lhe será informado também o VCH, o SAT e o VMAC.

Porém, se a conversação prosseguir em um DTC na célula alvo, o móvel receberá as informações referentes ao novo DTC, timeslot, DVCC, nível de potência e uma estimativa do Alinhamento de Temporização, na Ordem de HO.

O móvel então sintoniza o novo canal de tráfego digital, estabelece o Alinhamento (através de Bursts Reduzidos) e o VCH alvo comunica à central que o móvel está no canal correto, ou seja, que o HO foi realizado com sucesso.

Por fim, a central móvel faz a comutação da conversação para a nova ERB, que passa a ser a servidora, e a conversação continua.

7.2.3 BER Handoff

Conforme vimos nos itens anteriores, um móvel, para realizar handoff, precisa estar com uma intensidade de sinal abaixo de um valor pré-estabelecido, que foi denominado de **HOTL**. Quando ultrapassa este valor, a central ou então o móvel (mais usual) realizam leituras de sinal das portadoras das estações adjacentes, escolhem o melhor dentre eles (que estão listados na tabela **MAHOPARM**) e iniciam o processo de handoff. Entretanto, a central sempre realiza uma leitura acerca da qualidade de sinal da chamada em curso, mediante uma observação constante da leitura da taxa de erro (BER) de um móvel. Se esta qualidade for abaixo do esperado, ela encaminha à estação em que o móvel está sendo servido uma ordem de handoff, mesmo que o seu nível de sinal ainda não tenha ultrapassado o nível do **HOTL**. Este processo é chamado de **BER Handoff**.

Geralmente esta queda da qualidade de uma ligação ocorre por efeito de interferências co-canais e por canais adjacentes, problemas em antenas da ERB servidora, problemas em equipamentos de recepção da ERB ou por defeitos em duplexadores. Quando isto acontece, há um aumento significativo da taxa de erro (BER) da conversação. Há um OM (Operational Measurement) na central que mostra todos os dados relativos aos BER Handoffs. Combinando-se estes dados com o de outras OMs, pode-se obter uma relação de handoffs realizados e completados dentro de cada setor de cada ERB de todo o sistema realizados por **Forward BER**

(FBER) e Reverse BER (RBER). O FBER se refere aos handoffs realizados devido a interferências diretas, provocadas geralmente por interferências co-canais e por canais adjacentes. Seriam as interferências provocadas no caminho direto do enlace ERB-móvel. O RBER se refere aos handoffs realizados por interferências causadas no caminho reverso do enlace ERB-móvel, e geralmente são provocadas por falhas de recepção (dos equipamentos de recepção da ERB), falhas no duplexador ou por falhas em antenas. Esta relação é analisada na central por meio de relações de porcentagem. É importante que em cada setor o número de handoffs realizados por cada tipo de interferência sejam no máximo 8%, quando comparados com o número total de chamadas ocorrido no setor. Um outro fator causador de BER Handoffs seria um handoff realizado quando o sinal da estação servidora já for bastante fraco. Daí o fato de ERBs de “borda” do sistema apresentarem um alto índice de BER Handoffs, pois quando o sinal passa de -97dBm , o nível de qualidade da conversação já não é o ideal.

7.3 Otimização de handoffs

Considerando-se tudo o que foi dito até aqui sobre handoffs, fica clara a preocupação em otimizar-se todo este processo. Cabe ao Engenheiro de Cell Planning esta tarefa. Deve-se observar toda a rede de uma operadora, analisando-se as taxas de RBER, FBER e Drop Handoff, já vistas no capítulo anterior. Deve-se analisar o número de handoffs assistidos pela MAHOPARM e BER Handoffs. Deve-se também analisar todas as fronteiras de handoffs de cada setor de cada ERB de todo o sistema, procurando diminuir, se possível, o número de handoffs realizados no sistema, sem obviamente aumentar o número de BER Handoffs. Esta é geralmente uma tarefa difícil, e que é objeto de estudo deste trabalho, pois normalmente quando aumentamos o nível do HOTL geramos um aumento de BER Handoffs, e por este motivo deve-se ter bastante cuidado no tratamento deste problema.

A seguir apresentamos um diagrama acerca de otimização de handoffs (figura 7.9), que denota o que foi dito.

Handoff optimization process

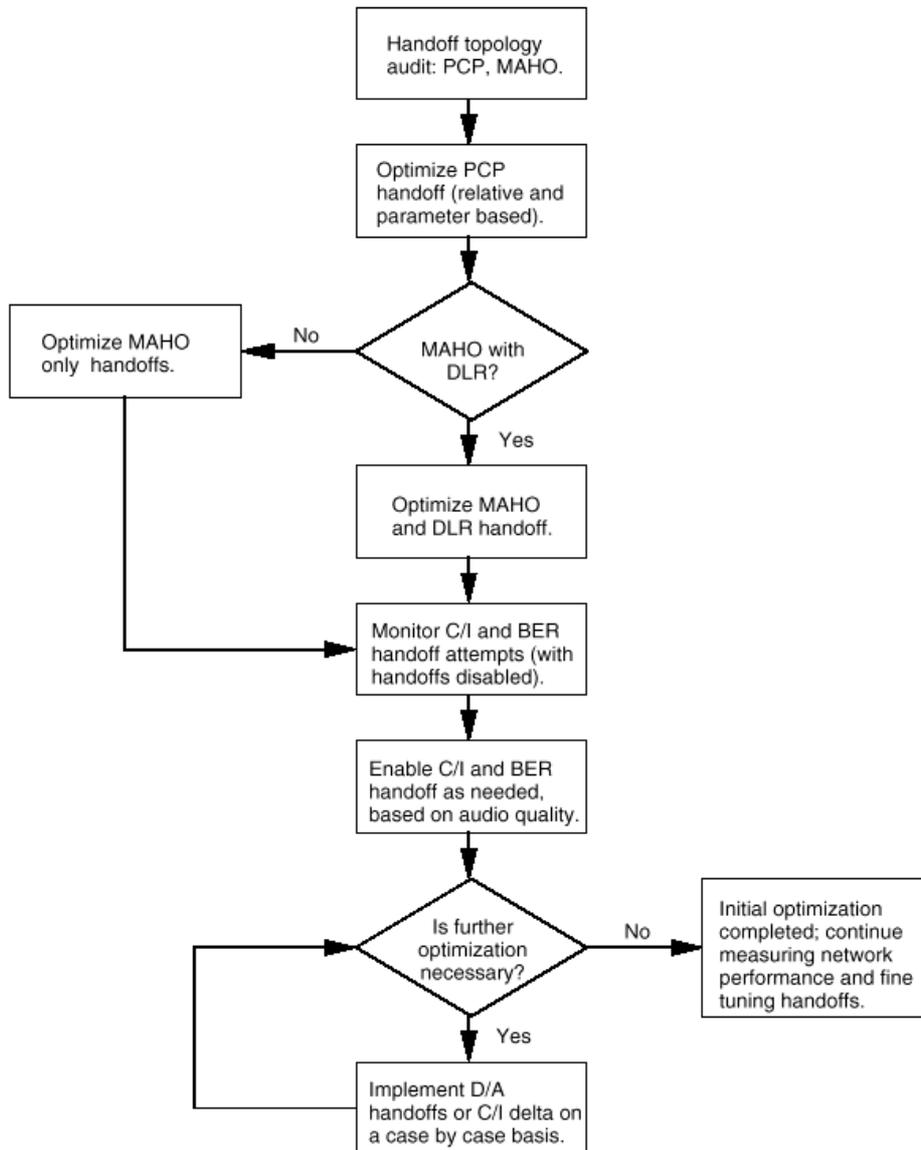


Figura 7.9 – Otimização de handoffs

Outro ponto importante a ser considerado na otimização dos processos de handoff são as fronteiras de handoff entre duas células de um sistema. Foi dito anteriormente que o móvel só inicia o processo de handoff assistido pela MAHO se seu nível de sinal estiver abaixo do nível de HOTL. Entretanto, há um outro parâmetro configurado na central que determina o nível de RSSI em que o móvel irá considerar um possível candidato a handoff através de uma estação adjacente, o **PCPTL** (Per-Cell-Pair Threshold Low). Geralmente este valor é ajustado com o mesmo valor do HOTL, de modo ao móvel, quando ultrapassar o HOTL já esteja permitido

realizar handoff com outra célula vizinha. Entretanto, em alguns casos queremos, por algumas necessidades específicas retardar ou diminuir os processos de handoff entre duas células adjacentes, sem interferir nas outras células ao redor da servidora. Neste caso ajustamos os dois parâmetros com valores diferentes. Abaixo segue uma ilustração acerca destes dois parâmetros em células vizinhas:

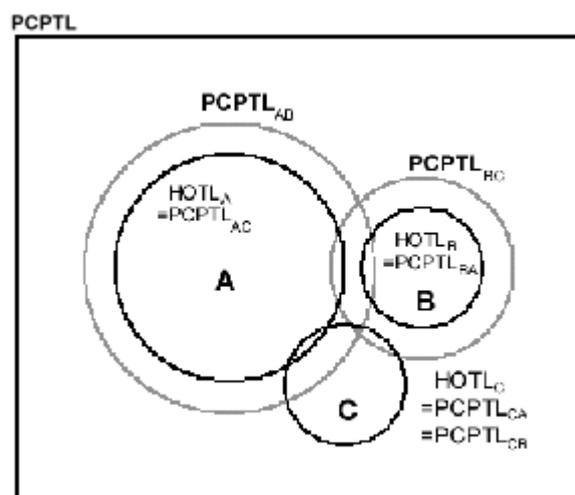


Figura 7.10 – Parâmetros de handoff

Outro fator a ser considerado também em processo de otimização de handoffs é o chamado efeito “ping-pong”, que seria o fato do móvel realizar handoffs sucessivos entre células vizinhas, prejudicando a performance do sistema e aumentando inclusive o processamento da central (Figuras 7.11 e 7.12). Neste caso uma solução seria dificultar o handoff entre estas duas estações vizinhas, diminuindo-se por exemplo o PCPTL.

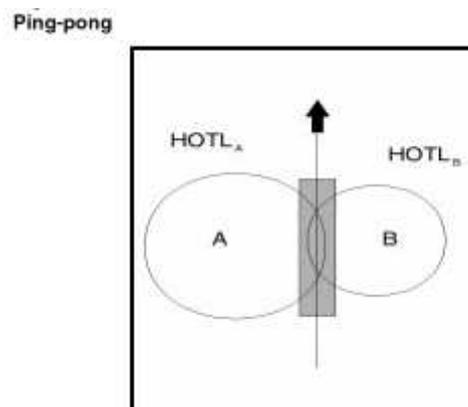


Figura 7.11 – Ping-pong

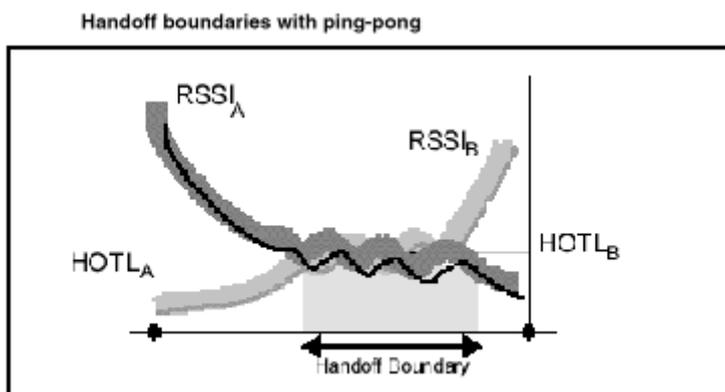


Figura 7.12 – Fronteiras de handoff com ping-pong

O Ping-pong ocorre geralmente quando as medidas de sinal em determinada região são bem próximas ao nível ajustado para o HOTL e para o PCPTL das duas ERBs, e daí a alternativa de se variar os valores de PCPTL entre as duas células (Figura 7.13).

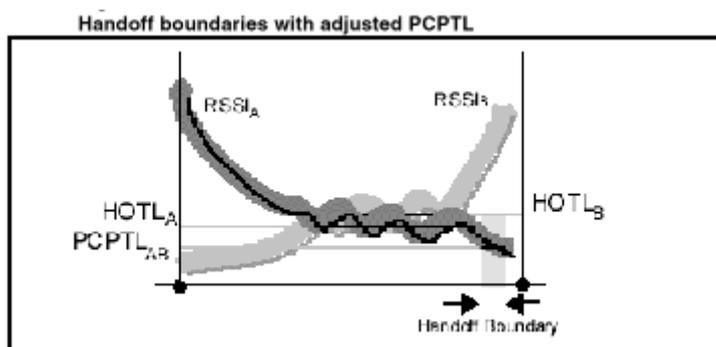


Figura 7.13 – Fronteiras de handoff com PCPTL ajustado

Este trabalho irá estudar a hipótese de se alterar de modo alternativo ao que é feito hoje em dia nas operadoras em geral de telefonia celular os parâmetros de HOTL e PCPTL de uma estação de um sistema, baseado em uma análise estatística, e com isso tentar diminuir a taxa de handoffs realizados sem comprometer a qualidade da chamada. Posteriormente, com o sucesso deste estudo, pretende-se implanta-lo em uma grande operadora, em todas as suas estações.

8 CONCEITOS BÁSICOS DA INFERÊNCIA ESTATÍSTICA

(Ver Ref. 15.10)

A seguir serão apresentados alguns conceitos sobre Estatística básica, usados neste trabalho.

8.1 População e Amostra

Em controle da qualidade, os dados representam a base para a tomada de decisões confiáveis e para a adoção das ações mais apropriadas frente à uma determinada situação que esteja sendo analisada.

Um exemplo do que foi dito acima é a inspeção por amostragem, procedimento no qual extraímos alguns itens de um lote de produto, efetuamos medições de alguma característica da qualidade de interesse destes itens e a seguir decidimos se devemos ou não aceitar o lote completo do produto. Outro exemplo corresponde ao gerenciamento de um processo de produção por meio de um gráfico de controle, para o qual o objetivo é avaliar a estabilidade e a previsibilidade do processo considerado.

Portanto, nosso propósito quando coletamos dados pode ser, em primeiro lugar, obter informações sobre lotes de produtos, sobre a estabilidade de um processo, sobre a capacidade de um processo atender à faixa de especificação e sobre os resultados obtidos quando realizamos alterações nos fatores que compõem o processo de interesse. A seguir, tendo em vista as informações obtidas, desejaremos adotar as ações mais apropriadas. Na terminologia estatística, a totalidade dos itens (elementos) sob consideração em cada uma destas situações e que será o objeto da ação que iremos adotar, é denominada **população**. No primeiro exemplo apresentado no parágrafo anterior, a população é o lote do produto e no segundo exemplo a população é o processo que está sendo gerenciado.

População é a totalidade dos elementos de um universo sobre o qual desejamos estabelecer conclusões ou exercer ações.

A população de interesse pode ser finita ou infinita.

Uma população finita possui um número limitado de elementos.

Uma população infinita possui um número não limitado de elementos.

Os teares de uma indústria têxtil e o conjunto de apartamentos de um hotel são exemplos de populações finitas. Já o processo de produção de folhas-de-flandres em uma indústria siderúrgica ou o processo de registro de pacientes internados em um hospital são exemplos de populações infinitas. O leitor deve observar que, de modo geral, o termo população infinita se refere a um processo, sendo os elementos desta população todas as medidas obtidas para características de interesse do processo (causas ou efeitos), considerando que o processo irá continuar operando indefinidamente sob as mesmas condições.

É importante ressaltar que o padrão de ocorrência dos elementos de uma população pode ser descrito por um modelo estatístico apropriado, denominado **distribuição da população**.

Um subconjunto de itens extraídos de uma população, por meio do qual pretendemos obter informações sobre esta população, é denominado **amostra**. Em estatística é frequente trabalharmos com as chamadas *amostras aleatórias*, para as quais todos os elementos da população têm a mesma chance de serem escolhidos para compor a amostra. Uma amostra aleatória tem a propriedade de refletir as características da população da qual foi extraída.

Amostra é um subconjunto de elementos extraídos de uma população.

Também é importante destacar que é fundamental que a amostra seja representativa da população da qual foi extraída e que as medições realizadas para gerar os dados sejam confiáveis, com o objetivo de garantir que as ações a serem tomadas a partir da análise dos dados coletados sejam realmente apropriadas.

8.2 Parâmetros e Estatísticas

As características de uma população são descritas por meio de medidas denominadas **parâmetros**. Dois importantes parâmetros populacionais são a média populacional μ , que é uma medida da localização do centro da distribuição dos elementos da população (valor em torno do qual os elementos da população tendem a agrupar-se) e o desvio padrão populacional σ , que mede a dispersão, em torno da média μ , dos elementos que constituem a população.

$$\text{Média} = E(x) = \mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (8.1)$$

$$\text{Desvio Padrão} = \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (8.2)$$

Um parâmetro é uma medida numérica que descreve alguma característica de uma população.

Os parâmetros populacionais são constantes usualmente desconhecidas e necessitam ser estimados por meio de uma amostra extraída da população. Por exemplo, quando desejamos obter informações sobre o valor da média μ de alguma população de interesse, extraímos uma amostra desta população e calculamos a média amostral \bar{x} das observações obtidas. Este valor de \bar{x} poderá ser utilizado para estimar μ .

Uma estatística é uma função das observações amostrais, que não depende de parâmetros desconhecidos.

Observe que a média amostral (equação 8.3)

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (8.3)$$

é de fato uma estatística, porque seu valor numérico pode ser calculado assim que a amostra (os valores de x_n) tenha sido extraída.

De acordo com o que acabou de ser apresentado, uma estatística deve fornecer informações sobre o valor de algum parâmetro populacional de interesse. Em relação a isto, dois pontos importantes devem ser destacados:

➤ Como a amostra extraída é apenas uma parte da população, o valor da estatística provavelmente não coincidirá exatamente com o valor verdadeiro do parâmetro correspondente. No entanto, esperamos que o valor da estatística esteja bastante próximo do valor verdadeiro do parâmetro.

➤ Diferentes amostras extraídas da população irão originar valores distintos para a estatística considerada. Por este motivo, dizemos que as estatísticas são **variáveis aleatórias**, já que seu valor não pode ser predito com certeza antes de a amostra ter sido extraída.

Como uma estatística é uma variável aleatória, ela também seguirá sua própria distribuição, a qual descreverá o padrão de variação dos valores da estatística para diferentes amostras extraídas da população de interesse.

A distribuição que descreve o padrão de variação dos valores de uma estatística, para diferentes amostras extraídas da população de interesse, é denominada distribuição amostral.

Conforme veremos adiante, é muito importante conhecer a distribuição amostral de uma estatística, para que seja possível o estabelecimento de conclusões confiáveis sobre as características da população que está sendo estudada.

Vale ressaltar que as amostras a que estamos nos referindo devem ser **amostras aleatórias** da população de interesse.

As observações x_n constituem uma amostra aleatória de tamanho n da população, se cada observação resulta de seleções independentes dos elementos da população e se cada x_n tem a mesma distribuição da população da qual foi extraída.

8.3 A Distribuição da Média Amostral e o Teorema Central do Limite

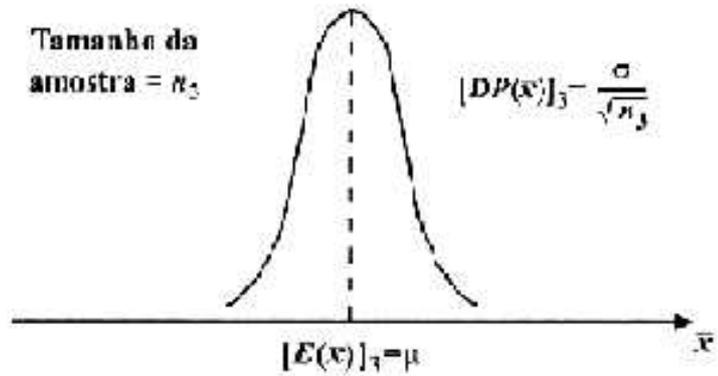
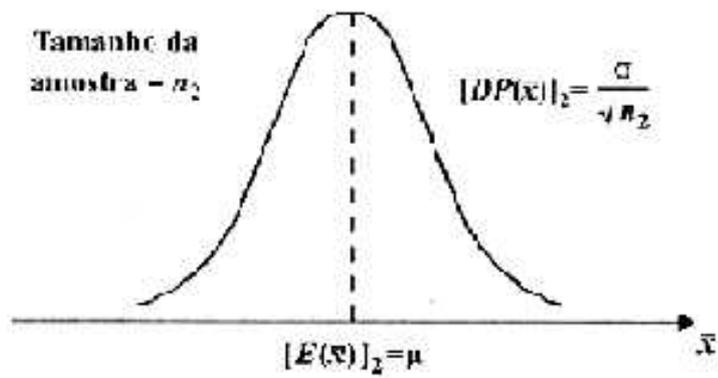
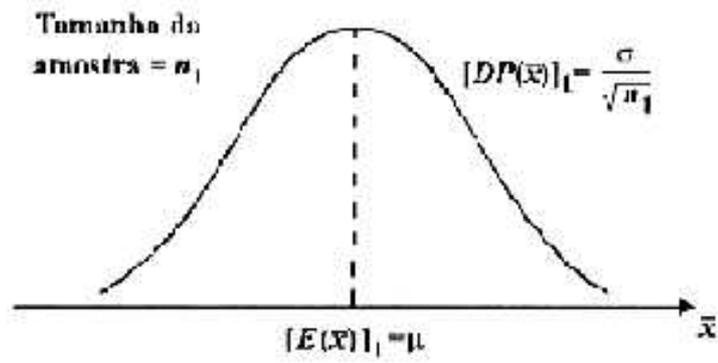
É possível demonstrar que a distribuição da média amostral \bar{x} , de uma amostra aleatória de tamanho n extraída de uma população que tem média μ e desvio padrão σ , tem as características mostradas nas equações (8.4), (8.5) e (8.6):

$$\text{Média} = E(\bar{x}) = \mu \quad . . \quad (8.4)$$

$$\text{Variância} = \text{VAR}(\bar{x}) = \sigma_x^2 = \frac{\sigma^2}{n} \quad (8.5)$$

$$\text{Desvio Padrão} = \text{DP}(\bar{x}) = \sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (8.6)$$

Observa-se então que a distribuição amostral de \bar{x} está centrada na média populacional μ e que o desvio padrão da distribuição de \bar{x} é igual a $1/\sqrt{n}$ vezes o desvio padrão σ da população. Este segundo resultado significa que se a população tem variabilidade elevada, então a variabilidade de \bar{x} também será alta, o que prejudica a qualidade da informação que \bar{x} fornece sobre μ . Contudo, este problema pode ser minimizado por meio do aumento do tamanho da amostra: com o aumento de n , o quociente σ/\sqrt{n} diminui, o que significa que a dispersão da distribuição de \bar{x} fica menor, ou seja, esta distribuição fica mais concentrada em torno da média populacional μ . Isto significa que a precisão da média amostral \bar{x} , como uma estimativa da média populacional μ , vai ficando mais elevada à medida que se aumenta o tamanho da amostra. As idéias discutidas neste parágrafo estão sumarizadas na figura abaixo.



$$n_1 < n_2 < n_3 \implies [DP(\bar{x})]_1 > [DP(\bar{x})]_2 > [DP(\bar{x})]_3$$

Figura 8.1- Relação entre $E(\bar{x})$ e μ e entre $DP(\bar{x})$ e n

Tratar-se-á agora da forma da distribuição amostral de \bar{x} . A distribuição da média amostral \bar{x} , de uma amostra aleatória de tamanho n extraída de uma população normal que tem média μ e desvio padrão σ , é normal com média μ e desvio padrão σ/\sqrt{n} .

Quando a amostra é extraída de uma população que não tem distribuição normal, a forma da distribuição de \bar{x} depende da forma da distribuição da população. Contudo, o Teorema Central do Limite estabelece que quando o tamanho da amostra é suficientemente grande, a distribuição da média amostral \bar{x} pode ser bem aproximada por uma distribuição normal, qualquer que seja a

forma da distribuição da população. Este resultado significa que $z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ é aproximadamente $N(0,1)$.

Para utilização do Teorema Central do Limite, é usual considerar que o tamanho n da amostra é suficientemente grande quando n é superior a 30. No entanto, em várias situações, dependendo da forma da distribuição da população, amostras de tamanhos inferiores já são suficientes para garantir a validade do Teorema.

Existem dois tipos de estimação de um parâmetro populacional: estimação pontual e estimação por intervalo. Na estimação pontual é obtido um valor numérico único que se espera estar relativamente próximo do verdadeiro valor do parâmetro. Na estimação por intervalo, é construído um intervalo que contém, com grau de confiança conhecido, o verdadeiro valor do parâmetro que está sendo estimado.

8.4 Estimação Pontual e Estimação por Intervalo

8.4.1 Estimação por Intervalo

Um estimador pontual produz um único número como estimativa do parâmetro populacional de interesse e, em muitas situações, a informação fornecida pelo estimador pontual não será considerada suficiente para uma interpretação adequada dos resultados amostrais. A "deficiência" da estimação pontual reside no fato de que, neste procedimento, não fica se conhecendo a magnitude do erro que pode-se estar cometendo ao estimarmos o parâmetro θ de interesse, pelo valor fornecido pelo estimador, à partir da amostra que foi extraída da população. Desta limitação da estimação pontual surge a idéia da construção de um intervalo que contenha, com um nível de confiança conhecido, o valor verdadeiro do parâmetro θ . Um intervalo deste tipo é denominado intervalo de confiança para θ .

Note então que os intervalos de confiança são muito mais informativos do que as estimativas pontuais, já que fornecem faixas dos possíveis valores que o parâmetro de interesse pode assumir com um nível de confiança conhecido.

De modo geral, para se construir um intervalo de confiança para um parâmetro desconhecido θ , devemos encontrar duas funções dos dados amostrais I e S tais que, antes da extração da amostra, a seguinte probabilidade seja válida:

$$P(I \leq \theta \leq S) = 1 - \alpha \quad (8.7)$$

O intervalo resultante

$$I \leq \theta \leq S$$

é denominado intervalo de $100(1-\alpha)\%$ de confiança para o parâmetro θ . I e S são conhecidos como limites de confiança inferior e superior, respectivamente, e $1 - \alpha$ é denominada coeficiente de segurança do intervalo. É usual tomar $1 - \alpha$ como 0,95 ou 0,99. Além disso, dizemos que o intervalo de confiança é correto se ele contém o verdadeiro valor do parâmetro desconhecido θ .

É importante destacar que o coeficiente de confiança se aplica ao procedimento de construção dos intervalos, e não a um intervalo em particular.

Com o objetivo de interpretar o conceito de intervalo de confiança, suponha que, em um estudo, sejam retiradas várias amostra aleatórias de tamanho n da população e que, para cada amostra, seja construído um intervalo de $100(1 - \alpha)\%$ de confiança para q . Os intervalos obtidos serão diferentes, mas $100(1 - \alpha)\%$ destes intervalos conterão entre seus limites o verdadeiro valor do parâmetro.

Vale notar que, na prática, extrairemos apenas uma amostra aleatória da população e construiremos um único intervalo de confiança para o parâmetro q de interesse. Como este intervalo contém, ou não contém, o valor verdadeiro de q não é razoável associar uma probabilidade a este evento específico. Neste caso, a afirmação apropriada é que q pertence ao

intervalo observado $[I, S]$ com confiança de $100(1 - \alpha)\%$. Esta afirmação tem uma interpretação frequentista, isto é, não sabemos se ela é verdadeira para a amostra que foi extraída, mas o procedimento utilizado para a obtenção do intervalo $[I, S]$ leva a conclusões corretas $100(1 - \alpha)\%$ das vezes em que é repetido.

8.4.2 Intervalos de Confiança para a Média de Uma População – Grandes Amostras

Passaremos a discutir agora como construir um intervalo de confiança para a média de uma população (parâmetro μ), na situação em que o tamanho n da amostra extraída da população é superior a 30.

Suponha que a população de interesse tenha média α e desvio padrão σ e que desta população tenha sido extraída uma amostra aleatória de tamanho n , representada por x_1, x_2, \dots, x_n . Um intervalo de $100(1 - \alpha)\%$ de confiança para μ pode ser obtido com base na distribuição da média amostral \bar{x} . A distribuição de \bar{x} será normal se a população tiver distribuição normal e será aproximadamente normal se as condições do Teorema Central do Limite forem satisfeitas.

Também vale destacar que a média da distribuição de \bar{X} é igual a μ e o desvio padrão é σ/\sqrt{n} .

Nesta situação, sabemos que

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (8.8)$$

tem, aproximadamente, distribuição normal padronizada, isto é,

$$z \approx N(0,1)$$

A figura 8.2 mostra a distribuição de z .

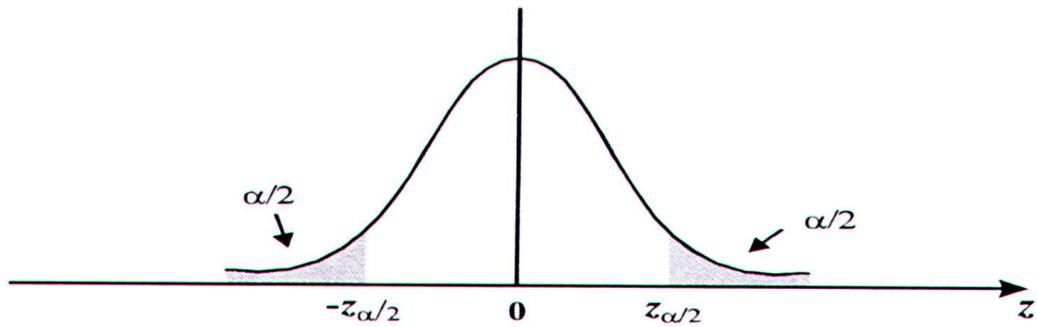


Figura 8.2 – Distribuição de z

Observando esta figura, é possível perceber que

$$P(-z_{\alpha/2} \leq z \leq z_{\alpha/2}) = 1 - \alpha \quad (8.9)$$

Ou, o que é equivalente,

$$P\left(-z_{\alpha/2} \leq \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \leq z_{\alpha/2}\right) = 1 - \alpha \quad (8.10)$$

A última equação pode ser reescrita sob a forma

$$P\left(\bar{x} - z_{\alpha/2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + z_{\alpha/2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha \quad (8.11)$$

Comparando as equações 8.9 e 8.11, fazendo $q = m$, concluímos que um intervalo de $100(1 - \alpha)\%$ de confiança para μ é dado por

$$\bar{x} - z_{\alpha/2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + z_{\alpha/2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (8.12)$$

Onde $z_{\alpha/2}$ foi identificado na figura e pode ser obtido por uma tabela de distribuição normalmente apresentada.

No entanto, a equação 8.9 ainda não pode ser utilizada para o cálculo do intervalo de confiança para μ porque, na prática, o valor do desvio padrão populacional σ , que aparece nesta expressão, também é desconhecido. No entanto, quando o tamanho da amostra é grande ($n > 30$),

pode-se substituir s pelo desvio padrão amostral s e ainda utilizar a equação 8.9 para obter o intervalo de confiança para m :

$$\bar{x} - z_{\alpha/2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + z_{\alpha/2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (8.13)$$

8.4.2.1 Escolha do Valor do Coeficiente de Confiança $1 - \alpha$

O coeficiente de confiança $1-\alpha$ representa a probabilidade, antes da extração da amostra aleatória, da obtenção de um intervalo da confiança correto, isto é, que realmente capte entre seus limites o valor verdadeiro da média populacional m . No entanto, após a extração da amostra, o intervalo de confiança construído estará correto ou incorreto e não poderemos ter certeza de qual dessas duas possibilidades é verdadeira. Contudo, se o coeficiente de confiança for suficientemente grande, agiremos considerando que o intervalo obtido está correto, porque o procedimento de construção do intervalo nos garante que, em $100(1-\alpha)\%$ das vezes em que é utilizado, o intervalo de confiança resultante estará correto.

A partir da interpretação apresentada acima, surge a questão: porque não aumentar, cada vez mais, o valor do coeficiente de confiança? A resposta a esta pergunta é o fato de que, para um tamanho n fixo da amostra, o aumento do coeficiente de confiança implica em um aumento do comprimento do intervalo de confiança. No entanto, o aumento do comprimento do intervalo é um resultado indesejável, já que, se o intervalo for muito largo, a informação fornecida poderá não ser útil para a tomada de uma decisão sobre o problema considerado.

A Figura 8.3 ilustra a relação existente entre o coeficiente de confiança $1-\alpha$ e o comprimento do intervalo de confiança para m . Esta figura mostra que, para um tamanho n da amostra fixado, o comprimento do intervalo aumenta rapidamente a medida que o coeficiente de confiança se aproxima de 100%.

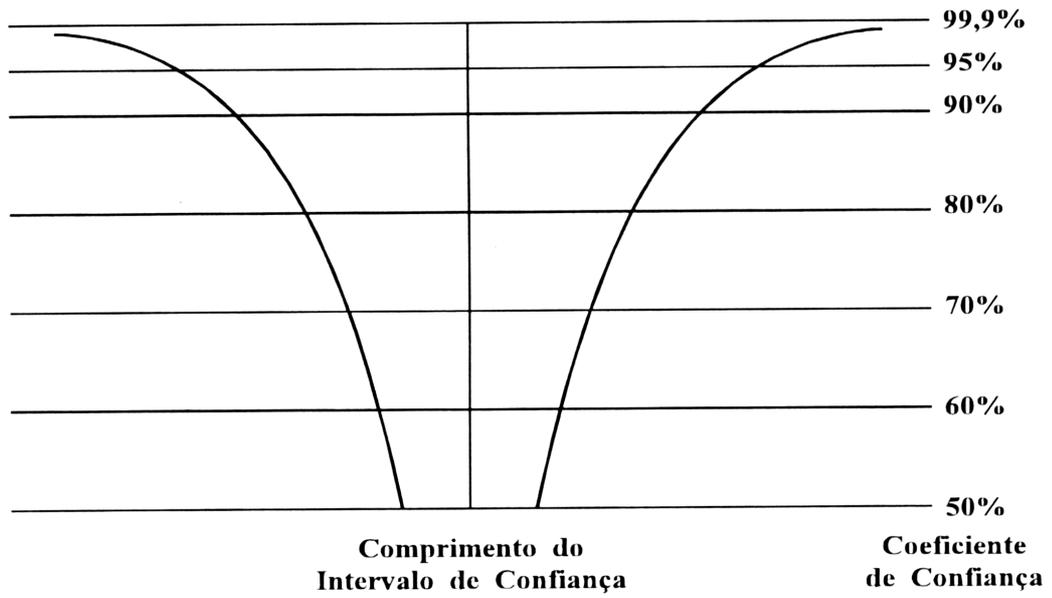


Figura 8.3 – Relação entre o coeficiente de confiança e o comprimento do intervalo de confiança para a média populacional.

Na prática, os coeficientes de confiança mais utilizados são 90, 95 e 99%.

9 ESCOLHA DA REGIÃO A SER ESTUDADA E ANÁLISE DOS RESULTADOS DE UM DRIVE TEST REALIZADO NO LOCAL

Primeiramente, precisava-se escolher um local para o estudo da propagação de uma ERB. Foi escolhida uma ERB que situava-se numa região bastante plana do Distrito Federal, e cujas edificações eram, em sua grande maioria, casas residenciais e sem grandes relevos naturais. O motivo para esta escolha foi o fato de, teoricamente, a propagação de sinal realizar-se de forma mais efetiva em regiões com pouca obstrução de sinal, o que era desejado, para uma melhor comprovação do objetivo proposto.

Escolhido o local de estudo, executou-se um “Drive-test” detalhado na região de estudo, utilizando-se uma ferramenta de coleta de dados (software que registra os níveis de sinal em cada espaço de tempo, em dBm), acompanhada de um GPS (para podermos associar, a cada medida de intensidade de sinal sua posição específica). É importante salientar que em um “Drive-Test” dirige-se com todos estes instrumentos ligados em todas as ruas da região a ser analisada a uma velocidade baixa, de no máximo 60km/h, de modo que o software de coleta possa realizar estas medidas sem perda de informações. Realizado este “Drive-Test”, utilizou-se um software de análise (DeskCat), para verificação dos resultados. Sabendo-se dos canais de controle da ERB mais próxima que cobria esta região, consegue-se isolar cada um de seus setores, e assim obtêm-se os dados referentes a cobertura de cada um deles. Estes resultados estão mostrados nas figuras 9.1, 9.2 e 9.3.

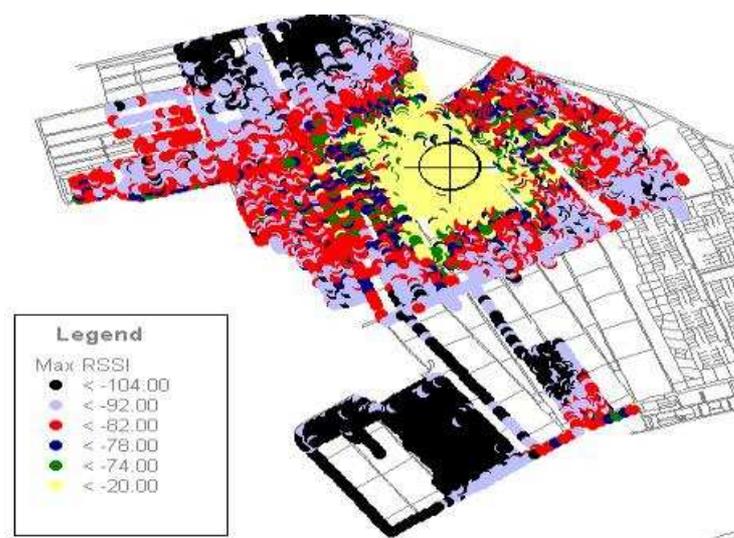


Figura 9.1 – Resultados do Drive Test tendo como base apenas o setor X da ERB em questão

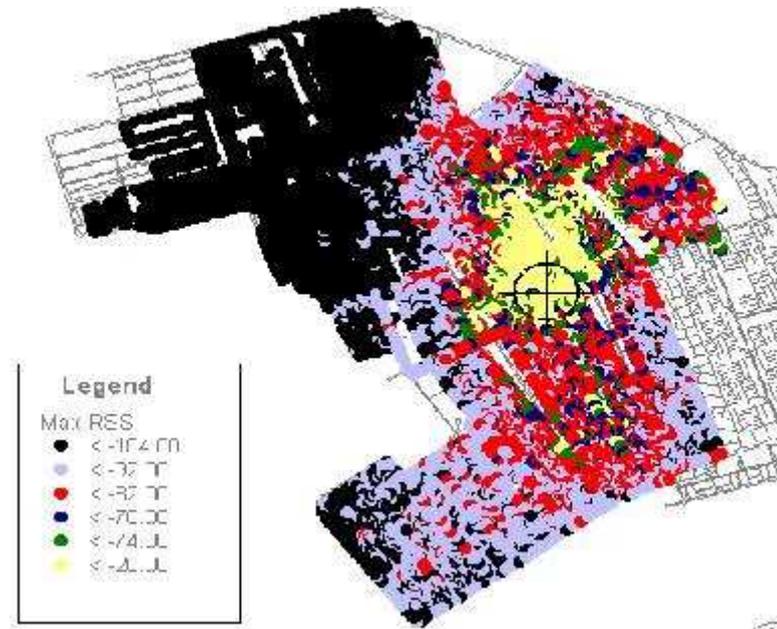


Figura 9.2 – Resultados do Drive Test tendo como base apenas o setor Y da ERB em questão

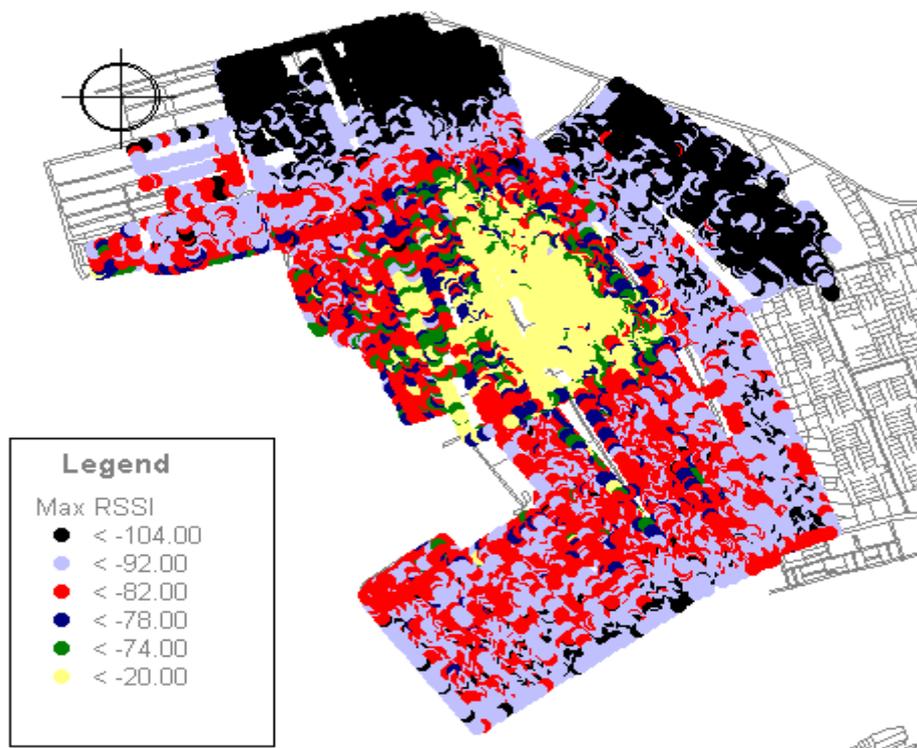


Figura 9.3 – Resultados do Drive Test tendo como base apenas o setor Z da ERB em questão

Com estas figuras pode-se observar, pela legenda, os valores de potência em cada ponto analisado, e logicamente, quanto mais perto da ERB mais fortes eram os níveis de sinal colhidos, principalmente pelo fato de não ter-se grandes obstáculos de sinal na região em estudo, conforme dito anteriormente.

A partir dos dados obtidos pelo Drive Test, pode-se associar cada distância com sua respectiva potência medida. Para isso, recorre-se a um recurso específico do programa de coleta de dados utilizado (DeskCat), o **spreadsheet**. Este recurso permite a visualização dos resultados do Drive Test em forma de uma planilha, onde são indicados vários campos, entre eles a potência recebida, em dBm, e a posição do ponto, por meio de sua latitude e longitude. Este recurso é muito importante, pois permite visualizar, com precisão, cada valor obtido. Para encontrar-se o valor da distância de cada ponto em relação à ERB utiliza-se o seguinte procedimento: Mede-se, com o GPS, a latitude e a longitude da estação rádio-base, e fixa-se este ponto como a origem do plano. Com isso, em cada ponto de medida foi subtraído os valores das latitudes e longitudes da origem. Assim, faltava apenas converter estas distâncias em coordenadas (latitude e longitude) para metros. Neste ponto, recorreu-se ao trabalho de projeto final de um antigo aluno de Engenharia Elétrica da UnB, em que ele obteve estes fatores de conversão para a região do Distrito Federal, que estão listados a seguir:

1º Longitude = 1314,175 metros

1º Latitude = 1852,256 metros

Deste modo, de posse de todos estes dados, pôde-se montar as tabelas referentes aos dados de cada um dos três setores da ERB em estudo. Estas tabelas serão apresentadas a seguir, de maneira compacta, pois a quantidade de dados é muito grande, chegando a mais de 12000 dados, para cada setor. Isto se explica pelo fato de terem sido estudados valores de distâncias entre 1 e 8000 metros.

BestChan	BestSig	Longitude	Latitude	Long. Corrigida	Lat. Corrigida	Distância (m)
796	-69,00	-15,810118	-48,110825	-0,000008	-0,000005	1,40108132
796	-47,00	-15,810155	-48,110760	-0,000045	0,000060	12,58902558
796	-51,00	-15,810019	-48,110855	0,000091	-0,000035	13,60314089
796	-52,00	-15,810213	-48,110748	-0,000103	0,000072	19,00207216
796	-44,00	-15,809961	-48,110920	0,000149	-0,000100	26,95382934
796	-47,00	-15,809811	-48,110966	0,000299	-0,000146	47,70037470
796	-45,00	-15,809813	-48,110977	0,000297	-0,000157	48,67329398
796	-44,00	-15,809658	-48,111065	0,000452	-0,000245	74,75167848

796	-49,00	-15,810088	-48,110409	0,000022	0,000411	76,18260265
796	-43,00	-15,809547	-48,111103	0,000563	-0,000283	90,67506384
796	-55,00	-15,809999	-48,110325	0,000111	0,000495	92,83984265
796	-61,00	-15,810447	-48,111275	-0,000337	-0,000455	95,20568314
796	-68,00	-15,809546	-48,110462	0,000564	0,000358	99,45256840
796	-57,00	-15,809821	-48,110321	0,000289	0,000499	99,92652748
796	-64,00	-15,809765	-48,110329	0,000345	0,000491	101,62067373
796	-65,00	-15,810243	-48,111370	-0,000133	-0,000550	103,36260010
796	-70,00	-15,809510	-48,110451	0,000600	0,000369	104,34981618
796	-67,00	-15,809364	-48,110569	0,000746	0,000251	108,50259828
796	-40,00	-15,810170	-48,111423	-0,000060	-0,000603	111,96902123
796	-55,00	-15,810565	-48,111343	-0,000455	-0,000523	113,84117664
796	-55,00	-15,809299	-48,110573	0,000811	0,000247	115,98421535
796	-66,00	-15,810906	-48,110439	-0,000796	0,000381	126,18701279
796	-41,00	-15,810003	-48,111507	0,000107	-0,000687	128,02456747
796	-64,00	-15,810817	-48,110313	-0,000707	0,000507	132,10466797
796	-37,00	-15,809965	-48,111526	0,000145	-0,000706	132,15035538
796	-56,00	-15,809287	-48,111256	0,000823	-0,000436	134,98060465
796	-70,00	-15,810939	-48,110344	-0,000829	0,000476	140,15179033
796	-51,00	-15,808974	-48,110794	0,001136	0,000026	149,36793586
796	-69,00	-15,810989	-48,110283	-0,000879	0,000537	152,43837001
796	-66,00	-15,810652	-48,111557	-0,000542	-0,000737	153,97660425
796	-65,00	-15,810714	-48,110085	-0,000604	0,000735	157,59092025
796	-51,00	-15,808903	-48,110809	0,001207	0,000011	158,63400766
796	-52,00	-15,808879	-48,110840	0,001231	-0,000020	161,81735207
796	-57,00	-15,809107	-48,111347	0,001003	-0,000527	164,02076043
796	-39,00	-15,809730	-48,111664	0,000380	-0,000844	164,11296332
796	-47,00	-15,809751	-48,111671	0,000359	-0,000851	164,53605545
796	-54,00	-15,809083	-48,111393	0,001027	-0,000573	171,69811519
796	-83,00	-15,811168	-48,110226	-0,001058	0,000594	177,30573688
796	-67,00	-15,810639	-48,109917	-0,000529	0,000903	181,13113739
796	-49,00	-15,810751	-48,111706	-0,000641	-0,000886	184,46733564
796	-49,00	-15,809581	-48,111755	0,000529	-0,000935	186,61827085
796	-56,00	-15,808688	-48,110928	0,001422	-0,000108	187,94333256
796	-59,00	-15,809573	-48,111763	0,000537	-0,000943	188,38554507
796	-69,00	-15,811538	-48,110661	-0,001428	0,000159	189,96105384
796	-70,00	-15,810657	-48,109848	-0,000547	0,000972	193,85987278
796	-53,00	-15,809241	-48,109970	0,000869	0,000850	194,49925611
796	-53,00	-15,808925	-48,111450	0,001185	-0,000630	194,59908499
796	-52,00	-15,809278	-48,109947	0,000832	0,000873	195,19891365
796	-65,00	-15,808981	-48,110126	0,001129	0,000694	196,31093377
796	-45,00	-15,810636	-48,111813	-0,000526	-0,000993	196,48978080
796	-51,00	-15,808927	-48,111469	0,001183	-0,000649	196,52160676
796	-87,00	-15,811286	-48,110161	-0,001176	0,000659	196,93732165
796	-59,00	-15,808926	-48,110149	0,001184	0,000671	199,14301606
796	-47,00	-15,808609	-48,110989	0,001501	-0,000169	199,72599508
796	-52,00	-15,808969	-48,110092	0,001141	0,000728	201,66105528

Tabela 9.1 – Dados obtidos para o Setor X

BestChan	BestSig	Longitude	Latitude	Long. Corrigida	Lat. Corrigida	Distância (m)
780	-58,00	-15,810118	-48,110825	-8E-06	-5E-06	1,401081321
780	-44,00	-15,810155	-48,110760	-4,5E-05	6E-05	12,58902558

780	-54,00	-15,810019	-48,110855	9,1E-05	-3,5E-05	13,60314089
780	-51,00	-15,810213	-48,110748	-0,000103	7,2E-05	19,00207216
780	-52,00	-15,809961	-48,110920	0,000149	-0,0001	26,95382934
780	-50,00	-15,809811	-48,110966	0,000299	-0,000146	47,7003747
780	-58,00	-15,809813	-48,110977	0,000297	-0,000157	48,67329398
780	-55,00	-15,809658	-48,111065	0,000452	-0,000245	74,75167848
780	-43,00	-15,810088	-48,110409	2,2E-05	0,000411	76,18260265
780	-61,00	-15,809547	-48,111103	0,000563	-0,000283	90,67506384
780	-56,00	-15,809999	-48,110325	0,000111	0,000495	92,83984265
780	-76,00	-15,810447	-48,111275	-0,000337	-0,000455	95,20568314
780	-63,00	-15,809546	-48,110462	0,000564	0,000358	99,4525684
780	-60,00	-15,809821	-48,110321	0,000289	0,000499	99,92652748
780	-64,00	-15,809765	-48,110329	0,000345	0,000491	101,6206737
780	-72,00	-15,810243	-48,111370	-0,000133	-0,00055	103,3626001
780	-67,00	-15,809510	-48,110451	0,0006	0,000369	104,3498162
780	-67,00	-15,809364	-48,110569	0,000746	0,000251	108,5025983
780	-67,00	-15,810170	-48,111423	-6E-05	-0,000603	111,9690212
780	-70,00	-15,810565	-48,111343	-0,000455	-0,000523	113,8411766
780	-66,00	-15,809299	-48,110573	0,000811	0,000247	115,9842154
780	-46,00	-15,810906	-48,110439	-0,000796	0,000381	126,1870128
780	-76,00	-15,810003	-48,111507	0,000107	-0,000687	128,0245675
780	-55,00	-15,810817	-48,110313	-0,000707	0,000507	132,104668
780	-65,00	-15,809965	-48,111526	0,000145	-0,000706	132,1503554
780	-70,00	-15,809287	-48,111256	0,000823	-0,000436	134,9806047
780	-64,00	-15,810939	-48,110344	-0,000829	0,000476	140,1517903
780	-64,00	-15,808974	-48,110794	0,001136	2,6E-05	149,3679359
780	-57,00	-15,810989	-48,110283	-0,000879	0,000537	152,43837
780	-67,00	-15,810652	-48,111557	-0,000542	-0,000737	153,9766043
780	-43,00	-15,810714	-48,110085	-0,000604	0,000735	157,5909202
780	-67,00	-15,808903	-48,110809	0,001207	1,1E-05	158,6340077
780	-60,00	-15,808879	-48,110840	0,001231	-2E-05	161,8173521
780	-63,00	-15,809107	-48,111347	0,001003	-0,000527	164,0207604
780	-61,00	-15,809730	-48,111664	0,00038	-0,000844	164,1129633
780	-66,00	-15,809751	-48,111671	0,000359	-0,000851	164,5360555
780	-71,00	-15,809083	-48,111393	0,001027	-0,000573	171,6981152
780	-51,00	-15,811168	-48,110226	-0,001058	0,000594	177,3057369
780	-42,00	-15,810639	-48,109917	-0,000529	0,000903	181,1311374
780	-69,00	-15,810751	-48,111706	-0,000641	-0,000886	184,4673356
780	-62,00	-15,809581	-48,111755	0,000529	-0,000935	186,6182709
780	-68,00	-15,808688	-48,110928	0,001422	-0,000108	187,9433326
780	-69,00	-15,809573	-48,111763	0,000537	-0,000943	188,3855451
780	-43,00	-15,811538	-48,110661	-0,001428	0,000159	189,9610538
780	-41,00	-15,810657	-48,109848	-0,000547	0,000972	193,8598728
780	-52,00	-15,809241	-48,109970	0,000869	0,00085	194,4992561
780	-70,00	-15,808925	-48,111450	0,001185	-0,00063	194,599085
780	-55,00	-15,809278	-48,109947	0,000832	0,000873	195,1989137
780	-69,00	-15,808981	-48,110126	0,001129	0,000694	196,3109338
780	-73,00	-15,810636	-48,111813	-0,000526	-0,000993	196,4897808
780	-76,00	-15,808927	-48,111469	0,001183	-0,000649	196,5216068
780	-45,00	-15,811286	-48,110161	-0,001176	0,000659	196,9373216
780	-60,00	-15,808926	-48,110149	0,001184	0,000671	199,1430161
780	-65,00	-15,808609	-48,110989	0,001501	-0,000169	199,7259951
780	-61,00	-15,808969	-48,110092	0,001141	0,000728	201,6610553

Tabela 9.2 – Dados obtidos para o Setor Y

BestChan	BestSig	Longitude	Latitude	Long. Corrigida	Lat. Corrigida	Distância (m)
789	-69,00	-15,810118	-48,110825	-8E-06	-5E-06	1,401081321
789	-63,00	-15,810155	-48,110760	-4,5E-05	6E-05	12,58902558
789	-65,00	-15,810019	-48,110855	9,1E-05	-3,5E-05	13,60314089
789	-59,00	-15,810213	-48,110748	-0,000103	7,2E-05	19,00207216
789	-67,00	-15,809961	-48,110920	0,000149	-0,0001	26,95382934
789	-81,00	-15,809811	-48,110966	0,000299	-0,000146	47,7003747
789	-69,00	-15,809813	-48,110977	0,000297	-0,000157	48,67329398
789	-79,00	-15,809658	-48,111065	0,000452	-0,000245	74,75167848
789	-61,00	-15,810088	-48,110409	2,2E-05	0,000411	76,18260265
789	-91,00	-15,809547	-48,111103	0,000563	-0,000283	90,67506384
789	-63,00	-15,809999	-48,110325	0,000111	0,000495	92,83984265
789	-55,00	-15,810447	-48,111275	-0,000337	-0,000455	95,20568314
789	-70,00	-15,809546	-48,110462	0,000564	0,000358	99,4525684
789	-78,00	-15,809821	-48,110321	0,000289	0,000499	99,92652748
789	-62,00	-15,809765	-48,110329	0,000345	0,000491	101,6206737
789	-57,00	-15,810243	-48,111370	-0,000133	-0,00055	103,3626001
789	-72,00	-15,809510	-48,110451	0,0006	0,000369	104,3498162
789	-84,00	-15,809364	-48,110569	0,000746	0,000251	108,5025983
789	-46,00	-15,810170	-48,111423	-6E-05	-0,000603	111,9690212
789	-44,00	-15,810565	-48,111343	-0,000455	-0,000523	113,8411766
789	-80,00	-15,809299	-48,110573	0,000811	0,000247	115,9842154
789	-50,00	-15,810906	-48,110439	-0,000796	0,000381	126,1870128
789	-48,00	-15,810003	-48,111507	0,000107	-0,000687	128,0245675
789	-62,00	-15,810817	-48,110313	-0,000707	0,000507	132,104668
789	-47,00	-15,809965	-48,111526	0,000145	-0,000706	132,1503554
789	-74,00	-15,809287	-48,111256	0,000823	-0,000436	134,9806047
789	-59,00	-15,810939	-48,110344	-0,000829	0,000476	140,1517903
789	-77,00	-15,808974	-48,110794	0,001136	2,6E-05	149,3679359
789	-56,00	-15,810989	-48,110283	-0,000879	0,000537	152,43837
789	-50,00	-15,810652	-48,111557	-0,000542	-0,000737	153,9766043
789	-64,00	-15,810714	-48,110085	-0,000604	0,000735	157,5909202
789	-88,00	-15,808903	-48,110809	0,001207	1,1E-05	158,6340077
789	-76,00	-15,808879	-48,110840	0,001231	-2E-05	161,8173521
789	-78,00	-15,809107	-48,111347	0,001003	-0,000527	164,0207604
789	-52,00	-15,809730	-48,111664	0,00038	-0,000844	164,1129633
789	-54,00	-15,809751	-48,111671	0,000359	-0,000851	164,5360555
789	-75,00	-15,809083	-48,111393	0,001027	-0,000573	171,6981152
789	-56,00	-15,811168	-48,110226	-0,001058	0,000594	177,3057369
789	-77,00	-15,810639	-48,109917	-0,000529	0,000903	181,1311374
789	-40,00	-15,810751	-48,111706	-0,000641	-0,000886	184,4673356
789	-58,00	-15,809581	-48,111755	0,000529	-0,000935	186,6182709
789	-77,00	-15,808688	-48,110928	0,001422	-0,000108	187,9433326
789	-56,00	-15,809573	-48,111763	0,000537	-0,000943	188,3855451
789	-59,00	-15,811538	-48,110661	-0,001428	0,000159	189,9610538
789	-72,00	-15,810657	-48,109848	-0,000547	0,000972	193,8598728
789	-78,00	-15,809241	-48,109970	0,000869	0,00085	194,4992561
789	-77,00	-15,808925	-48,111450	0,001185	-0,00063	194,599085
789	-87,00	-15,809278	-48,109947	0,000832	0,000873	195,1989137
789	-81,00	-15,808981	-48,110126	0,001129	0,000694	196,3109338

789	-39,00	-15,810636	-48,111813	-0,000526	-0,000993	196,4897808
789	-93,00	-15,808927	-48,111469	0,001183	-0,000649	196,5216068
789	-60,00	-15,811286	-48,110161	-0,001176	0,000659	196,9373216

Tabela 9.3 – Dados obtidos para o Setor Z

Estes dados serão agora estudados no próximo capítulo, quando deu-se início ao estudo estatísticos destes valores.

10 ESTUDO ESTATÍSTICO DOS DADOS OBTIDOS

Primeiramente, recordemos da equação de propagação no espaço livre:

$$P = P_o - \gamma \log(d) \quad (10.1)$$

Esta equação será utilizada em toda a análise, mesmo sabendo-se que se trata de uma pequena aproximação. Entretanto, se for encontrado um valor para γ entre -20 e -40 estaremos utilizando uma aproximação apropriada. Se o valor se encontrar fora deste intervalo, deve-se utilizar um outro modelo de propagação, já que este só é válido para este intervalo de valores. Esta equação será utilizada baseando-se no fato de que a região considerada para o estudo deste trabalho constitui-se de um relevo bastante plano, sem muitos obstáculos de sinal (a maioria das edificações presentes na área são casas de 1 ou 2 andares). Se este projeto for posteriormente aplicado em uma região como o Plano Piloto, por exemplo, outro modelo de propagação deverá ser escolhido, como os de Lee ou de Okumura-Hata, inclusive pelo fato de que neste tipo de região possa haver o fenômeno de *onda guiada*, presente em grandes centros urbanos, e que deve ser também considerado. Entretanto, para efeito de estudo deste trabalho, pode-se utilizar a equação de propagação no espaço livre sem maiores conseqüências.

Já conhece-se, por intermédio das tabelas apresentadas anteriormente (tabelas 9.1, 9.2 e 9.3), os valores de Potência recebida (P) e de distância (d), e resta agora encontrar os valores de γ e de P_o . O valor de γ é uma constante de propagação do meio, e varia de acordo com a região estudada. Neste ponto já encontrou-se uma importante aplicação para este trabalho. Atualmente, até onde se sabe, este estudo ainda não foi realizado por ninguém, e seria de alguma importância, pois os softwares de simulação utilizam este parâmetro quando apresentam a simulação de cobertura de um determinado local. P_o é o valor da potência transmitida pela Estação Rádio-Base, em dBm. Na prática, este valor é aproximadamente igual a 32 dBm. Posteriormente será obtido o valor experimental para esta potência.

Neste ponto esclarece-se uma dúvida que poderia ter surgido: se está sendo tomada a posição da ERB como o ponto central da análise, e obtendo-se as distâncias correspondentes a este ponto, teria-se um conjunto de valores com a mesma distância, porém com valores de potências diferentes, devido ao fato cada distância representar, na verdade, um raio em torno da

ERB, onde os valores diferentes de potências se explicariam pelo fato de ter-se um tipo de propagação quando se está de “frente” da antena e quando se está “de costas” para ela. Assim, teríamos de obter, para cada valor de distância, um valor médio de suas potências correspondentes, para então prosseguir-se com o estudo. Entretanto, para eliminar-se este problema, recorreu-se a um pequeno truque: aumentou-se a precisão das medidas de distância, e com isso pôde-se associar um valor de potência para cada valor de distância, pois seria quase uma impossível coincidência ter-se, para uma mesma distância dois ou mais valores de potência, pois para isso a leitura do instrumento de coleta de dados deveria ocorrer na mesma distância para ambos os casos, o que seria quase impossível.

Esclarecida esta dúvida, partiu-se para análise desta equação no MATLAB, na tentativa de obter-se os valores para P_o e γ .

10.1 Uma análise equivocada

Para obtenção dos valores para P_o e γ , utilizou-se todos os pontos descritos nas tabelas 9.1, 9.2 e 9.3, em uma pequena análise da equação de propagação no MATLAB. Todo o processo está descrito a seguir, tomando-se como base primeiramente os dados do setor Y:

OBS: As linhas de comando do software MATLAB estão escritas em negrito, com seus respectivos comentários ao seu lado, dentro de colchetes.

load pts.txt {foi feito um arquivo em formato texto com duas colunas, sendo a primeira relativa aos dados de potência e a segunda aos dados de distância. Aqui este arquivo foi carregado}
p=pts(:,1); {foi designada a primeira coluna do arquivo pts.txt para os dados de potência, e armazenados na variável “p”}
d=pts(:,2); {foi designada a segunda coluna do arquivo pts.txt para os dados de distância, e armazenados na variável “d”}
w=(1:1:12613)./(1:1:12613); {foi criada uma variável auxiliar “w”, em que todos os valores de suas linhas (12613 linhas, total de linhas de valores obtidos para este setor) seriam iguais a 1}
a=[w log(d)]; {foi criada uma variável “a”, em que os valores da primeira coluna seriam iguais a 1 (obtidos da variável “w”) e os da segunda coluna seriam iguais ao logaritmo dos valores de distância}

$\mathbf{x} = \text{inv}(\mathbf{a}^* \mathbf{a}) \cdot \mathbf{a}^* \mathbf{p}$ {a matrix “x” nos daria os valores de P_o e γ apenas com este isolamento de variáveis, usando os conceitos de resolução de equações matriciais, aplicados na equação para propagação no espaço livre}

Assim, obteve-se os seguintes valores para P_o e γ :

Setor Y:

$$\begin{bmatrix} P_o \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 45.909 \\ -18.06 \end{bmatrix}$$

Considerando-se que o valor esperado para a potência inicial (de saída da ERB) era algo em torno de 32 dBm, que é o valor utilizado normalmente pelas operadoras de telefonia celular do Distrito Federal, percebeu-se que o resultado obtido foi um pouco diferente ao que era esperado. Acrescentando-se, o valor encontrado para γ não esteve dentro do intervalo numérico entre -20 e -40 , e por isso a aproximação do modelo de propagação para o modelo do espaço livre não pode ser utilizada. Realizou-se o mesmo procedimento para os outros dois setores, e os resultados foram:

Setor X:

$$\begin{bmatrix} P_o \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 26.985 \\ -14.89 \end{bmatrix}$$

Setor Z:

$$\begin{bmatrix} P_o \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.14 \\ -11.31 \end{bmatrix}$$

Com base nos dados obtidos para os outros setores, percebeu-se que os valores não estiveram perto do esperado. Seguem abaixo as curvas referentes à propagação do sinal em cada setor:

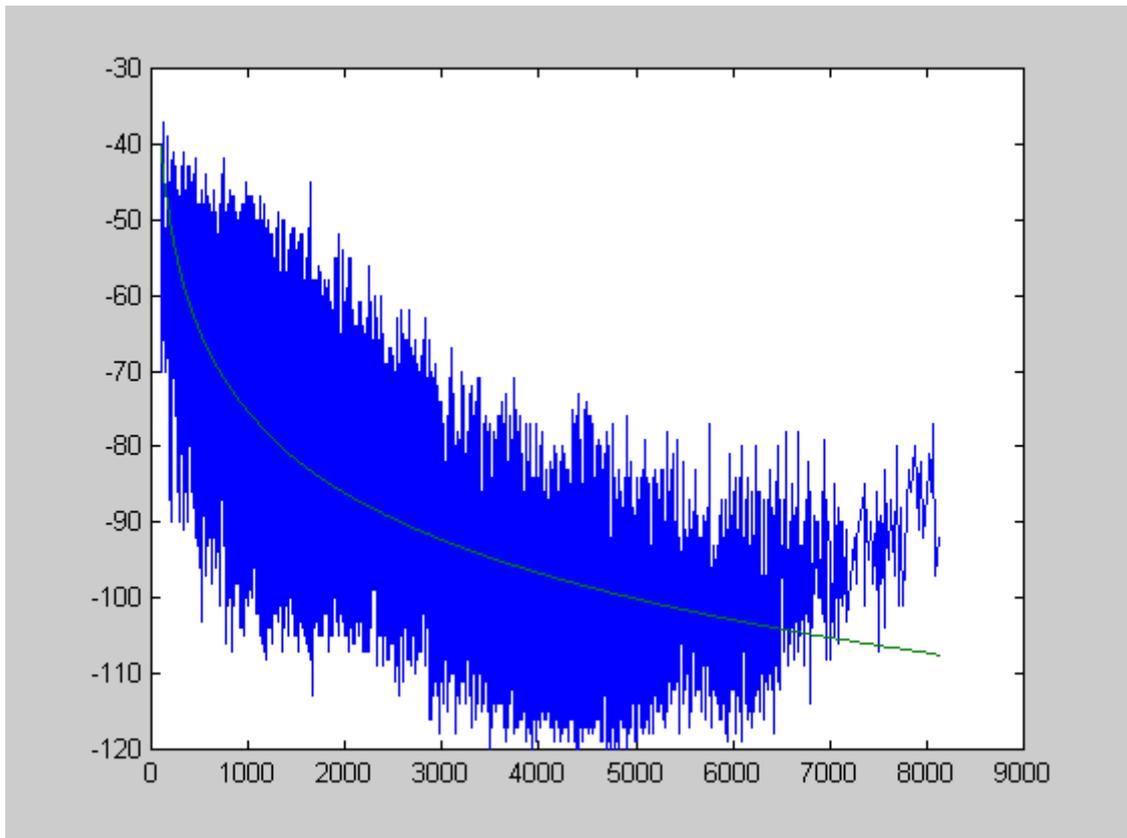


Figura 10.1 – Gráfico para o Setor X

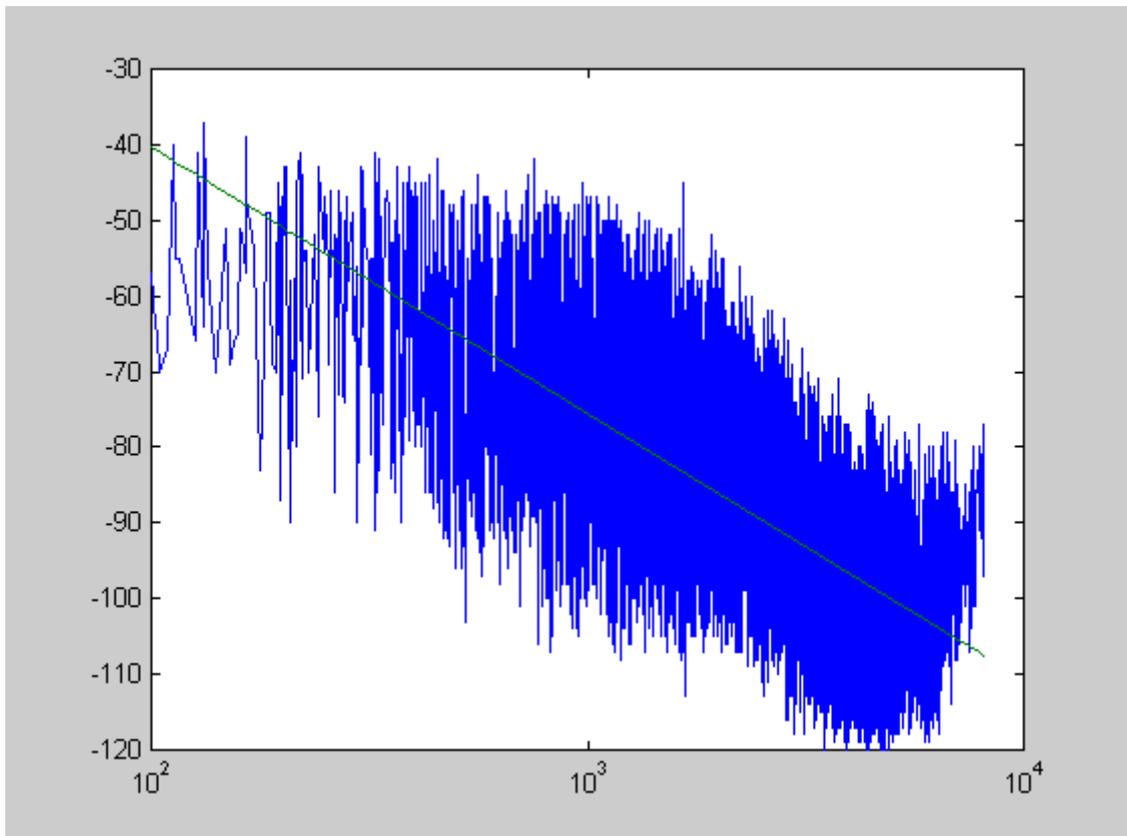


Figura 10.2 - Gráfico semilog para o Setor X

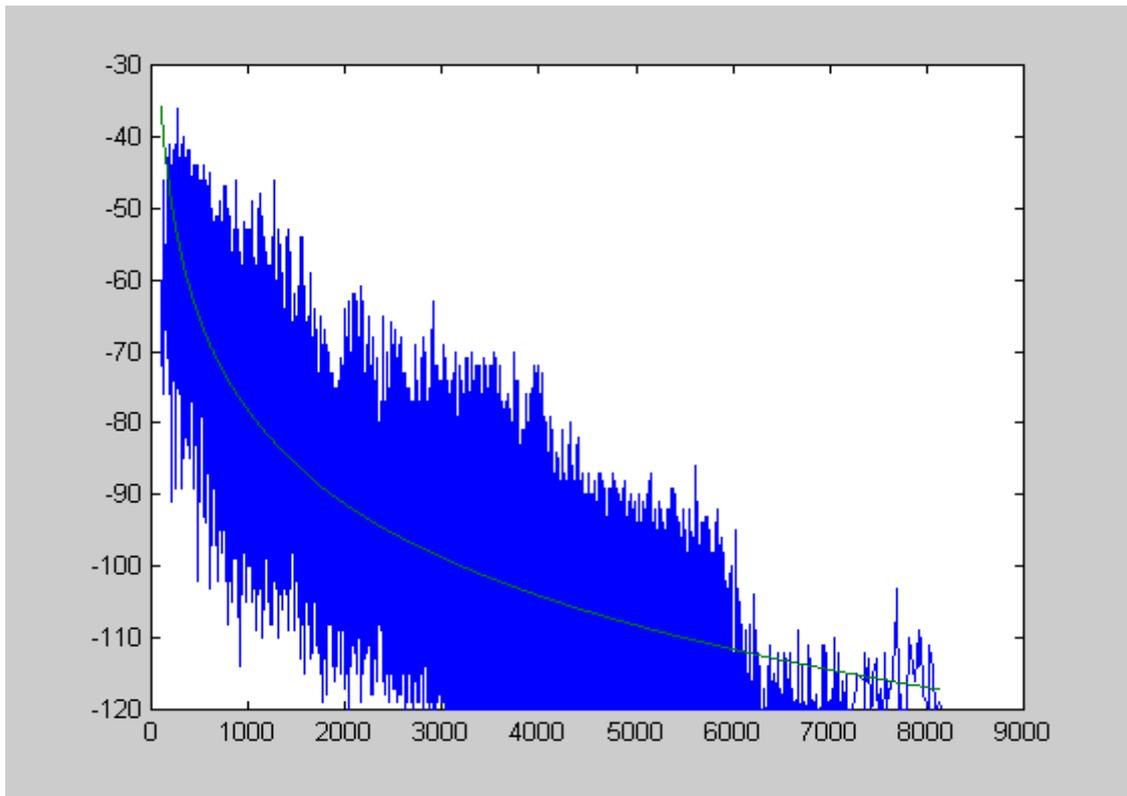


Figura 10.3 – Gráfico para o Setor Y

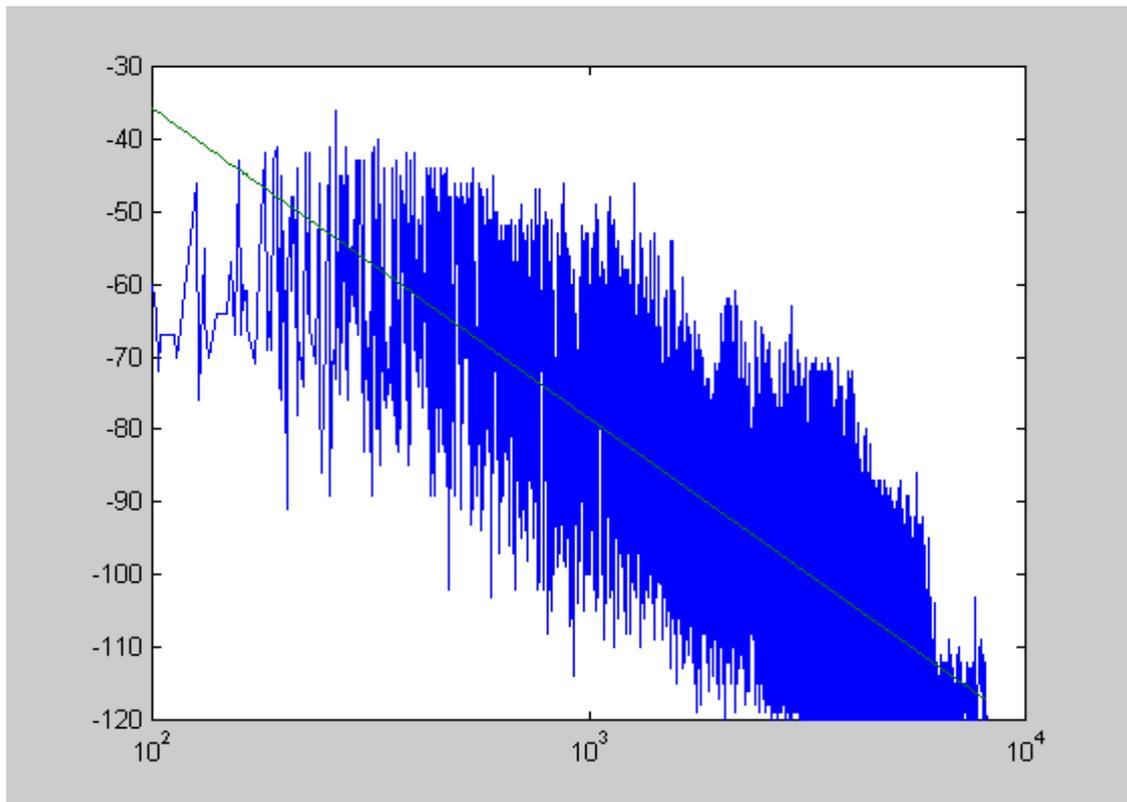


Figura 10.4 – Gráfico semilog para o Setor Y

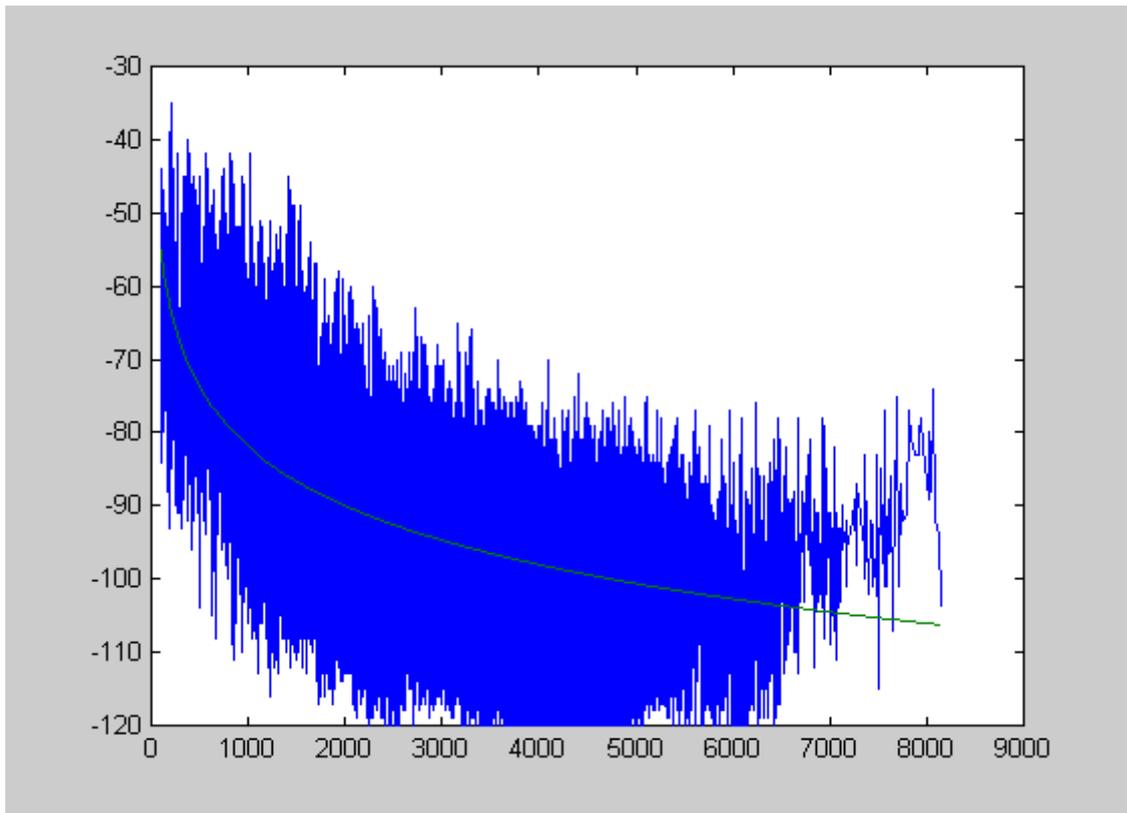


Figura 10.5 – Gráfico para o Setor Z

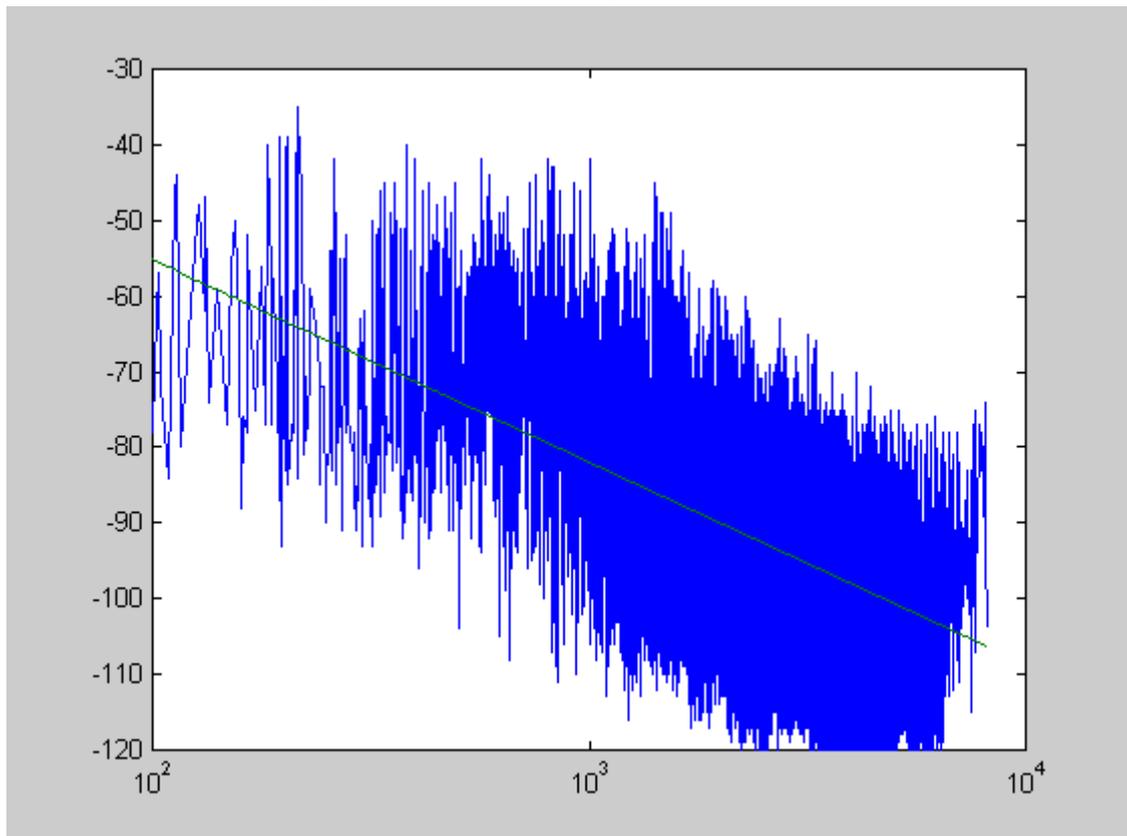


Figura 10.6 – Gráfico Semilog para o Setor Z

Percebeu-se que, para distâncias superiores a 6000 metros, aproximadamente, havia uma certa discrepância nos resultados obtidos, pois o comportamento do nível de sinal passa a não-seguir a linearidade que ocorre para distâncias inferiores a este valor.

Analisando-se posteriormente nossos cálculos, percebeu-se que o erro não estava nas equações e muito menos nos pontos, mas sim na maneira com que eram analisados. Cometeram-se dois erros graves em nossa análise:

➤ Esqueceu-se que a equação para o modelo de propagação no espaço livre só é válida para distâncias superiores a 100 metros, e por isso não podia-se considerar valores de distância entre 0 e 100 metros, como foi considerado;

➤ Considerando que o nível de handoff considerado pelas operadoras de telefonia celular é normalmente algo em torno de -80 dBm (conforme informado no capítulo 7), percebeu-se que os setores da estação considerada realizam handoff (pelos motivos também informados no capítulo 7) em uma distância de aproximadamente 1000 metros (como pode-se constatar pelos gráficos apresentados anteriormente). Assim, pode-se afirmar, com base teórica, que para distâncias muito grandes o modelo neste caso também não pode ser aplicado, pois a degradação do sinal é muito grande, e temos a presença dos efeitos apresentados nos gráficos anteriores. Assim, resolveu-se considerar distâncias de até 4000 metros, de modo a obter-se uma maior confiabilidade dos resultados obtidos;

10.2 Obtenção dos parâmetros estatísticos para a cobertura dos três setores considerados

Considerando-se o que foi dito no item anterior, realizou-se a mesma análise dos dados obtidos, excetuando-se que desta vez delimitaremos o intervalo de interesse. Assim, obteve-se as seguintes curvas para a propagação do sinal nos três setores em análise:

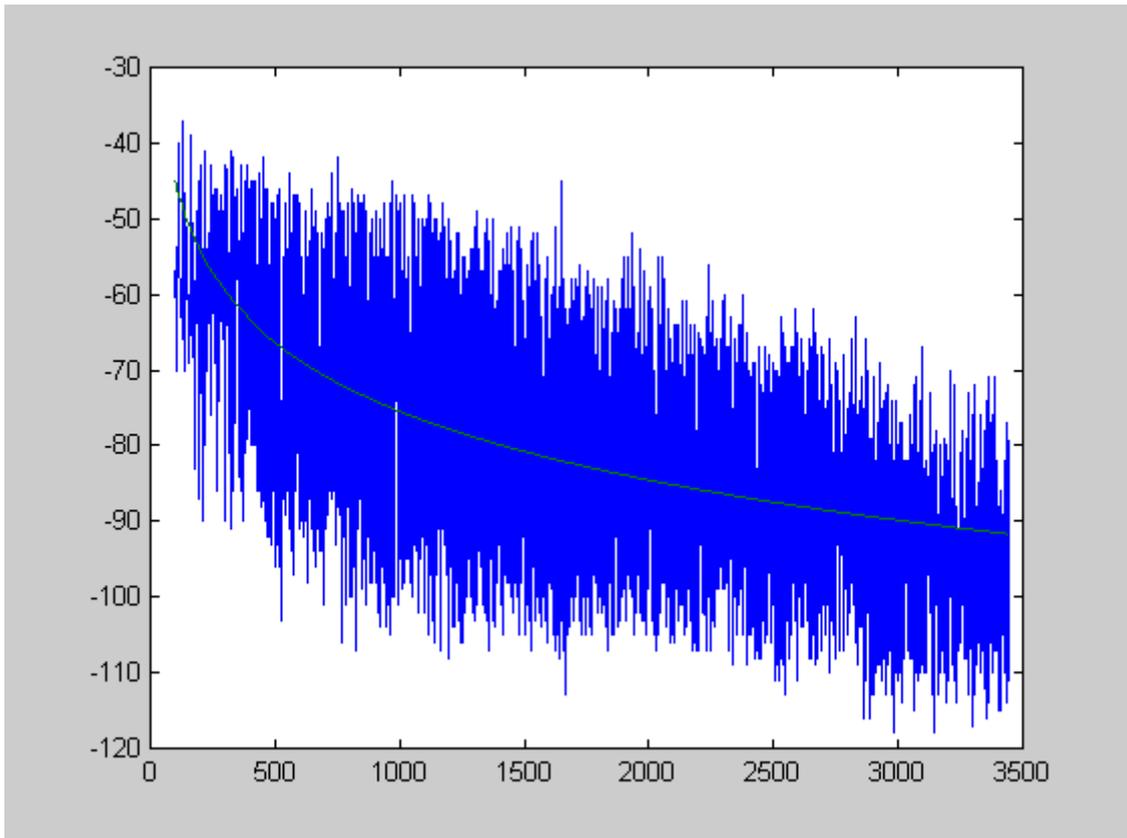


Figura 10.7 – Gráfico para os dados do Setor X

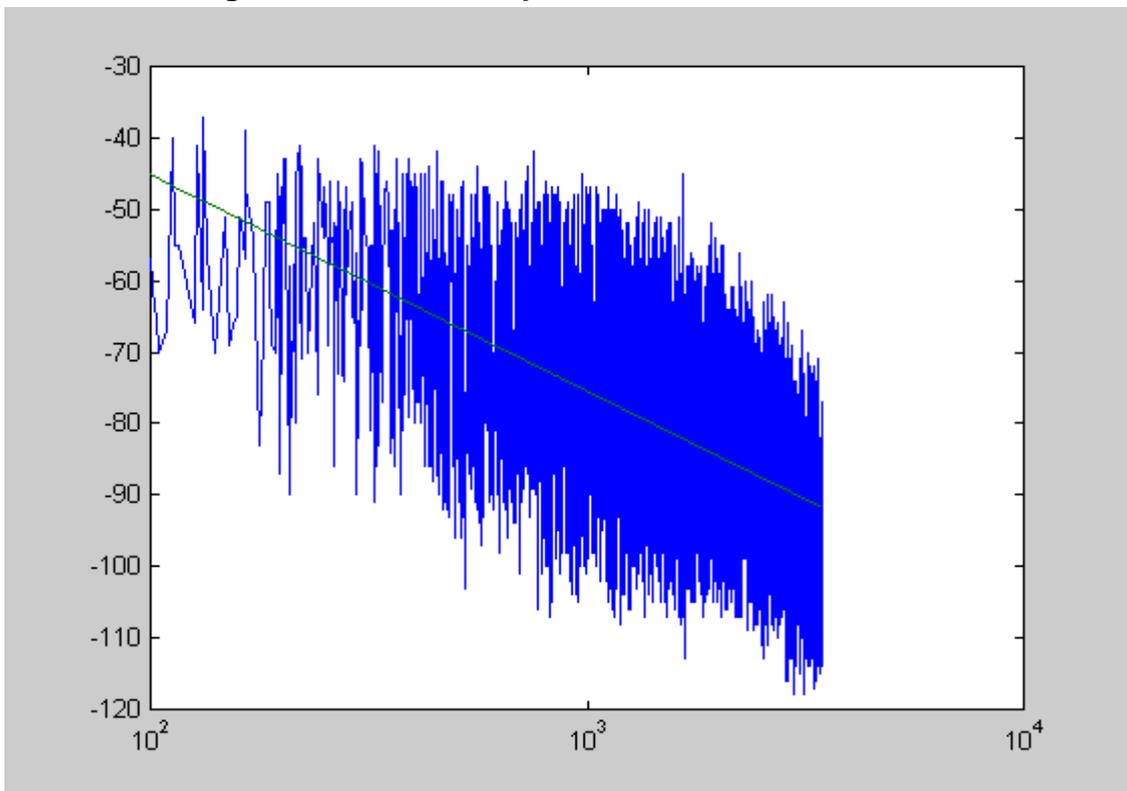


Figura 10.8 - Gráfico semilog para o Setor X

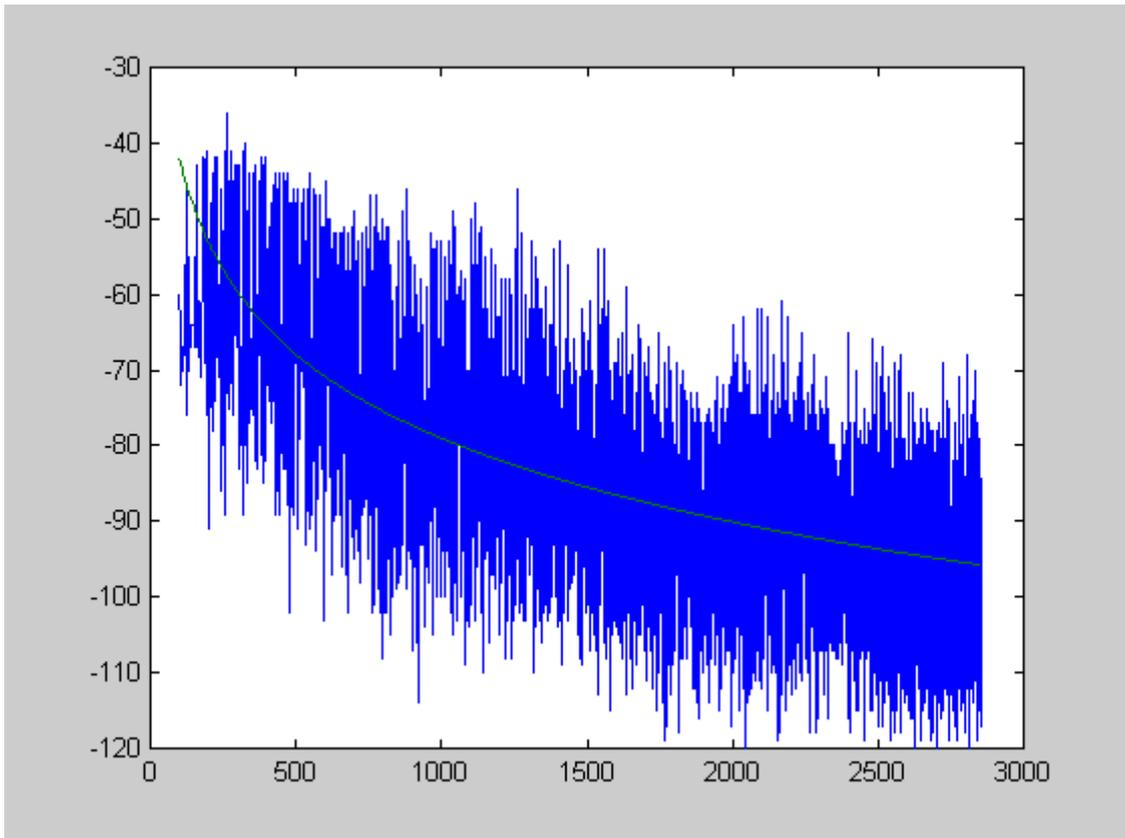


Figura 10.9 – Gráfico para o Setor Y

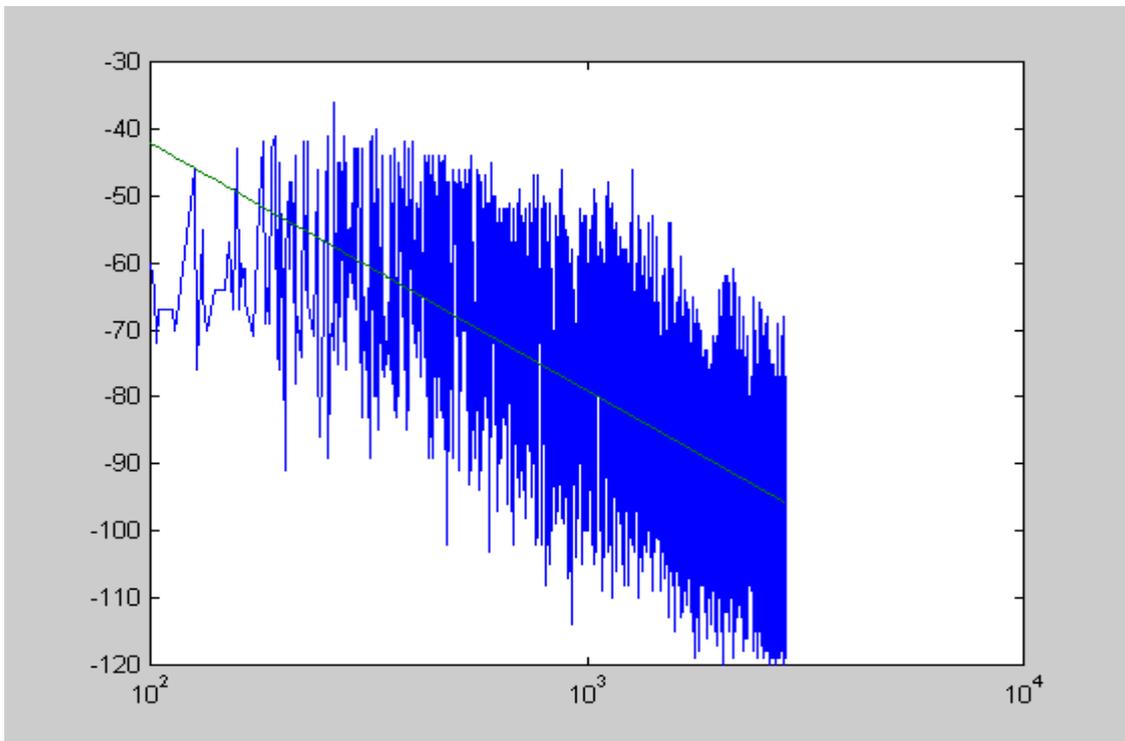


Figura 10.10 – Gráfico semilog para o Setor Y

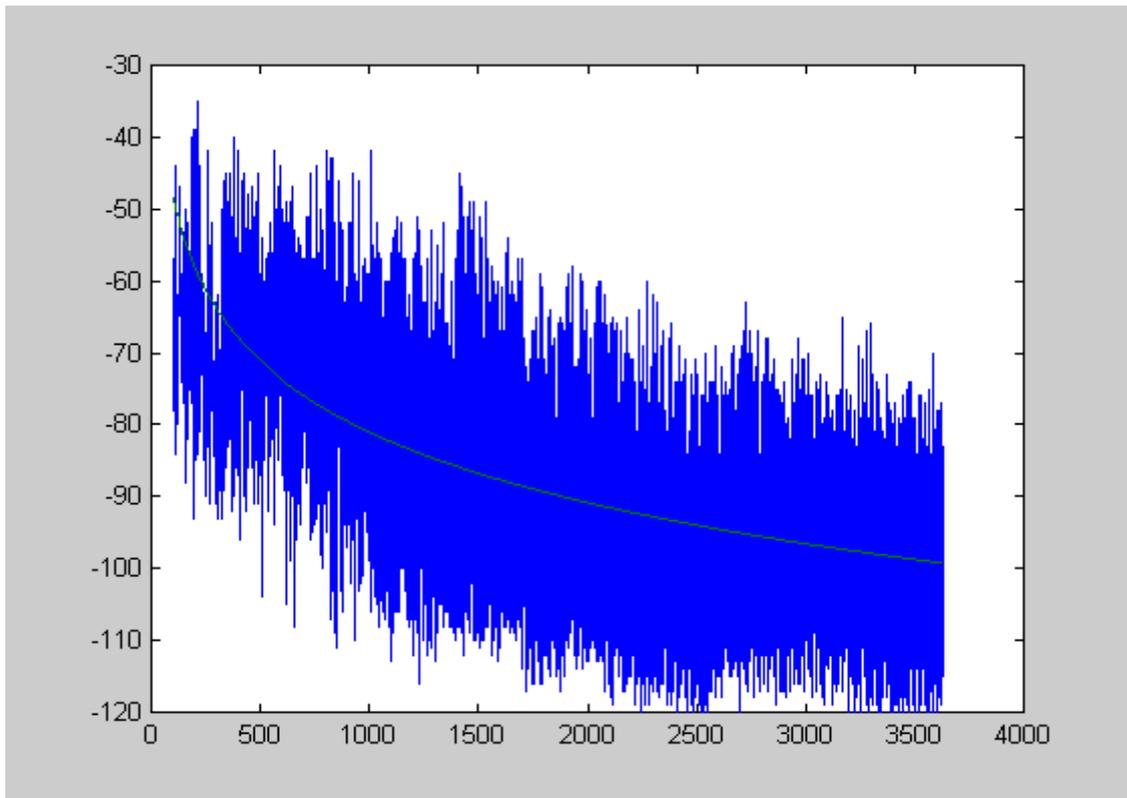


Figura 10.11 – Gráfico para o Setor Z

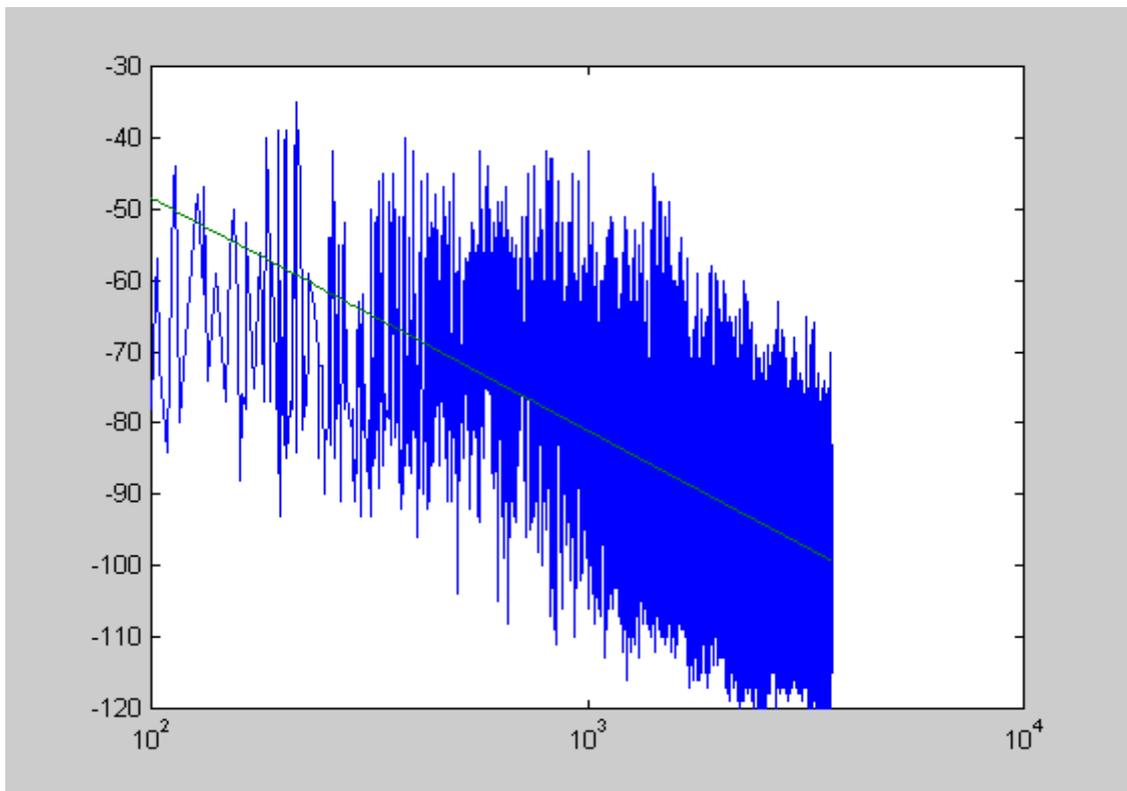


Figura 10.12 – Gráfico semilog para o Setor Z

Pode-se perceber agora que está-se considerando realmente a verdadeira faixa de estudo de nossa amostra, pois têm-se vários dados sobre o nível de sinal em cada ponto, variando entre -40 dBm e -120 dBm (quando o limiar de recepção dos aparelhos é de -113 dBm), e sem que causem deturpações, como ocorreram anteriormente.

Abaixo seguem os resultados obtidos (com o auxílio do método dos mínimos quadrados, já que tinha-se uma equação e dois parâmetros a serem obtidos) para Potência de sinal (em dBm) e do parâmetro γ de cada setor:

Setor X:

$$\begin{bmatrix} P_o \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15.34 \\ -30.25 \end{bmatrix}$$

Setor Y:

$$\begin{bmatrix} P_o \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 31.55 \\ -36.84 \end{bmatrix}$$

Setor Z:

$$\begin{bmatrix} P_o \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16.82 \\ -32.60 \end{bmatrix}$$

Pode-se tirar algumas conclusões sobre estes dados obtidos. Para o setor Y, o valor para Potência transmitida está plenamente de acordo com o esperado (32 dBm). Nos outros setores, isto não se repetiu. A causa para isto pode estar na obtenção das medidas, ou então em uma possível falha na ERB de estudo. Entretanto, isto não significa que os resultados obtidos até aqui estejam inadequados, pois todos os outros que se seguirão estiveram em pleno acordo com o que era esperado. Pode-se considerar que o modelo de propagação no espaço livre foi atendido, pois os valores para γ estiveram dentro do intervalo (entre -20 e -40) esperado para todos os setores.

Assim, pôde-se dar início à nossa análise estatística dos resultados obtidos.

Abaixo estão apresentados os valores obtidos para o desvio padrão dos dados de propagação de cada setor. Convém informar aqui que estes valores foram obtidos da seguinte forma: Primeiramente calculou-se a reta descrita em verde nos gráficos de semilog para os três

setores (figs. 10.8, 10.10 e 10.12), que seria uma reta de Valor médio de Potência versus Distância. Em seguida, subtraiu-se estas retas dos pontos que já tinha-se anteriormente para potência recebida em cada ponto. Com isso, o efeito verificado foi a translação da reta para o eixo X. Com isso, pode-se facilmente extrair o desvio padrão pelo MATLAB.

Setor X: $\sigma = 12.61$;

Setor Y: $\sigma = 11.46$;

Setor Z: $\sigma = 13.46$;

As médias para os três setores foram iguais a zero, o que já era esperado, pois os dados foram transladados para o eixo das abcissas.

Estes dados serão utilizados posteriormente ainda neste trabalho.

A seguir, serão apresentadas as curvas de distribuição lognormal real (característica da propagação em sistemas celulares) das amostras para os três setores analisados. Convém informar aqui que elas serão obtidas apenas realizando-se um histograma dos valores obtidos, e já que estamos em um caso em que temos um número muito grande de dados (mais de 7000, depois de desconsiderar-se os valores para distâncias acima de 4000 metros), a curva obtida com o histograma já basta para verificar-se a validade de podermos utilizar a distribuição lognormal se ajusta perfeitamente para estes dados.

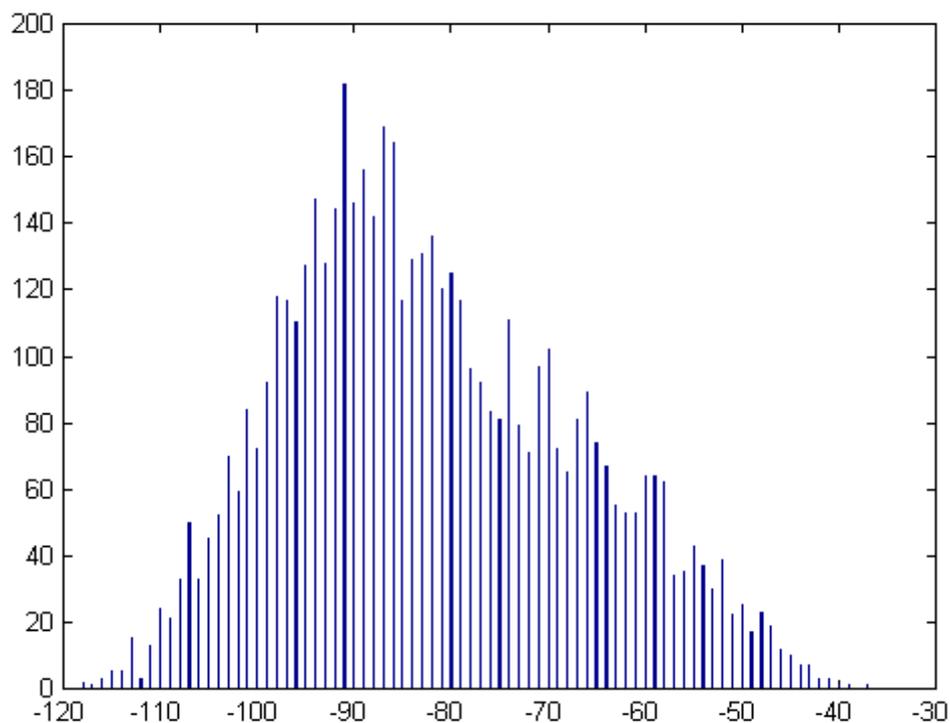


Figura 10.13 – Histograma dos dados de potência do sinal recebido do setor X
Média: -82.46 dBm;

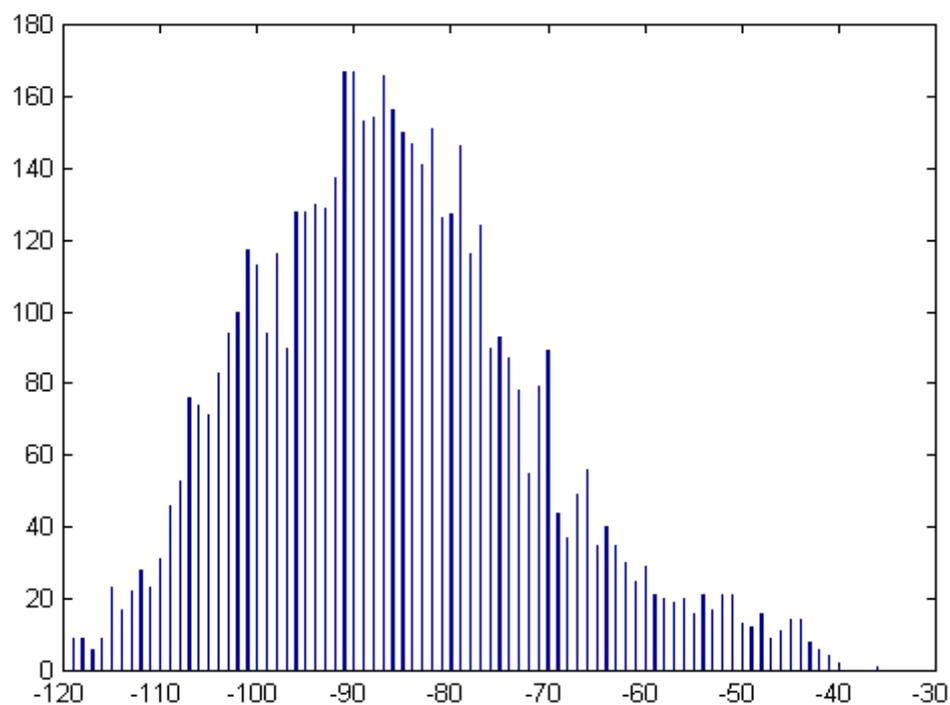


Figura 10.14 – Histograma dos dados de potência do sinal recebido do setor Y
Média: -85.96 dBm;

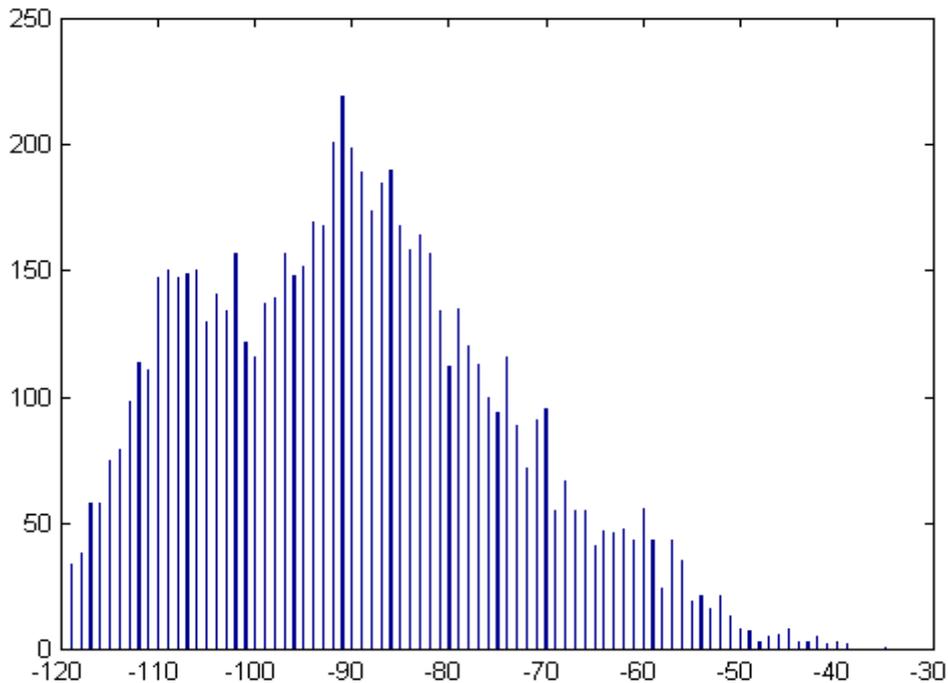


Figura 10.15 – Histograma dos dados de potência do sinal recebido do setor Z

Média: -89.98 dBm;

Daí pode-se perceber, primeiramente, que os dados para a cobertura do setor Z indica uma maior degradação do sinal recebido pelo celular de teste. Sua média foi a pior dentre os três setores em estudo, e pela distribuição normal percebe-se que a grande parte das medidas de sinal encontradas se situam após o nível de -90 dBm, o que não acontece nos outros setores.

Considerando-se um coeficiente de confiança de 99%, e utilizando-se a equação 8.9, associada com a tabela abaixo, tem-se:

Coeficiente de Confiança 100(1- α)%	$Z_{\alpha/2}$
90%	1,645
95%	1,960
99%	2,575

Tabela 10.1 – Valores de $z_{\alpha/2}$ associados aos Coeficientes de Confiança mais utilizados na prática

Setor X:

$$\bar{x} - 2,575 * \frac{12.61}{\sqrt{5400}} \leq -82,46 \leq \bar{x} + 2,575 * \frac{12.61}{\sqrt{5400}} \quad (10.1)$$

$$\bar{x} - 0,442 \leq -82,46 \leq \bar{x} + 0,442 \quad (10.2)$$

Setor Y:

$$\bar{x} - 2,575 * \frac{11.46}{\sqrt{5400}} \leq -85,96 \leq \bar{x} + 2,575 * \frac{11.46}{\sqrt{5400}} \quad (10.3)$$

$$\bar{x} - 0,402 \leq -85,96 \leq \bar{x} + 0,402 \quad (10.4)$$

Setor Y:

$$\bar{x} - 2,575 * \frac{13.46}{\sqrt{5400}} \leq -89,98 \leq \bar{x} + 2,575 * \frac{13.46}{\sqrt{5400}} \quad (10.5)$$

$$\bar{x} - 0,472 \leq -89,98 \leq \bar{x} + 0,472 \quad (10.6)$$

Como pode-se perceber pelas equações acima, os dados podem facilmente ser representados pela distribuição normal, já que a variação para a média dos valores, dado o coeficiente de confiança estabelecido, é muito pequena, quase insignificante.

11 ANÁLISE DAS FRONTEIRAS DE HANDOFF ATRAVÉS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS REALIZADAS NO CAPÍTULO ANTERIOR

Os resultados das análises estatísticas realizadas no capítulo anterior podem agora ser utilizadas para o estabelecimento das fronteiras de handoff ideais da célula em questão. No capítulo anterior verificou-se que a distribuição normal utilizada para a análise dos dados foi validada, e por isso podem ser utilizados os parâmetros estatísticos obtidos.

Será utilizada agora uma análise baseada na curva de distribuição normal, para que se possa encontrar os valores dos limiares de handoff da ERB de estudo.

Segue novamente a figura teórica da distribuição normal de uma amostra de dados:

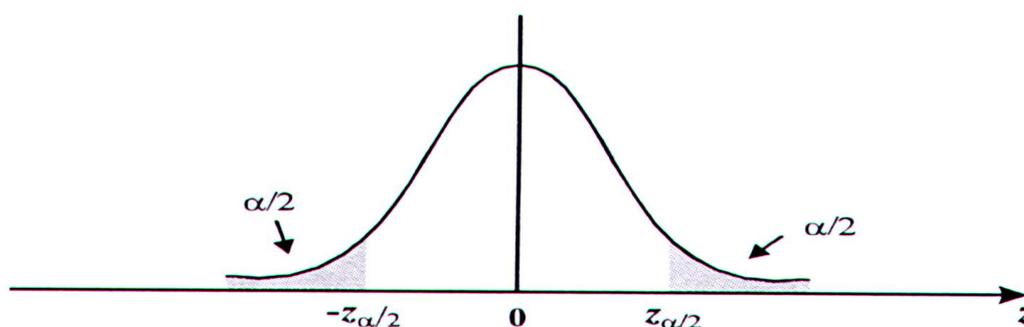


Figura 11.1 – Distribuição normal de z

Considere-se o seguinte:

Baseando-se nos valores de desvio padrão de nossas amostras, obtidos anteriormente, será feita aqui a seguinte análise: Considerando-se que o limiar de recepção de um telefone móvel é de -113 dBm, e que após este valor de intensidade de sinal não há conversação, considere-se este valor como equivalente a $-z_{\alpha/2}$, pois a partir deste valor, baseando-se na curva 11.1, entraria-se na faixa de “desconfiança” dos dados. Utilizando-se um Coeficiente de confiança de 99%, teria-se um $z_{\alpha/2}$ igual a 2,575. Se for tomado o valor de -113 dBm e for somado a este valor $2,575 \cdot \sigma$, obter-se-ão no topo da distribuição os valores para os limiares de handoff dos setores estudados, conforme mostra a figura 11.2. Com isso, garante-se que em torno dos limiares de handoff obtidos esteja a maior confiabilidade dos dados, ou seja, um menor número de pessoas poderão (terão a probabilidade) ter problemas na execução de handoffs. Com esta análise,

espera-se que apenas 1% das pessoas possam ter falhas com a execução de handoffs, devido ao Coeficiente de confiança utilizado.

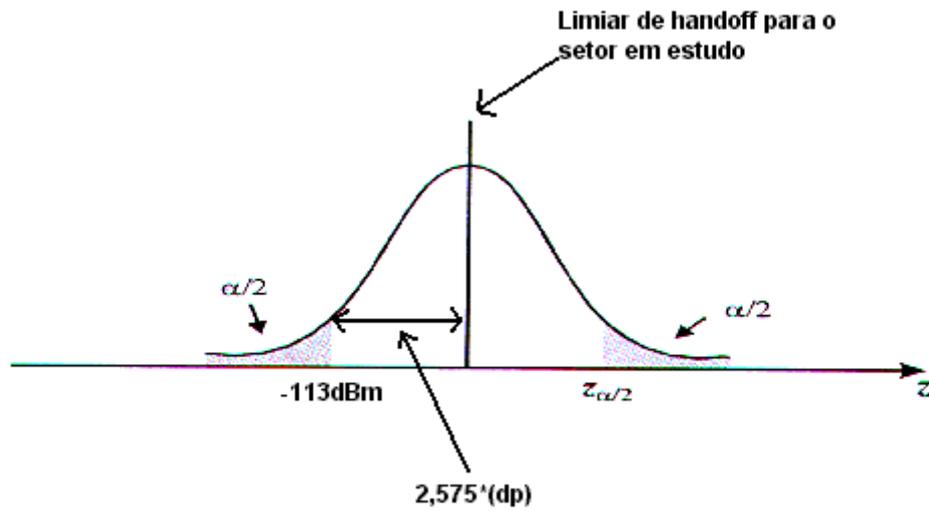


Figura 11.2 – Obtenção dos limiares de handoff pela análise estatística dos dados obtidos

Assim, os valores obtidos para os limiares de handoff para os três setores analisados são:

Setor X: -80,53 dBm;

Setor Y: -83,49 dBm;

Setor Z: -78,34 dBm;

12 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS FRONTEIRAS DE HANDOFF

No capítulo anterior foram obtidas as fronteiras de handoff para a estação em estudo. O resultado obtido foi considerado de extrema relevância, pois sabe-se que as grandes operadoras de telefonia celular (pelo menos as duas grandes daqui do Distrito Federal) utilizam níveis para limiares de handoff mediante simulações teóricas, e que normalmente ajustam este valor para – 78dBm em todas as ERBs, excetuando-se alguns casos especiais. Este valor é considerado de alta confiabilidade para todos os casos em geral. É lógico que, se fosse possível, ajustava-se este valor para todas as ERBs do sistema, pois este nível de sinal dificilmente traz problemas para uma conversação, pois é considerado um excelente nível de qualidade de cobertura. Entretanto, quando realizamos uma otimização do sistema, este valor precisa ser ajustado de modo a ainda oferecer uma ótima qualidade de sinal, mas também a oferecer um número mínimo de handoffs realizados. Quanto mais alto for o nível de sinal ajustado para o limiar de handoff, mais handoffs o móvel irá fazer. Se for forçado com que o móvel retarde um pouco este processo, sem comprometer a qualidade da ligação, o processo de handoff da ERB estará sendo otimizado. Pelos resultados obtidos no capítulo anterior, garante-se que, com este novo nível de sinal ajustado, apenas 1 entre 100 pessoas terão problemas com a qualidade da ligação, estatisticamente (garantido pelo coeficiente de confiança). Isto garante que não haja uma degradação significativa dos índices de qualidade da estação estudada.

Com estes novos limiares de handoff, esperava-se reduzir bastante o número de handoffs realizados pela ERB de estudo, pois o processo seria retardado para os três setores, principalmente para o setor Y, que apresentou o maior limiar de handoff. Já para o setor Z, não houve grandes diferenças, pois o valor obtido foi praticamente o mesmo que já era utilizado anteriormente.

De posse dos novos limiares de handoff estabelecidos, implementaram-se estes valores na prática, novamente na nossa ERB em estudo. A tabela abaixo mostra o número de handoffs realizados por cada setor da ERB de estudo com cada um de seus setores e ERBs adjacentes. É importante atentar para o fato de que os dados foram comparados com outros dados referentes aos mesmos setores, com as mesmas ERBs adjacentes, no mesmo dia da semana, porém em semanas diferentes. Os resultados obtidos superaram o esperado, pois houve, para cada

adjacência, uma diminuição de 10 a 15% no número de handoffs realizados, conforme é apresentado abaixo:

DATA	CELL	ADJ 01	ADJ 02	ADJ 03	ADJ 04	ADJ 05	ADJ 06	ADJ 07	ADJ 08	ADJ 09
JAN15	Setor X	73	113	16	13	60	868	168	335	123
JAN29	Setor X	46	121	13	14	51	758	149	333	173
JAN15	Setor Y	68	104	270	80	336	530	815	261	364
JAN29	Setor Y	57	88	215	74	329	415	724	250	282
JAN15	Setor Z	101	140	5	465	96	543	0	0	0
JAN29	Setor Z	94	149	4	457	110	543	0	0	0

Tabela 12.1 – Handoffs realizados pela ERB de estudo antes e depois do ajuste dos limiares de handoff

O que ocorreu na prática, como já foi dito, foi a expansão dos limiares de handoff (ou fronteiras de handoff) da ERB estudada. Conforme foi apresentado no capítulo 7, houve um deslocamento da curva de cobertura da ERB de estudo. Por este motivo, houve um número menor de handoffs realizados. Isto nos traz várias conseqüências, que serão analisadas no próximo capítulo.

Neste ponto poderia-se indagar se não houve um aumento na degradação da qualidade das conversações desta ERB. Logicamente, se forem expandidas as fronteiras de handoff das ERBs, logicamente esperaria-se um número reduzido de handoffs no sistema. Entretanto, tem de ser verificado se não houve conseqüências negativas neste processo. Um efeito esperado quando expande-se as fronteiras de handoff de uma estação é a conseqüente expansão de sua área de cobertura realmente utilizada pelos usuários para conversação (desconsiderando as áreas em que esta ERB possui cobertura, mas com níveis bem inferiores aos de outra ERB da região). Quando isto ocorre, pode haver um aumento na taxa de erro das conversações, provocadas por causa de níveis mais baixos de sinal, causando cortes nas ligações, queda de chamadas, etc... Tudo isto causado pelo fato de que, com baixos níveis de potência recebidos pelos aparelhos celulares, qualquer obstáculo que cause degradação desta potência (o fato de entrar em casa, por exemplo) pode significar uma perda significativa de qualidade, pois uma queda de 8 dB é muito mais significativa quando o móvel está com níveis de sinal entre -80 e -90 dBm do que com níveis entre -70 e -80, logicamente. Acrescentando-se, quando tem-se níveis mais baixos de cobertura, pode-se aumentar os índices de RBER e FBER (apresentados no capítulo 8), o que não é desejado em um sistema celular. Quando uma estação possui um limiar de handoff estendido (caso de nossa ERB em estudo), o número de handoffs por taxa de erro podem

aumentar, pelo fato de que, se o móvel demora para realizar um processo de handoff, e há um aumento na degradação da qualidade da conversação devido ao aumento da taxa de erro (BER), este procura realizar handoff por taxa de erro, e não assistido pela MAHO, que é o desejado na maioria dos casos. Nos dias em que realiza-se esta alteração nos limiares de handoff da ERB de estudo, verifica-se também se houve degradação em sua performance, comparada com os outros dias, principalmente nos índices de RBER e FBER. Os resultados estão mostrados abaixo:

DATA	CELL	FBER%	RBER%
JAN15	Setor X	0,89	2,56
JAN29	Setor X	1,02	3,31
JAN15	Setor Y	0,42	0,29
JAN29	Setor Y	0,94	1,73
JAN15	Setor Z	3,26	2,33
JAN29	Setor Z	3,44	2,25

Tabela 12.2 – Dados da ERB de estudo quanto ao aumento na taxa de erro

Percebe-se que não houve um aumento grande nos três setores, de forma com que pudesse invalidar nossa análise. De acordo com os manuais de performance do sistema celular da Nortel (utilizado nesta análise), é permitido índices de até 12% para FBER e RBER. Acima disso, é esperada uma otimização do sistema de modo a reduzi-los. Pôde-se verificar também pela tabela acima que houve um aumento maior para o Setor Y e menor para o Setor Z. Isto é explicado pelo fato de que foram feitas maiores modificações no setor Y e menores no setor Z.

Os outros indicadores de performance da ERB não sofreram alterações, o que era esperado, pois não têm relação com o número de handoffs realizados. Com isso, pode-se considerar que a mudança foi significativa, pois proporcionou uma melhoria na performance de handoffs sem afetar outros parâmetros de qualidade do sistema.

No próximo capítulo iremos tratar de algumas conseqüências que este estudo possa trazer para um possível emprego em uma operadora de telefonia celular.

13 CONSEQUÊNCIAS DESTES RESULTADOS SE FOSSEM UTILIZADOS EM UMA OPERADORA DE TELEFONIA CELULAR

Já foram apresentados no capítulo anterior os resultados obtidos neste trabalho, que foram validados na prática, pegando-se como exemplo a performance de nossa ERB de estudo. Neste capítulo serão analisadas as consequências para uma operadora de telefonia celular se os conceitos utilizados neste projeto fossem aplicados em todas as ERBs de seu sistema.

➤ **Diminuição do número de handoffs realizados no sistema**

Conforme foi mostrado no capítulo anterior, a alteração dos limiares de handoff causou uma diminuição esperada no número de handoffs realizados pelo sistema. Se este processo fosse realizado em todo o sistema de uma operadora de telefonia celular, esta diminuição seria muito mais significativa. Outra consequência seria o fato de que haveria uma diminuição também dos "ping-pongs de handoff". Este nome é dado ao processo em que um móvel, em movimento dentro da região de borda da cobertura de duas células (Figura 9.11 do Capítulo 9), realiza handoffs sucessivos entre estas duas ERBs em questão. Logicamente, pode-se pensar no fato de que, trasladando as fronteiras das duas ERBs, o problema apenas muda de lugar. Realmente isto pode acontecer. Neste caso entra em ação o Engenheiro de Otimização que, fazendo uma análise em campo do problema, ajusta manualmente os níveis de handoff das duas ERBs específicas de modo a corrigir esta falha. Acrescentando-se, convém lembrar que de qualquer forma os handoffs por ping-pong irão diminuir, já que o número total de handoffs também diminuiriam.

➤ **Diminuição do processamento do locate (LCR)**

Um menor número de handoffs realizados pelo sistema iria proporcionar também um menor processamento dos locates de cada ERB. Isto ainda não é analisado atualmente pelas operadoras de telefonia celular móvel do Distrito Federal, mas pode-se facilmente imaginar que teria-se uma queda no pedido de *handoffs request*, o que resulta em uma menor taxa de utilização dos locates, proporcionando menos chances de termos defeitos futuros nesta unidade, já que estes realizam a todo instante medidas de sinal das ERBs adjacentes para possíveis tentativas de handoffs nas conversações que trafeguem pelo seu setor. Se o número de handoffs realizados diminuir, têm-se menos leituras destes níveis de sinal, desafogando assim seu processamento.

➤ **Diminuição do processamento dos ICPs da Central**

Como verificou-se no capítulo 5 deste trabalho, a Central de um sistema celular é composta por vários módulos periféricos que proporcionam as chamadas digitais. Um deles, conforme foi visto no mesmo capítulo é o ICP (Periférico Celular Inteligente). Suas funções já foram apresentadas anteriormente, mas neste capítulo serão tratadas apenas as implicações que a queda no número de handoffs realizados pelo sistema terão em seu processamento.

Atualmente, as Centrais celulares se encontram sobrecarregadas, devido ao grande aumento do número de assinantes, proporcionado pelas grandes promoções de vendas de aparelhos. Uma solução para esta sobrecarga das Centrais seria a sua expansão em várias outras centrais, de acordo com a necessidade. Contudo, esta solução muitas vezes é inviável, pois se torna muito cara, e como as empresas visam ao lucro também, muitas vezes isto não é feito. Com isso, a otimização do sistema é sempre a maneira mais viável.

Para que se tenha uma idéia do que estamos falando, com o aumento do número de programas de TV que interagem com os telespectadores por meio de ligações telefônicas, o processamento das centrais celulares chega a 80% nos picos de utilização destes recursos. Se for considerado que os manuais garantem uma eficiência total do sistema com processamentos de até 70%, estamos diante de um problema muito sério. Normalmente, em uma Central celular, seu processamento normal em horários de maior utilização do sistema chega a 50, 60%. Normalmente, não têm-se uma preocupação adequada com a otimização do sistema, e geralmente não analisam as fronteiras de handoff. O número de handoffs realizados pelo sistema tem uma importância fundamental no processamento dos ICPs. Infelizmente, não se teve acesso às formulas que calculam este processamento, até porque, até onde se sabe, as duas empresas de telefonia celular do Distrito Federal não a conhecem. Encontrou-se um meio de se medir este processamento, feito por meio de logs (relatórios de qualidade do sistema), que podem gerar, a cada minuto, a taxa de processamento de cada ICP. Se estas mudanças fossem realizadas nas fronteiras de handoff do sistema certamente teria-se taxas menores de processamento dos ICPs, proporcionando um melhor funcionamento das Centrais celulares. Este é um dos grandes resultados que esta análise pode trazer.

14 CONCLUSÕES

Este trabalho se propôs a mostrar uma visão geral sobre um sistema celular, seus módulos que o compõem, o estudo sobre sua performance, e principalmente sobre os processos de handoff realizados por suas estações. Mostrou uma maneira inovadora de obter-se conclusões a respeito do funcionamento e da otimização dos sistemas celulares com o auxílio de simples ferramentas estatísticas. Em todo o estudo, nunca foram utilizados conceitos complexos de inferência estatística, muito pelo contrário, apenas conceitos básicos, de conhecimento geral de todo engenheiro. Entretanto, os resultados que estas análises trouxeram foram muito significativos, conforme foi mostrado em todo este relatório. E certamente muitos outros poderiam ser obtidos, bastando-se para isso a vontade de fazê-lo, que provavelmente será realizado por um futuro estudante de Engenharia Elétrica.

Todo o problema acerca de otimização das fronteiras de handoff foi tratado neste projeto, e suas conclusões poderão ser utilizadas em uma empresa de telefonia móvel celular. Todos os resultados obtidos neste trabalho foram validados experimentalmente, excetuando-se o problema ocorrido na determinação da potência de sinal transmitido pelos setores X e Z da ERB de estudo. Entretanto, conforme foi visto, isto não trouxe problemas para nossa análise posterior.

Espera-se agora, com a aprovação final deste trabalho, que estes conceitos possam ser aplicados num futuro próximo por uma empresa de telefonia celular, para que finalmente todas as conseqüências e benefícios de todo este estudo possam ser finalmente comprovados.

15 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Nortel Networks (1997), *“Sistemas celulares AMPS/TDMA”*, MTX 04;
- 2) Nortel Networks (1999), *“TDMA RF Engineering Guidelines for 800 MHz Cellular Systems”*, MTX 08;
- 3) Nortel Networks (1999), *“Wireless Networks TDMA Deployment Guidelines for 800 MHz Cellular Systems”*, MTX 08;
- 4) Nortel Networks (1999), *“Cellular Handoff for AMPS/TDMA Systems Application Guide”*, MTX 08;
- 5) Nortel Networks (1999), *“Traffic Planning Reference Manual”*, MTX 08;
- 6) Nortel Networks (1999), *“Capacity Planning Guidelines”*, MTX 08;
- 7) Beichl, Isabel (2000), *“Fitting Nature’s Basic Functions Part I: Polynomials and Linear Least Squares”*;
- 8) Beichl, Isabel (2000), *“Fitting Nature’s Basic Functions Part II: Estimating Uncertainties and Testing Hypotheses”*;
- 9) Sanches, Mário e Cavalcante, Gervásio (2000), *“Modelos Adaptativos para Predição de Radiopropagação em Sistemas Móveis Terrestres”*, Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará;
- 10) Werkema, Maria C. C., *“Como estabelecer conclusões com confiança: Entendendo Inferência Estatística”*, Vol. 4, Ed. QFCO, Série Ferramentas de Qualidade;