

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS A OTIMIZAÇÃO
DE REDES DE COMUNICAÇÃO MÓVEL**

THOMPSON ARAUJO MARTINS

ORIENTADOR: LEONARDO R. A. X. MENEZES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: ENE.DM - 166/03
BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO – 2003

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS A OTIMIZAÇÃO DE
REDES DE TELEFONIA MÓVEL

Thompson Araújo Martins

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:



LEONARDO R. A. X. DE MENEZES, PhD, ENE/UnB
(ORIENTADOR)



LEONARDO GUERRA DE REZENDE GUEDES, DOUTOR, UFG/GO
(EXAMINADOR EXTERNO)



PAULO HENRIQUE PORTELA DE CARVALHO, DOCTEUR, ENE/UnB
(EXAMINADOR INTERNO)

BRASÍLIA, 05 DE DEZEMBRO DE 2003.

FICHA CATALOGRÁFICA

MARTINS, THOMPSON ARAUJO

Métodos Estatísticos Aplicados a Otimização de Redes de Comunicação Móvel [Distrito Federal] 2003.
xviii, 197p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2003).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Comunicações Móveis

2. Otimização

3. Métodos Estatísticos

4. Telefonia Celular

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARTINS, T. A. (2003). Métodos Estatísticos Aplicados a Otimização de Redes de Comunicação Móvel. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação ENE.DM-166/03, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

CESSÃO DE DIREITOS

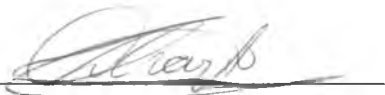
AUTOR: Thompson Araujo Martins.

TÍTULO: Métodos Estatísticos Aplicados a Otimização de Redes de Comunicação Móvel.

GRAU: Mestre

ANO: 2003

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.



Thompson Araujo Martins
QE 32 Cj O Cs 41, Guará II.
71065-151 Brasília– DF – Brasil.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado especialmente a minha magnífica esposa. E ao estudioso e culto vovô Humberto (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Obrigado ao Senhor Deus que concedeu chegar até aqui.

A meus pais.

E aos Engenheiros de RF e Professores que ao longo do caminho ultrapassaram os limites da simples transferência de conhecimento para firmarem-se como exemplos memoráveis de grandeza e excelência profissional: Eng. Francis Robert e Eng. Pedro Ribeiro (de Brasília), Eng. Vasilis Dimou (da Grécia), Eng. Carlos Holanda (do Maranhão) e cada um dos meus professores das aulas de mestrado, mas especialmente ao Prof. Leonardo que realizou um trabalho de orientação muito interessante, diferente e profícuo.

Fique expresso ainda nesse registro enorme gratidão às pessoas que contribuíram com parte das idéias colecionadas para direcionar esse trabalho. Entre essas pessoas estão: meu irmão Williams, que é formado em Estatística (um velho livro dos seus tempos de UnB, esquecido a anos na estante, foi a base da modelagem matemática da análise bivariada); Eng. Nelson Oga (também a anos solicitou o desenvolvimento de uma macro de planilha eletrônica para monitoramento de desempenho de *time slots* de voz). Aos gerentes ex-RFs da empresa onde trabalho: Giovanni, Paulo e Maurício (muito valeu o empréstimo de livros e conversas sobre ferramentas computacionais — daí me vieram alguns possíveis caminhos a seguir na modelagem de tráfego com cadeias bidimensionais de Markov).

E à Eng. Melissa, também.

RESUMO

MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS A OTIMIZAÇÃO DE REDES DE COMUNICAÇÃO MÓVEL

No contexto da crescente competitividade das operadoras de telefonia móvel a otimização da rede tornou-se valorizada no sentido de atender aos níveis de exigência dos usuários. O processo de otimização envolve uma constante agregação de melhorias advinda de ajuste, ampliação ou implantação de elementos de rede. Sobremaneira desejável hoje quando acontece a evolução das redes para 2,5G e 3G. Em tais redes os esquemas de codificação que permitem atingir taxas máximas quase não usam bits destinados à correção de erro. Então os sistemas só realizam a designação desses esquemas se o *BER* for mínimo. Um bom desempenho é fundamental.

Este trabalho aplica métodos estatísticos à análise de dados de desempenho afim de evidenciar falhas e adaptar modelos estatísticos de tráfego a novas realidades tecnológicas. Acredita-se que o trabalho possa ser útil ao sugerir um meio de desenvolver as redes em situações onde variáveis influentes no desempenho são aleatórias.

Para facilitar a detecção de falhas, 4 métodos são sugeridos. Cada um deles tem uma exemplificação. O primeiro usa análise monovariada de desempenho na identificação de *time slots* de voz defeituosos aplicando o conceito de intervalos de confiança. O segundo usa a análise bivariada em um teste de balanceamento de *links*. A evidenciação de falhas ocorre através da observação do formato 3D de histogramas bivariados. O terceiro, focado na análise multivariada, usa a correlação entre dados coletados durante um *drive test GPRS* para a identificação de variáveis aleatórias relevantes. O quarto método propõe uma forma de adaptar um modelo estatístico de tráfego ao caso do *Half Rate*. Semelhante à metodologia de Erlang, desta feita utiliza uma Cadeia de Markov bidimensional. Ferramentas computacionais são empregadas para mais facilmente evidenciar falhas e adaptar modelos. São interessantes por exemplo na elaboração de gráficos, resolução de sistemas de equações por programação linear e automatização de tarefas mais laboriosas.

ABSTRACT

STATISTICAL METHODS APPLIED TO OPTIMIZATION OF MOBILE COMMUNICATION NETWORKS

In the context of growing competition between mobile telephony operators the network optimization has gained great value in the sense of attend user's requirements levels. The optimization process involves a constant enhancement as a result of adjustment, addition, and deployment of network elements. This is remarkably desirable nowadays when the evolution of the networks toward 2.5G and 3G is just happening. In such networks the code schemes that allow reaching maximum data rates almost do not use bits destined to error correction. Hence the systems only assign these code schemes if *BER* is minimum. A good performance is fundamental.

This work applies statistical methods to performance data analysis with the goal of putting failures into evidence. The work also deals with adaptation of statistical traffic models to new technology realities. The work has a purpose in being useful as it suggests a path to develop the networks under situations where many variables that influence the performance are random.

To make the failure detection easier, 4 methods are presented. Each one of them has an example. The first uses monovariate performance analysis to identify defective voice time slots with the application of confidence interval concept. The second uses a bivariate analysis in a link balance test. The evidenciation of failures occurs by means of observation of 3D bivariate histograms shape. The third, focused in multivariate analysis, uses the correlation between data collected during a GPRS drive test to identify random variables that are relevant. The forth method proposes a adaptation of a statistical traffic model to the reality of Half Rate. Inspired in the Erlang method it uses a bidimensional Markov Chain. Computer tools are used in order to put failures into evidence easier and also are used to adapt models. They are interesting for example to make charts, to solve equation systems with linear programming and automation of labored tasks.

SOMMARIO

METODI STATISTICI APPLICATI A OTTIMIZZAZIONE DI RETI DI COMUNICAZIONE MOBILE

Nel contesto di concorrenza fra gli operatori di telefonia mobile, la ottimizzazione ha guadagnato grande valore nel senso di assistere ai livelli di esigenze dei clienti. Il processo di ottimizzazione si occupa di una costante aggregazione di miglioramenti come conseguenza dei aggiustamento, ampliamento e impianto degli elementi di rete. Questo è desiderabile al giorno d'oggi in cui lo sviluppo delle reti a 2.5G e a 3G comincia. In tali reti gli schemi di codifica che concedono raggiungere i tassi di dati massimi quasi non usano le *BIT* destinate alla correzione di errore. Quindi i sistemi assegnano soltanto questi schemi di codifica se il *BER* è minimo. Una buona *performance* è fondamentale.

Questo lavoro applica metodi statistici ad analisi di dati di *performance* con l'obiettivo di identificare guasti. Il lavoro inoltre si occupa di adattamento di modelli statistici di traffico alle realtà di nuove tecnologie. Il lavoro ha uno scopo in essere utile mentre suggerisce un modo di sviluppare le reti sotto le situazioni dove molte variabili che influenzano nelle prestazioni sono aleatorie.

Per facilitare all'identificazione di guasti, 4 metodi sono presentati. Ogni di loro con esempi. Il primo usa l'analisi di *performance* monovariata per identificare voce *timeslots* difettosi con l'applicazione del concetto di intervallo di confidenza. Il secondo usa un'analisi bivariata in un collaudo di bilanciamento di *link*. Per mettere guasti in evidenza è necessario solo un'attenta osservazione della forma 3D negli istogrammi bivariato. Il terzo, messo a fuoco nell'analisi più variabili, usa la correlazione fra i dati acquistati durante uno *drive test* di GPRS per identificare le variabili aleatorie che sono rilevanti. Avanti il metodo propone un adattamento di un modello statistico di traffico alla realtà di *Half Rate*. Ispirato nel metodo di Erlang usa una catena di Markov bidimensionale. L'aiuta del computer è utilizzata per mettere i guasti in evidenza più facile ed anche è utilizzata per adattare modelli. È interessante per esempio da fare i grafici, per risolvere sistemi di equazione con programmazione lineari e l'automazione di incarichi difficili.

SUMÁRIO

CAPÍTULO	PÁGINA
1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - O MERCADO <i>WIRELESS</i>	1
1.2 – OTIMIZAÇÃO E DESEMPENHO.....	2
1.3 – VISÃO GERAL	3
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA; COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR.....	6
2.1 – INTRODUÇÃO	6
2.2 – FUNDAMENTOS DE TELEFONIA CELULAR.....	6
2.2.1 – <i>Handover</i>	6
2.2.2 - Interferência Co-canal.....	7
2.2.3 – Elementos Básicos	8
2.3 – ARQUITETURA.....	9
2.4 - <i>HARDWARE E SOFTWARE DE ESTAÇÃO</i>	10
2.4.1 – Divisores de Potência, acopladores e circuladores	11
2.4.2 – Combinadores.....	13
2.4.2.1 – Especificações para Combinadores	14
2.4.2.2 – Acopladores Híbridos.....	14
2.4.2.3 – Combinadores Híbridos.....	15
2.4.3 – Rádios	16
2.4.4 – Duplexadores	17
2.5 - SISTEMAS IRRADIANTES	18
2.5.1 - Cuidados especiais	19
2.5.2 – Antenas	20
2.6 - SENSIBILIDADE, <i>LINK BUDGET</i> E BALANCEAMENTO	21
2.7 - OTIMIZAÇÃO	24
2.8 - SISTEMA DE <i>DRIVE TEST</i>	25
2.9 – EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE TELEFONIA CELULAR.....	27
2.9.1 - Sistemas de Primeira Geração (Analógicos).....	27
2.9.2 – Sistemas de Segunda Geração (Digitais)	29

CAPÍTULO	PÁGINA
2.9.2.1 – Padrão europeu	29
2.9.2.2 – Padrões americanos	30
2.9.2.3 – Padrão japonês.....	32
2.9.3 – Sistemas de Terceira Geração.....	32
2.10 - GSM PACKED DATA SERVICES (GPRS).....	35
2.10.1 - Esquemas de codificação (<i>Code Schemes – CS</i>).....	36
2.10.2 - Arquitetura do <i>GPRS</i>	36
2.10.3 - Camadas de protocolo	37
2.10.4 – PARTICULARIDADES DO PLANEJAMENTO de REDE <i>gprs</i>.....	39
2.11 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: TRÁFEGO TELEFÔNICO	42
3.1 – CONCEITOS DE TRÁFEGO TELEFÔNICO	42
3.2 – DETALHAMENTO DO MODELO ERLANG B.....	43
3.3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: ESTATÍSTICA	48
4.1 – INTRODUÇÃO	48
4.2 - TIPOS DE VARIÁVEIS.....	48
4.3 - TEORIA PROBABILÍSTICA	49
4.3.1 - Definição Axiomática.....	49
4.3.2 – Postulados	50
4.3.3 - Frequência Relativa	50
4.4 - PROBABILIDADE CONDICIONAL	51
4.4.1 – Teorema de Bayes.....	51
4.5 - MEDIDAS DE DISPERSÃO	52
4.5.1 - Médias	52
4.5.2 - Desvio Padrão.....	52
4.5.3 - Variância.....	53
4.6 - PROCESSOS ERGÓTICOS.....	53
4.7 - FUNÇÕES ESTATÍSTICAS	54

4.7.1 - Distribuição de Probabilidade Cumulativa (CPD — Cumulative Probability Distribution).....	54
4.7.2 - Função Densidade de Probabilidade (PDF — Probability Density Funtion)....	54
4.7.3 – Ajustamento, Covariância e Correlação	55
4.7.3.1 – Covariância.....	56
4.7.3.2 – Correlação	56
4.8 - DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS.....	57
4.8.1 - Distribuição Gaussiana (ou Distribuição Normal).....	57
4.8.1.1 - Propriedades da Distribuição Normal	58
4.8.1.2 - Teorema do Limite Central.....	59
4.8.1.3 - Distribuição Normal Bivariada	59
4.8.1.4 - Implementação em <i>MATLAB</i> ®.....	61
4.8.1.5 - Variando parâmetros da função Normal Bivariada.....	61
4.9 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE DADOS.....	64
4.9.1 - Diagrama de Barras ou de Distribuição de Frequências	64
4.9.2 - Histograma	64
4.9.3 - Metodologia para geração de Histograma Tridimensional (Distribuição Bivariada (X,Y).....	65
4.9.3.1 - Histograma Simples	66
4.9.3.2 - Definir Intervalos de agrupamento de dados	66
4.9.3.3 - Contagem das amostras.....	67
4.9.3.4 - Construção do Gráfico	67
4.9.3.5 - Cálculo da Probabilidade	68
4.9.3.6 - Aplicação em Excell	68
4.9.4 – DISTRIBUIÇÃO DE pROBABILIDADE Cumulativa.....	69
4.10- TESTE DE HIPÓTESES	70
4.10.1 – Testes envolvendo a Distribuição Normal.....	71
4.11- TÓPICO ESPECIAL – CORRELAÇÃO ENTRE SINAIS RECEBIDOS POR ANTENAS DE UM MESMO SETOR	71

CAPÍTULO	PÁGINA
4.12 – CADEIAS DE MARKOV	74
4.13 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
5 - MÉTODO ESTATÍSTICO CASO 01 - IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS UTILIZANDO CRITÉRIOS DE DECISÃO.....	77
5.1 - OBJETIVO.....	77
5.2 - VISÃO GERAL.....	77
5.3 - METODOLOGIA.....	79
5.3.1 - Passos para a execução do Teste de <i>Time slot</i> Defeituoso.....	79
5.3.2.- Procedimento.....	81
5.4 - RESULTADOS	82
5.5 - ANÁLISE DE DADOS	88
5.6 - ESTUDO DE CASO I.....	89
5.6.1 - Histórico.....	90
5.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
6 - MÉTODO ESTATÍSTICO CASO 2 - ANÁLISE BIVARIADA DE DESEMPENHO	93
6.1 - OBJETIVO.....	93
6.2 - VISÃO GERAL.....	93
6.3 - METODOLOGIA.....	94
6.3.1 - Passos para execução do Teste de Balanceamento de <i>Link</i> (TBL).....	94
6.3.2 - Procedimento.....	97
6.4 - RESULTADOS	98
6.4.1 - Conjunto de Dados 1 (Figura 6.2 a Figura 6.15).....	99
6.4.2 - Conjunto de Dados 2 (Figura 6.16 a Figura 6.35).....	106
6.4.3 – Resumo de parâmetros dos Conjuntos de Dados 01 e 02	116
6.5 - ANÁLISE DE DADOS	117
6.6 - ESTUDO DE CASO I.....	119
6.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
7 - MÉTODO ESTATÍSTICO CASO 03 – ANÁLISE MULTIVARIADA DE DESEMPENHO	127

CAPÍTULO	PÁGINA
7.1 - OBJETIVO.....	127
7.2 - VISÃO GERAL.....	127
7.3 - METODOLOGIA.....	129
7.3.1 - Passos para a execução do <i>Drive Test</i>	129
7.3.2.- Procedimento.....	130
7.4 - RESULTADOS.....	132
7.5- ANÁLISE DE DADOS.....	137
7.6 - ESTUDO DE CASO I.....	138
7.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	141
8 - MÉTODO ESTATÍSTICO CASO 05 – DUAL RATE.....	143
8.1 - OBJETIVO.....	143
8.2 - VISÃO GERAL.....	143
8.3 - METODOLOGIA.....	146
8.3.1 - Passos para A modelagem estatística do caso <i>DH</i>	147
8.3.2.- Procedimento.....	149
8.4 - RESULTADOS.....	150
8.5 – ANÁLISE DE DADOS.....	156
8.6 – ESTUDO DE CASO.....	157
8.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	159
9 - CONCLUSÕES.....	160
9.1 – OS MÉTODOS ABORDADOS.....	160
9.2 – FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS.....	162
9.3 – SUGESTÃO DE TRABALHOS.....	163
9.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	164
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	165
APÊNDICES.....	168
APÊNDICE A – <i>TIME SLOT</i> DEFEITUOSO.....	169
A1 - <i>SOFTWARE</i> DE APOIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE <i>TIME SLOTS</i> DEFEITUOSOS (CAP5).....	169
A.2- CÓDIGO EM VBA - MACRO EXCELL (CAP5).....	171

CAPÍTULO	PÁGINA
A.3 - ARQUIVO DE DADOS ASCII - APENAS PARTE (CAP5).....	174
A.4- TABELAS PDF E CPD (CAP5)	179
APÊNDICE B – TESTE DE BALANCEAMENTO DE <i>LINK</i>	181
APÊNDICE C – <i>DRIVE TEST GPRS</i>	188
C.1 – CÓDIGO EM VBA UTILIZADO NO CAP. 6	188
C.2 - DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS.....	189
APÊNDICE D – PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	191
D.1 – VISÃO GERAL (CAP8)	191
D.2 – EXEMPLO DE MODELAGEM – PROGRAMAÇÃO LINEAR (CAP8)	193

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
2.1 – Taxa de Transmissão do <i>GPRS</i>	37
3.1 – Tabela Erlang B.....	46
4.1 – Conjunto de Amostras (Variáveis X e Y)	65
4.2 – Agrupamento e contagem de Amostras	66
4.3 – Agrupamento e contagem de Amostras Bivariadas (Tabela Dinâmica)	67
4.4 – Probabilidade de cada intervalo	68
5.1 — <i>CPD</i> p/ escores Z.....	88
5.2 — Relatório de TsD para os setores X, Y e Z da “24 ^a ” estação.....	89
5.3 — Histórico de Tempo Médio de Utilização da 24 ^a estação.....	90
6.1 – Médias e Desvios Padrões (em dBm) e Correlações.....	116
6.2 – Contagem de Amostras	119
6.3 - Probabilidades.....	120
6.4 – Parâmetros da Distribuição Normal Bivariada correspondente	124
6.5 – Contagem de Amostras	124
6.6 - Probabilidades.....	125
7.1 – Valores máximos, mínimos e médios	132
7.2 – Resultado da Correlações (Maiores Valores Obtidos)	134
7.3 – Resultado do Módulo das Correlações (Menores Valores Obtidos)	135
8.1 — Ocup. de <i>Time Slot's</i> típica de sistema <i>GSM</i> para setor com 1 portadora.....	144
8.2 – Tráf. (<i>Erl</i>) com 2% de Bloqueio e várias taxas de conexões <i>Half Rate</i> [12]	146
8.3 – Casos de interesse na modelagem do caso <i>Dual Rate</i>	148
9.1 — Tabela de Tráfego adaptada para <i>Half Rate</i>	163
A.1 – PDF e CPD (Cap 5)	179
B.1 – Lista dos TBL's realizados (Aprovados e Reprovados).....	182
B.2– Dados de TBL da Estação 3 antes, quando as antenas estavam trocadas.....	184
B.3a– Dados de TBL da Estação 3 depois, com as antenas estavam destrocadas	186
B.3b– Dados de TBL da Estação 3 depois, com as antenas estavam destrocadas	187
C.1 – Descrição de Variáveis da interface aérea do Drive Test de <i>GPRS</i>	189
D.1 – Produção de Quadros.....	193

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
2.1 - Sistema de Telefonia Móvel Celular [37].....	8
2.2 – Sistema Celular (Elementos Básicos) [29].....	9
2.3 - Elementos de Sistema Móvel Celular [38, modificado]	10
2.4 - Interior de uma ERB, bastidor de Rádios	11
2.5 – Esquema Simplificado do <i>Hardware</i> de uma Estação	12
2.6 - Diagrama de Blocos de um acoplador de potência.....	13
2.7 - Dois tipos de circuladores e suas matrizes de espalhamento [4].	14
2.8 – Acoplador Híbrido [6].....	16
2.9 – Combinador Híbrido de dois transmissores [6].....	16
2.10 – Combinador Híbrido de dois estágios [6], foto extraída de catálogo Algon - Web Site)	17
2.11 – Combinador Híbrido de três estágios [6]	17
2.12 – Rádio de Estação Celular [35].....	18
2.13 – Duplexador [36]	18
2.14 – Sistema Irradiante Típico de uma Estação [3].....	19
2.15 – Diagramas de Irradiação horizontais de 3 setores de uma estação	21
2.16 – Sistema de <i>drive test</i>	26
2.18 – Resultado pós-processado do <i>Drive Testt</i>	28
2.19 – Estrutura Hierárquica de Células do 3G.....	34
2.20 – Arquitetura do GPRS	38
2.21– Protocolo em Camadas.....	39
2.22– <i>Throughput</i> x Relação Sinal-interferente (C/I) [39]	41
3.1 – Diagrama de Estados Erlang B.....	44
4.1 – Diagrama de Dispersão com ajustamento	55
4.2 – Propriedade 1 da Função Normal	58
4.3 – Propriedade 2 da Função Normal	59
4.4 - Distribuição Normal com $\bar{X} = 0$ e $\sigma = X/1,96$	59
4.5 - Distribuição Normal Bivariada	60

FIGURA

PÁGINA

4.6 - $c=0.0$	61
4.7 - $c=0.5$	61
4.8 - $c=0.9$	62
4.9 - $c=0.95$	62
4.10 - $\sigma=0.3 \bar{x}$	62
4.11 - $\sigma=0.4 \bar{x}$	62
4.12 - $\sigma=0.5 \bar{x}$	62
4.13 - $\sigma=0.6 \bar{x}$	62
4.14 - $\sigma_1=0.3 \bar{x}$; $\sigma_2=0.6 \bar{x}$; $c=0.0$	63
4.15 - $\sigma_1=0.6 \bar{x}$; $\sigma_2=0.3 \bar{x}$; $c=0.0$	63
4.16 - $\sigma_1=0.3 \bar{x}$; $\sigma_2=0.6 \bar{x}$; $c=0.9$	63
4.17 - $\sigma_1=0.6 \bar{x}$; $\sigma_2=0.3 \bar{x}$; $c=0.9$	63
4.18 – Diagrama de Barras	64
4.19 – Histograma	64
4.20 – Histograma da Variável X	66
4.21 – Histograma da Variável Y	66
4.22 – Hist. Bivar. 3D	68
4.23 – Hist. Bivar. Vista Sup.....	68
4.24 – Distribuição de Probabilidade Cumulativa	70
4.25 – Modelagem do sinal recebido pela estação [2]	72
4.26 – Coeficiente de Correlação entre duas antenas de uma estação[2]	73
5.1 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia1(Qua)	84
5.2 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia2(Qui)	85
5.3 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia3(Sex)	85
5.4 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia5(Dom)	86
5.5 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia6(Seg)	86
5.6 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia7(Ter)	87
5.7 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia8(Qua)	87
5.8 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia9(Qui)	88

FIGURA**PÁGINA**

5.9 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia13(Seg)	88
5.10 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia14(Ter)	89
5.11 – Hist. e <i>CPD</i> do Dia15(Qua)	89
6.1 – Percurso para realização do teste TBL.....	97
6.2 – BTS011a_TXGX1X2.....	100
6.3 – BTS011a_TXGX1X2 (Vista Sup.)	100
6.4 – BTS021a_TXGX1X2.....	101
6.5 – BTS021a_TXGX1X2 (Vista Sup.)	101
6.6 – BTS022b_TYGY1Y2 (3D).....	102
6.7 – BTS022b_TYGY1Y2 (Vista Sup.)	102
6.8 – BTS042a_TYGY1Y2.....	103
6.9 – BTS042a_TYGY1Y2 (Vista Sup.)	103
6.10 – BTS043a_TZGZ1Z2	104
6.11 – BTS043a_TZGZ1Z2 (Vista Sup.).....	104
6.12 – BTS051a_TXGX1X2.....	105
6.13 – BTS051a_TXGX1X2 (Vista Sup.)	105
6.14 – BTS053a_TZGZ1Z2	106
6.15 – BTS053a_TZGZ1Z2 (Vista Sup.).....	106
6.16 – BTS031a_TXGX1X2.....	107
6.17 – BTS031a_TXGX1X2 (Vista Sup.)	107
6.18 – BTS032a_TYGY1Y2.....	108
6.19 – BTS032a_TYGY1Y2 (Vista Sup.)	108
6.20 – BTS032b_TYGY1Y2.....	109
6.21 – BTS032b_TYGY1Y2 (Vista Sup.)	109
6.22 – BTS033a_TZGZ1Z2	110
6.23 – BTS033a_TZGZ1Z2 (Vista Sup.).....	110
6.24 – BTS033b_TZGZ1Z2.....	111
6.25 – BTS033b_TZGZ1Z2 (Vista Sup.).....	111
6.26 – BTS052a_TYGY1Y2.....	112
6.27 – BTS052a_TYGY1Y2 (Vista Sup.)	112

6.28 – BTS062a_TYGY1Y2.....	113
6.29 – BTS062a_TYGY1Y2 (Vista Sup.)	113
6.30 – BTS062b_TYGY1Y2.....	114
6.31 – BTS062b_TYGY1Y2 (Vista Sup.)	114
6.32 – BTS062c_TYGY1Y2.....	115
6.33 – BTS062c_TYGY1Y2 (Vista Sup.)	115
6.34 – BTS063b_TZGZ1Z2.....	116
6.35 – BTS063b_TZGZ1Z2 (Vista Sup.).....	116
6.38 – Coeficiente de Correlação entre duas antenas de uma estação [2].....	119
6.37 – BTS033a_TZGZ1Z2	121
6.38 – BTS033a_TZGZ1Z2 (Vista Superior)	122
6.39 – Sistema irradiante antes (esquerda) e depois da correção(direita).	123
6.40 – Gráfico 3D teórico do Estudo de Caso (Distribuição Normal Bivariada).....	124
6.41 – Vista superior (Distribuição Normal Bivariada)	124
6.42 – BTS033b_TZGZ1Z2.....	126
6.43 – BTS033b_TZGZ1Z2 (Vista Superior).....	127
7.1 – Diagrama de Dispersão do <i>C Value</i> e <i>RxLevel</i>	136
7.2 – Histograma da Potência recebida pelo móvel (<i>Rx Level</i>).....	138
7.3 – Tela do <i>software</i> de coleta capturada durante o <i>drive test (GPRS)</i>	139
7.4 – Vista Superior do Histograma bivariado (variáveis <i>C Value</i> , <i>RxLevel</i>).....	140
7.5 – Vista Superior do Histograma bivariado (variáveis <i>C Value</i> , <i>RxLevel</i>).....	140
8.1 – Diagrama de Estados para o caso <i>Half Rate c/ 2 TSL</i> [12]	145
8.2 – Equações obtidas do Diagrama de Estados para o caso <i>Half Rate c/ 2 TSL</i> [12].....	145
8.3 – Diagrama de Estados para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 0 \%$	150
8.4 – Modelagem para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 0 \%$	151
8.5 – Diagrama de Estados para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 40 \%$	152
8.6 – Modelagem para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 40 \%$	153
8.7 – Diagrama de Estados para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 70 \%$	153
8.8 – Modelagem para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 70 \%$	154

8.9 – Diagrama de Estados para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 100\%$	155
8.10 – Modelagem para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 100\%$	156
8.11 – Diagrama de Estados para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 40\%$	157
D1 – Modelagem de um problema	195
D2 – Modelagem de um problema (Parâmetros)	196
D3 – Modelagem de um problema (Opções de configuração).....	196
D4 – Modelagem de um problema (pós-processado).....	197

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - O MERCADO *WIRELESS*

Há algum tempo, foi veiculado na mídia um anúncio de TV que ressaltava a necessidade que o ser humano tem de falar. Sobre este parte do texto mencionava o seguinte: “Fala com as plantas, fala com os animais, fala com quem já se foi, fala até com quem ainda nem nasceu, fala com os pés (alusão ao esporte mais popular no país) e fala com as mãos (alusão ao telefone celular)...”

Em especial, a habilidade de se comunicar em movimento com as pessoas deve ter envolvido de maneira marcante a Guglielmo Marconi, quem primeiro demonstrou a possibilidade de um contato contínuo via rádio com barcos navegando no mar. Isso foi em 1897. Daquela época para cá, os métodos e serviços *wireless* (do inglês “sem-fio”) tem sido largamente adotados pelas pessoas em todo o mundo [1].

Assim, os sistemas de comunicação móvel celular foram sendo criados, implantados e explorados comercialmente com uma aceitação mercadológica notável. Investimentos significativamente grandes são feitos todos os anos nas redes existentes. Particularmente nos últimos vinte anos, a indústria de comunicação *wireless* tem crescido e alcançado magnitude expressiva amparada por melhorias na fabricação de circuitos de RF, pela integração de circuitos em larga-escala, e outras tecnologias de miniaturização que tornaram os aparelhos portáteis cada vez melhores, mais baratos e mais confiáveis. Sem falar nas técnicas de comutação digital, as quais também facilitaram a larga implantação de redes de radio-comunicação [1].

Um estudo da *Strategy Analytics* mostra que o mercado mundial de celulares deve vender mais de 490 milhões de aparelhos ainda este ano. A empresa de pesquisas prevê que as vendas durante os últimos três meses do ano continuarão fortes e deverão totalizar 140 milhões de aparelhos. Com isso a venda mundial de celulares deve crescer 15% em 2003 (Fonte: Revista Executivos Financeiros, 31/10/2003. Sites relacionados: strategyanalytics.com; executivosfinanceiros.com.br).

Sobre o mercado mundial de telefonia celular, um levantamento conduzido pelo *Yankee Group* aponta que mais de 1,75 bilhão de pessoas usarão o aparelho no ano de 2007 (Fonte: Revista Executivos Financeiros, 30/09/2003. Sites relacionados: yankeegroup.com; executivosfinanceiros.com.br). Em sua pesquisa sobre o mercado latino-americano de telefones móveis, o *Yankee Group* afirma que as vendas de celulares atingirão 22 milhões de novas unidades em 2003. Esse crescimento constante deve resultar em 154 milhões de usuários móveis na região da América Latina até 2007 [33].

Vale ressaltar que somente o Brasil já possui 38 milhões de usuários de celular, de acordo com números da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Segundo a mais recente pesquisa feita pela *Pythia Research*, 10,4% das famílias brasileiras vão adquirir telefones celulares no último trimestre de 2003 [34].

1.2 – OTIMIZAÇÃO E DESEMPENHO

No contexto da competição entre operadoras de telefonia celular, satisfazer a quantidade crescente de clientes sempre foi uma preocupação das empresas do setor. Desta forma, a organização interna das operadoras normalmente reserva um espaço para a tarefa de melhorar cada vez mais o desempenho das redes. Esse trabalho, por muito tempo, foi conhecido como otimização. A otimização envolve toda e qualquer melhoria que possa ser agregada ao desempenho da rede, seja por ajustes ou implantação de novos projetos de elementos de rede.

Este trabalho faz uma abordagem nesta linha ao buscar soluções bem na fronteira entre o conhecimento estatístico e o conhecimento de sistemas de telecomunicações. O mesmo propõe a utilização de métodos estatísticos para análise de desempenho de redes de telefonia móvel. A avaliação estatística de incrementos em contadores de medidas operacionais pode agregar significativo valor aos métodos estabelecidos de monitoramento de sistema. A análise estatística facilita a identificação de atividades anômalas em meio a uma quantidade realmente grande de dados de um sistema.

A habilidade de classificar um evento como anormal pode ser adquirida, entre outras formas, através de estatística básica. A aplicação de intervalos de confiança pode ser uma maneira eficaz de comparação de dados. Também, através de metodologia estatística, se pode criar novas modelagens matemáticas relacionadas à engenharia de tráfego quando surgem novas premissas e novas características do sistema.

1.3 – VISÃO GERAL

Este trabalho elenca quatro métodos estatísticos aplicados à otimização de sistemas de comunicação móvel. Os três primeiros são voltados para detecção de falhas e o último voltado para adaptação de modelo de dimensionamento de *hardware* no planejamento de tráfego.

Os capítulos que descrevem cada um dos métodos guardam uma semelhança na sua estrutura: começam com uma breve introdução, que contextualiza a metodologia dentro de um cenário prático do dia a dia das redes de comunicação móvel, e depois entra no aspecto da metodologia em si. A partir de então, são mostrados resultados e análise dos mesmo. Ao final, tem sempre um estudo de caso com uma aplicação um pouco mais detalhada de como o método estatístico pode ser aplicado. Por último: algumas considerações finais. Dados, textos complementares, códigos de pequenos *softwares* aplicativos utilizados para auxiliar as análises, entre outros, podem ser encontrados nos apêndices.

A divisão dos capítulos também segue uma organização geral. Os capítulos 2, 3 e 4 são destinados a fazer uma revisão bibliográfica dos principais conceitos tanto de sistemas de comunicação móvel (capítulo 2), como de tráfego telefônico (capítulo 3) e conceitos de estatística (capítulo 4). Um enfoque maior é dado para aqueles conceitos que, de alguma maneira, são empregados nos capítulos posteriores.

O capítulo 5 abre a apresentação dos métodos estatísticos com uma maneira de identificar *time slots* defeituosos a partir da análise de uma variável. Com base no tempo médio de utilização dos *time slots* de voz é possível comparar um *time slot* de voz com vários outros *time slots* bastando, para tanto, ter um número de amostras suficiente e utilizar o conceito de intervalo de confiança. Assim, pode-se apontar *time slots* de voz com utilização bem abaixo de uma expectativa mínima calculada.

O capítulo 6 aborda um método de análise bivariada de desempenho para detecção de problemas em Testes de Balanceamento de *Links*. Trata-se de uma situação em que é esperada uma boa correlação e similaridade entre a série temporal de duas variáveis. Uma falha no sistema pode ser percebida por uma alteração no formato gráfico do histograma bivariado construído com base nos dados coletados no teste.

Avançando para o capítulo 7, tem-se um método voltado para análise multivariada de desempenho. Ferramentas de *Drive Test* são um exemplo de situação envolvendo um número grande de variáveis.

O capítulo 7 também sugere uma forma de identificar variáveis relevantes relacionadas à otimização do *GPRS (General Packet Radio Services)* através do estudo da correlação entre as mesmas, do traçado de diagramas de dispersão associados e pesquisa bibliográfica investigativa.

O último dos quatro métodos está no capítulo 8 que, ao contrário dos seus predecessores, não é focado na avaliação de desempenho, mas sim no desenvolvimento de um modelo estatístico de dimensionamento de hardware. Por exemplo, a proposição do *Half Rate* como forma de aumentar a capacidade de tráfego de uma célula pode criar situações em que a tradicional tabela *Erlang B* não seja a ferramenta mais adequada para a Engenharia de Tráfego. Neste capítulo, é feita a proposição de um desenvolvimento bastante semelhante ao de Erlang, que usa Cadeias de Markov (diagramas de estado), só que, desta feita, utilizando cadeias bidimensionais.

O objetivo do trabalho é mostrar como metodologias estatísticas podem ser úteis na garantia de redes cada vez melhores e mais competitivas, atendendo não só à expectativas mas respondendo bem aos crescentes níveis de exigências dos clientes.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR

2.1 – INTRODUÇÃO

Este capítulo contém noções gerais de Telefonia Móvel Celular consideradas importantes o bom entendimento dos capítulos posteriores onde é feita apresentação do trabalho.

2.2 – FUNDAMENTOS DE TELEFONIA CELULAR

Durante as últimas duas décadas, o mundo experimentou avanços fenomenais na indústria de telecomunicações. Muitas das comunicações que utilizavam fios agora são realizadas via rádio (*wireless*).

Os Sistemas de Telefonia Móvel Celular (Figura 2.1) são bastante populares hoje em dia. Há alguns anos já estão implantados nas principais cidades do país. A característica básica deles é prover uma conexão sem fio com a Rede de Telefonia Pública Comutada para qualquer localização do usuário dentro do alcance do sistema. Os sistemas celulares podem acomodar um grande número de usuários numa grande área geográfica, dentro de um espectro de frequências limitado. Uma alta capacidade é conseguida limitando-se a cobertura de cada transmissor de estação a uma área geográfica pequena chamada **célula**, de forma que os mesmos canais de rádio podem ser reusados por outra estação localizada a uma certa distância [2].

2.2.1 – *HANDOVER*

Durante uma chamada, a conversação ocorre via rádio frequência usando o canal de voz. Quando a Estação Móvel se desloca para fora da área de cobertura de uma BS particular, a recepção se torna fraca. O sistema comuta a chamada para um novo canal em uma nova BS sem interromper a chamada, ou alertar o usuário. A chamada continua enquanto o mesmo ainda falar. O usuário não percebe as ocorrências de *handover*.

No início do AMPS era chamado de *handoff*, mas foi reomeado pelos sistemas europeus porque possuía diferentes significados no inglês britânico e no inglês americano [3].

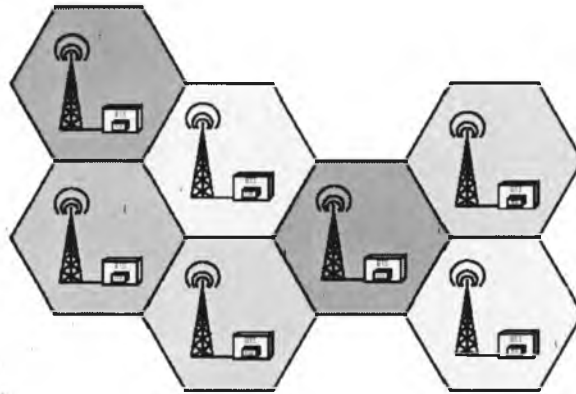


Figura 2.1 - Sistema de Telefonia Móvel Celular [37]

2.2.2 - INTERFERÊNCIA CO-CANAL

Interferência é o maior fator limitante no desempenho de sistemas de telefonia celular [1]. Fontes de interferência incluem outros móveis em outras células operando na mesma banda de frequências, ou qualquer sistema não celular que inadvertidamente canaliza energia dentro da banda de frequências do celular.

Interferências em canais de voz levam a problemas de áudio, bem como a queda de ligações. E em canais de controle levam a chamadas bloqueadas, ou perdas devido a erros na sinalização digital.

A interferência é mais severa em áreas urbanas, devido a maior piso de ruído e ao maior número de estações e de móveis. Sinais interferentes podem ser difíceis de controlar devido às características aleatórias de alguns efeitos de propagação.

Existem dois principais tipos de interferência [1]:

- Co-canal: (C/I): causada por células que usam a mesma frequência.
- De Canal Adjacente (C/A): causada por células que usam frequências próximas. Ocorre sobretudo devido à imperfeição dos filtros de recepção os quais acabam deixando um pouco da energia de outras portadoras recair na banda de comunicação do canal utilizado para a chamada.

2.2.3 – ELEMENTOS BÁSICOS

Os sistemas celulares são compostos por 3 elementos fundamentais (Figura 2.2 [29]):

- *MSC (Mobile Switching Center)* ou **CCC** (Central de Comutação e Controle)
- *BSS (Base Station System)* ou **ERB** (Estação Rádio Base)
- **EM** (Estação Móvel)

Como a nomenclatura varia de acordo com a tecnologia utilizada, neste trabalho convencionou-se referir-se à *MSC* (ou *CCC*) pelo termo “**central**”. À *BSS* (ou *ERB*), pelo termo “**estação**”. E à *EM*, pelo termo “**móvel**”. Cabe ainda a seguinte ressalva: a *BSS* pode ser composta por dois subsistemas: *BSC (Base Station Controller)* e a *BTS (Base Transceiver Station)*. Como o foco desse trabalho é a interface aérea entre a “estação” e o “móvel”, pode ser que em alguns casos se faça referência à *BTS* utilizando o termo “**estação**”. Na figura 2.2 [29], os carros representam os móveis.

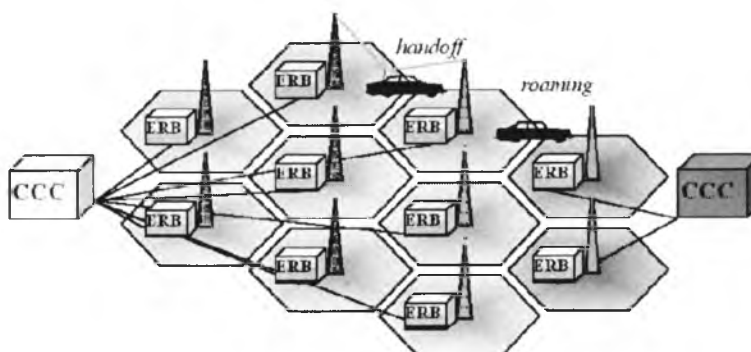


Figura 2.2 – Sistema Celular (Elementos Básicos) [29]

2.3 – ARQUITETURA

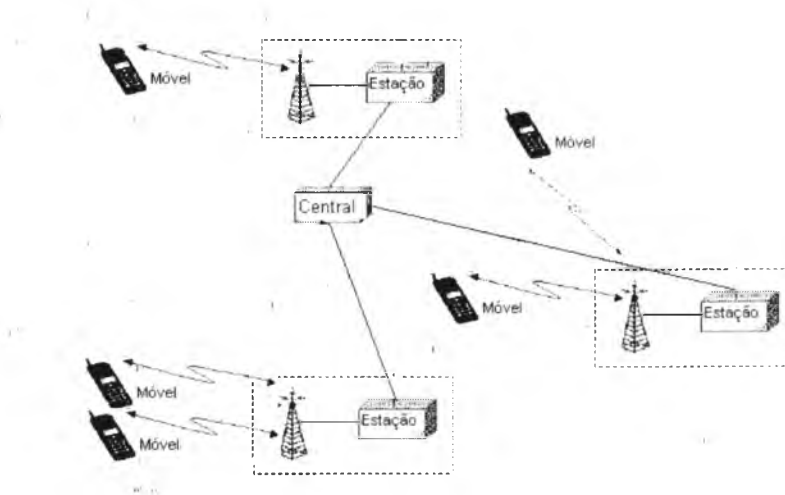


Figura 2.3 - Elementos de Sistema Móvel Celular [38, modificado]

O móvel é formado essencialmente de um *transceiver* (transmissor-receptor), uma antena e circuitos de controle. A comunicação entre móvel e estação é definida por uma interface aérea padronizada para cada tecnologia [29].

A estação consiste principalmente de várias antenas transmissoras e receptoras e de *transceivers* (rádios - vide figura 2.4) que lidam simultaneamente com as várias chamadas *full-duplex*. A função dos rádios é modular o sinal e viabilizar o estabelecimento das chamadas via ar (espaço livre) [29]. Os rádios são compostos por *Hardware* e por *Software*. E o seu bom funcionamento depende da integridade de ambos.

A estação serve como uma ponte entre todos os usuários dentro da célula e a central, ela se interliga com a mesma através de um meio de transmissão ponto a ponto (em geral, pode ser um *link* de microondas, linha telefônica fixa, fibra ótica) [29].

A central coordena as atividades de todas as estações e interconecta todo o sistema à Rede de Telefonia Pública Comutada. Dependendo da tecnologia (é o caso das tecnologias *CDMA* e do *GSM*) algumas das funções da central são executadas por uma controladora de estações (*BSC – Base Station Controller*).



Figura 2.4 - Interior de uma ERB, bastidor de Rádios

As funções principais da central como comutação, encaminhamento, tarifação, entre outras, continuam na central, chamada de *MSC (Mobile Switch Center)* [29]. Em grandes cidades uma operadora pode ter várias centrais para dividir o controle do sistema.

2.4 - HARDWARE E SOFTWARE DE ESTAÇÃO

Os principais componentes de *hardware* de uma estação são: os rádios, os amplificadores de potência, os combinadores, os *LNA's (Low Noise Amplifier)*, os duplexadores e os sistemas irradiantes (antenas, cabos, conectores e outros circuitos de microondas) [29].

Alguns desses componentes (Figura 2.5) além do *hardware* também são compostos por uma carga de *software*. A carga de *software* é atualizável e o *hardware* pode ser recarregado com a mesma remotamente por comandos na central [29].

Tal carga pode vir a se corromper ao longo da vida útil do equipamento. As razões não estão completamente identificadas, mas especula-se que campos eletromagnéticos estranhos (por exemplo Descargas Atmosféricas) possam ser a causa. O problema se resolve aplicando via central uma nova carga.

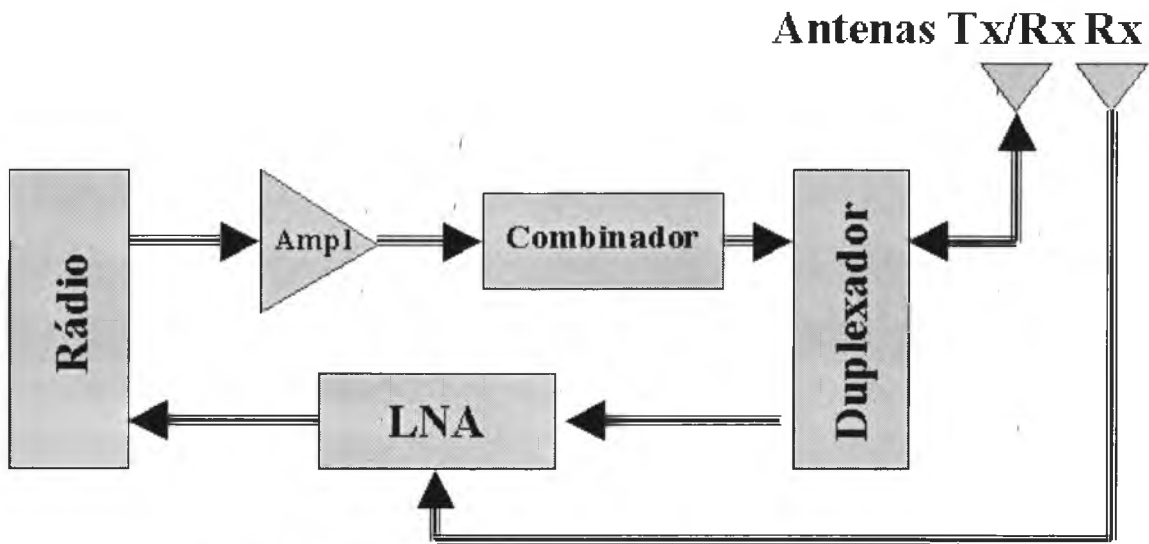


Figura 2.5 – Esquema Simplificado do *Hardware* de uma Estação

2.4.1 – DIVISORES DE POTÊNCIA, ACOPLADORES E CIRCULADORES

Divisores de Potência e Acopladores Direcionais são componentes passivos de microondas usados para divisão, ou combinação de potência [4]. Tais circuitos são tipicamente utilizados no *hardware* das estações de telefonia móvel.

Na divisão de potência, um sinal de entrada é dividido pelo acoplador em dois ou mais sinais de menor potência. O acoplador pode ser um componente de três portas como mostrado na figura 2.6, com ou sem perdas, ou pode ser uma componente de quatro portas.

As propriedades desses componentes podem ser descritas utilizando-se o conceito de matrizes de espalhamento. Seja o caso mais simples de uma rede de três portas, por exemplo, uma Junção-T com duas entradas e uma saída.

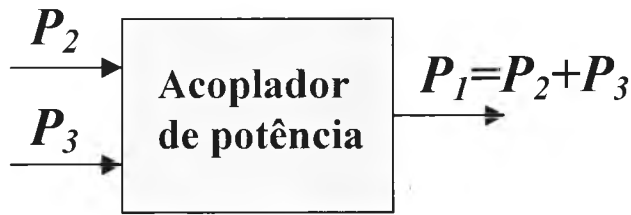


Figura 2.6 - Diagrama de Blocos de um acoplador de potência

Sua matriz de espalhamento possui nove elementos independentes [4]:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Uma propriedade fundamental de uma junção de três portas recíproca e sem perdas é que as três portas não podem ser simultaneamente casadas [5].

Se a rede de três portas é não recíproca (*i.e.*, se o coeficiente de transmissão não é o mesmo para diferentes direções de propagação [5], então $S_{ij} \neq S_{ji}$, e as condições de casamento de entrada em todas as portas e a conservação de energia podem ser satisfeitas [4]. Tal dispositivo é conhecido como **Circulador**, e geralmente utiliza um material anisotrópico, como ferrite, para obter características não-recíprocas. A matriz de espalhamento se reduz a:

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & 0 & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Outra propriedade estabelece que para uma junção sem perdas a matriz de espalhamento é uma matriz unitária. Assim, se a rede também é sem perdas, com [S] unitária, isso implica em:

$$\begin{aligned}
 S_{31}^* S_{32} &= 0, \\
 S_{21}^* S_{23} &= 0, \\
 S_{12}^* S_{13} &= 0, \\
 |S_{12}|^2 + |S_{13}|^2 &= 1 \\
 |S_{21}|^2 + |S_{23}|^2 &= 1 \\
 |S_{31}|^2 + |S_{32}|^2 &= 1
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

Essas equações podem ser satisfeitas de dois modos:

$$\begin{aligned}
 S_{12} = S_{23} = S_{31} = 0, \quad |S_{21}| = |S_{32}| = |S_{13}| = 1, \\
 S_{21} = S_{32} = S_{13} = 0, \quad |S_{12}| = |S_{23}| = |S_{31}| = 1
 \end{aligned}
 \text{ou}
 \tag{2.4}$$

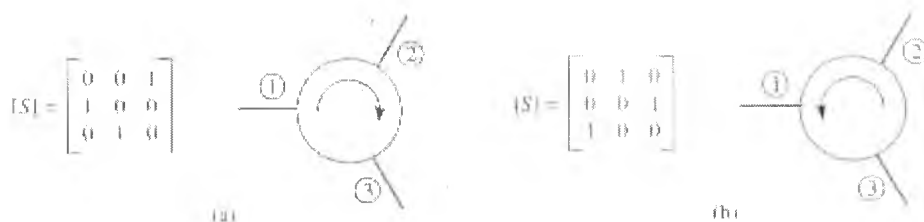


Figura 2.7 - Dois tipos de circuladores e suas matrizes de espalhamento [4].

2.4.2 – COMBINADORES

Os sistemas de telefonia celular normalmente utilizam, numa mesma estação, rádios operando simultaneamente em várias frequências. Um combinador (ou *combiner* em inglês) é um dispositivo que elimina a necessidade de haver um sistema irradiante para cada sistema de rádio. Além da vantagem na redução do número necessário de antenas, o uso de combinadores adequados também melhoram o desempenho [6].

Dispositivos redutores de interferência utilizados em combinadores são: Isoladores de Ferrite para redução de Intermodulação, filtros passa-banda e rejeita-banda para redução de ruído de transmissão, além de filtros passa-banda e rejeita-banda para proteção contra dessensibilidade (*desensitization*) causada pelas frequências de transmissão.

2.4.2.1 – Especificações para Combinadores

Inicialmente, um combinador deve ter uma baixa **Perda de Inserção**. Também deve proporcionar uma alta **Isolação** entre os rádios (transmissores) conectados a ele. Isso assegura que frequências de intermodulação potencialmente geradas pelo transmissor sejam minimizadas. A **Intermodulação** do transmissor é o fator principal a ser considerado quando dois transmissores são combinados em um único sistema irradiante. Outro fator a ser considerado também é a **Dessensibilização** (*desentization*) que deve ser reduzida a níveis aceitáveis.

O método prático mais adequado de proteção contra ruído de transmissão e dessensibilização de recepção utiliza filtros de cavidade ressonante entre os transmissores e os receptores. Se as frequências estiverem separadas de uma quantidade razoável, uma configuração de combinador com filtro de cavidade simples pode ser usada. Se as frequências estiverem muito próximas, um combinador híbrido (de isolador de ferrite) é normalmente usado [6].

2.4.2.2 – Acopladores Híbridos

Quando a híbrida é devidamente terminada em cargas casadas, há uma isolação entre as portas 1 e 2 de mais de 40 dB [6]. A energia entrando pela porta 1 e/ou 2 se divide, com metade indo para a porta 3 e metade indo para a porta 4. Consequentemente, a terminação na porta 3 deve ser capaz de absorver metade da potência de cada transmissor.

A Figura 2.8 apresenta uma acoplador direcional de quatro portas de 3 dB.

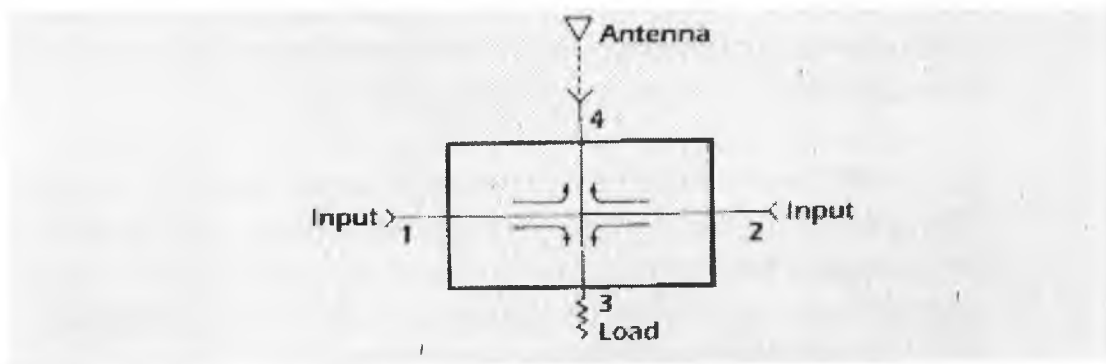


Figure 2.11. 3 dB Stripline Hybrid Coupler

Figura 2.8 – Acoplador Híbrido [6]

2.4.2.3 – Combinadores Híbridos

O Combinador Híbrido de dois transmissores é mostrado na Figura 2.9. Entre suas vantagens está o uso adicional de mais duas híbridas que permite a expansão para um combinador de 4 transmissores [6].

Além disso esse tipo de combinador isola e combina qualquer designação de canais dentro da sua banda de operação. Também o tamanho do equipamento é relativamente pequeno, cabendo num rack padrão de 19 polegadas.

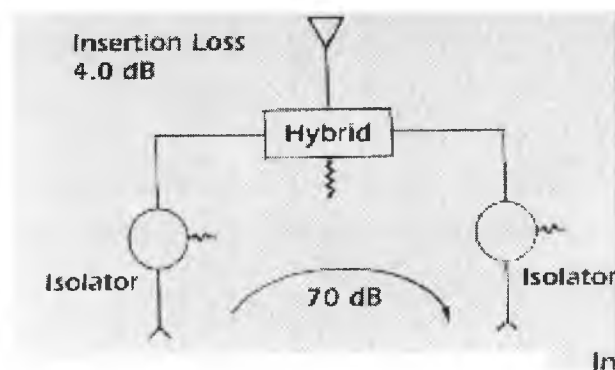


Figura 2.9 – Combinador Híbrido de dois transmissores [6]

Como desvantagens pode-se mencionar o seguinte: ao acrescentar mais estágios a perda de inserção também vai aumentando (Figura 2.10). Também a isolamento da híbrida é uma função de quão casada a mesma está em relação ao sistema irradiante.

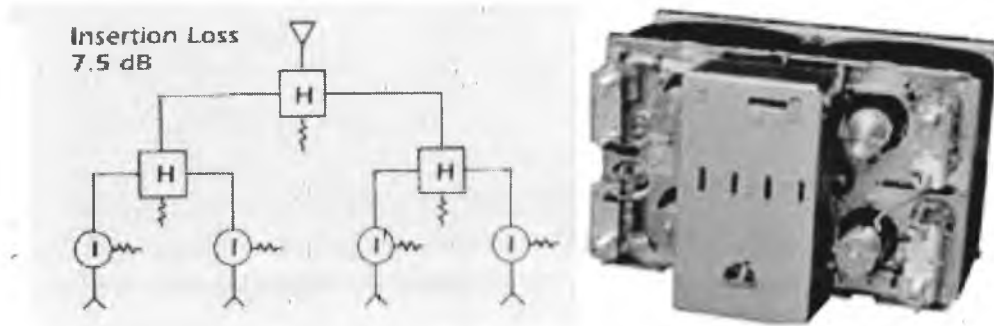


Figura 2.10 – Combinador Híbrido de dois estágios [6], foto extraída de catálogo Algon - Web Site)

Em estações de telefonia móvel os combinadores híbridos são importantes quando existe a necessidade de muitos rádios para suprir a demanda de tráfego da região de atendimento.

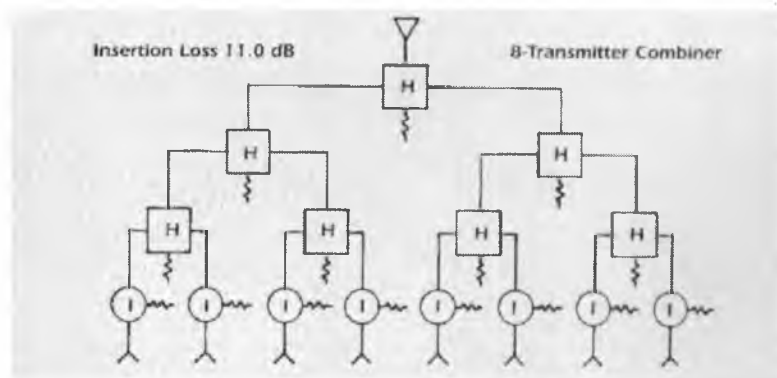


Figure 2-14: Hybrid Eight Channel Combiner

Figura 2.11 – Combinador Híbrido de três estágios [6]

2.4.3 – RÁDIOS

Os rádio é o *hardware* responsável pelo envio dos bits através da interface aérea, usando para tanto uma portadora de rádio frequência.

Diferentes técnicas de modulação digital são utilizadas. Entre as mais comuns tem-se *GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)*, *$\pi/4$ -Diferencial Phase Shift Keying ($\pi/4$ -DQPSK)*, *Spread Spectrum* [1]. Outras funções do rádio incluem a demodulação, de funções de processamento de sinal tais como: cifragem, codificação, *interleaving*, equalização, controle de sincronismo [7]. Em alguns casos, o rádio e o amplificador de potência já vêm integrados num mesmo *hardware* (figura 2.12).



Figura 2.12 – Rádio de Estação Celular [35]

2.4.4 – DUPLEXADORES

O duplexador é um equipamento usado na estação celular para permitir transmissão e recepção de rádio bidirecionais simultâneas. Com ele é possível utilizar um mesmo sistema irradiante tanto para recepção como para transmissão. Vide figura 2.13.

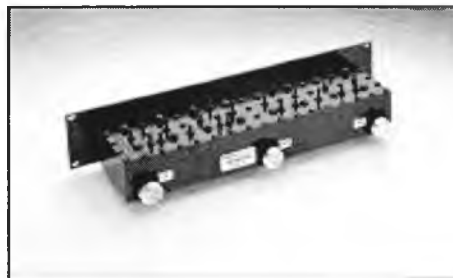


Figura 2.13 – Duplexador [36]

2.5 - SISTEMAS IRRADIANTES

A instalação de um sistema irradiante em uma estação requer cuidados especiais, pois cada elemento tem influência direta no desempenho final. A Figura 2.14 mostra um sistema irradiante típico.

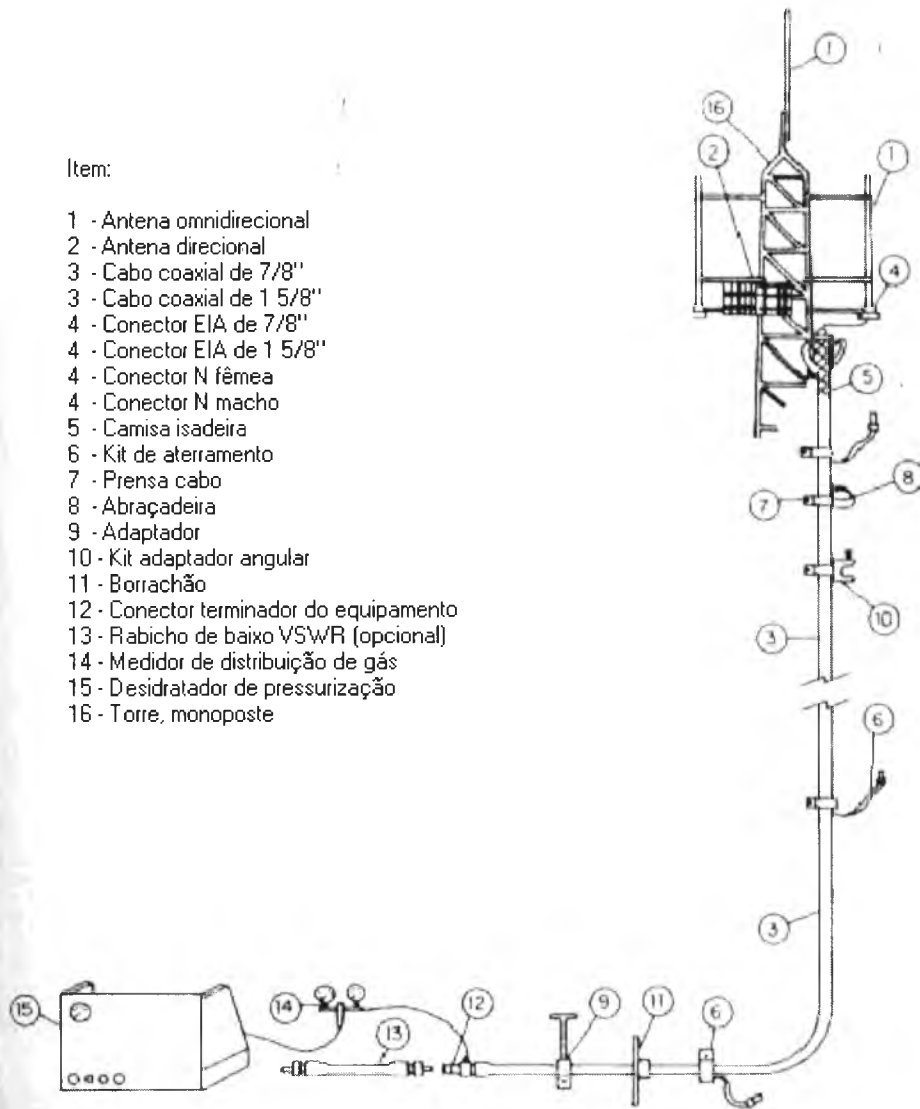


Figura 2.14 – Sistema Irradiante Típico de uma Estação [3].

2.5.1 - CUIDADOS ESPECIAIS

A instalação do sistema irradiante é uma tarefa crítica pois qualquer falha na montagem do mesmo pode influenciar bastante negativamente o desempenho da estação. Por isso a instalação de cada parte do sistema irradiante requer cuidados especiais:

Torre: O cuidado na instalação começa na torre. Esta deve ter um tratamento anticorrosivo adequado; chapas e parafusos enferrujados podem aumentar os níveis de intermodulação. Atenção especial também para o aterramento,[8].

Conectores: Representa um potencial fator de descontinuidade do sistema irradiante. A montagem dos mesmos é um ponto crítico e deve acontecer rigorosamente de acordo com instruções do fabricante. Após instalados, devem ser vedados com material apropriado.

Centelhador: Protege o Sistema contra descargas elétricas. Em inglês chama-se *Lightening Arrestor*.

Cabo Feeder: É o elemento principal da conexão do *hardware* da estação com as antenas. Pode ser considerado como uma linha de transmissão (LT). Quanto maior a bitola do cabo menor é a atenuação por metro, entretanto o custo do cabo aumenta de forma inversamente proporcional. Assim a escolha do cabo requer um compromisso entre as duas coisas: para grandes comprimentos, em geral, utiliza-se cabos de bitola maior. Em todo caso os cabos precisam ser instalados de acordo com orientações do fabricante respeitando: 1) o raio mínimo de curvatura, tanto na instalação quanto na curvatura final para não danificar o cabo alterando a impedância, 2) A temperatura mínima de instalação; 3) A tensão de puxamento.

Jumper: Também conhecido como “rabicho”. Conecta o cabo *feeder* à antena, ou ao *hardware* da estação. A característica típica do mesmo é a flexibilidade (isto é pequenos raios mínimos de curvatura) e fácil manejo.

2.5.2 – ANTENAS

Num sistema de comunicação sem fios a antena é um dispositivo conectado a um transmissor (ou receptor) para irradiar (ou captar) energia de rádio frequência. É imprescindível, transformando as ondas propagadas pelas linhas de transmissão (sistemas irradiantes) em ondas que se propagam em espaço aberto (ou vice-versa) [8].

O diagrama da antena, o ganho, azimute, *tilt* (medida de inclinação) e altura são fatores que influenciam o projeto do sistema. O diagrama de antena pode ser omnidirecional, ou direcional. Em termos práticos, considerando as antenas das estações, pode-se entender o ganho da antena como uma indicação do grau de direcionamento da potência irradiada em determinada direção (ou direções). O *tilt* pode ser usado para evitar interferência a células vizinhas e fortalecer pontos menos cobertos dentro da própria célula. E a altura de instalação da antena interfere no alcance da propagação da mesma [3].

Antenas Direcionais: Setorização

As antenas mais comumente encontradas em sistemas celulares urbanos são as setorizadas. A sua irradiação é direcionada e o ângulo de abertura do feixe é dado pela diferença entre os ângulos em que a irradiação é 3 dB menor que a direção de maior propagação. Abaixo tem-se diagramas de irradiação horizontais de 3 antenas transmissoras de uma mesma estação.

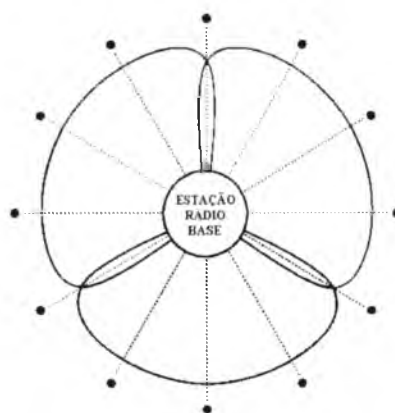


Figura 2.15 – Diagramas de Irradiação horizontais de 3 setores de uma estação

Antenas com diagramas de radiação de abertura horizontal menor são particularmente úteis no controle de interferência do sistema. Sendo desejável também nesse sentido uma grande relação frente-costas para a mesma.

Entre as direcionais ainda existem por sua vez dois subtipos de antenas: as painéis e as crosspolarizadas. As **antenas painel** são bastante usadas em duplas por cada setor. Essa configuração visa obter um ganho de diversidade espacial. Já as **antenas crosspolarizadas**, consistem na verdade de duas antenas encapsuladas num mesmo **radome** (que é o invólucro plástico que acomoda todas as partes da antena: dipolos, alimentador e demais) com dipolos.

2.6 - SENSIBILIDADE, *LINK BUDGET* E BALANCEAMENTO

A **sensibilidade** (S_{\min}) é a potência mínima de recepção de sinal que ainda atenda a um nível de *BER* determinado, em geral 3% para transmissão de voz. A sensibilidade está relacionada com a Figura de Ruído (N_T) do Sistema [40]. Dada por [9]:

$$N_T = N_0 + N_f = 10 \log kT + N_f \quad dB \quad (2.5)$$

Onde:

k é a constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-20}$ mW/Hz/°K)

T é a temperatura em Kelvin

Com $T = 290$ °K, N_0 é aproximadamente -174 dBm

N_f é a figura de ruído do *LNA* de recepção.

Particularidades do caso da transmissão de dados serão abordadas no item 2.10.4.

O **link budget**, ou cálculo de enlace, é o problema de obter a potência mínima de sinal que satisfaça um certo *BER* (*Bit Error Rate*), em geral 10^{-3} [9].

A seguir, então, obtém-se a relação entre a potência de sinal mínima, S_{\min} , e a requerida relação $(S/N_T)_{req}$, ou $(E_b/N_T)_{req}$ [9].

$$S_{\min} = (S/N_T)_{reqd} + N_0 B_C N_f = (E_b/N_T)_{reqd} (R_b/B_C) + N_0 B_C N_f \quad (2.6)$$

ou

$$S_{\min} = (E_b/N_T)_{reqd} + 10 \cdot \log R_b + N_T \quad dB \quad (2.7)$$

Onde E_b é a energia de bit

R_b é a taxa de informação

B_C é a largura do canal

N_T é a densidade total de ruído

Se P_m é a potência média do transmissor do móvel ao longo da duração do burst de um único TCH, a EIRP é dada por [9]:

$$P_{EIRP} = P_m - L_{tr} + G_{mt} \quad (2.8)$$

Onde L_{tr} é a perda de potência devido à distância ao transmissor

G_{mt} é o ganho da antena transmissora relativo à antena isotópica

A potência de sinal recebida seria [9]

$$P_{rec} = P_{EIRP} - L_p + G_{br} - L_{fr} \quad (2.9)$$

Substituindo Eq. 2.8 na Eq. 2.9 tem-se [9]

$$P_{rec} = P_m - L_p + (G_{br} + G_{mt}) - (L_{fr} + L_{tr}) \quad (2.10)$$

Onde L_p é a perda no percurso de propagação devido à distância entre o transmissor e o receptor [9].

G_{br} é o ganho da antena receptora do móvel

L_{tr} é a perda de potência devido a cabos de conectores no receptor da estação celular

Então, a máxima perda de percurso permitida L_{pmax} seria [9]:

$$L_{pmax} = (P_m - S_{min}) + (G_{br} + G_{ml}) - (L_{tr} + L_{fr} + f_m) \quad (2.11)$$

Onde “ f_m é a margem de desvanecimento para reduzir a probabilidade de falta de serviço devido a sombreamento (*shadowing*)” [9].

Quando o tempo médio de retenção das ligações para um canal de rádio é relativamente longo ao ser comparado com a duração de desvanecimento (é o caso das chamadas de voz), a taxa de *BER* deve ser avaliada em condições de desvanecimento [9]. No caso a margem de desvanecimento (f_m) é determinada por estatísticas relativas à variação de sinal baseada na distribuição log-normal. Por outro lado, quando o tempo médio de retenção é relativamente curto (é o caso das chamadas de dados), a taxa de *BER* deve ser avaliada em termos estáticos, ou seja, sem considerar variações [9]. Neste caso, a margem de *fading* é determinada utilizando-se a combinação das estatísticas de ambas as variações de sinal (longa duração escala e curta duração) baseando-se na distribuição log-normal e na distribuição de Rayleigh, respectivamente.

O **balanceamento** entre os enlaces direto e reverso acontece quando a equação 2.11 é atendida. Significa em termos práticos que, na borda da célula (3% de BER), o usuário pode ouvir e ser ouvido com o mesmo nível de desempenho, sendo este desempenho aceitável.

Seja por hipótese absurda o caso em que a potência da estação (P_{EIRP}) seja elevada muito além do máximo necessário.

Isso teria como consequência uma situação em que, na borda de célula, o móvel escutaria seu interlocutor muito bem (3% de BER), mas não seria ouvido já que o móvel não teria potência suficiente para enviar o sinal do enlace reverso de forma que atendesse à sensibilidade da estação. Normalmente essa ligação estaria fadada a cair, pois a sinalização de controle vinda do móvel em resposta às solicitações da central, não sendo recebida pela estação durante alguns segundos gera desconexão anormal.

2.7 - OTIMIZAÇÃO

É possível apontar 3 áreas principais dentro da otimização de sistemas celulares: engenharia de capacidade (utilização do processador e recursos de controle da central); engenharia de tráfego (adequar os canais de tráfego e *time slots* de voz para suportar a demanda de ligações); e engenharia de desempenho de ligação (garantir acesso, retenção e mobilidade das ligações).

Dentro do contexto desse trabalho considera-se enfaticamente o último tipo. Assim, é desejável que o engenheiro o qual otimiza o desempenho de ligação possua habilidades e conhecimentos em:

- Base de dados da central em termos de parâmetros e interface de comandos de administração do sistema;
- Algoritmos de processamento de chamadas e de *handover*;
- Elementos de rede (arquitetura de sistema, configuração e funcionalidades de *hardware* e *software*) especialmente da estação;
- Equipamentos de teste de rádio frequência
- Contadores estatísticos, relatórios de desempenho e medidas operacionais
- Habilidades de projetos de rádio frequência para identificar problemas relacionados a questões de projeto;
- Uso de funcionalidades especiais do sistema

Tais habilidades e conhecimentos são úteis no desempenho de tarefas ligadas à otimização como:

- Estabelecimento e manutenção de um inventário com a configuração do sistema (coordenadas de estações, modelos de antenas e suas respectivas alturas, azimutes e inclinações; número de rádios com frequências e demais parâmetros de projeto).
- Monitoramento da desempenho do sistema (através de contadores estatísticos e de medições em campo como *Drive Test*)
- Detecção análise de eventos anormais
- Implementar correções e modificações necessárias para melhoria do sistema
- Desenvolvimento de ferramentas computacionais e novas técnicas de análise e manipulação de dados

2.8 - SISTEMA DE *DRIVE TEST*

Um sistema de *Drive Test* é um equipamento que realiza medidas baseadas na interface aérea da rede de telefonia celular (medições de RF e medições de telefone). Ele é usado para dar apoio à integração de uma nova estação ao sistema e aos processos de otimização da rede, através da avaliação do desempenho de chamadas, e quantificando a experiência do usuário final tanto de voz como de dados. Os principais componentes de um sistema de *Drive Test* são:

- *Scanner*
- Antena de RF
- *GPS* e Antena *GPS*
- *PC*
- Celular

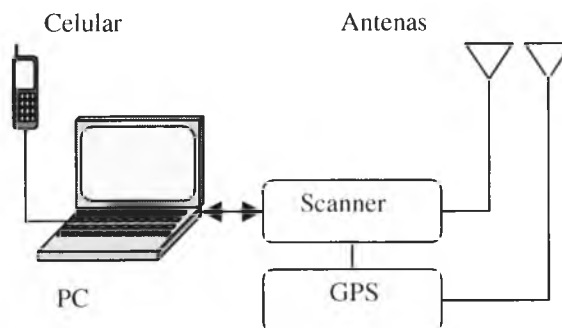


Figura 2.16 – Sistema de *drive test*

O sistema em sua funcionalidade mais básica realiza medidas e às associa a uma coordenada geográfica. Enquanto o veículo onde o equipamento está instalado se movimenta, o processo é repetido inúmeras vezes.

Existe um *software* de coleta de dados instalado no PC. Em geral os dados coletados ficam armazenados numa base de dados para futura reprodução do teste, ou análise em *software* de pós-processamento. A figura 2.18 mostra um exemplo de resultado gráfico de *drive test*.

Na figura 2.16 tem-se um esquema da arquitetura de um sistema de *Drive Test* e na figura 2.17 tem-se um exemplo de tela do *software* de coleta:

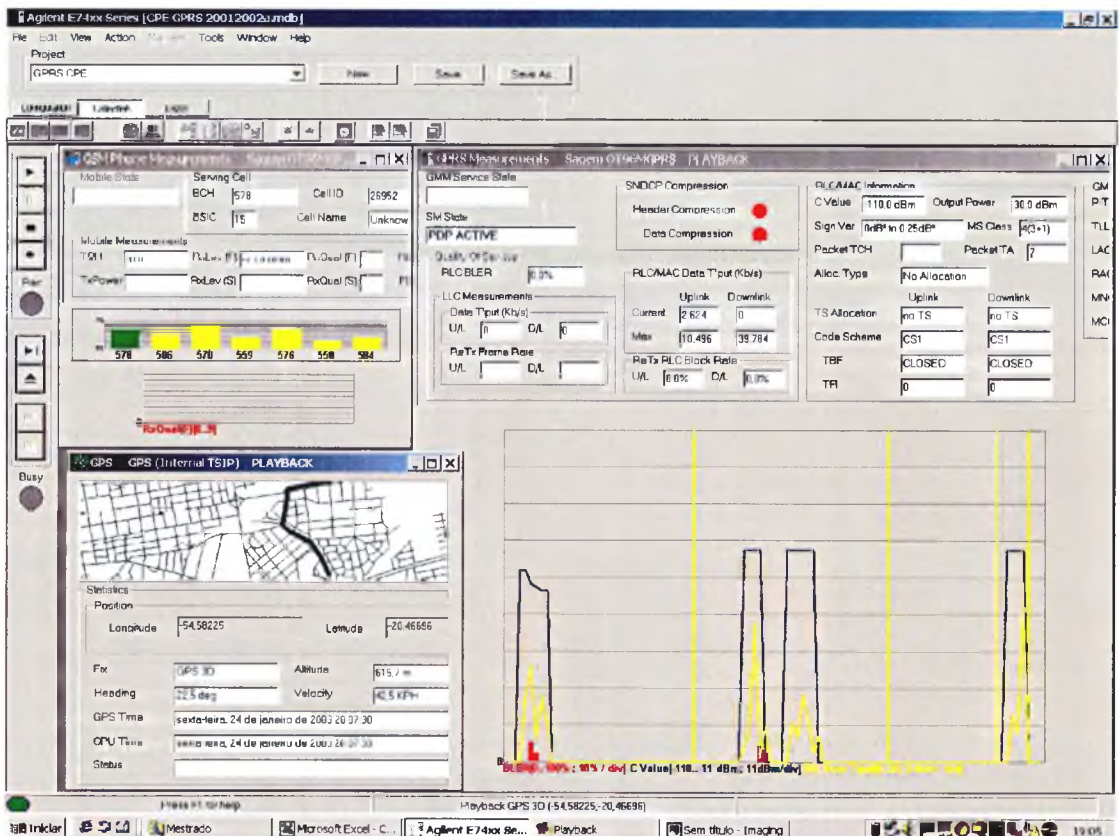


Figura 2.17 – Tela de *Software* de coleta de *Drive Test*

Na figura 2.18 tem-se um exemplo de Drive Test pós-processado. A posição dos pontos coloridos representam coordenadas geográficas tomadas ao longo das ruas de um bairro. Cada cor representa um intervalo de potências RSSI (conforme a legenda) e o círculo maior no centro representa uma estação omnidirecional.

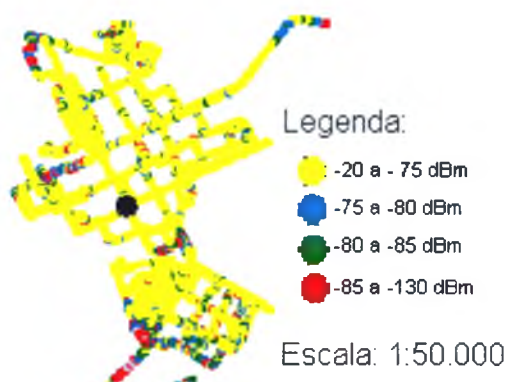


Figura 2.18 – Resultado pós-processado do *Drive Test*

2.9 – EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE TELEFONIA CELULAR

2.9.1 - SISTEMAS DE PRIMEIRA GERAÇÃO (ANALÓGICOS)

Nos Estados Unidos, a FCC (*Federal Communications Commission*) alocou um espectro de 50 MHz nas bandas 824-849 MHz e 869-894 MHz para comunicação móvel celular. Numa dada região geográfica, duas operadoras são licenciadas (uma na chamada banda A e outra na banda B). Cada uma delas controla 25 MHz de espectro. O espectro total é dividido em 832 frequências de rádio (duas por canal de RF), cada uma com 30 kHz de largura de banda. Desses canais 416 são destinados para a operadora da banda A e os outros 416, para a operadora da banda B. Normalmente é previsto a utilização de algo em torno de 21 canais para sinalização e controle; assim sendo restam em torno de 395 canais para carrear tráfego de voz. FM de 8 kHz de desvio é usado para voz, e os canais de controle usam FSK binário. Com uma taxa de 10 kbps. O AMPS (*Advanced Mobile Telephone System*) esteve disponível comercialmente desde 1983. O AMPS também é usado no Canadá, Américas Central de do Sul, Austrália e alguns países da Ásia.

Na Europa, muitos sistemas de primeira geração semelhantes ao AMPS foram implantados. Entre esses estão o *TACS (Total Access Communications System)* no Reino Unido, Itália, Espanha, Áustria, e Irlanda; o *NMT (Nordic Mobile System Telephone)* em vários países escandinavos; o C-450 na Alemanha e Portugal; RadioCom 2000 na França; e o *RTMS (Radio Telephone Mobile System)* também na Itália. Tais sistemas utilizam FM para voz, FSK para sinalização, e espaçamento de 25 KHz (*TACS, NMT-450, RTMS*); 10 kHz (C-450); e 12,5 kHz (*NMT-900, RadioCom 2000*). Decisões de *Handover* são tomadas com base na potência recebida pelas estações vizinhas ao móvel. O sistema C-450 é uma exceção e usa medidas de *round trip delay* para decisões de *handover*.

No Japão, um total de 56 MHz de espectro foi alocado para sistemas celulares analógicos (860-885/915-940 MHz e 843-846/898-901 MHz). O sistema analógico *NTT (Nipon Celular System)* começou sua operação em Tóquio em 1979. A banda de frequência era 925-940 MHz (móvel para estação) e 870-885 MHz (estação para móvel). O espaçamento de canais é de 25 kHz, dando um total de 600 canais duplex. A taxa de sinalização de canal de controle era 0,6 kbps. Em 1988 um sistema de alta capacidade foi introduzido na mesma banda, com uma taxa melhorada para 2,4 kbps e espaçamento de canal reduzido para 12,5 kbps.

O advento dos sistemas de segunda geração não extinguiu os sistemas de primeira. Bastante da rede existente pôde ser aproveitado. Mas entre os poucos elementos de rede que teriam de ser substituídos estavam os telefones dos assinantes. Assim as operadoras promoveram por meio de campanhas de marketing (descontos subsídios e outros incentivos) a migração dos assinantes. A manutenção de um mínimo de rádios analógicos em cada setor do sistema teve de acontecer devido a dois motivos: primeiro para proporcionar *roaming* analógico para assinantes *CDMA* em redes *TDMA* e vice versa; segundo para prover serviço aos poucos assinantes que optaram por manter seus telefones analógicos (alegando na época uma ligeira superioridade no áudio).

2.9.2 – SISTEMAS DE SEGUNDA GERAÇÃO (DIGITAIS)

O desenvolvimento de codecs de voz digitais de baixa taxa e o contínuo aumento da densidade dos dispositivos de circuito integrado tornaram viáveis sistemas de segunda geração completamente digitais. Foram empregadas principalmente duas tecnologias: *TDMA (Time Division Multiple Access)* e *CDMA (Code Division Multiple Access)*

2.9.2.1 – Padrão europeu

Em 1982, a *Conference Europeenne des Postes et Telecommunications (CEPT)* organizou um comitê conhecido como *Group Special Mobile (GSM)*, mais tarde conhecido também por *Global System for Mobile Communications*. Em 1992 foi implementado na Alemanha como primeiro sistema celular digital da Europa.

Trata-se de uma tecnologia com múltiplo acesso por divisão de tempo (*TDMA*), apesar de que não se usa muito essa sigla no contexto do *GSM*. A mesma é mais usual quando se fala do *IS-136* (que será abordado mais adiante).

O *GSM* usa oito canais por portadora com taxa de dados de 22,8 kbps no canal *full-rate*. Os canais de tráfego podem ser do tipo *full-rate*, ou do tipo *half-rate*. A taxa de informação sobre o canal de tráfego é de 270 kbps. Os canais são espaçados de 200 kHz. E a modulação *GMSK* é utilizada.

Em 1989 a responsabilidade de geração das especificações técnicas do *GSM* passou do *CEPT* para o *ETSI*. As especificações do *GSM* Fase 1 foram completadas em 1990. Elas foram divididas em 12 conjuntos de recomendações. Para refletir a implantação com escala mundial o nome foi alterado para *Global System for Mobile Communication*.

O GSM fase 2 e fase 2+ refere-se a uma evolução do GSM. Esse novo conjunto de especificações aborda assuntos como o cartão SIM, transmissão de rádio e gerenciamento da ligação. Uma habilidade opcional da rede é o uso da técnica de *Frequency Hopping*, a qual proporciona uma melhor distribuição estatística da interferência [9].

2.9.2.2 – Padrões americanos

TDMA – IS-136

No último quarto de 1991, o hardware do primeiro sistema celular digital americano estava instalado na maioria das principais cidades dos EUA. Em 1994 já estava em operação na cidade de Seattle, Washington nos EUA [2]. A TIA (*Telecommunication Industry Association*) nomeou o padrão como IS-54 (*Interim Standard 54*), que mais tarde, com mais alguns avanços, passou a se chamar IS-136 [1].

As operadoras iniciaram a substituição dos rádios que agora suportariam 3 usuários ao invés de um na mesma banda de 30 kHz. Isso foi possível graças à modulação digital $\pi/4$ -*Diferencial Phase Shift Keying* ($\pi/4$ -QPSK), à codificação de voz e ao múltiplo acesso por divisão de tempo, usados no lugar da modulação analógica FM e complementando o múltiplo acesso por divisão de frequência.

CDMA – IS95

Um sistema celular baseado em múltiplo acesso por divisão de código (CDMA – *Code Division Multiple Access*) foi desenvolvido por uma empresa chamada Qualcomm e padronizado pelo TIA como *Interim Standard (IS-95)*. Tal sistema suporta um número variável de usuários em canais de 1,25 MHz de largura, usando *Spread Spectrum* de sequência direta (*Direct Sequence*). Trata-se de um sistema muito mais robusto no aspecto de resistência a interferência quando comparado com seus predecessores.

Justamente essa habilidade do *CDMA* de operar com uma taxa de sinal ruído bem mais baixa que a convencional é que permite aos sistemas *CDMA* reutilizar os mesmos conjuntos de frequências em todas as células. Isso tem como consequência um aumento de capacidade [1]. Diferentemente dos outros sistemas 2G, o *CDMA* usa um *vocoder* de taxa variável com detecção de atividade de voz que reduz consideravelmente a taxa de dados requerida e também o consumo de bateria pelo transmissor do móvel [1].

A taxa básica do canal do usuário é 9,6 kbps e é espalhada em uma taxa de *chip* de 1,2288 milhões de *chips* por segundo (Mcps), dando um fator de espalhamento de 128. O processo de espalhamento usado nos *links* direto e reverso são diferentes. No enlace direto, a informação do usuário é codificada usando-se um código convolucional $\frac{1}{2}$, com *interleaving* e espalhado por um dos 64 códigos convolucionais de Walsh.

Para cada móvel numa determinada célula é designada uma função de Walsh para prover (sob condições ideais) uma perfeita separação entre sinais provenientes de diferentes usuários.

Para reduzir interferência entre móveis que usam a mesma função de Walsh em células diferentes e para prover as características desejadas de espalhamento espectral, todos os sinais em uma célula particular são espalhados usando-se uma sequência pseudo aleatória de tamanho 2^{15} chips. A ortogonalidade entre usuários dentro da célula é preservada porque seus sinais são espalhados identicamente.

No enlace reverso uma estratégia de espalhamento diferente é usada porque cada sinal recebido chega até à estação por meio de diferentes canais de propagação. A informação do usuário é antes convolucionalmente codificada a uma taxa de $1/3$. Após o *interleaving*, cada bloco de seis símbolos codificados é mapeado para uma das 64 funções ortogonais de Walsh. Um espalhamento final quadruplicado, dando uma taxa de 1,2288 Mcps é obtido espalhando-se os resultantes 307,2 kcps com códigos específicos da estação e do usuário de períodos $2^{42}-1$ e 2^{15} chips respectivamente.

A taxa de codificação 1/3 e o mapeamento em funções de Walsh resultam em uma maior tolerância a interferência e seriam percebidos através de espalhamento tradicional usando código de repetição.

O enlace reverso controla com muito cuidado a potência transmitida pelo móvel para evitar o problema “*near-far*” (do inglês próximo-distante). Problema esse que é causado por diferentes situações de desvanecimento, sombreamento, e perda de propagação experimentadas por diferentes sinais chegando numa mesma estação.

Receptores Rake são usados para resolver e combinar componentes de multipercurso afim de reduzir amplitude de desvanecimento tanto no móvel quanto na estação.

2.9.2.3 – Padrão japonês

PDC – Personal Digital Phone

Em 1989 um estudo evolutivo de sistemas celulares digitais com uma interface aérea comum foi iniciado. O novo sistema digital, chamado de *Personal Digital Cellular (PDC)* se estabeleceu em 1991 [9].

O *PDC* também é baseado em múltiplo acesso por divisão de tempo, com 3 time slot's multiplexados em cada portadora. O espaçamento de canal é de 25 KHz com *interleaving* para facilitar a migração dos canais analógicos. A taxa de sinalização é de 42 kbps e a modulação é a $\pi/4$ *DQPSK*. O total do espectro é 80 MHz. Em 1994 já estava em operação na cidade de Tokio no Japão [2].

2.9.3 – SISTEMAS DE TERCEIRA GERAÇÃO

Durante os anos 80 vários sistemas incompatíveis uns com os outros estavam disponíveis no mundo. Isso significava que um telefone projetado para um determinado sistema não poderia ser aproveitado em outro [9].

Com a globalização e o crescimento de grandes entidades comerciais tais como o Mercado Comum Europeu e o Mercosul o *roaming* entre países se tornou algo fundamental.

O foco dos sistemas de terceira geração é em redes econômicas e protocolos de rádio que proporcionem serviços de voz e dados (com altas taxas de transmissão) utilizáveis em vários tipos de redes. Na Europa, uma plataforma de rede que atualmente é objeto de intensa pesquisa é o *UMTS* (*Universal Mobile Telecommunication System*) também conhecido como *IMT-2000* [10].

Uma diferença entre o *UMTS* e os sistemas de Segunda geração é a “Estrutura Hierárquica de Células” a qual pode ser usada para suportar uma gama de serviços multimídia de banda larga.

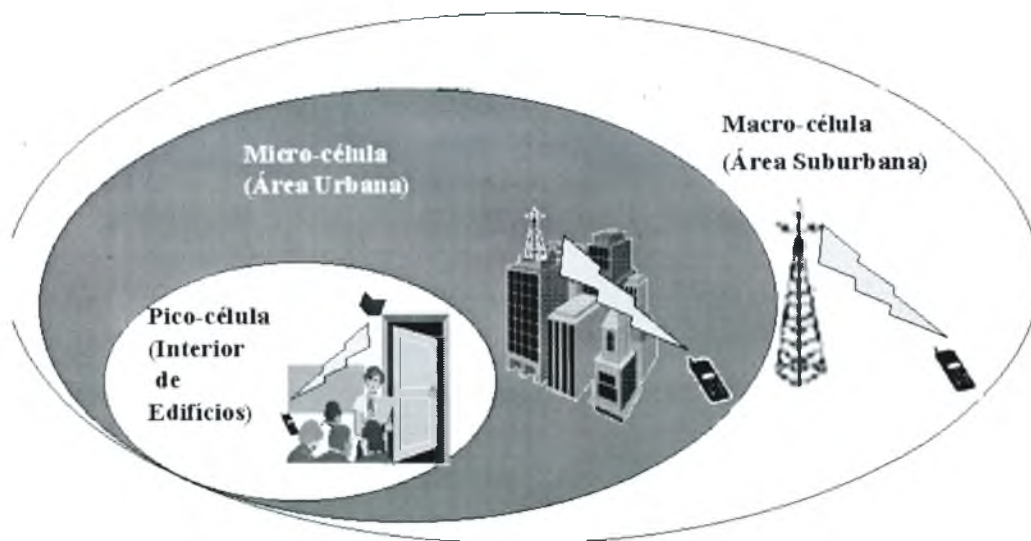


Figura 2.19 – Estrutura Hierárquica de Células do 3G

A estrutura celular em multicamadas (células satélite globais \Rightarrow Macro Células \Rightarrow Micro Células \Rightarrow Pico Células) permite a solução de problemas de capacidade x velocidade de transmissão de dados.

Trata-se inclusive de uma técnica já utilizada na segunda geração para solução desses mesmos problemas, mas que vem a ser ainda mais necessária na terceira geração.

Em pico células, onde a mobilidade do usuário é muito pequena, maior é a capacidade de tráfego, maiores são as taxas de transmissão (em kbps) que podem ser alcançadas e menor é o atraso de propagação.

WCDMA (*Wide Band Code Division Multiple Access*)

O WCDMA é um dos esquemas de acesso a ser utilizado no 3G; basea-se na teoria de um assunto que vem sendo estudado a mais de 70 anos: o *DS-CDMA (Direct Sequence Code Division Multiple Access)* [10].

Múltiplo Acesso — Uma célula numa rede de telefonia celular poderia ser vista como um sistema de comunicação de multi-usuários, onde um grande número de usuários compartilham um recurso físico comum para transmitir e receber informação. O recurso nessa célula é a banda de frequência dentro do espectro de rádio. A técnica de acesso a esse recurso usada no WCDMA permite que mais de um usuário compartilhem um mesmo canal pelo uso de sinais *spread-spectrum* (espectro-espalhado).

Nesse método a cada usuário é designado uma sequência de código única que permite que o sinal desse usuário seja espalhado na banda de um canal comum. Na recepção os sinais dos vários usuários são separados através de correlação cruzada de cada sinal recebido com a assinatura sequencial (ou código de espalhamento) do usuário em questão.

Dentre várias técnicas de espalhamento espectral através de códigos uma é mais comumente utilizada: *Direct Sequence*. Esta é a técnica utilizada no WCDMA. Nesta técnica o espalhamento do sinal é atingido através de modulação de um sinal modulado de dados uma segunda vez por um sinal espalhador de banda larga. O sinal tem que se aproximar bem a um sinal aleatório com distribuição uniforme de símbolos.

Exemplos típicos de sinais assim são os *PN* (*pseudo noise* — pseudo ruído) sobre um alfabeto finito.

Características sistêmicas do *WCDMA*:

- Reuso universal
- Soft handover: conexão simultânea com vários links
- Controle de Potência: garante que cada usuário receba e transmita apenas a energia suficiente para transporte de informação enquanto causa mínima interferência.
- Comutação por pacotes à altas taxas de transferência

2.10 - GSM PACKED DATA SERVICES (GPRS)

O *GPRS* (*General Packet Radio Service*) é um serviço não baseado em voz que permite o envio e recepção de informações através de uma rede telefônica móvel *GSM*. O serviço baseia-se no fato da tecnologia permitir a transmissão de dados por pacotes de informação, dando aos usuários a possibilidade de estar permanentemente online - com ligação imediata à Internet. Não há necessidade de conexões *dial-up* através de *modems*. O usuário fica sempre conectado.

O uso de comutação de pacotes no *GPRS* permite que os recursos de rádio sejam utilizados apenas quando os usuários estiverem enviando ou recebendo dados. Ao invés de dedicar um canal para um usuário por um determinado período de tempo, o recurso pode ser compartilhado concorrentemente entre vários usuários [12].

O *GPRS* (*General Packet Radio Services*) também permite às redes celulares uma maior velocidade e largura de banda, melhorando as capacidades de acesso móvel à Internet. Taxas de transferência teóricas de até 171,2 kbps (kilobits por segundo) são possíveis com *GPRS* usando todos os oito *timeslots* do *GSM* ao mesmo tempo [12].

Em 1999 uma versão mais avançada do *GPRS* foi desenvolvida e padronizada o *EGPRS* (*Enhanced General Packet Radio Service*) [12].

2.10.1 - ESQUEMAS DE CODIFICAÇÃO (*CODE SCHEMES – CS*)

No *GPRS* quatro Esquemas de Codificação (*Code Schemes – CS*) são definidos: *CS-1*; *CS-2*; *CS-3* e *CS-4*. O *CS-1* oferece um nível mais alto de proteção contra erros, enquanto que o *CS-4* não oferece nenhuma proteção para o conteúdo do usuário (vide tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Taxa de Transmissão do *GPRS*

Esquema	Taxa [kbps]
CS-1	9,05
CS-2	13,4
CS-3	15,6
CS-4	21,4

A taxa de dados do usuário aumenta com Esquemas de Codificação mais altos, só que com o custo de requerer níveis baixos de interferência, ou seja, taxas de *C/I* (sinal-interferente) maiores para a interface aérea.

2.10.2 - ARQUITETURA DO *GPRS*

Dois novos Nós (*Nodes*) são adicionados à rede (Figura 2.20). O *SGSN* (*Serving GPRS Support Node*) se comunica com o móvel dentro de sua área de serviço. O *GGSN* (*Gateway GPRS Support Node*) se comunica com redes de pacotes que são externas à rede *GSM*.

O *GGSN* é o nó *gateway* entre uma rede de pacote e de dados externa (uma rede IP) e a rede backbone do *GPRS*. No caso de uma rede IP externa o *GGSN* pode ser visto como um roteador IP das estações móveis. O *GGSN* pode incluir *firewalls* e mecanismos de filtragem de pacotes. Outra atribuição do *GGSN* é designar o *SGSN* correto para o móvel, dependendo da localização da mesma.

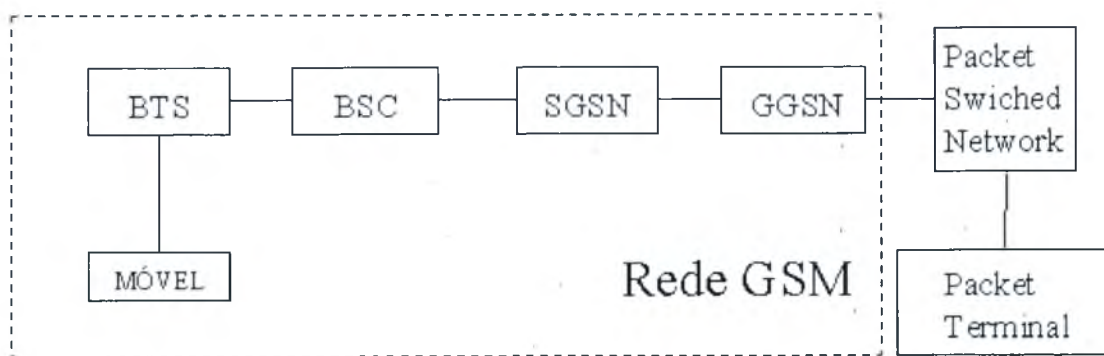


Figura 2.20 – Arquitetura do GPRS

O *SGSN* provê a comunicação entre o backbone *GPRS* e a rede de acesso de rádio, comutando pacotes para a estação apropriada (*HO*). Entre suas atribuições estão: cifragem, autenticação, gerenciamento da sessão, gerenciamento de mobilidade, gerenciamento do enlace lógico para o móvel.

2.10.3 - CAMADAS DE PROTOCOLO

A interface aérea do *GPRS* consiste de uma estrutura de protocolo em camadas que provê procedimentos de controle, como correção de erro e retransmissão de dados. Ela ocorre entre o móvel e a *BSC/SGNS*.

Entre o móvel e a estação:

- ***Sub-Network-Dependant Convergence Protocol (SNDCP)***: Realiza compressão de cabeçalho nos cabeçalhos da camada de rede
- ***Logical Link Control (LCC)***: Realiza o controle da camada de enlace entre o móvel e o *GSN (GPRS Serving Node)*.
- ***Radio Link Control (RLC)***: Transmite blocos de dados através da interface aérea, realiza detecção de erro, e correção de erro via um processo de pedido automático de repetição.
- ***Medium Access Control (MAC)***: Controla o acesso do móvel à interface aérea comum e realiza agendamento da sinalização associada.

- **Physical Link Layer:** Gerencia a correção de erro no *link* direto, *interleaving* de *frames*, e congestionamento do canal de rádio.
- **Radio Frequency Layer:** Gerencia a camada física de rádio-comunicação do sistema, incluindo modulação.

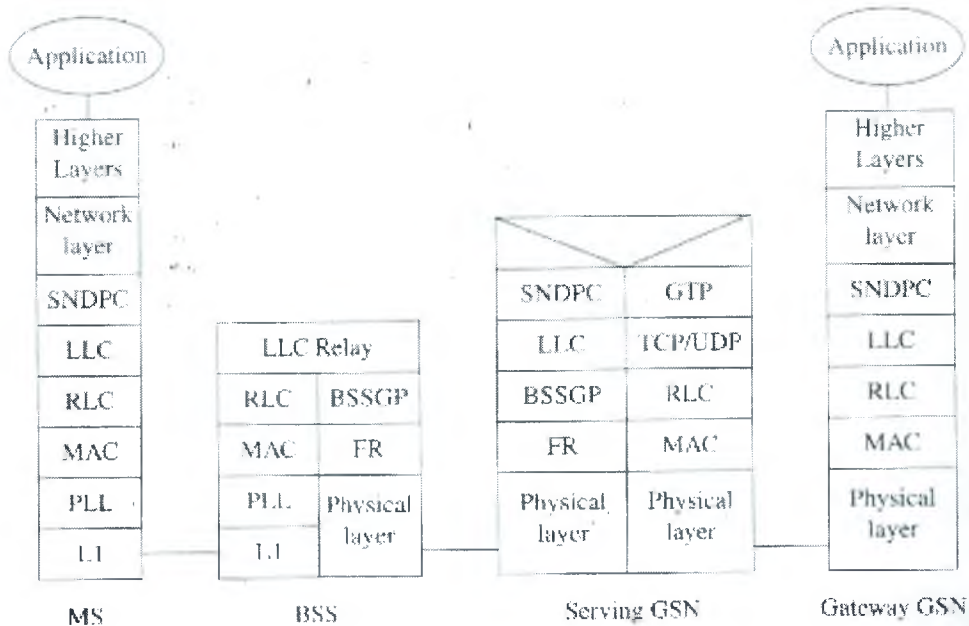


Figura 2.21– Protocolo em Camadas

Entre a estação e o *SGSM*:

- **BSS GPRS Protocol (BSSGP):** Fornece roteamento e gerenciamento de *QoS* (*Quality of Service*)
- **Frame Relay:** Este protocolo *wireless* suporta comunicação por pacotes entre os nós.
- **Camada física (Physical layer):** Pode ser um *link* E1, por exemplo, ou outro meio conforme necessário.

Entre os nós *GPRS*:

- ***GPRS tunnel protocol***: Este protocolo roteia as unidades de protocolo de dados através da rede adicionando aos pacotes informação de roteamento.
- ***Transmission Control Protocol/User Datagram Protocol (TCP/UDP) e Internet Protocol (IP)***: São dois protocolos padrão da *internet*.

2.10.4 – PARTICULARIDADES DO PLANEJAMENTO DE REDE GPRS

O conceito de sensibilidade, abordado no item 2.6 deste capítulo está relacionado a uma determinada taxa de erro na borda da célula. No contexto da comunicação de dados do *GPRS* tal conceito não é usualmente aplicado para fins planejamento de rede. Isso porque, devido à possibilidade de retransmissão dos pacotes (os quais por alguma razão chegaram com erro ao seu destino), ocorre uma diminuição substancial do *BER (Bit Error Rate)* do sistema em se tratando de dados.

Adaptação de enlace (*link adaption*)

“A tarefa de adaptação de enlace é a de selecionar o esquema de codificação de melhor desempenho para cada condição de canal encontrada” [10]. Assim, no caso do *GPRS*, é possível definir uma certa área de cobertura para cada esquema de codificação. A área de cobertura de cada esquema de codificação proporcionará uma característica diferenciada de *BLER (Block Error Rate)* e conseqüentemente de *Throughput* de acordo com premissas de projeto.

Ora, sabe-se que o *Throughput* por *time slot* é dependente da negociação do esquema de codificação [39], o qual por sua vez é baseado em critérios de desempenho de chamada de dados. Entre estes critérios está o *BLER (Block error Rate)*. Quanto menor a relação sinal interferente (*C/I*), maior a probabilidade de ocorrência de maiores taxas de *BLER*. E como consequência esquemas de codificação menores são designados com menores taxas de *Throughput*.

A referência [39] descreve o comportamento do C/I em relação ao $Throughput$ (vide figura 2.22). Depreende-se do gráfico que uma alto C/I é requisito para altas taxas de $Throughput$.

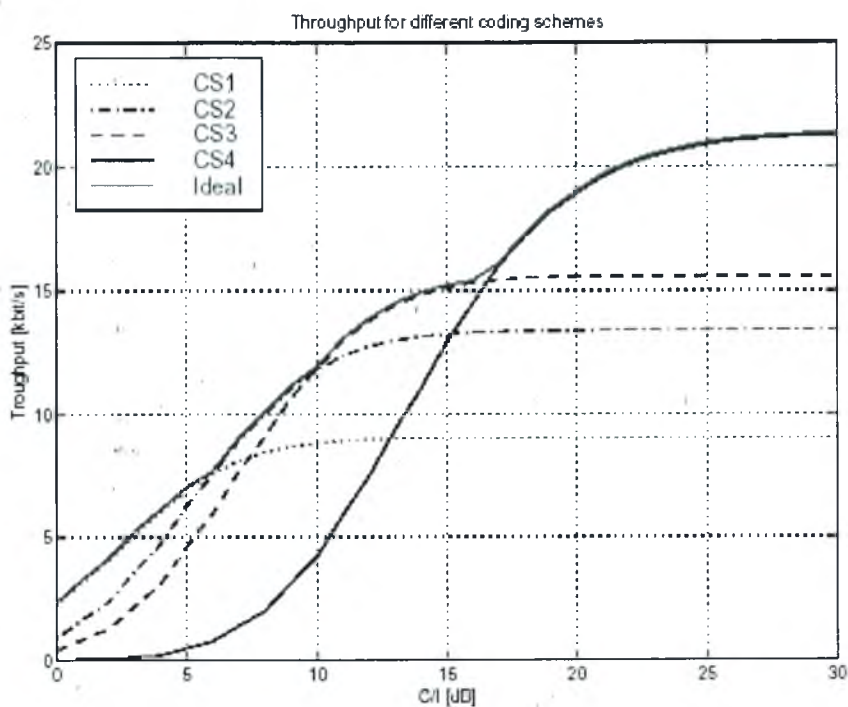


Figura 2.22– $Throughput$ x Relação Sinal-interferente (C/I) [39]

Dessa forma, a área de cobertura do esquema de codificação CS-01 normalmente está onde a relação C/I é menor, comumente abrange regiões mais distantes da estação servidora.

Outras particularidades do planejamento de redes $GPRS$ são relacionadas ao *link budget*, ou cálculo de enlace. A referência [10] apresenta diversos detalhes a serem considerados no caso específico do planejamento de redes $GPRS$ e $UMTS$ tais como: desvanecimento (*fading*), requisitos de $Throughput$ (dependendo do tipo de serviço de dados), perda corporal (*body loss*), entre outros.

2.11 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo abordou conceitos básicos de telefonia celular com ênfase nos tópicos mais relacionados às metodologias estatísticas que serão abordadas nos capítulos 5, 6, 7 e 8.

Fundamentos relacionados ao funcionamento de um sistema típico foram fornecidos, bem como uma visão geral da evolução das principais tecnologias. Um pequeno detalhamento de hardware também foi incluído, já que serão estudados aspectos relacionados a falhas nos capítulos citados acima. Conceitos sobre tráfego telefónico serão o tema do próximo capítulo.

Houve um cuidado quanto à apresentação dos elementos básicos de rede no sentido de generalizar um pouco mais a tradicional abordagem de introdução à sistemas móveis de comunicação. Aqui foi utilizado um ponto de vista menos influenciado por padrões *TIA*. A motivação para tanto é a entrada no país de operadoras adeptas de tecnologias especificadas por outras instituições normativas (por exemplo as operadoras do Sistema Móvel Pessoal — SMP — que utilizam normas da ETSI). Assim sendo, o uso de um termo como “estação” é preferencial a “*ERB*”, ou “*BTS*”.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: TRÁFEGO TELEFÔNICO

3.1 – CONCEITOS DE TRÁFEGO TELEFÔNICO

O Planejamento de Sistemas de telefonia objetiva aproveitar os recursos com máxima eficiência de forma a otimizar os custos. Modelos estatísticos de análise de tráfego telefônico são utilizados visando quantificar os recursos necessários. A unidade de tráfego é o erlang (Erl), em homenagem ao engenheiro sueco Agner Krarup Erlang e, por definição, um único recurso, ocupado continuamente ou não, durante um período de tempo t , considerando um período de observação T , cursa t/T Erl e pode, no máximo, cursar 1 Erl [1].

Dois tipos de sistemas são bastante usados na telefonia: os sistemas com perda de chamada e os sistemas de chamadas em espera:

Nos sistemas com perda de chamada a formação de uma fila de espera não acontece na requisição de chamadas. Quando o usuário tenta utilizar o sistema existe um tempo mínimo para o estabelecimento de uma ligação e o usuário recebe designação de uma canal, se houver um disponível. Se todos os canais estiverem em uso a ligação é bloqueada. O usuário não recebe um canal mas é livre para tentar uma nova chamada em um instante posterior [13].

Algumas premissas adotadas são:

- As chamadas são geradas seguindo uma distribuição de Poisson com taxa λ
- Fonte de tráfego infinita
- Chamadas bloqueadas são perdidas, mas podem tentar novo acesso a qualquer tempo no futuro
- Sistema analisado em regime estacionário
- Tempo de retenção dos recursos exponencialmente distribuído com taxa μ

O processo de Poisson implica que o tempo da *n*-ésima chegada e os tempos entre chegadas no intervalo de chamadas sucessivas são mutuamente independentes.

A Fórmula de Erlang B é utilizada para calcular o Grau de Serviço (*GOS – Grade of Service*) [13].

$$\Pr[\text{Bloqueio}] = \frac{\left(\frac{A^C}{C!}\right)}{\sum_{i=0}^C \frac{A^i}{i!}} \quad (3.1)$$

Onde, **C** é o numero de recursos (canais) e **A** é o tráfego.

Em sistemas de chamada em espera filas são formadas para manter a solicitação de ligações inicialmente bloqueadas. Assim, o início da chamada pode ser atrasado até um canal se tornar disponível [13].

Neste caso usa-se a Fórmula de Erlang C para o cálculo do Grau de Serviço (*GOS – Grade of Service*). Aqui, o GOS é medido pela probabilidade de a chamada ficar em espera por um tempo maior que **t** segundos [13].

$$\Pr[\text{Tempo de Espera}] = \frac{A^C}{A^C + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) \sum_{i=0}^{C-1} \frac{A^i}{i!}} \quad (3.2)$$

3.2 – DETALHAMENTO DO MODELO ERLANG B

Sejam as premissas apontadas acima para o sistema de chamadas com perda. Considerando as mesmas pode-se montar o seguinte diagrama de estados, que é uma Cadeia de Markov (como será visto mais adiante no próximo capítulo) aplicada a um processo estocástico tradicionalmente conhecido por “Nascimento-Morte”:

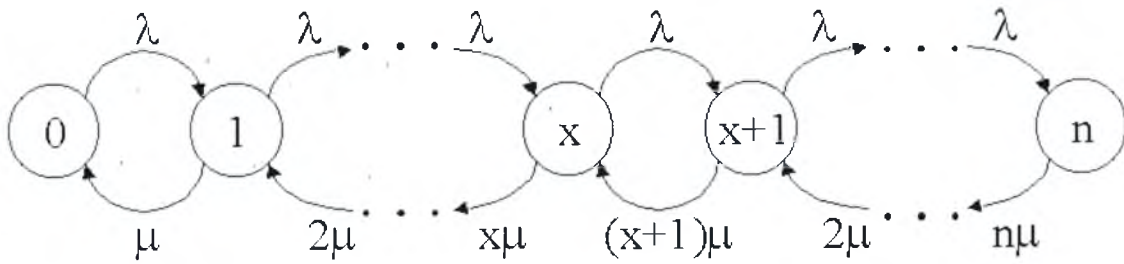


Figura 3.1 – Diagrama de Estados Erlang B

Onde:

n é o número de recursos ocupados,

λ é a taxa de geração de chamadas (“Nascimentos” do processo e Nascimento-Morte)

μ é a taxa de desligamentos de chamadas (“Mortes” do processo e Nascimento-Morte)

O tráfego, A , também poderia ser expresso por $A = \lambda / \mu$

Considerando que o sistema se encontra em equilíbrio pode-se afirmar que o fluxo é conservado, ou seja, dado um estado x o fluxo de entrada no estado é igual ao fluxo de saída. A equação de equilíbrio corresponde a seguinte:

$$P(0).\lambda = P(1).\mu \quad (3.3)$$

$$P(1) = \frac{\lambda}{\mu} P(0) \quad (3.4)$$

$$P(x).\lambda + P(x).x\mu = P(x-1).\lambda + P(x+1).(x+1)\mu$$

$$P(x).(\lambda + x\mu) = P(x-1).\lambda + P(x+1).(x+1)\mu \quad (3.5)$$

Fazendo $x = 1$ e colocando $P(2)$ em função de $P(0)$ tem-se:

$$P(1).(\lambda + \mu) = P(0).\lambda + P(2).2\mu \quad (3.6)$$

Substituindo a Eq. 3.4 na Eq. 3.6 tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{\lambda}{\mu} \cdot P(0)(\lambda + \mu) &= P(0)\lambda + P(2)2\mu \\ \lambda \cdot P(0)(\lambda + \mu) &= \mu\lambda \cdot P(0) + 2\mu^2 P(2) \\ P(2) &= \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^2 \cdot P(0) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Seguindo o mesmo procedimento pode-se obter:

$$P(3) = \left(\frac{1}{3!} \right) \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^3 \cdot P(0) \quad (3.8)$$

De forma que propõe-se assumir que:

$$P(x) = \left(\frac{1}{x!} \right) \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^x \cdot P(0) \quad (3.9)$$

Por outro lado, sabe-se que:

$$\sum_{i=1}^N P(i) = 1 \quad (3.10)$$

Então:

$$1 = P(0) \sum_{i=1}^N \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^i \cdot \frac{1}{i!} \quad (3.11)$$

Onde $\sum_{i=1}^N \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^i \cdot \frac{1}{i!}$ é a série de Maclaurein correspondente a $f(x) = e^{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)} = e^{\lambda}$ que é um caso particular de uma série de potências convergente, em que $f(x)$ é uma função infinitamente diferenciável (também é um caso particular da Série de Taylor). Continuando a desenvolver a Eq. 3.11:

$$P(0) = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^i \cdot \frac{1}{i!}} \quad (3.12)$$

Substituindo agora a Eq. 3.12 na Eq. 3.9

$$P(x) = \frac{\left(\frac{1}{x!}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^x}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i \cdot \frac{1}{i!}} \quad (3.13)$$

$$P(x) = \frac{\left(\frac{1}{x!}\right) \cdot A^x}{\sum_{i=1}^N A^i \cdot \frac{1}{i!}} \quad (3.14)$$

Para encontrar a probabilidade bloqueio $B(N,A)$ basta fazer $x=N$

$$B(N, A) = \frac{\left(\frac{A^N}{N!}\right)}{\sum_{i=1}^N A^i \cdot \frac{1}{i!}} \quad (3.15)$$

Que é precisamente a Fórmula de Erlang B da Eq. 3.1. A capacidade de um sistema para várias taxas de Bloqueio (GOS) é tabelada para várias quantidades de canais e bloqueios.

Tabela 3.1 – Tabela Erlang B

N/B%	0,01	0,1	1	2	5	10
1	0,0001	0,001	0,0101	0,0204	0,0526	0,1111
2	0,0142	0,0458	0,1526	0,2235	0,3813	0,5954
3	0,0868	0,1938	0,4555	0,6022	0,8994	1,271
4	0,2347	0,4393	0,8694	1,092	1,525	2,045
5	0,452	0,7621	1,361	1,657	2,219	2,881
6	0,7282	1,146	1,909	2,276	2,96	3,758
7	1,054	1,579	2,501	2,935	3,738	4,666
8	1,422	2,051	3,128	3,627	4,543	5,597
9	1,826	2,558	3,783	4,345	5,37	6,546
10	2,26	3,092	4,461	5,084	6,216	7,511

11	2,722	3,651	5,16	5,842	7,076	8,487
12	3,207	4,231	5,876	6,615	7,95	9,474
13	3,713	4,831	6,607	7,402	8,835	10,47
14	4,239	5,446	7,352	8,2	9,73	11,47
15	4,781	6,077	8,108	9,01	10,63	12,48
16	5,339	6,722	8,875	9,828	11,54	13,5
17	5,911	7,378	9,652	10,66	12,46	14,52
18	6,496	8,046	10,44	11,49	13,39	15,55
19	7,093	8,724	11,23	12,33	14,32	16,58
20	7,701	9,412	12,03	13,18	15,25	17,61
21	8,319	10,11	12,84	14,04	16,19	18,65
22	8,946	10,81	13,65	14,9	17,13	19,69
23	9,583	11,52	14,47	15,76	18,08	20,74
24	10,23	12,24	15,3	16,63	19,03	21,78
25	10,88	12,97	16,13	17,51	19,99	22,83
26	11,54	13,7	16,96	18,38	20,94	23,89
27	12,21	14,44	17,8	19,27	21,9	24,94
28	12,88	15,18	18,64	20,15	22,87	26
29	13,56	15,93	19,49	21,04	23,83	27,05
30	14,25	16,68	20,34	21,93	24,8	28,11

3.3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A teoria de tráfego telefônico é útil para a realização de um bom planejamento que visa a utilização racional dos recursos da rede. Foram apresentados dois sistemas: o primeiro com perdas e que leva à conhecida equação de Erlang B; o segundo com chamadas em espera, o qual leva à equação Erlang C. É importante notar que a modelagem baseia-se em importantes premissas, as quais guiam o desenvolvimento algébrico e que por sua vez conduzem ao resultado — vide equação (3.1). Os dados tabelados (Tabela 3.1) constituem a maneira mais prática e usual de utilização dos resultados. Um detalhamento dos passos da modelagem foi apresentado com o objetivo de ser usado posteriormente para comparação com outros resultados que serão obtidos mais adiante em um dos próximos capítulos.

4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: ESTATÍSTICA

4.1 – INTRODUÇÃO

A Estatística tem auxiliado o estudo de sistemas móveis celulares sendo particularmente útil quando se tem problemas complexos com muitas variáveis, muitas variações ou difíceis de descrever.

Além disso, o Engenheiro de Telecomunicações, que trabalha ou pesquisa nessa área, algumas vezes pode se deparar com o problema de analisar e entender uma massa de dados relevante ao seu objeto particular de estudos. Então, é necessário explorar os dados para que seja possível obter dos mesmos a maior quantidade possível de informação e também realizar comparações com outros resultados [14].

Pode-se definir três etapas dentro desse processo:

- A **Análise Exploratória** envolve coleta, redução, análise e interpretação dos dados. Trata-se de resumir descritivamente um conjunto de dados.
- Os **Modelos Probabilísticos** têm a ver com a possibilidade de criar, com suposições adequadas, um modelo teórico que reproduza bem a distribuição de frequência advindas da observação de um fenômeno.
- A **Inferência Estatística** é a etapa que reúne as duas anteriores no sentido de permitir fazer afirmações sobre características de uma população baseando-se em resultados de uma mostra. Ou ainda, usar informações da amostra para concluir sobre o todo.

4.2 - TIPOS DE VARIÁVEIS

Algumas variáveis apresentam como possíveis realizações uma quantidade (ou atributo), ao passo que outras apresentam números resultantes de uma contagem ou medição.

As variáveis do primeiro tipo são chamadas QUALITATIVAS e as do segundo tipo são chamadas QUANTITATIVAS [15].

As variáveis quantitativas ainda podem ser classificadas em DISCRETAS (os possíveis valores formam um conjunto finito) e CONTÍNUAS (os possíveis valores formam um intervalo de números reais).

4.3 - TEORIA PROBABILÍSTICA

A Teoria Probabilística é adequada ao estudo de fenômenos onde se pode observar que certas médias se aproximam de um valor constante ao passo que o número de observações aumenta. Além disso, esse valor permanece o mesmo se as médias forem avaliadas sobre qualquer subsequência especificada antes que um experimento seja efetuado [16].

Falhas em Sistemas é um exemplo de fenômeno cujo estudo é passível ser abordado por essa teoria. O propósito da mesma é prever tais médias em termos de probabilidades de eventos. A probabilidade de um evento A é um número $P(A)$ associado a esse evento.

Seja um experimento realizado n vezes e que n_a seja o número de vezes que um evento específico ocorre. Segundo a definição clássica da Teoria Probabilística, a frequência relativa n_a/n é próxima de $P(A)$ se n for suficientemente grande.

$$P(A) \cong \frac{n_a}{n} \quad (4.1)$$

Uma certa imprecisão sempre existirá mas, ainda assim, a teoria é uma disciplina exata desenvolvida logicamente através de axiomas claramente definidos. E realmente funciona quando aplicada a problemas reais [16].

4.3.1 - DEFINIÇÃO AXIOMÁTICA

Evento Certo (S):

Ocorre em toda tentativa (Espaço amostral, S).

<u>União</u> (A + B):	Evento que ocorre quando A ou B, ou ambos, ocorrem.
<u>Intersecção</u> (A . B):	Evento que ocorre quando A e B ocorrem.
<u>Mutuamente exclusivo</u> :	A ocorrência de um evento exclui a ocorrência do outro [16].

4.3.2 – POSTULADOS

Alguns postulados são apresentados a seguir [16]. O primeiro deles diz que a probabilidade $P(A)$ de um evento **A** é um número positivo.,

$$P(A) \geq 0 \quad (4.2)$$

Ainda outro postulado diz que o evento certo tem probabilidade 1.

$$P(S) = 1 \quad (4.3)$$

Outro postulado relacionado a eventos mutuamente exclusivos tem a seguinte equação:

$$P(A + B) = P(A) + P(B) \quad (4.4)$$

4.3.3 - FREQUÊNCIA RELATIVA

A frequência relativa é baseada na seguinte definição [16]:

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_a}{n} \quad (4.5)$$

Onde:

- n_a número de ocorrências de A
- n número de tentativas

4.4 - PROBABILIDADE CONDICIONAL

Sejam dois eventos, com $P(A) > 0$. A probabilidade condicional é a probabilidade de ocorrência de **B**, na hipótese de A ter ocorrido. Ora, como A ocorreu, A passa a ser o novo espaço amostral, que vem substituir o espaço original S [16,17].

$$P(B|A) \equiv \frac{P(A.B)}{P(A)} \quad (4.6)$$

A probabilidade da ocorrência de A e B é igual à probabilidade da ocorrência de A vezes a probabilidade da ocorrência de B na hipótese de a ter ocorrido. Chama-se o termo $P(B|A)$ de a probabilidade de ocorrência de B, dado de A ocorreu.

4.4.1 – TEOREMA DE BAYES

Sejam A_1, A_2, \dots, A_n eventos mutuamente excludentes, cuja união é o espaço amostral S, isto é, um dos eventos deve forçosamente ocorrer. Então, se A é um evento, temos o seguinte Teorema [15,16,17]:

$$P(A_k|A) = \frac{P(A_k)P(A|A_k)}{\sum_{j=1}^n P(A_j)P(A|A_j)} \quad (4.7)$$

Esse teorema permite determinar as probabilidade dos vários eventos A_1, A_2, \dots, A_n que podem ser a causa da ocorrência de A.

4.5 - MEDIDAS DE DISPERSÃO

4.5.1 - MÉDIAS

Ao determinar médias para análises estatísticas, existem duas definições distintas, cada uma com diferentes notações e cada uma levando a diferentes resultados estatísticos. É portanto fundamental escolher o método apropriado de obtenção de médias. São elas:

Média (ou Média Amostral): É uma medida de localização do centro da amostra. Obtidas com a utilização de soluções aritméticas para qualquer número finito de tentativas [2]. Assume-se que todos os valores tem a mesma probabilidade

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (4.8)$$

Média Estatística (ou Esperança): obtidas durante um número muito grande de tentativas. A média é baseada na probabilidade de ocorrência e portanto se torna uma média estatística [2].

$$E[x] = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N \frac{n_i}{n} x_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N \left(\frac{n_i}{n} \right) x_i = \sum_{i=1}^N P(x_i) x_i \quad (4.9)$$

Onde:

$E[x]$ → esperança de x

$P(x_i)$ → Probabilidade de ocorrência de x_i

4.5.2 - DESVIO PADRÃO

O Desvio Padrão é uma medida de dispersão das amostras em relação à média. É dado por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (4.10)$$

4.5.3 - VARIÂNCIA

A variância também é uma medida de dispersão relacionada ao Desvio Padrão. É dada por:

$$Var = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (4.11)$$

4.6 - PROCESSOS ERGÓTICOS

A análise dos parâmetros estatísticos para determinar médias revela que muitos dos sinais, (ou variáveis) aleatórios presentes no ambiente de radio-comunicação móvel tem tempos e características de grupo estatisticamente idênticos, como por exemplo a autocorrelação e a distribuição de probabilidade.

Essas características idênticas resultam em certas equivalências entre expressões para médias estatísticas e médias temporais imparciais (em inglês *unbiased time average*) [2]. O tipo de processo para o qual essas equivalências são verdadeiras é chamado de Ergótico.

Na prática, dados aleatórios representando fenômenos físicos estacionários são geralmente ergóticos, assim como também o são os dados do campo das comunicações móveis. O processo ergótico é muito importante nesse contexto, já que todas as propriedades dos processos estocásticos ergóticos podem ser determinadas através do cálculo de médias temporais sobre uma única função amostral $x(t)$ [2].

4.7 - FUNÇÕES ESTATÍSTICAS

4.7.1 - DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE CUMULATIVA (*CPD — CUMULATIVE PROBABILITY DISTRIBUTION*)

No caso onde x é uma variável aleatória e X é um valor específico de x , então a Distribuição de Probabilidade Cumulativa (*CPD*) é definida como a probabilidade de que o evento da variável aleatória x é igual ou menor que o valor X [2].

$$F_x(X) = \text{prob}(x \leq X) \quad (4.12)$$

$F_x(X)$ tem as seguintes propriedades:

$$\begin{aligned} 0 &\leq F_x(X) \leq 1 \\ F_x(-\infty) &= 0 \text{ e } F_x(\infty) = 1 \\ F_x(-\infty) &\rightarrow \text{monotonicamente crescente} \\ \text{prob}(X_1 < x \leq X_2) &= F_x(X_2) - F_x(X_1) \\ P(x \leq M) &= 50\% , M \rightarrow \text{valor medio} \end{aligned} \quad (4.13)$$

4.7.2 - FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE (*PDF — PROBABILITY DENSITY FUNTION*)

Apesar de que a *CPD* pode ser usada para descrever um modelo probabilístico completo para uma mostra de variável aleatória, não é a melhor opção para outros tipos de cálculos. A *PDF* é definida como a derivada de $F_{xi}(X_i)$ [2].

$$f_x(X) = \frac{d}{dX} F_x(X) \quad (4.14)$$

$p_x(X)$ tem as seguintes propriedades:

$$\begin{aligned}f_x(x) &\geq 0 \quad -\infty < x < \infty \\ \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) dx &= 1 \\ F_x(X) &= \int_{-\infty}^x f_x(u) du \\ \int_{x_1}^{x_2} f_x(x) dx &= \text{prob}(X_1 \leq x \leq X_2) \\ E(x) &= \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(x) dx \\ E(x^n) &= \int_{-\infty}^{\infty} x^n f_x(x) dx\end{aligned}\tag{4.15}$$

4.7.3 – AJUSTAMENTO, COVARIÂNCIA E CORRELAÇÃO

Na prática, constata-se frequentemente a existência de uma relação entre duas (ou mais) variáveis e se deseja expressar tal relação sob a forma matemática, estabelecendo-se uma equação entre as variáveis.

O primeiro passo para isso é a coleta de dados exibindo os valores correspondentes das variáveis.

Segundo passo: Gráfico dos pontos $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ em um sistema de coordenadas retangulares. O conjunto resultante costuma chamar-se diagrama de dispersão:

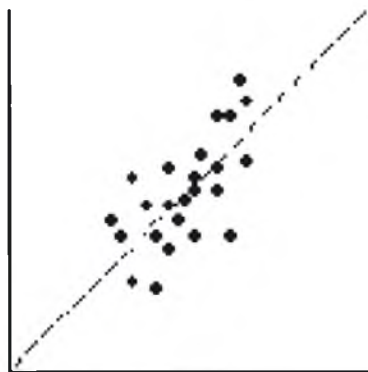


Figura 4.1 – Diagrama de Dispersão com ajustamento

Pelo diagrama de dispersão, muitas vezes se pode visualizar uma curva aproximativa dos dados. Tal curva é chamada curva aproximadora e, ocasionalmente, pode ser uma reta.

O problema de determinar equações de curvas que se ajustem a determinados conjuntos de dados observados é chamado ajustamento de curvas, ou simplesmente ajustamento.

Um exemplo de aplicação na área de Comunicações Móveis é o ajuste de modelos de propagação por comparação com dados de *Drive Test*. Trata-se de um problema com dados bivariados (RSSI e distância) o qual utiliza o diagrama de dispersão para ajuste de curva.

4.7.3.1 – Covariância

É o valor que mede o grau de dependência entre duas variáveis aleatórias. A covariância de X e Y, representada por $Cov(X,Y)$ se define como se segue [18]:

$$Cov(X,Y) = E(XY) - E(X)E(Y) \quad (4.16)$$

4.7.3.2 – Correlação

É uma grandeza que pode ser usada para avaliar o grau de relacionamento entre X e Y. É dada por [18]:

$$C(X,Y) = \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{Var(X)Var(Y)}} \quad (4.17)$$

A propriedade mais importante do coeficiente de correlação é que seu valor está sempre entre -1 e 1.

4.8 - DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS

4.8.1 - DISTRIBUIÇÃO GAUSSIANA (OU DISTRIBUIÇÃO NORMAL)

Um dos mais importantes exemplos de distribuição contínua de probabilidade é a distribuição normal, às vezes chamada distribuição gaussiana.

A função densidade de probabilidade (*FDP*) para essa distribuição é dada por:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\bar{x})^2/2\sigma^2} \quad -\infty < x < \infty \quad (4.18)$$

Onde:

\bar{x} → Média

σ → Desvio Padrão

A Distribuição de Probabilidade Cumulativa (*CPD*) correspondente é:

$$F_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(v-\bar{x})^2/2\sigma^2} dv \quad (4.19)$$

Diz-se então que a variável aleatória X é distribuída normalmente com média \bar{x} e variância σ^2 .

Se Z é a variável padronizada correspondente a X , isto é, se

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} \quad (4.20)$$

então a média ou valor esperado de Z é zero e a variância é 1. Em tal caso, a função de densidade de Z pode ser obtida da Eq. (4.19) fazendo-se formalmente $\bar{x} = 0$ e $\sigma = 1$, donde

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \quad (4.21)$$

Esta função é designada função ou distribuição de densidade normal padronizada. A CPD correspondente é dada por

$$F_x(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-u^2/2} du = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-u^2/2} du \quad (4.22)$$

Às vezes costuma-se chamar o valor z da variável padronizada Z , “escore” padronizado. A função $F(z)$ está relacionada diretamente com a função erro, $\text{erf}(z)$, extensamente tabelada. Temos:

$$\text{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-u^2} du \quad (4.23)$$

$$F(z) = \frac{1}{2} \left[1 + \text{erf} \left(\frac{z}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (4.24)$$

4.8.1.1 - Propriedades da Distribuição Normal

Na Distribuição Normal, 68% dos dados se encontram numa faixa de tamanho 2σ .

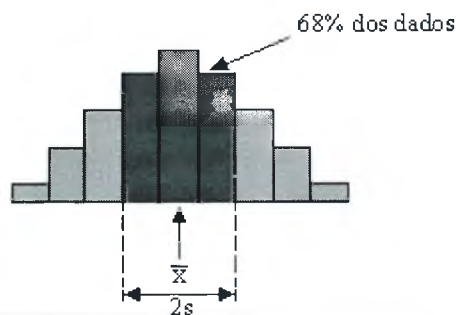


Figura 4.2 – Propriedade 1 da Função Normal

Outrossim, 95% dos dados se encontram numa faixa de tamanho 4σ .

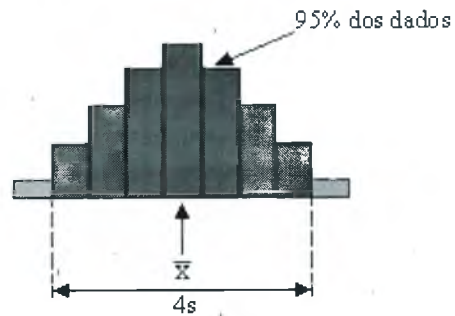


Figura 4.3 – Propriedade 2 da Função Normal

4.8.1.2 - Teorema do Limite Central

"Na medida em que o número de amostras aumenta, a distribuição das médias da amostragem se aproxima de uma Distribuição Normal." (Figura 4.4)

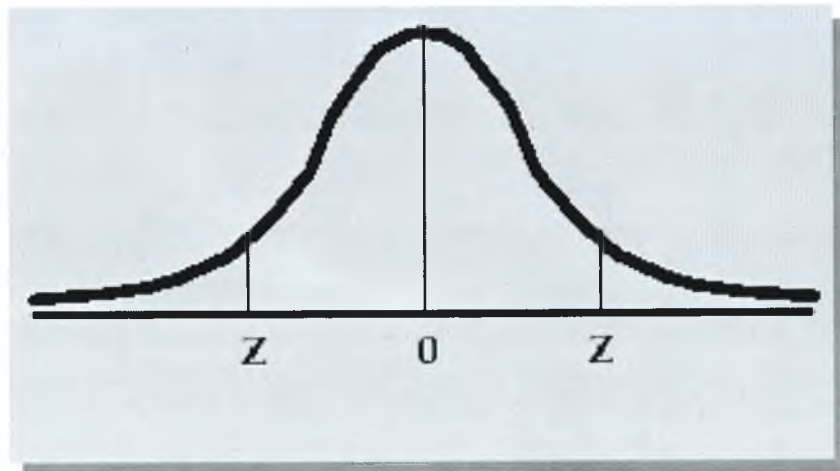


Figura 4.4 - Distribuição Normal com $\bar{X}=0$ e $\sigma=X/1,96$

4.8.1.3 - Distribuição Normal Bivariada

Uma generalização da distribuição normal para duas variáveis aleatórias contínuas X e Y é dada pela função de densidade conjunta

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left\{-\frac{\left[\left(\frac{x-\bar{x}_1}{\sigma_1}\right)^2 - 2\rho\left(\frac{x-\bar{x}_1}{\sigma_1}\right)\left(\frac{y-\bar{x}_2}{\sigma_2}\right) + \left(\frac{y-\bar{x}_2}{\sigma_2}\right)^2\right]}{2(1-\rho^2)}\right\} \quad (4.25)$$

Onde $-\infty < x < +\infty$, $-\infty < y < +\infty$; \bar{x}_1 , \bar{x}_2 são as médias de X e Y, σ_1 , σ_2 , são os desvios padrões de X e Y e ρ é o coeficiente de correlação entre X e Y. A equação é comumente designada distribuição normal bivariada.

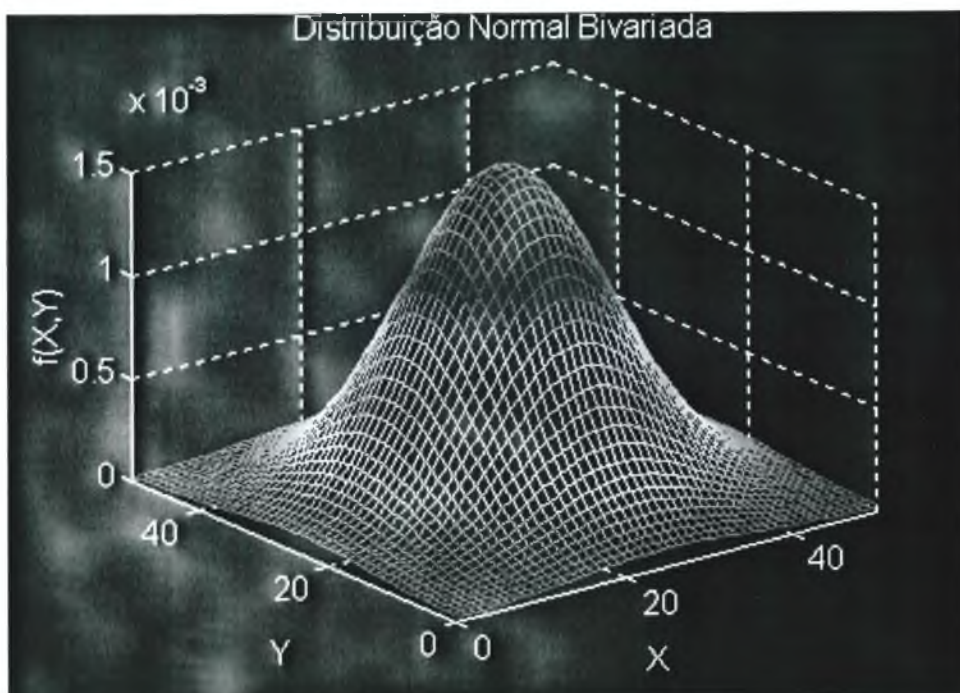


Figura 4.5 - Distribuição Normal Bivariada

Em qualquer distribuição conjunta, a condição $\rho = 0$ é necessária para que haja independência das variáveis aleatórias.

4.8.1.4 - Implementação em *MATLAB*®

O gráfico da figura 3.5 pode ser implementado em Matlab® através do código apresentado a seguir. Onde: m_1 é a média da primeira variável, m_2 é a média da segunda variável, d_1 é o desvio padrão da primeira variável, d_2 é o desvio padrão da segunda variável e c é a correlação entre as variáveis 1 e 2. Os comandos *meshgrid* e *mesh* são usados para gerar esse tipo de gráfico 3D. Para conhecer detalhes da sintática desses operadores basta digitar as palavras “help mesh”, ou “help meshgrid” na linha de comando do Matlab®.

```
m1=-80;d1=8;m2=-80;d2=8;c=0.8;  
[X,Y] = meshgrid(-120:1:-60, -120:1:-60);  
Z = ((2.*pi.*d1.*d2.*((1-c).^2).^0.5)).^(-1)).*exp((-1).*(((X-m1)./(d1)).^2)-(2.*c*((X-  
m1)./(d1)).*((Y-m2)./(d2)))+((Y-m2)./(d2)).^2))./(2.*(1-c).^2));  
mesh(X,Y,Z);  
grid;title('Distribuição Normal Bivariada');  
XLABEL('X');YLABEL('Y');ZLABEL('f(X,Y)');  
AXIS([-120 -60 -120 -60 0 0.005]);  
view(-37.5,30);
```

4.8.1.5 - Variando parâmetros da função Normal Bivariada

Variando a Correlação (c)

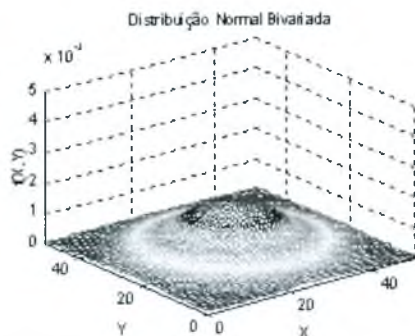


Figura 4.6 - $c=0.0$

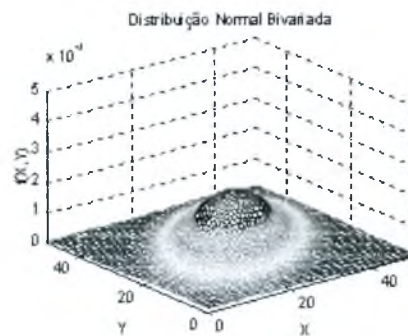


Figura 4.7 - $c=0.5$

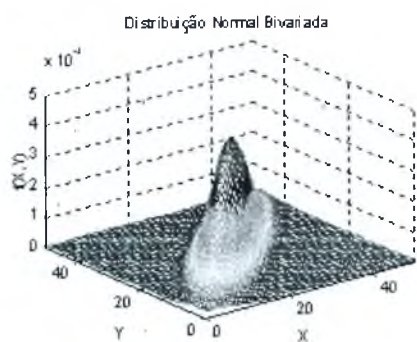


Figura 4.8 - $c=0.9$

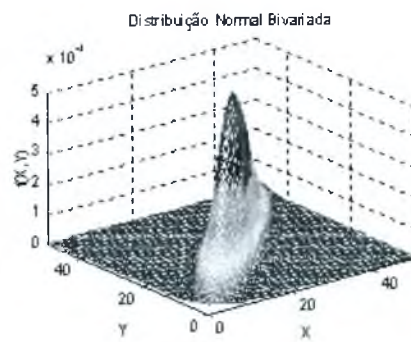


Figura 4.9 - $c=0.95$

Vê-se que quanto maior a correlação (c), mais a distribuição se concentra próximo à linha diagonal $x=y$.

Variando a relação entre Médias (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ) com $\bar{x} = \bar{x}_1 = \bar{x}_2$

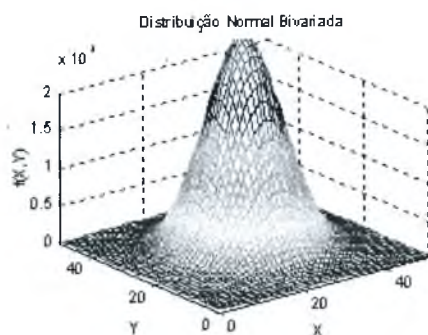


Figura 4.10 - $\sigma=0.3 \bar{x}$

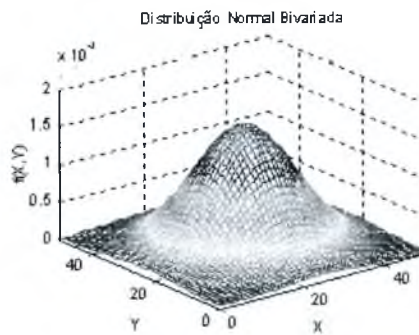


Figura 4.11 - $\sigma=0.4 \bar{x}$

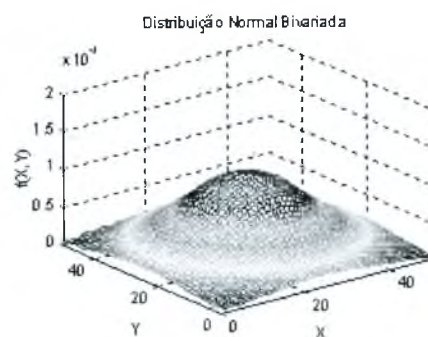


Figura 4.12 - $\sigma=0.5 \bar{x}$

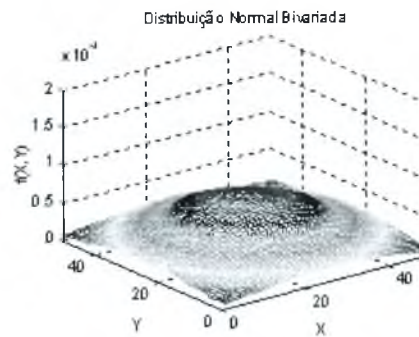


Figura 4.13 - $\sigma=0.6 \bar{x}$

Nessa outra abordagem observa-se que, se o desvio padrão em relação à média é maior, maior é o espalhamento da distribuição.

Variando a relação entre Médias (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ) com $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$

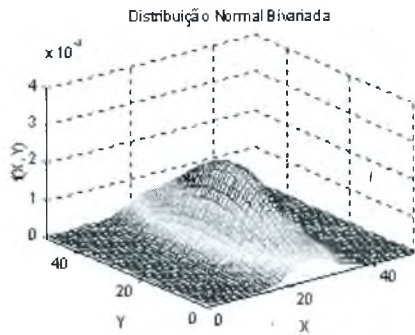


Figura 4.14 - $\sigma_1=0.3 \bar{x}$; $\sigma_2=0.6 \bar{x}$; $c=0.0$

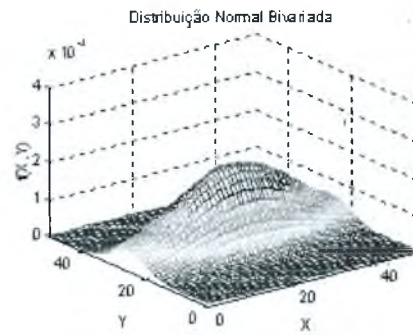


Figura 4.15 - $\sigma_1=0.6 \bar{x}$; $\sigma_2=0.3 \bar{x}$; $c=0.0$

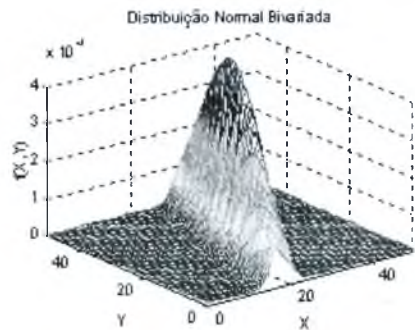


Figura 4.16 - $\sigma_1=0.3 \bar{x}$; $\sigma_2=0.6 \bar{x}$; $c=0.9$

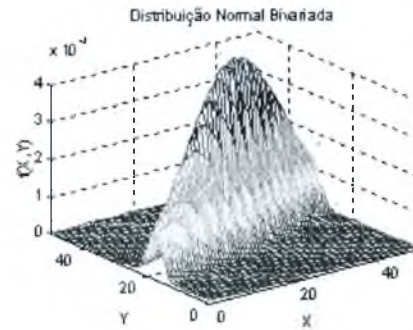


Figura 4.17 - $\sigma_1=0.6 \bar{x}$; $\sigma_2=0.3 \bar{x}$; $c=0.9$

Mais outra variante, dessa vez com desvios padrão diferentes, mostra que acontece uma rotação do formato gráfico em torno do eixo $z = f(x,y)$.

4.9 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE DADOS

4.9.1 - DIAGRAMA DE BARRAS OU DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS

Representação gráfica que consiste em marcar num sistema de eixos coordenados, no eixo dos x o valor das classes e nesses pontos barras verticais de altura igual à frequência absoluta ou à frequência relativa

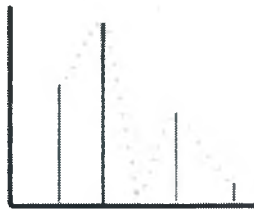


Figura 4.18 – Diagrama de Barras

4.9.2 - HISTOGRAMA

Para a representação gráfica de dados contínuos, usa-se um diagrama de áreas ou histograma, formado por uma sucessão de retângulos adjacentes, tendo cada um por base um intervalo de classe e por área a frequência relativa (ou a frequência absoluta).

Deste modo a área total será igual a 1 (resp. igual a n, a dimensão da amostra).

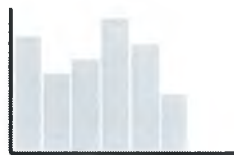


Figura 4.19 – Histograma

Existe uma regra empírica que nos dá um valor aproximado para o número de classes (K) que se devem considerar. Para uma amostra de dimensão n, K é o menor inteiro tal que

$$2^K \geq n \quad (4.26)$$

4.9.3 - METODOLOGIA PARA GERAÇÃO DE HISTOGRAMA TRIDIMENSIONAL (DISTRIBUIÇÃO BIVARIADA (X,Y))

Seja o seguinte conjunto de 30 amostras de duas variáveis coletadas simultaneamente:

Tabela 4.1 – Conjunto de Amostras (Variáveis X e Y)

Amostra	X	Y
1	1	2
2	5	5
3	8	8
4	6	8
5	4	8
6	6	8
7	5	4
8	3	6
9	7	6
10	6	6
11	3	8
12	5	8
13	3	3
14	6	5
15	6	4
16	6	4
17	2	3
18	7	5
19	5	8
20	3	5
21	7	7
22	4	3
23	5	6
24	9	5
25	1	7
26	10	5
27	6	1
28	8	3
29	6	6
30	8	6

4.9.3.1 - Histograma Simples

Pode-se definir um intervalo de tamanho 2 para agrupar os dados e realizar uma contagem para descobrir quantas amostras se encontram em cada intervalo.

Tabela 4.2 – Agrupamento e contagem de Amostras

	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
X	3	6	13	6	2
Y	2	7	12	9	0

Por exemplo, a variável X apresenta 3 amostras que estão no intervalo ente 1 e 2 (vide Tabelas 4.1 e 4.2 em amarelo).

Com isso é possível construir o Histograma de cada variável:

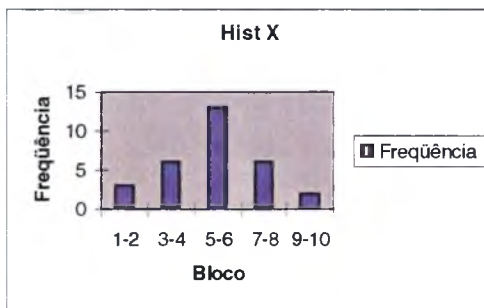


Figura 4.20 – Histograma da Variável X

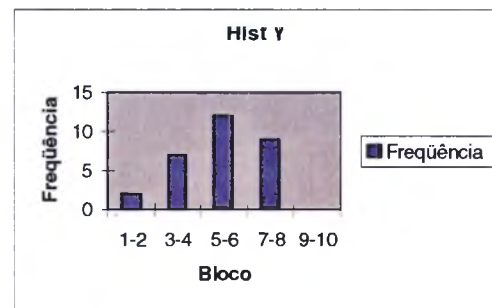


Figura 4.21 – Histograma da Variável Y

4.9.3.2 - Definir Intervalos de agrupamento de dados

Do mesmo modo, para construir um Histograma Bivariado deve-se definir intervalos de agrupamento. No exemplo apresentado será mantido o intervalo de tamanho 2. Optou-se para esse trabalho a utilização de um tamanho tal que permita o máximo de 15 intervalos. Isso não é um critério científico, apenas chegou-se à conclusão que isso permite uma análise gráfica menos densa, o que facilita a análise visual e a leitura das legendas.

4.9.3.3 - Contagem das amostras

No caso bivariado utiliza-se o operador lógico “E”, ou seja, $X_{m-n} \cdot Y_{m-n}$ para cada intervalo de m até n, onde m-n é o tamanho do intervalo. Assim:

Tabela 4.3 – Agrupamento e contagem de Amostras Bivariadas (Tabela Dinâmica)

X	Y	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
1-2		1	1	0	1	0
3-4		0	2	2	2	0
5-6		1	3	5	4	0
7-8		0	1	3	2	0
9-10		0	0	2	0	0

Por exemplo, 2 amostras bivariadas (X,Y) estão no intervalo de 3 a 4 para X, ao mesmo tempo em que estão no intervalo de 5 a 6 para Y (vide Tabela 4.3 em negrito e em vermelho).

4.9.3.4 - Construção do Gráfico

A construção do gráfico a partir de dados tabelados como na Tabela 4.3, pode ser facilmente feita com auxílio de uma planilha eletrônica, ou *software* de matemática. Propõe-se aqui duas maneiras de construir o gráfico da Distribuição Bivariada: o primeiro tridimensional (3D) e o segundo bidimensional, que nada mais é que uma vista superior do primeiro. Este segundo tipo será chamado de vista superior.

Esse gráfico pode ser entendido da seguinte maneira: a parte que possui a maior frequência é a que contém o ponto de máximo da superfície. Este ponto refere-se a uma combinação de valores das variáveis X e Y que é o mais frequente (ou provável) dentro da amostragem realizada.

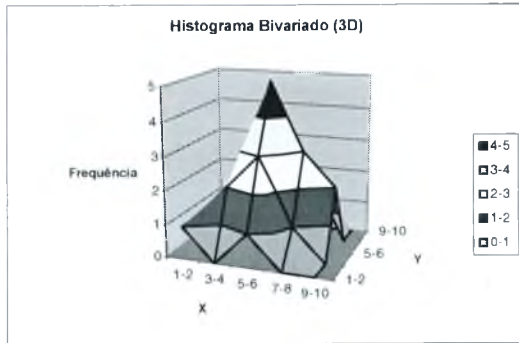


Figura 4.22 – Hist. Bivar. 3D

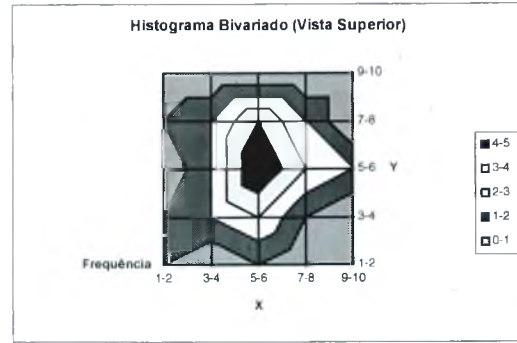


Figura 4.23 – Hist. Bivar. Vista Sup.

4.9.3.5 - Cálculo da Probabilidade

No exemplo utilizamos a Frequência como variável $f(X,Y)$ no eixo Z. A partir da frequência pode-se calcular a probabilidade, P, para substituir a Frequência no eixo Z da seguinte forma. Cada contagem de intervalo deve ser dividida pelo número total de amostra. No caso do exemplo utilizado o número total de amostras é igual a 30. Assim tem-se que $P=f(X,Y)$.

Tabela 4.4 – Probabilidade de cada intervalo

X	Y 1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
1-2	0,03	0,03	0,00	0,03	0,00
3-4	0,00	0,07	0,07	0,07	0,00
5-6	0,03	0,10	0,17	0,13	0,00
7-8	0,00	0,03	0,10	0,07	0,00
9-10	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00

Por exemplo, $P(X_{5-6}, Y_{7-8}) = 0,13$, isto é, 13 % (vide Tabela 4.4 em itálico).

4.9.3.6 - Aplicação em Excell

- Para um conjunto de amostras, dispor as variáveis X e Y em colunas adjacentes
- Identificar as colunas com Linha de Cabeçalho

- No Menu ir em Dados> Relatório da Tabela Dinâmica...
- **Etapa 1 de 4:** Em “Onde estão os dados que deseja analisar?” selecione “Banco de Dados ou lista do Microsoft Excel”
- **Etapa 2 de 4:**Selecione o intervalo de interesse correspondente às células onde se encontram os dados
- **Etapa 3 de 4:** Arrastar e soltar a variável X dentro do campo “colunas”; arrastar e soltar a variável Y dentro do campo “linhas”; arrastar e soltar a variável Y também dentro do campo “dados”
- Clique duplo no botão correspondente à variável “X”; na janela “Campo da Tabela Dinâmica” e no campo “Subtotais” selecionar “Nenhum”.
- Da mesma forma, clique duplo no botão correspondente à variável “Y”; na janela “Campo da Tabela Dinâmica” e no campo “Subtotais” selecionar “Nenhum”.
- Clique duplo no botão correspondente à variável “Soma de Y”; na janela “Campo da Tabela Dinâmica” e no campo “Resumir por:” selecionar “Cont. Num”.
- **Etapa 4 de 4:** Selecionar “Nova Planilha”
- Será gerada uma tabela: Clicar com o botão direito sobre o botão da variável “X”; depois ir em “Organizar Estrutura de Tópicos” e depois em “Agrupar...”; selecionar os intervalos de interesse.
- Será gerada uma tabela: Clicar com o botão direito sobre o botão da variável “Y”; depois ir em “Organizar Estrutura de Tópicos” e depois em “Agrupar...”; selecionar os intervalos de interesse.
- Se essa opção não estiver habilitando, pode ser que o formato dos dados não está adequado (pode ser que não seja numérico). Nesse caso converter primeiro.
- Com os dados da tabela final gerada traçar um gráfico tipo superfície.

4.9.4 – DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE CUMULATIVA

A figura abaixo mostra o resultado gráfico da Distribuição de Probabilidade Cumulativa do item 4.7.1 — vide equação (4.12). Quanto mais “rápido” a curva atinge 100% das amostras, maior a concentração de amostras que recaem sobre os intervalos iniciais de contagem.

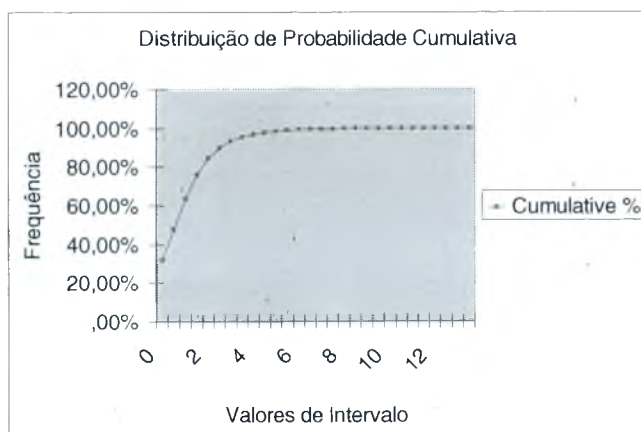


Figura 4.24 – Distribuição de Probabilidade Cumulativa

Em termos práticos a curva de Densidade de Probabilidade Cumulativa é normalmente apresentada num mesmo gráfico junto com a Função Densidade de Probabilidade. Como a primeira é a integral da segunda, numa situação por exemplo em que se mede a evolução temporal de uma variável, a curva de Densidade de Probabilidade Cumulativa mostra o quanto já foi conquistado até um certo momento.

4.10- TESTE DE HIPÓTESES

É muito comum, por exemplo no dia-a-dia do engenheiro de comunicações móveis, que seja necessário tomar decisões estatísticas envolvendo uma certa variável aleatória, com base em informações sobre amostras da mesma.

Na tomada de decisões, é útil formular hipóteses ou suposições sobre as populações de amostras em jogo. Tais hipóteses estatísticas, em geral, consistem de afirmações sobre as distribuições de probabilidade das populações. Em muitos casos, formula-se uma hipótese estatística com o único fim de rejeitá-la, ou anulá-la.

Os processos que permitem decidir aceitar, ou rejeitar uma hipótese, ou determinar se amostras observadas diferem significativamente dos resultados esperados, são chamados testes de hipóteses, testes de significância ou regras de decisão [17].

4.10.1 – TESTES ENVOLVENDO A DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Suponha que, sob determinada hipótese, a distribuição amostral de uma estatística S acuse a distribuição normal com média μ_S e desvio padrão σ_S . Então a distribuição de variável padronizada $Z = (S - \bar{x}_S) / \sigma_S$ é a distribuição normal padronizada (média 0, variância 1).

No caso das Figura 4.3 e 4.4 pode-se ter 95% de confiança em que o escore Z de uma estatística amostral S esteja entre $-1,96$ e $+1,96$ (pois a área sob a curva é 0,95 entre tais).

4.11- TÓPICO ESPECIAL – CORRELAÇÃO ENTRE SINAIS RECEBIDOS POR ANTENAS DE UM MESMO SETOR

Aproveitando o contexto de estatística deste capítulo apresenta-se um estudo realizado por Lee [2] relacionado a um problema que será abordado mais adiante no capítulo 5. Trata-se da correlação de envoltória do sinal recebido por uma estação baseada em diversidade espacial. Na verdade é uma quantificação com um certo grau de formalização matemática da correlação entre sinais recebidos em antenas de um mesmo setor de estação provenientes de um mesmo transmissor.

Na estação, o sinal recebido pelo móvel é usualmente confinado a um pequeno setor angular como mostrado na figura abaixo. Pode-se assumir que a n -ésima onda que chega nas antenas incide num ângulo α com a densidade de probabilidade expressa na forma [2]:

$$p(\phi_i) = \frac{Q}{\pi} [\cos^n(\phi_i - \alpha) + U] \quad -\frac{\pi}{2} + \alpha \leq \phi_i \leq \frac{\pi}{2} + \alpha \quad (4.27)$$

onde $\alpha = \langle \phi_i \rangle$, n é um inteiro par, e U é um valor menor que a unidade e pode portanto ser tratado como um sinal de ruído de fundo associado ao maior sinal que chega às antenas. Para simplificar o modelo, considera-se $U=0$ nos cálculos seguintes. Q é uma constante que pode ser encontrada substituindo a equação (4.27) na equação (4.28):

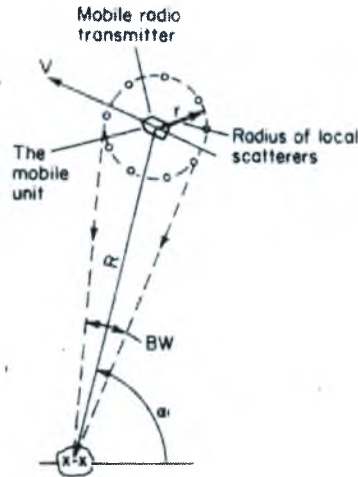


Figura 4.25 – Modelagem do sinal recebido pela estação [2]

$$\int_{-\pi/2+\alpha}^{\pi/2+\alpha} p(\phi_i) d\phi_i = 1 \quad (4.28)$$

para qualquer valor de n , a largura de feixe (BW) da onda que chega nas antenas pode ser representada por $\cos^n x$. Para $n = 10^3$, o ângulo de abertura de 3 dB é $BW=3^\circ$ [2]. Se a equação (4.27) é conhecida, então as Equações (4.29) e (4.30) a seguir podem ser resolvidas:

Seja o campo elétrico dado por $E_z = X(t) + jY(t)$

$$E[X_1, X_2] = NE[\cos\{\beta V \tau \cos(\phi_i - \alpha)\}] \quad (4.29)$$

e

$$E[X_1, Y_2] = NE[\sin\{\beta V \tau \cos(\phi_i - \alpha)\}] \quad (4.30)$$

Seja também a equação da função de correlação normalizada dada por:

$$\rho_r(\tau) = \frac{(E[X_1 X_2])^2 + (E[X_1 Y_2])^2}{(E[X_1^2 X_2])^2} \quad (4.31)$$

Substituindo as equações (4.29) e (4.30) em (4.31) e sabendo-se que $E[X^2] = N$, vê-se que o coeficiente de correlação de dois sinais de estações pode ser obtido. A correlação cruzada da envoltória de dois sinais r_1 e r_2 recebido por duas antenas pode ser expressa como:

$$\rho_r(\tau) = (E[\cos\{\beta V \tau \cos(\phi_i - \alpha)\}])^2 + (E[\sin\{\beta V \tau \cos(\phi_i - \alpha)\}])^2 \quad (4.32)$$

Onde

$$\begin{aligned} E[f(\phi_i)] &= \int_{-\pi/2+\alpha}^{\pi/2+\alpha} f(\phi_i) p(\phi_i) d\phi_i \\ &= \frac{Q}{\pi} \int_{-\pi/2+\alpha}^{\pi/2+\alpha} f(\phi_i) \cos^n(\phi_i - \alpha) d\phi_i \end{aligned} \quad (4.33)$$

A equação (4.32) pode ser calculada numericamente, como mostrado na Figura 4.26. O coeficiente de correlação *versus* o espaçamento entre antenas para diferentes ângulos α com a largura de feixe do sinal de *uplink* igual a $0,4^\circ$ é mostrado na Figura 4.26.

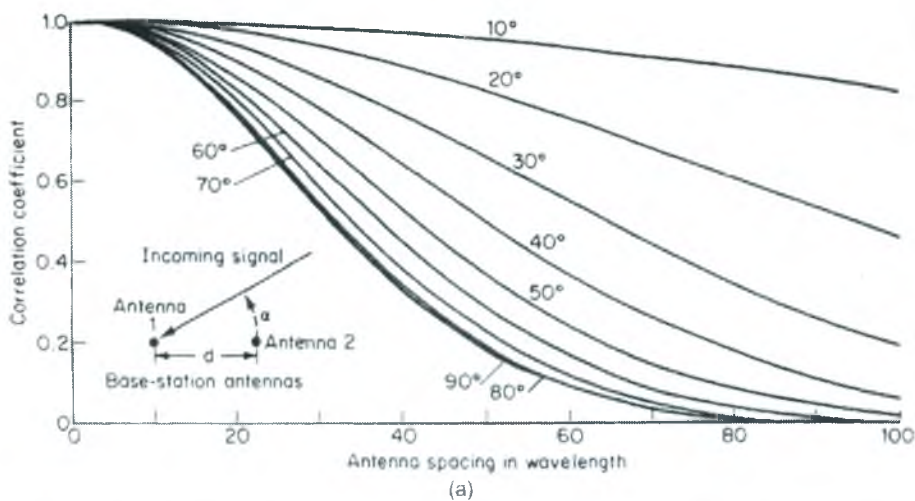


Figura 4.26 – Coeficiente de Correlação entre duas antenas de uma estação[2] .

O gráfico da figura 4.26, acima, será melhor explicado no capítulo 6, aproveitando um estudo de caso que será apresentado mais adiante.

4.12 – CADEIAS DE MARKOV

Sejam as definições a seguir:

Vetores de probabilidades

Um vetor $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ é chamado Vetor de Probabilidade se suas componentes são não negativas e somam 1.

Matriz Estocástica

Uma matriz quadrada $P = (P_{ij})$ é chamada matriz estocástica, se cada uma das suas linhas é um vetor de probabilidade, isto é, se cada entrada de P é não negativa e a soma das entradas em cada linha é 1.

Cadeias de Markov

Considere-se uma sequência de ensaios cujos resultados x_1, x_2, \dots, x_n satisfazem às seguintes propriedades:

- Cada resultado pertence a um conjunto finito de resultados (a_1, a_2, \dots, a_n) , chamado espaço dos estados do sistema; se o resultado da n-ésima tentativa é a_i , se diz que o sistema se encontra no estado a_i no instante n.
- O resultado de qualquer ensaio depende no máximo do resultado do ensaio imediatamente anterior e não de qualquer outro dos precedentes; a cada par de estados (a_i, a_j) está associada a probabilidade P_{ij} de que a_j ocorre imediatamente após ter ocorrido a_i .

O processo estocástico com as propriedades acima é chamado Cadeia de Markov (finita). Os números P_{ij} , chamados probabilidades de transição, podem ser dispostos segundo a matriz.

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mn} \end{pmatrix}$$

chamada matriz de transição.

Assim a cada estado a_i corresponde a i -ésima linha $(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{in})$ da matriz de transição P ; se o sistema está no estado a_i , então esse vetor linha representa as probabilidades de todos os possíveis resultados de próximo ensaio, de forma que é um vetor de probabilidade. Consequentemente,

Teorema 1: A matriz de transição P da cadeia de Markov é uma matriz estocástica.

O desenvolvimento do modelo de tráfego de Erlang B (vide capítulo 3, item 3.11.2) é um exemplo de Cadeia de Markov aplicado ao conhecido problema de “Nascimento-Morte” (em inglês *birth-death process*).

4.13 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Da mesma forma como foi feito no capítulo anterior foram apresentados os principais temas de estatística relacionados aos assuntos que serão abordados no decorrer do trabalho. Particularmente algumas propriedades e teoremas apresentados servirão de subsídio para o entendimento das proposições de métodos estatísticos aplicados à otimização de redes de comunicação móvel. A estatística é uma ferramenta útil em tais processos, pois ajuda a extrair dos dados informações de como as variáveis aleatórias do sistema se comportam e como se relacionam umas com as outras.

Este capítulo abordou conceitos estatísticos voltados para análise exploratória, modelos probabilísticos e inferência, considerando uma massa de dados de trabalho. Também foram vistas representações gráficas, entre elas uma que foi desenvolvida ao longo deste trabalho para geração de um histograma bivariado.

5 - MÉTODO ESTATÍSTICO CASO 01 - IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS UTILIZANDO CRITÉRIOS DE DECISÃO

5.1 - OBJETIVO

Este capítulo tem o objetivo de apresentar um exemplo de método estatístico aplicado a detecção de falhas em redes de Comunicação Móvel Celular. Ele é útil na identificação de *time slots* de voz defeituosos e sua relevância está na colaboração que pode oferecer quanto à melhoria de desempenho de rede.

5.2 - VISÃO GERAL

As centrais celulares são capazes de gerar registros de eventos ocorridos na rede. Existem pelo menos duas maneiras mais utilizadas para fazer isso: através de contadores e através de relatórios. Exemplo de contadores são: quantidade de chamadas, quedas de chamadas, *handovers* mal sucedidos, bem como tempo de retenção de chamada e número de utilizações de um rádio. Exemplo de relatório: *CDR (Call Detailed Record)*, o qual contém informações de uma única chamada, incluindo hora de início, hora de término, número do assinante, número chamada, estação onde originou, entre outros. Em geral o número de contadores e de relatórios é da ordem de centenas, de acordo com as necessidades dos controladores/administradores da rede. Todas as informações ficam registradas nos bancos de dados da central e podem ser acessadas através de comandos de se dá dentro do ambiente de um software de comunicação.

A grande maioria dos defeitos advindos de falha em Hardware são normalmente fáceis de serem detectados, pois há alarmes específicos que avisam a central imediatamente no instante em que a falha ocorre. Contadores específicos são incrementados automaticamente e relatórios descritivos ficam armazenados.

Por outro lado, existe o problema dos defeitos que não chegam a ser detectados pelos sensores de supervisão do sistema.

O fato é comum principalmente naqueles casos onde a falha não chegou a inviabilizar completamente o funcionamento de um componente, mas o mesmo já perdeu bastante de sua eficiência habitual.

Observou-se, por exemplo, em *time slots* de voz os quais apresentam esse tipo de defeito que são menos utilizados pelo sistema do que os outros pertencentes ao mesmo grupo; porque o seu tempo de retenção se torna menor. E o fenômeno ocorre porque as ligações cursadas com esse *time slot* de voz possivelmente foram terminadas precocemente, não raro por um assinante que decidiu não dar prosseguimento a uma ligação que estava bastante degradada. Sendo assim, um defeito num *time slot* de voz decorrente de uma carga corrompida de Software de rádio é mais difícil de ser percebido pelo sistema daquela forma automática. No exemplo da identificação de carga de software corrompida (vide capítulo 02) a solução é simples: apenas reaplicar a carga via central, mas a sua detecção muitas vezes não conta com um sensor de alarme específico. Por vezes recorreu-se a um método de análise estatística para detectá-lo.

Como mencionado, sabe-se que os *time slots* de voz com esse tipo de falha ficam mais desocupados que os outros pertencentes ao mesmo setor, isto é, o seu tempo médio de retenção é menor. Esse *time slot* de voz então causa um aumento do tráfego cursado nos outros *time slots* de voz do mesmo setor, podendo até mesmo dar uma impressão de desempenho pobre para todo o setor. Esse *time slot* de voz será designado neste trabalho como "*Time Slot Defeituoso*" (TsD).

A central através de contadores próprios é capaz de gerar dados de desempenho de cada um dos *time slots* de voz de cada rádio de cada setor de cada estação do sistema. Por cada *time slot* de voz pode-se obter informações quanto ao seguinte:

- Quantas vezes o *time slot* de voz foi utilizado num período
- Tempo total de Utilização do *time slot* de voz num período

Com isso podemos calcular a média (\bar{X}) e o desvio-padrão (σ) e em relação a todos os *time slot* de voz de um setor.

Como o número de amostras (no caso chamadas) é muito alto durante um dia inteiro pode-se valer do Teorema do Limite Central para modelar o problema (vide Cap.4, item 4.8.1.2).

Utilizando as propriedades da Distribuição Normal (vide Capítulo 4, item 4.8.1.1), tem-se que caso uma mostra X_n atenda ao critério de decisão abaixo:

$$X_n < \bar{X} - 2 * \sigma \quad (5.1)$$

Então o *time slot* de voz será considerado um *Time Slot* Defeituoso (TsD).

Vale ressaltar que o *Time Slot* Defeituoso não apenas revelará falhas de carga corrompida, mas também falhas de Hardware diversas.

5.3 - METODOLOGIA

5.3.1 - PASSOS PARA A EXECUÇÃO DO TESTE DE *TIME SLOT* DEFEITUOSO

A quantidade de eventos que uma central consegue registrar é tão grande que pode mesmo chegar a ser maior que a quantidade de eventos passíveis de serem armazenados. Surge, então a necessidade de realizar algumas configurações na mesma para estabelecer que dados devem ser armazenados pela central.

1º Passo — Definição do intervalo de tempo para a observação.

No caso das observações relacionadas ao desempenho de *time slots* de tráfego de voz o número de amostras é importante e precisa satisfazer as condições impostas pelo Teorema do Limite Central. Foi estabelecido em algumas bibliografias utilizadas nesse trabalho [23] o mínimo de 30 utilizações para garantir bons resultados de intervalos de confiança. Assim sendo, quanto maior for o intervalo de observação, melhor. O intervalo máximo utilizado foi de 11 horas (8:00h às 19:00h).

Não se utilizou um intervalo maior ainda para evitar que o volume de dados se tornasse tão grande a ponto de começar a gerar problemas de armazenagem e manipulação computacional.

2º Passo — Definição dos *time slots* de voz a serem observados.

Pode ser que haja uma limitação de quantidade de *time slots* de voz a serem observados. As centrais mais modernas podem observar e armazenar dados de mais de 2000 *time slots* de voz. No caso analisado foram observados todos os *time slots* de voz de uma central pertencente a um sistema de médio porte (em torno de 100 estações). O número de *time slots* de voz não ultrapassava o limite. Pode ser necessário em sistemas maiores dividir os *time slots* de voz em dois ou mais grupos com intervalos de observação separados.

3º Passo — Definição da variável padronizada (Z)

Para cada setor foram calculados a média geral de tempo de utilização do setor (\bar{X}) e o seu respectivo desvio padrão (σ). Após isso calculou-se também para cada *time slot* de voz a diferença (Z) entre o valor médio de utilização de cada *time slot* de voz (X_n) e a média (\bar{X}) normalizada pelo desvio padrão (σ). Esse valor é chamado de variável aleatória padronizada [27].

$$Z = \frac{X_n - \bar{X}}{\sigma} \quad (5.2)$$

4º Passo — Desenvolvimento de Software de apoio

Os primeiros arquivos *ASCII* gerados pela central diariamente foram tratados sem auxílio de software para confecção de relatório (Relatório de Falha em *Time Slots*). O tempo de preparação desse relatório ficava em torno de 3 horas; porque o número de *time slots* de voz de um sistema de médio porte normalmente excede a quantidade de 1000 *time slots* de voz.

Assim, foi necessário o desenvolvimento de um software que agilizasse esse processo. Optou-se pela utilização de uma Macro de *Excell* com linguagem *VBA*, pela disponibilidade e pelo baixo custo associados à larga utilização do software.

No Apêndice A encontra-se uma descrição da ferramenta computacional utilizada para o processamento dos dados, incluindo *DFD* de nível 0 e código fonte.

5.3.2.- PROCEDIMENTO

Acompanhou-se a utilização de cada *time slot* de voz de uma central durante uma quinzena: Dia1(Qua), Dia2(Qui), Dia3(Sex), Dia4(Sab), Dia5(Dom), Dia6(Seg), Dia7(Ter), Dia8(Qua), Dia9(Qui), Dia10(Sex), Dia11(Sab), Dia12(Dom), Dia13(Seg), Dia14(Ter), Dia15(Qua).

Os arquivos em formato *ASCII* (Vide Apêndice A item A3) com os dados da central foram disponibilizados pela operadora para os seguintes dias: Dia1(Qua), Dia2(Qui), Dia3(Sex), Dia5(Dom), Dia6(Seg), Dia7(Ter), Dia8(Qua), Dia9(Qui), Dia13(Seg), Dia14(Ter), Dia15(Qua).

Divididos em 04 conjuntos com tempos de observação diferentes:

- **Conjunto 01:** Dia1(Qua) Tempo: 2,5 h
- **Conjunto 02:** Dia2(Qui), Dia3(Sex), Dia5(Dom) Tempo: 3 h
- **Conjunto 03:** Dia6(Seg), Dia7(Ter), Dia8(Qua), Dia9(Qui) Tempo: 10 h
- **Conjunto 04:** Dia13(Seg), Dia14(Ter), Dia15(Qua) Tempo: 11 h

Cada um dos 11 arquivos foi analisado em planilha eletrônica, resultando em um Relatório de *Time Slots* Defeituosos para cada dia.

Outras informações relevantes:

- N° de *BTS*: 67
- N° de Setores: 172
- N° de Rádios: 1296

5.4 - RESULTADOS

Para cada dia foram traçados os histogramas e *CPD* do escore *Z* de todas as amostras:

Conjunto de Dados 01 (2,5h)

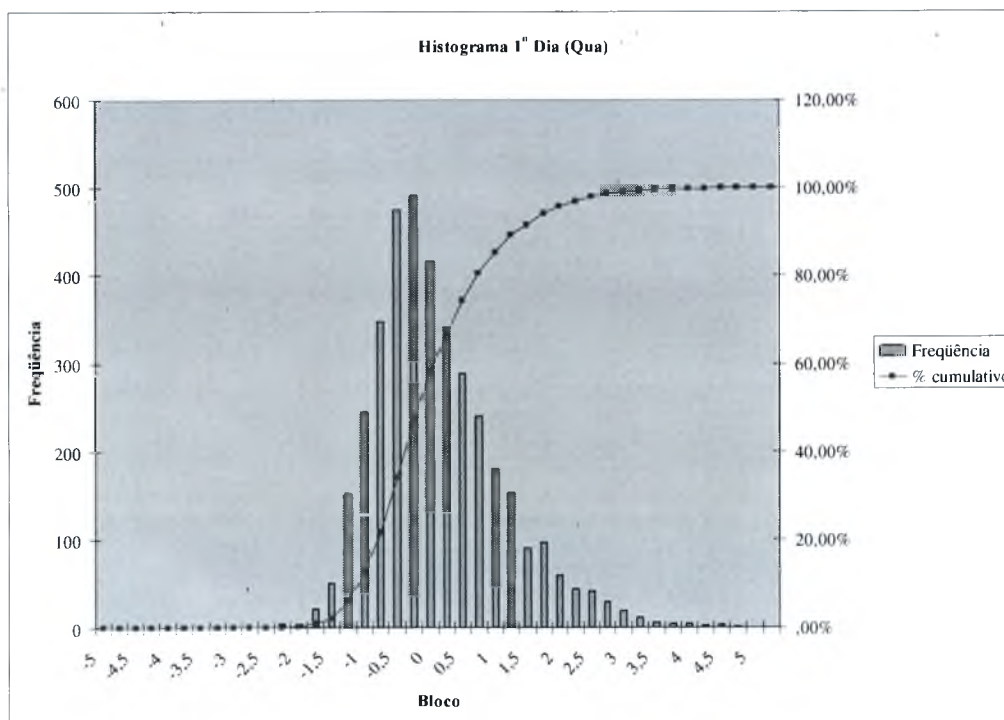


Figura 5.1 – Hist. e *CPD* do Dial(Qua)

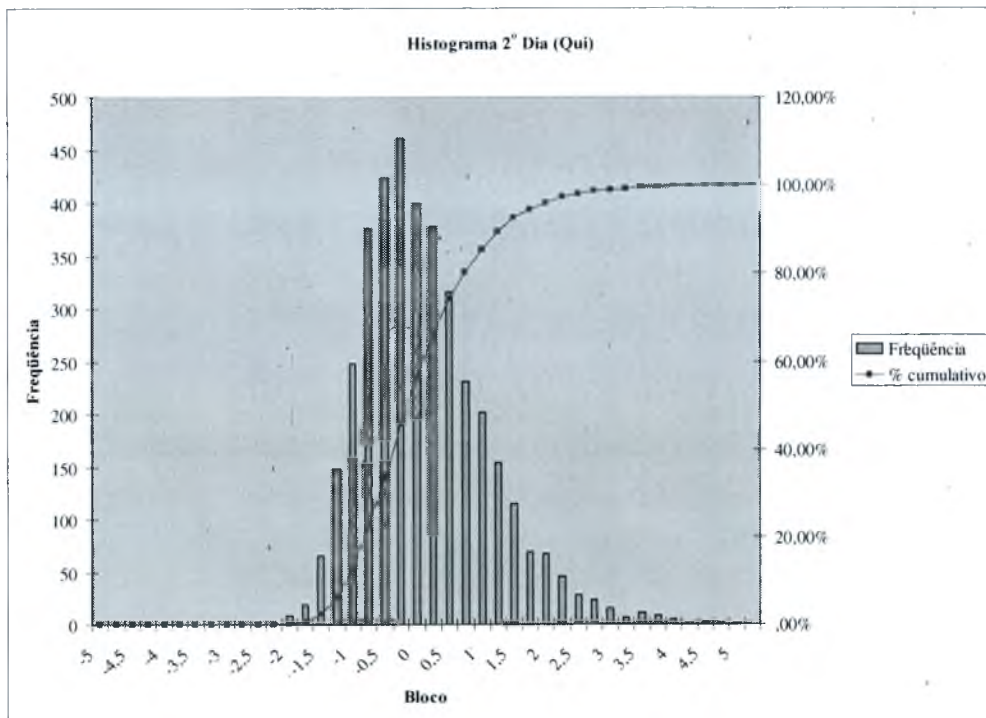


Figura 5.2 – Hist. e CPD do Dia2(Qui)

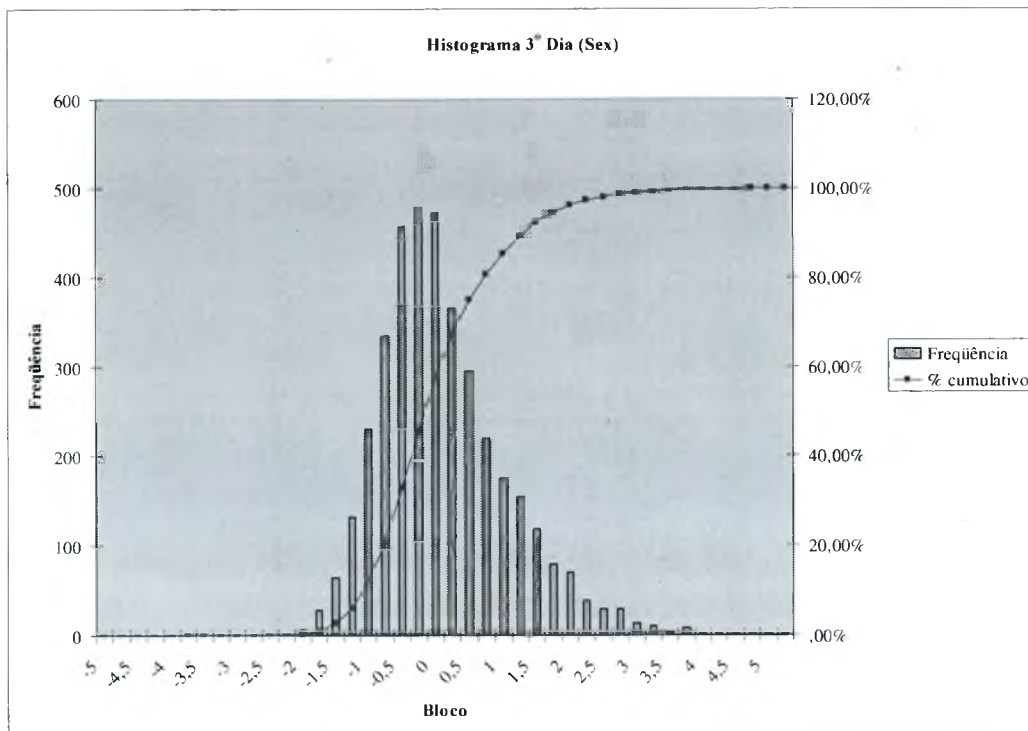


Figura 5.3 – Hist. e CPD do Dia3(Sex)

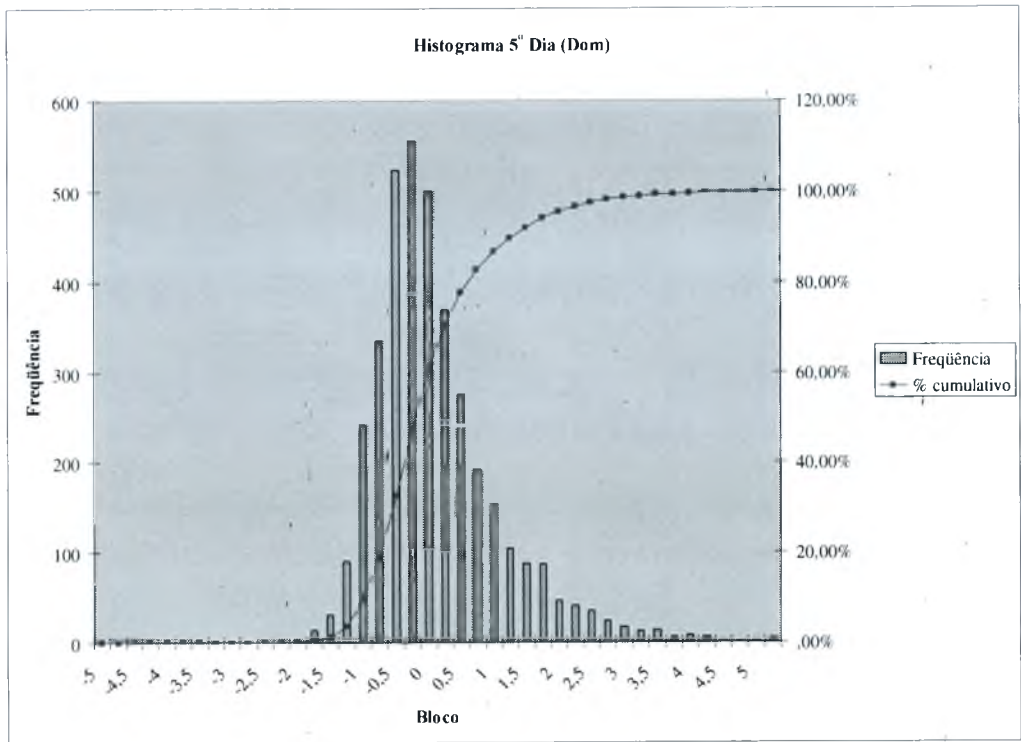


Figura 5.4 – Hist. e CPD do Dia5(Dom)

Conjunto de Dados 03 (10h)

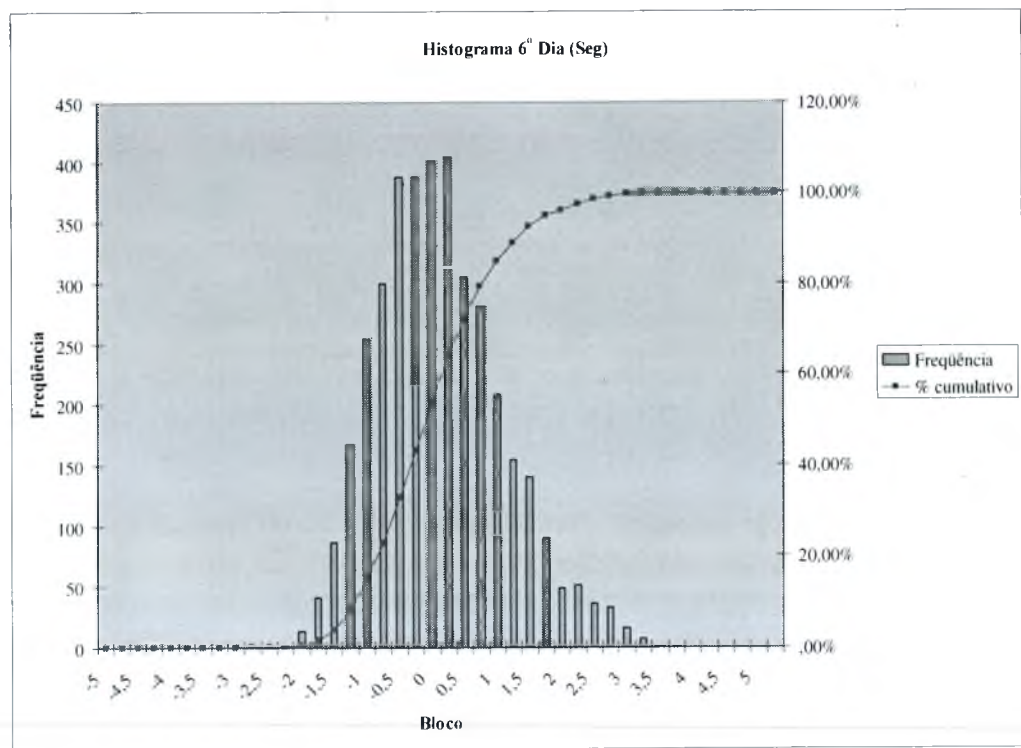


Figura 5.5 – Hist. e CPD do Dia6(Seg)

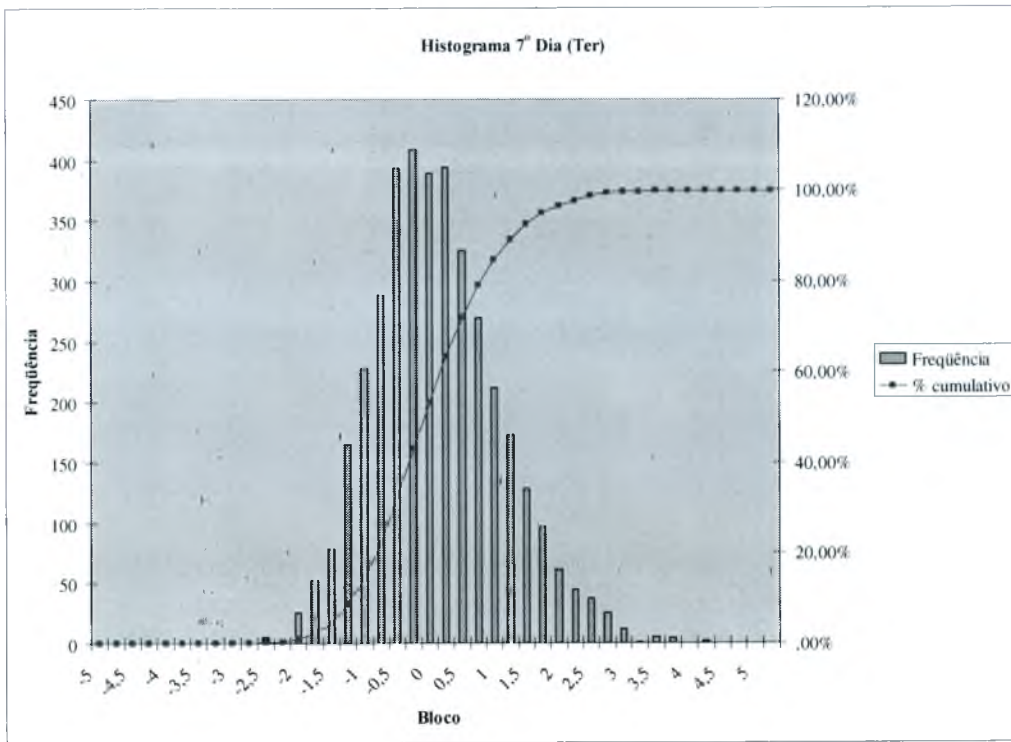


Figura 5.6 – Hist. e CPD do Dia7(Ter)

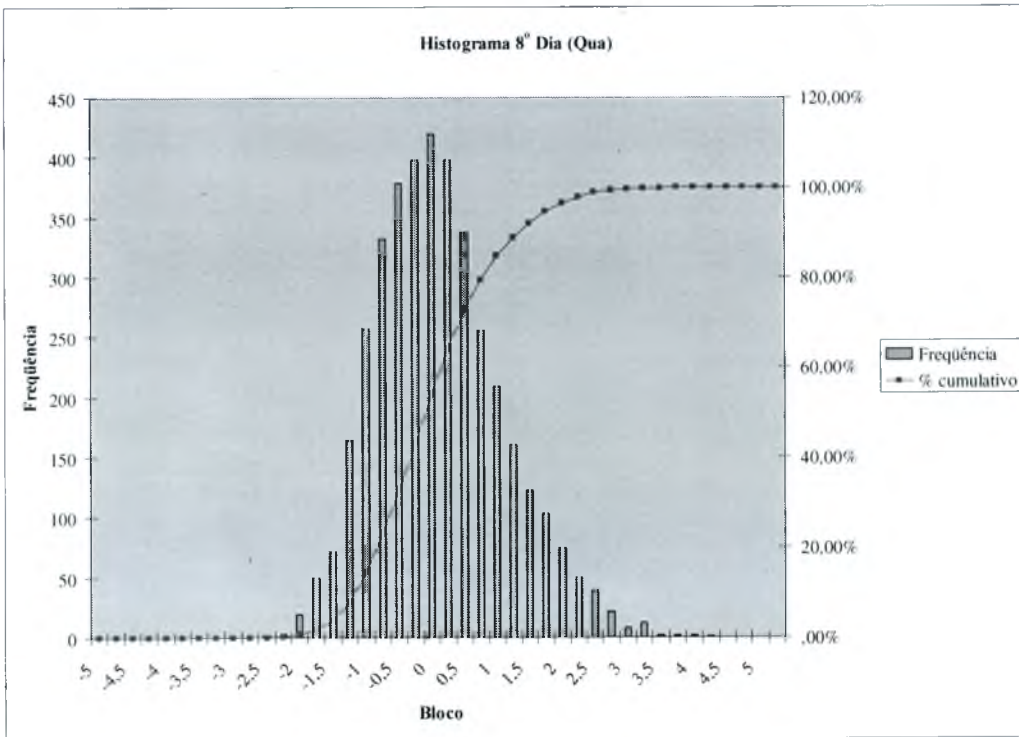


Figura 5.7 – Hist. e CPD do Dia8(Qua)

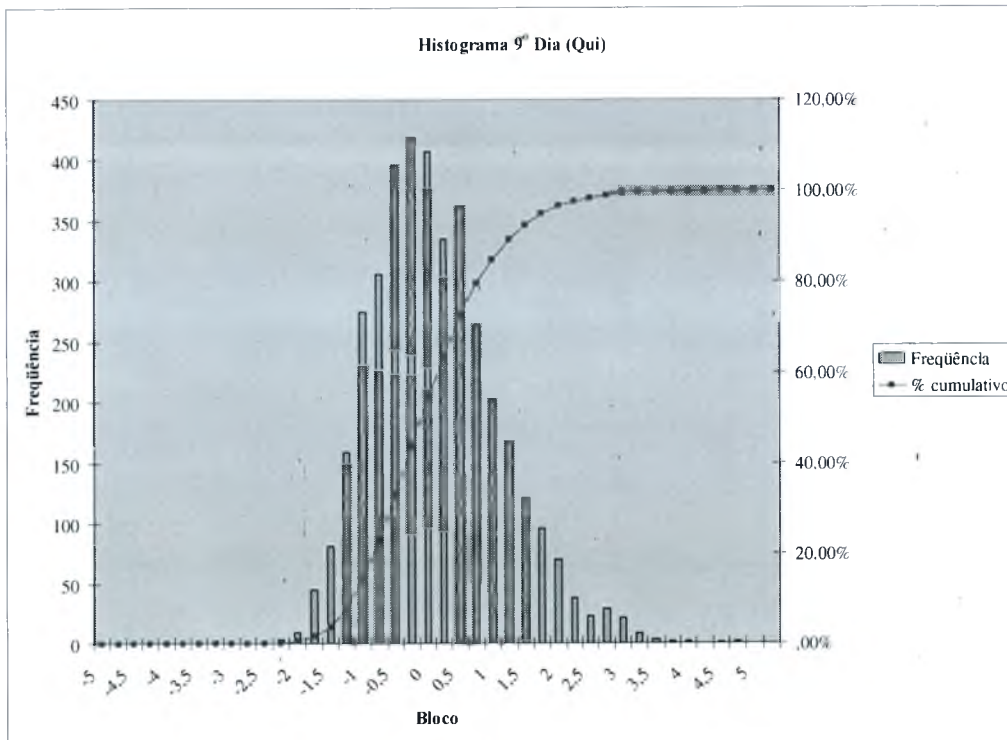


Figura 5.8 – Hist. e CPD do Dia9(Qui)

Conjunto de Dados 04 (11h)

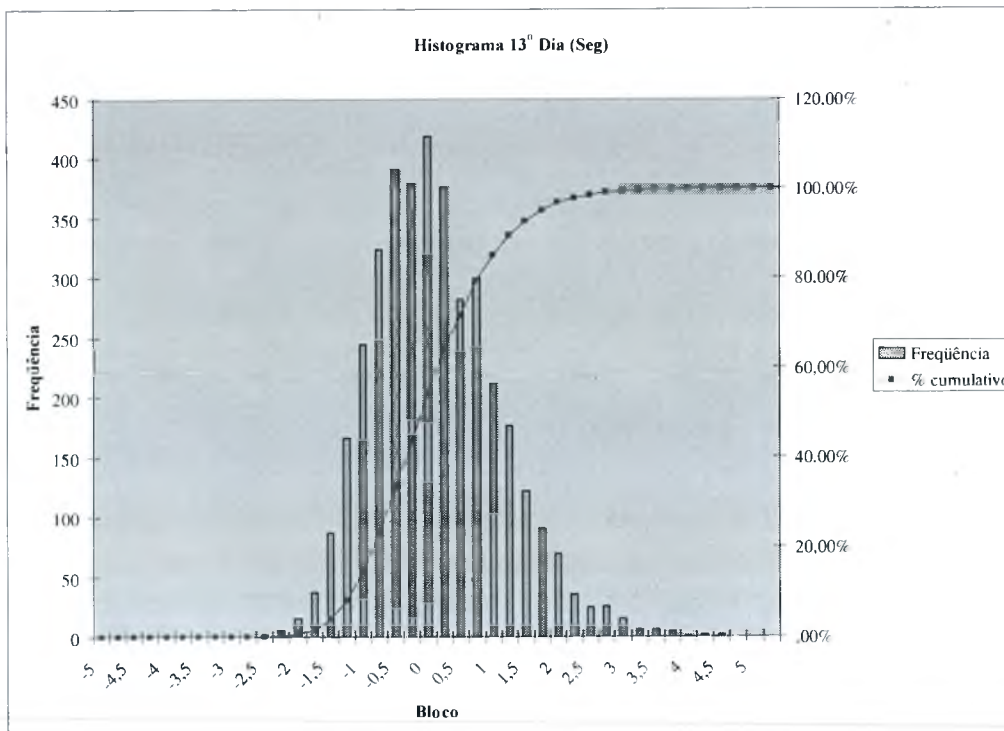


Figura 5.9 – Hist. e CPD do Dia13(Seg)

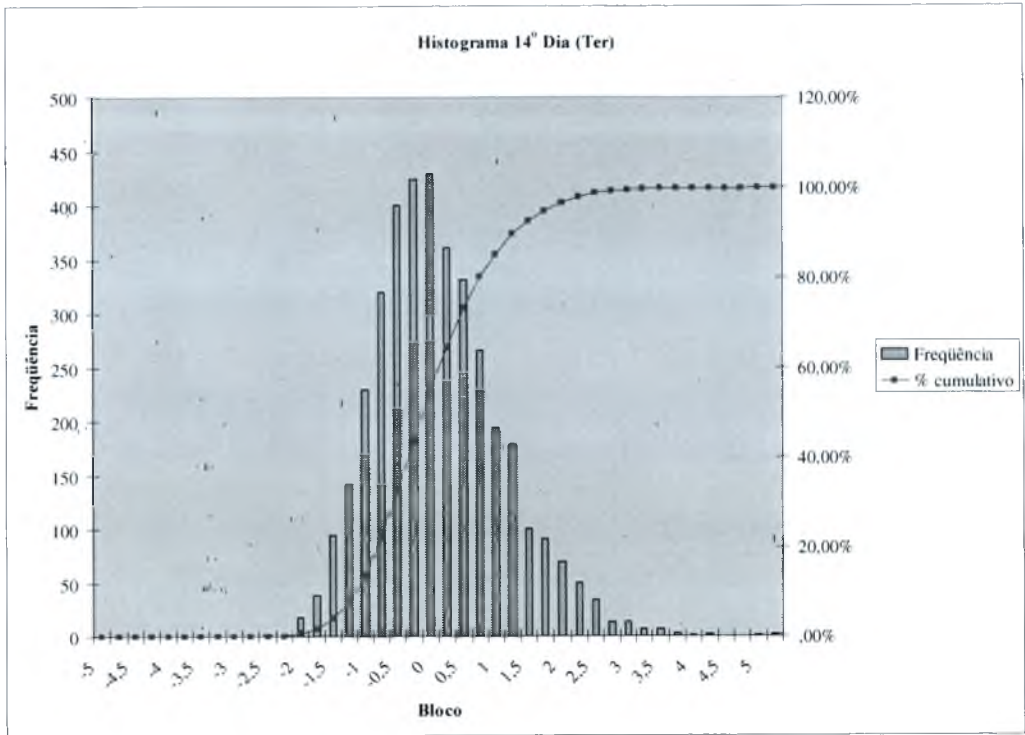


Figura 5.10 – Hist. e *CPD* do Dia14(Ter)

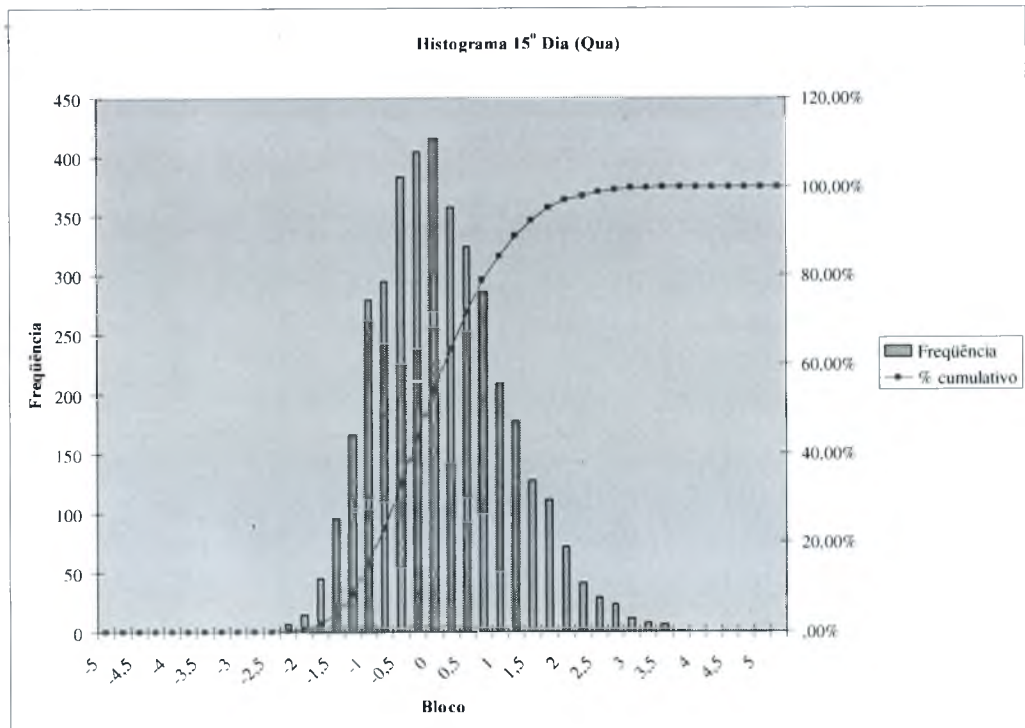


Figura 5.11 – Hist. e *CPD* do Dia15(Qua)

Tabela 5.1 — *CPD* p/ escores *Z*

Dia	Z=-2,00	Z=-1,75
Dia1(Qua)	0,24%	0,79%
Dia2(Qui)	0,23%	0,73%
Dia3(Sex)	0,24%	0,97%
Dia5(Dom)	0,03%	0,40%
Dia6(Seg)	0,55%	1,62%
Dia7(Ter)	0,89%	2,25%
Dia8(Qua)	0,62%	1,90%
Dia9(Qui)	0,34%	1,51%
Dia13(Seg)	0,58%	1,55%
Dia14(Ter)	0,58%	1,57%
Dia15(qua)	0,57%	1,72%

5.5 - ANÁLISE DE DADOS

Pelos histogramas percebe-se que a distribuição não é propriamente a normal. E realmente, como visto na Tabela 5.1, a variável padronizada $Z=2$ não contemplava os teóricos 2% de amostras. O valor $Z=1,75$ produziu resultados bem melhores, já que com $Z=2$, muitos TsD's acabavam sendo aprovados pelo teste de hipótese.

O aumento do intervalo de observação causou dois efeitos:

- Uma maior concentração dos dados em torno da média, isto é, diminuição da variância. E a distribuição se aproxima um pouco mais do padrão da distribuição normal.
- Aumento da porcentagem de amostras fora do intervalo de confiança tanto para variável padronizada $Z=2,00$ como para $Z=1,75$ (Vide *CPD* no Apêndice).

Sobre os níveis de confiança, optou-se por utilizar $Z=1,75$ já que melhora as condições de teste de hipótese. Porque caso o $Z=2,00$ fosse utilizado, a *CPD* seria tão pequena a ponto de permitir que *time slots* defeituosos ficassem dentro do intervalo de confiança e não fora como é de se esperar.

5.6 - ESTUDO DE CASO I

Seja o caso de um Relatório de TsD para todo um sistema (Tabela 5.2). Por questões didáticas selecionamos apenas o caso de uma das estações, chamada aqui de 24ª estação. Percebe-se que os *time slots* de voz 46/146/246 (coluna Member) estão fora do intervalo de confiança estabelecido com base na variável aleatória padronizada $Z=1,75$. O relatório os identifica com as iniciais “TsD”. O seu *PEG* (número de utilizações) é bastante alto, mas o tempo de utilização em segundos (coluna Usage) é pequeno. Isso leva a um tempo médio reduzido em relação aos demais *time slots* de voz.

$$HT = \frac{USAGE}{PEG} \quad (5.3)$$

Tabela 5.2 — Relatório de TsD para os setores X, Y e Z da “24ª” estação.

GROUP	MEMBER	PEG	USAGE	HT	MÉDIA	DESVPAD	
SETOR024ZD	40	96	5540	57	40,5	14,9	
SETOR024ZD	41	114	4310	37	40,5	14,9	
SETOR024ZD	42	91	6030	66	40,5	14,9	
SETOR024ZD	43	106	4600	43	40,5	14,9	
SETOR024ZD	44	107	5030	47	40,5	14,9	
SETOR024ZD	45	117	4260	36	40,5	14,9	
SETOR024ZD	46	153	1800	11	40,5	14,9	TsD
SETOR024ZD	140	107	4780	44	40,5	14,9	
SETOR024ZD	141	103	4980	48	40,5	14,9	
SETOR024ZD	142	122	4230	34	40,5	14,9	
SETOR024ZD	143	116	4100	35	40,5	14,9	
SETOR024ZD	144	88	5850	66	40,5	14,9	
SETOR024ZD	145	104	4800	46	40,5	14,9	
SETOR024ZD	146	152	1920	12	40,5	14,9	TsD
SETOR024ZD	240	101	4770	47	40,5	14,9	
SETOR024ZD	241	109	4630	42	40,5	14,9	
SETOR024ZD	242	112	4840	43	40,5	14,9	
SETOR024ZD	243	109	4340	39	40,5	14,9	
SETOR024ZD	244	109	4990	45	40,5	14,9	
SETOR024ZD	245	103	4300	41	40,5	14,9	
SETOR024ZD	246	157	1840	11	40,5	14,9	TsD

No estudo de caso apresentado vê-se que o rádio número 46 (quarenta e seis) está apresentando falha, já que seus 3 *time slots* de voz (46, 146 e 246) foram classificados como *Time Slot* Defeituoso.

5.6.1 - HISTÓRICO

Mais adiante temos um acompanhamento histórico que mostra que já a alguns dias o mesmo rádio vem sendo pouco utilizado. Só a partir do 6ºDia (Seg), quando foram tomadas medidas de manutenção, é que o funcionamento do mesmo volta à normalidade.

Tabela 5.3 — Histórico de Tempo Médio de Utilização da 24ª estação.

GROUP	MEM BER	1o Dia (Qua)	2o Dia (Qui)	3o Dia (Sex)	5o Dia (Dom)	6o Dia (Seg)	7o Dia (Ter)	8o Dia (Qua)	9o Dia (Qui)	13o Dia (Seg)	14o Dia (Ter)	15o Dia (Qua)
SETOR024ZD	40	49	46	57	39	46	51	63	48	46	44	45
SETOR024ZD	41	35	31	37	30	32	29	33	31	29	31	28
SETOR024ZD	42	41	47	66	45	48	46	61	45	53	52	49
SETOR024ZD	43	31	37	43	26	32	28	34	36	32	32	29
SETOR024ZD	44	60	44	47	61	50	47	51	43	48	48	46
SETOR024ZD	45	42	40	36	33	37	33	43	43	33	34	35
SETOR024ZD	46	10	9	11	10	OFF LIN E	48	52	48	46	48	42
SETOR024ZD	140	52	59	44	49	46	51	47	50	51	39	43
SETOR024ZD	141	35	45	48	26	31	29	29	35	28	27	34
SETOR024ZD	142	52	45	34	49	40	52	44	39	44	44	50
SETOR024ZD	143	34	36	35	43	35	28	30	29	31	30	31
SETOR024ZD	144	49	53	66	41	50	50	48	50	47	43	47
SETOR024ZD	145	49	47	46	34	39	39	31	37	34	32	33
SETOR024ZD	146	12	9	12	10	OFF LIN E	38	49	46	45	40	46
SETOR024ZD	240	37	45	47	58	53	50	51	45	43	49	66
SETOR024ZD	241	40	43	42	27	29	31	35	33	30	28	28
SETOR024ZD	242	70	46	43	40	48	47	52	67	41	43	42
SETOR024ZD	243	34	34	39	31	32	29	25	35	29	45	33
SETOR024ZD	244	64	58	45	37	49	43	46	48	43	49	47
SETOR024ZD	245	54	32	41	35	43	34	35	41	33	30	36
SETOR024ZD	246	10	10	11	11	OFF LIN E	43	42	47	38	41	44
Média		41,0	38,9	40,5	35,0	41,1	40,3	42,9	42,7	39,2	39,5	40,7
Desv Pad		16,4	14,4	14,9	14,0	7,9	9,0	10,6	8,5	8,0	7,9	9,3

O termo *OFFLINE* significa que o rádio foi tirado de serviço, neste caso para manutenção. Aqui a central exige que o mesmo seja antes retirado do relatório, e todos os dados relativos ao mesmo no período de observação vigente são perdidos. Só é possível continuar a sua monitorização no próximo intervalo de observação. A partir da identificação do rádio defeituoso é possível dar uma nova carga no mesmo e, se for o caso de falha de hardware, promover a substituição do rádio.

Observação: No 5ºDia (Dom) o valor $HT=11$ para o *time slot* de voz 24Z_246 acabou não sendo caracterizado como TsD, apesar de ser um valor baixo.

5.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de não constar nas principais bibliografias de Comunicações Móveis, existe em alguns Sistemas de Telefonia Celular a habilidade de classificar o *time slot* de voz como um “*time slot* problemático”. São utilizados para tanto limiares de tempo médio de utilização e o número de vezes que o *time slot* de voz foi utilizado [23]. Isso não é novidade, ao menos dentro das operadoras. É possível, através dessa habilidade da central, identificar *time slots* de voz com tempo médio abaixo de um limiar e também *time slots* de voz que foram pouco utilizados (também abaixo de outro limiar pré-estabelecido).

O presente trabalho não utiliza esses limiares e essa classificação automática da central. Mas considera o tempo médio de retenção de um *time slot* de voz como sendo uma variável aleatória. Posteriormente, faz uma comparação auxiliada por computador do valor dessa variável com parâmetros estatísticos extraídos de outros *time slots* de voz semelhantes. Trata-se de uma análise exploratória dos dados dos contadores estatísticos da central, usando o conceito de intervalo de confiança, o qual é definido por uma variável padronizada (Z). E também utilizando o conceito de probabilidade condicional aplicado ao conjunto de *time slots* de um mesmo rádio com tempos de retenção menores e recaindo fora do intervalo de confiança definido.

No estudo de caso apresentado vê-se que o rádio número 46 está apresentando falha, já que seus 3 *time slots* de voz (46, 146 e 246) foram classificados como *time slots* defeituosos. Assim é possível implementar uma ação corretiva, realizando uma recarga de software no rádio e, se for o caso de falha de hardware, promover a substituição do mesmo.

Outra conclusão deste capítulo é que realmente se obtém a aproximação de Distribuição Normal segundo o Teorema do Limite Central. Em alguns casos, essa aproximação pode não ser satisfatória, principalmente em situações cujo número de amostras não é tão grande. O método apresentado neste capítulo permite minimizar esta limitação com bons resultados, através do ajuste do escore Z (variável padronizada), melhorando as condições de teste de hipótese.

Os processos estocásticos podem ser utilizados dentro de uma aplicação prática. Sabe-se que a otimização de uma rede está, entre outros aspectos, relacionada à detecção de falhas. Este método mostrou-se capaz de colaborar neste sentido, inclusive obtendo sucesso com falhas não detectáveis com os recursos convencionais de supervisão da rede (tais como alarmes, por exemplo).

6 - MÉTODO ESTATÍSTICO CASO 2 - ANÁLISE BIVARIADA DE DESEMPENHO

6.1 - OBJETIVO

Neste capítulo será apresentado um método estatístico que pode ser usado em conjunto com o teste de balanceamento entre os links de uma estação. O método permite detectar falhas de montagens de sistemas irradiantes e ainda verificar se o teste foi realizado da maneira correta. Semelhantemente ao método anteriormente apresentado para detecção de *time slots* de voz Defeituosos (TsD) este método pode oferecer bons resultados na otimização de uma rede.

6.2 - VISÃO GERAL

Uma das etapas do Projeto de Redes de Telefonia Móvel é o cálculo dos Enlaces de RF, ou *Link Budget*. Nesse contexto,, trata-se do problema de encontrar qual a potência certa a transmitir para que no limite da borda da célula a comunicação do link direto e a do reverso tenham ambas o mesmo desempenho (3% de BER — vide capítulo 2, item 2.6 e [9]). Se um setor de uma estação está projetado e comissionado assim, diz-se que o mesmo está balanceado.

Contudo, pode ser que aconteçam falhas de projeto, ou de execução. Talvez exista um defeito de hardware, por exemplo no amplificador de Potência (PA – *Power Amplifier*), ou um erro de cálculo de perdas que tenha como consequência um desbalanceamento. Outra possível hipótese seria um erro na montagem do Sistema Irradiante ocorrida durante a implantação da estação onde as antenas ficaram trocadas. Duas trocas são mais comuns:

- Uma antena transmissora de um setor foi montada em outro setor e irradia num azimute completamente diferente do projetado. Isso freqüentemente causa problemas de desempenho.
- Caso idêntico ao anterior, mas a antena é apenas receptora (antena de diversidade espacial).

O caso 01 envolve o *link* direto e pode ser facilmente detectado através de um *Drive Test*. O caso 02, contrariamente, não é tão simples de detectar, pois envolve o *link* reverso.

Existe um teste que verifica o balanceamento de um setor e também investiga a troca de antenas. Será tratado aqui como Teste de Balanceamento de *Link* (TBL). O teste baseia-se no seguinte: As estações são capazes de medir a potência *RSSI* (*Received Signal Strength Index*) recebida em cada uma das antenas dos setores a ela vinculados (*link* reverso). Essas medidas de potência podem ser acessadas via central, ou conectando-se um *notebook* ao *hardware* de um rádio da estação. Na última forma utiliza-se um *software* de comunicação. Da mesma maneira alguns telefones celulares de teste também são capazes de realizar medidas de potência (*link* direto) e armazená-las. Então, para um mesmo intervalo de tempo, é possível avaliar o balanceamento da estação calculando-se a diferença entre a média de todas as amostras de potência coletadas no *link* direto e a média de todas as amostras de potência coletadas no *link* reverso. Isso, claro, considerando apenas os dados coletados nas antenas do setor em teste e ainda considerando um posicionamento físico do telefone de teste na direção principal de propagação das antenas, ou de outra forma, no azimute das antenas.

Aqui será visto um método capaz de detectar falhas através desses dados coletados no *link* reverso. Observou-se que as potências recebidas em antenas de um mesmo setor são variáveis aleatórias as quais seguem aproximadamente a um padrão de distribuição normal bivariado. Então é possível com as medidas gerar gráficos em formato 3D que habitualmente seguem o referido padrão. Caso esse formato gráfico saia desse padrão, isso seria um indício de falha.

6.3 - METODOLOGIA

6.3.1 - PASSOS PARA EXECUÇÃO DO TESTE DE BALANCEAMENTO DE *LINK* (TBL)

É importante tomar alguns cuidados relacionados à execução do TBL que ajudam a melhorar a confiabilidade dos dados.

1º Passo — Proteção do teste contra interferências

Como em geral um Sistema Celular utiliza reuso de frequências, é importante analisar o Plano de Frequências vigente e tentar idealmente selecionar para a realização do teste uma frequência que não esteja sofrendo interferência de outra(s). Deve-se optar preferencialmente por uma que não esteja em utilização em nenhum setor do sistema. Assim protege-se o teste de sofrer alguma interferência co-canal, garantindo um C/I alto (acima de 15 a 17 dBm, para GSM e IS-136, respectivamente). Contudo isso ainda não é o bastante. Ainda é desejável que também as frequências adjacentes à frequência selecionada para o teste, da mesma forma, não estejam em uso em nenhum setor do sistema. Com isso protege-se o teste de sofrer alguma interferência de canal adjacente, garantindo um C/A alto (acima de 9 a 12 dBm, dependendo da tecnologia).

Como dito, isso é uma situação ideal. Na prática não é usual encontrar três frequências consecutivas que não estejam em uso, exceto em sistemas muito pequenos. O que se pode fazer é:

- Escolher uma frequência para ser desligada em todos os setores que estão utilizando essa frequência. Essa seleção deve levar em conta o mínimo impacto para o escoamento de tráfego do sistema. E também deve-se fazer o mesmo em relação às frequências adjacentes superior e inferior. Para sistemas com alto tráfego pode ocorrer de não ser possível realizar os desligamentos propostos acima sem um impacto de perda de tráfego (e por sua vez perda de receita para a operadora). Resta como alternativa a minimização de interferências através do seguinte:
- Escolher uma frequência com maior distância de reuso possível e menor número de utilizações em outros setores possível. Isso também vale para as frequências adjacentes.

Na prática o que se faz é uma combinação das duas alternativas. Seleciona-se uma frequência com maiores distâncias de reuso possível e bloqueia-se algumas frequências co-canais e adjacentes onde o impacto no tráfego é tolerável.

2º Passo — Escolha do percurso para realização do teste

Para contornar a possibilidade de o TBL ser executado na região de nulo de uma antena o teste idealmente deve ser executado com o móvel acompanhando uma rota de ida e volta perpendicular à direção de maior propagação das antenas. Essa rota deve estar a uma distância (d_1) tal que ainda a potência recebida seja suficiente para garantir uma boa relação C/I e C/A. O comprimento da rota (d_2) deve ser tal que não permita o móvel sair da área delimitada pela abertura horizontal das antenas (vide Figura 6.1 abaixo).

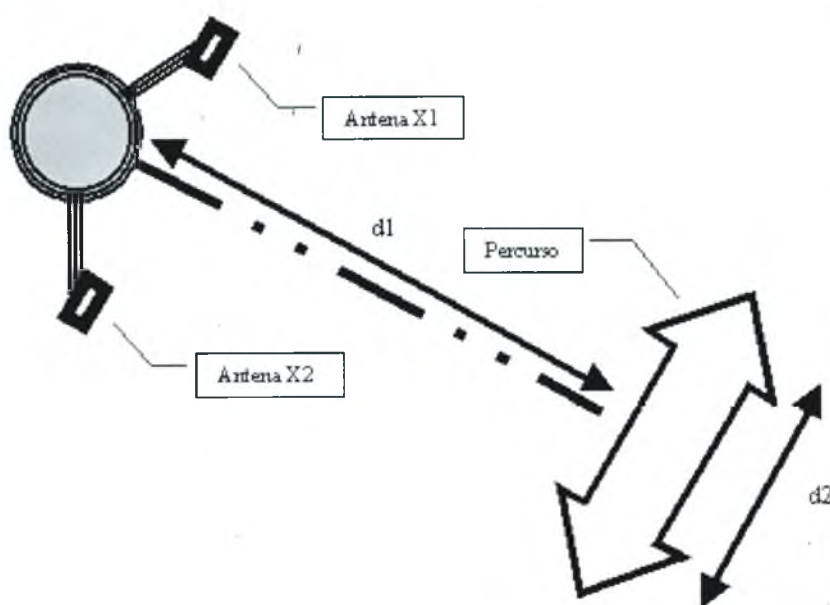


Figura 6.1 – Percurso para realização do teste TBL

3º Passo — Escolha do horário para realização do teste

Como o teste envolve medição com equipamento de teste, ou a pé, ou em veículo, a segurança do realizador do teste é importante. Mas, atendo-se a aspectos técnicos, duas considerações são pertinentes:

- **Circulação de carros e pessoas:** O teste deve ser executado em horário que viabilize uma livre circulação no percurso da rota de teste. E a uma velocidade constante e baixa, afim de minimizar o efeitos sobre a correlação causados pela diferença de fase do sinal recebido (vide Tópico Especial, capítulo 4, item 4.11).

Tráfego: O teste deve ser executado prioritariamente em horários de menor tráfego telefônico nos setores a serem desligados para o teste.

4º Passo — Simultaneidade das coletas de dados e tempo de teste

O teste deve coletar dados de *downlink* num intervalo de tempo simultâneo com a coleta de dados de *uplink*. O tempo de teste depende da taxa de amostragem dos equipamentos envolvidos. O número de amostras aqui novamente é importante, sendo necessária a satisfação das condições impostas pelo Teorema do Limite Central (vide capítulo 4, item 4.8.1.2), isto é, uma quantidade suficiente de amostras precisa ser coletada a fim de garantir que a distribuição se aproxime da Distribuição Normal. Foi estabelecido, por tentativa e erro, o tempo de 5 minutos para coleta de dados, o que garantiu um número superior a 250 amostras.

6.3.2 - PROCEDIMENTO

Um transmissor foi posicionado na bissetriz da abertura horizontal das antenas de um setor a uma distância de aproximadamente 500 metros. Depois esse transmissor foi ativado em uma frequência específica na potência de um telefone celular. Os dados de potência desse sinal (*RSSI – Received Signal Strength Index*), recebido pelas 6 antenas de uma estação, foram coletados durante um intervalo de tempo de aproximadamente 5 minutos.

Os resultados foram armazenados em um arquivo de texto “.txt” em formato *ASCII* (vide Apêndice B).

Após isso, os dados referentes às duas antenas do setor em que foi feito o teste foram analisados através de um Histograma Bivariado onde as variáveis aleatórias são *RSSI* da antena 01 (R1) e *RSSI* da Antena 02 (R2).

Os testes foram feitos em 06 estações diferentes (E1, E2, E3, E4, E5 e E6). Cada um dos três setores de cada estação foi testado de 02 a 04 vezes em dias diferentes.

Foi possível gerar 32 Histogramas Bivariados de R1 e R2. Poderia-se até gerar Histogramas Bivariados usando os dados das outras 04 antenas dos demais setores (R3, R4, R5 e R6). Mas caso todas as possibilidades com os esses outros setores fossem analisadas seriam 15 gráficos por estação, num total geral de $15 \times 32 = 480$ gráficos (vide tabela B.1 no Apêndice B).

Para identificar os gráficos foi definido o seguinte código:

“BTS” + “n° da BTS” + “n° do setor” + “letra do dia da coleta” + “_T” + “Setor” + “G” + “Variáveis consideradas”. Onde “BTS” = estação, “T” = teste e “G” = gráfico.

Exemplo: BTS022b_TYGY1Y2

Significa que o teste foi realizado na estação número 02, no setor 2, no dia “b”, que é o segundo dia. O teste “T” foi feito no azimute do setor 2 (Y) e as variáveis aleatórias consideradas para confecção dos gráficos foram as duas antenas do próprio setor 2 (Y1 e Y2).

Dentre os 480 possíveis, foram selecionados 17 testes (vide tabela B.1 do Apêndice B) que melhor ilustram a metodologia utilizada.

A seguir são apresentadas 2 figuras para cada um desses 17 gráficos, totalizando então 34 figuras. Os valores nos eixos X e Y são expressos em dBm e os valores no eixo Z são valores adimensionais referentes à probabilidade estatística.

6.4 - RESULTADOS

Para cada teste foi elaborado 01 gráfico das distribuições obtidas das amostras apresentado em duas figuras com diferentes perspectivas: 3D e vista superior. Os dados foram processados segundo a metodologia apresentada no item 4.9.3 e foram divididos em dois conjuntos de acordo com o padrão de formato gráfico apenas para auxiliar, posteriormente, a análise dos dados.

6.4.1 - CONJUNTO DE DADOS 1 (FIGURA 6.2 A FIGURA 6.15)

Os dois gráficos seguintes mostram o resultado do 1º teste (dia “a”) realizado no 1º setor (setor X) da estação nº 1. São representações do mesmo gráfico (visão 3D e vista superior). O eixo das abcissas representa a variável aleatória X1 (potência recebida pela antena X1 em dBm) e o eixo das ordenadas representa a variável aleatória X2 (potência recebida pela antena de diversidade). A análise desse gráfico e subsequentes será apresentada no item 6.5 (Análise de Dados) após a apresentação dos resultados do presente item.

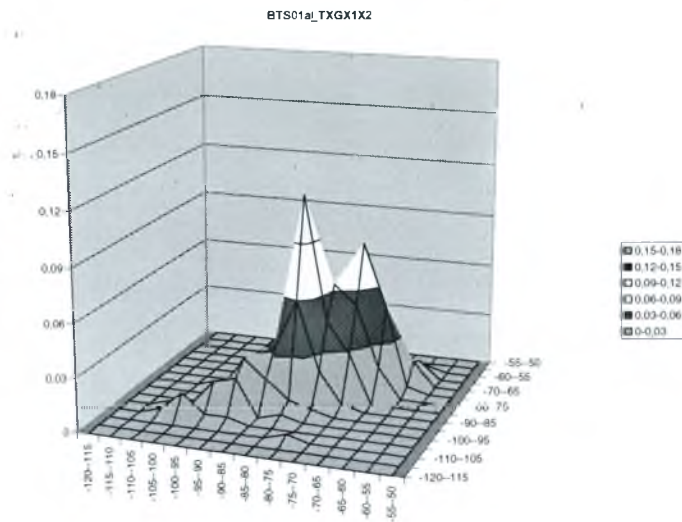


Figura 6.2 – BTS011a_TXGX1X2

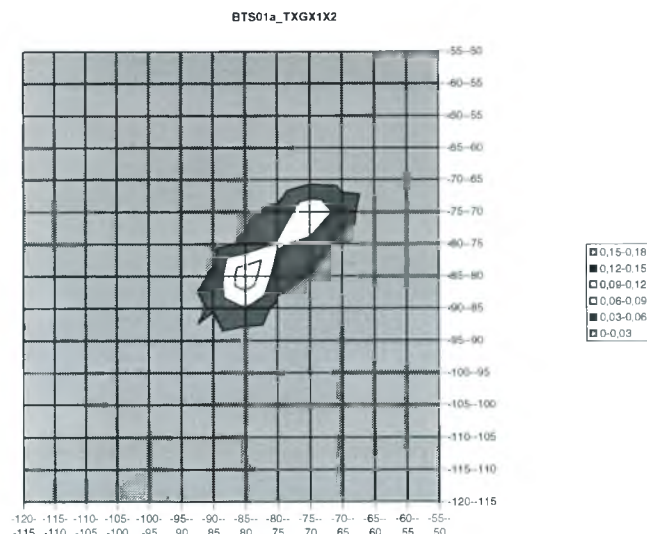


Figura 6.3 – BTS011a_TXGX1X2 (Vista Sup.)

Estes gráficos das figuras 6.4 e 6.5 foram obtidos dos dados coletados no 1º teste, isto é no dia “a”, da estação nº 2. O teste foi realizado no azimuth do 1º setor (setor X) e as variáveis aleatórias observadas foram X1 e X2, respectivamente: potência *RSSI* recebida na antena X1 e na antena de diversidade X2. As medidas estão em dBm. Os gráficos subsequentes serão analisados no item 6.5 (Análise de Dados) mais adiante.

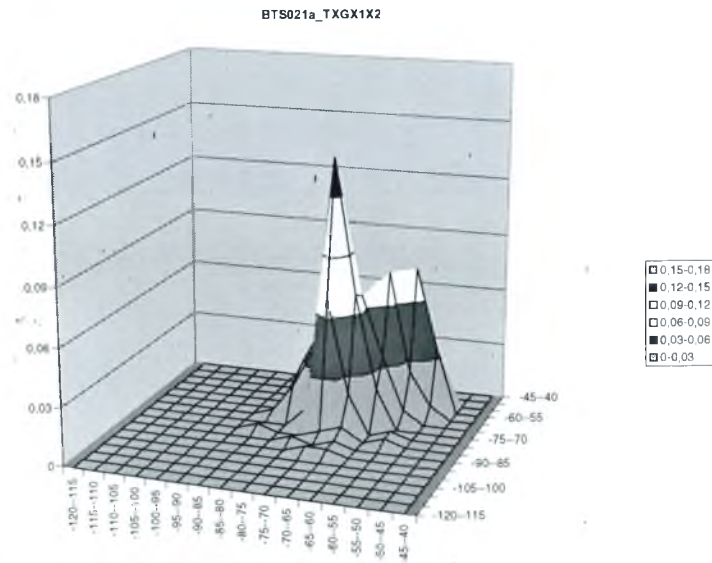


Figura 6.4 – BTS021a_TXGX1X2

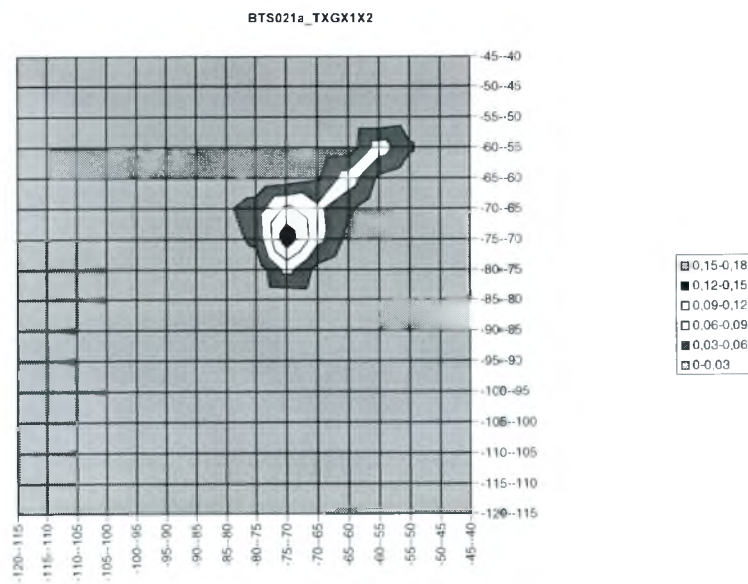


Figura 6.5 – BTS021a_TXGX1X2 (Vista Sup.)

Aqui mais dois gráficos obtidos desta vez no teste na estação 02. Só que neste caso trata-se do 2º teste (dia “b”), além do que os dados agora foram coletados com o transmissor posicionado no azimute do segundo setor (setor Y). As variáveis aleatórias são Y1 e Y2. Ou seja, potência em dBm captada pela antena Y1 e pela antena Y2 (diversidade) respectivamente. A trajetória percorrida durante o teste ficava bem próxima à estação. Os gráficos subsequentes também serão analisados no item 6.5 (Análise de Dados).

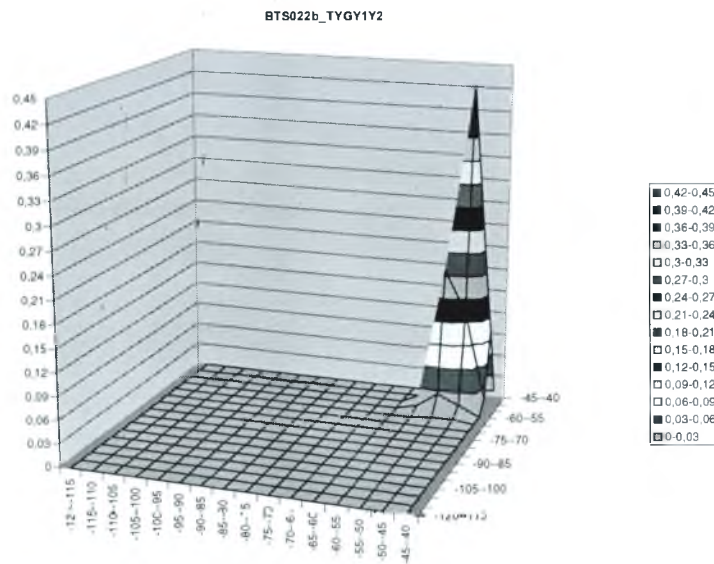


Figura 6.6 – BTS022b_TYGY1Y2 (3D)

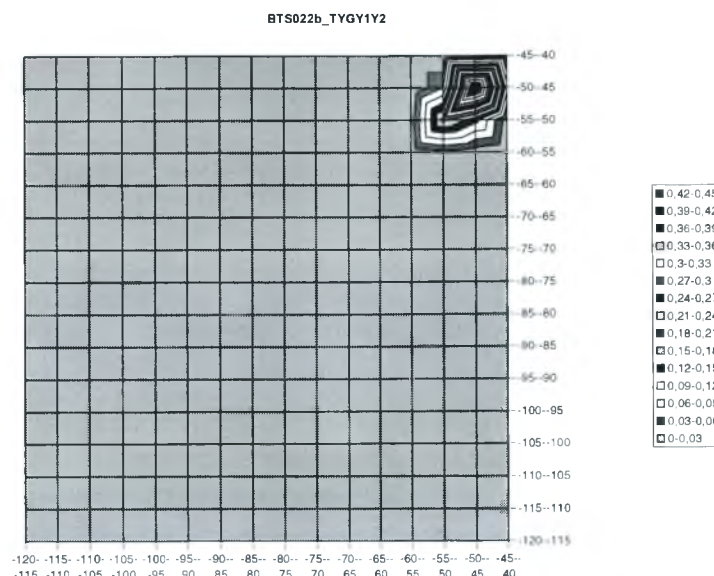


Figura 6.7 – BTS022b_TYGY1Y2 (Vista Sup.)

Outro teste realizado numa região bem próxima à estação (menos de 300 metros), que era a de nº 4. O azimute em que o teste foi feito é o do setor 2 (setor Y). As variáveis aleatórias são Y1 e Y2 expressas em dBm. Foi o primeiro teste da estação (dia “a”). Os gráficos subsequentes também serão como os anteriores analisados no item 6.5 (Análise de Dados) mais adiante. Os gráficos subsequentes serão analisados no item 6.5 (Análise de Dados) mais adiante.

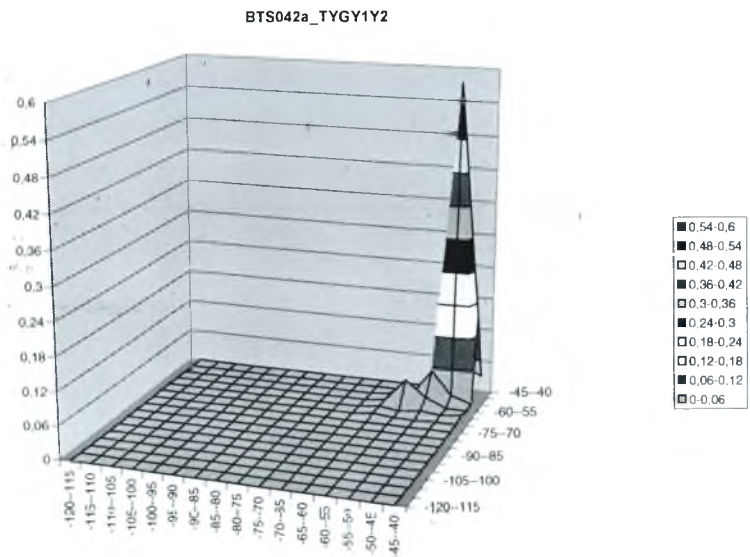


Figura 6.8 – BTS042a_TYGY1Y2

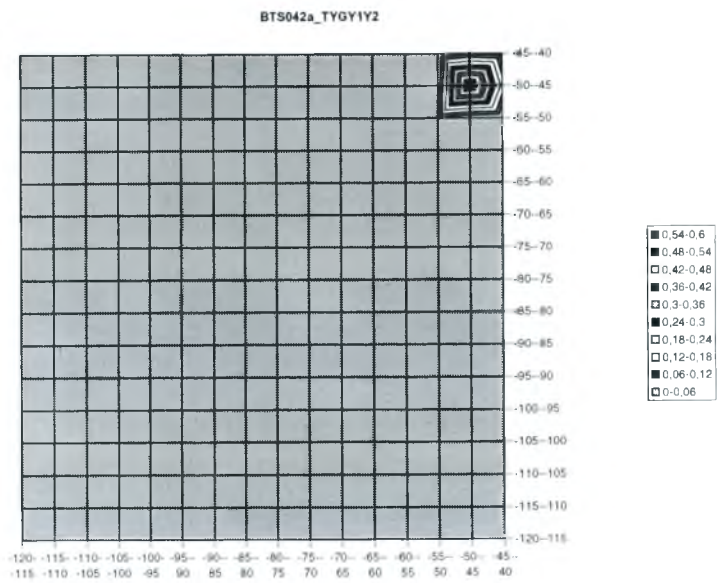


Figura 6.9 – BTS042a_TYGY1Y2 (Vista Sup.)

Para os gráficos abaixo (figuras 6.10 e 6.11) a estação de teste foi a estação nº4, teste no azimute do setor 3 (setor Z). Variáveis aleatórias Z1 e Z2 expressam a potência *RSSI* das antenas de transmissão e diversidade do referido azimute em dBm. Foi o primeiro teste da estação (dia “a”). A rota do teste também era bem próxima. Os gráficos subsequentes serão analisados no item 6.5 (Análise de Dados) mais adiante.

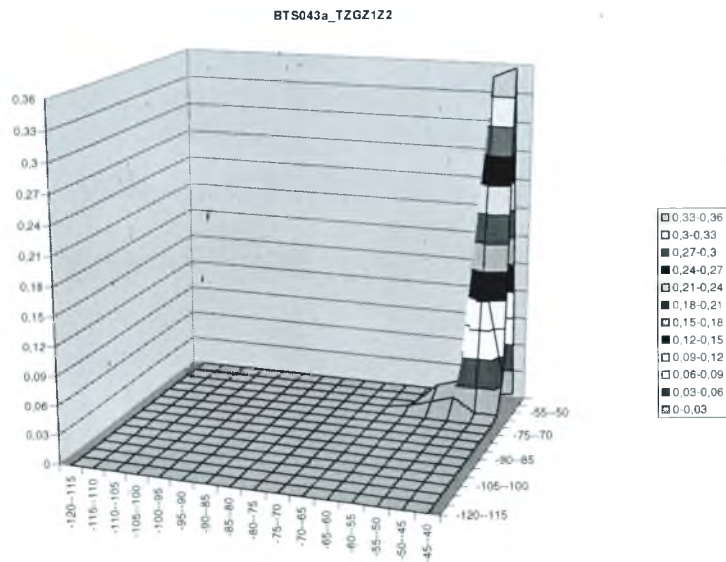


Figura 6.10 – BTS043a_TZGZ1Z2

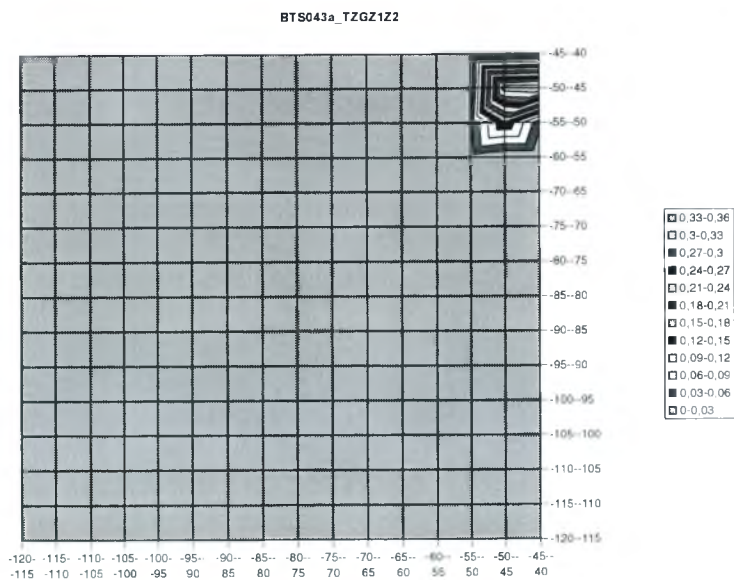


Figura 6.11 – BTS043a_TZGZ1Z2 (Vista Sup.)

Para os gráficos abaixo (figuras 6.12 e 6.13) a estação de teste foi a estação nº5, teste no azimute do setor 1 (setor X). Variáveis aleatórias X1 e X2 expressam a potência *RSSI* das antenas de transmissão e diversidade do referido azimute em dBm. Foi o primeiro teste da estação (dia “a”). Os gráficos subsequentes serão analisados no item 6.5 (Análise de Dados) mais adiante.

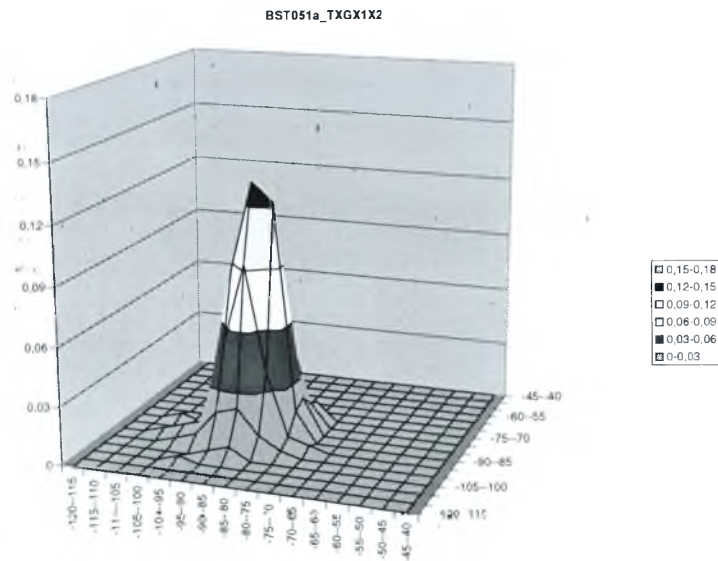


Figura 6.12 – BTS051a_TXGX1X2

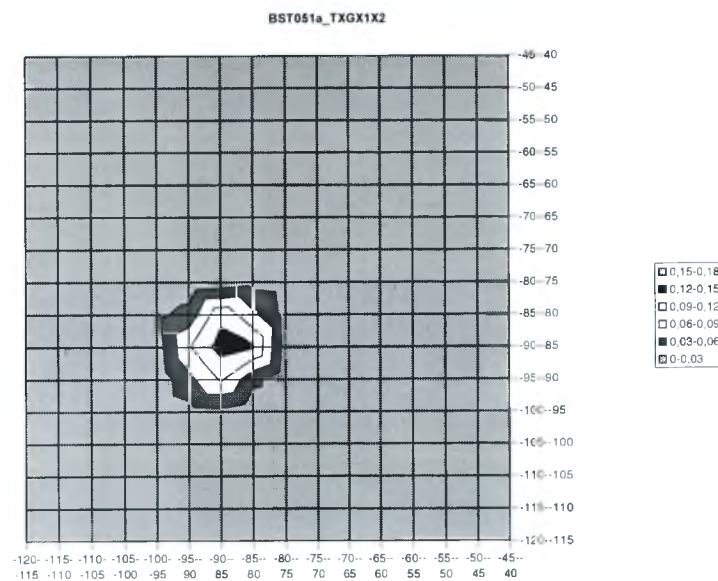


Figura 6.13 – BTS051a_TXGX1X2 (Vista Sup.)

Para os gráficos abaixo (figuras 6.14 e 6.15) a estação de teste foi a estação nº5, teste no azimute do setor 3 (setor Z). Variáveis aleatórias Z1 e Z2 expressam a potência *RSSI* das antenas de transmissão e diversidade do referido azimute em dBm. Foi o primeiro teste da estação (dia “a”). Os gráficos subsequentes serão analisados no item 6.5 (Análise de Dados) mais adiante.

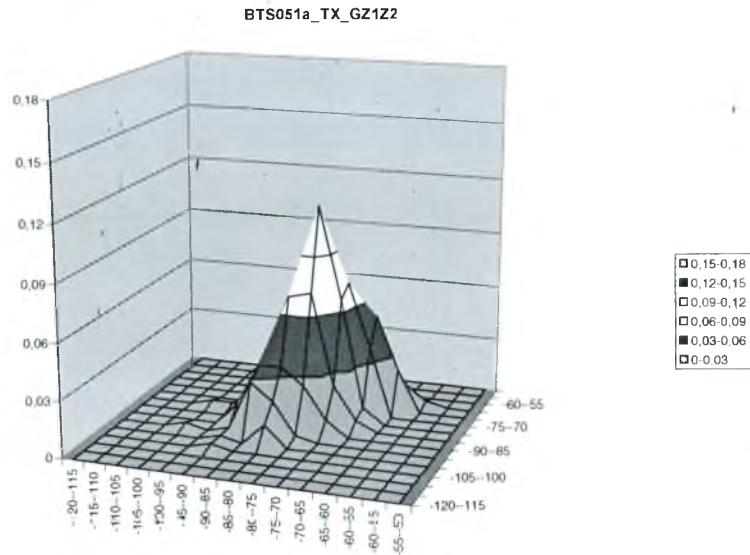


Figura 6.14 – BTS053a_TZGZ1Z2

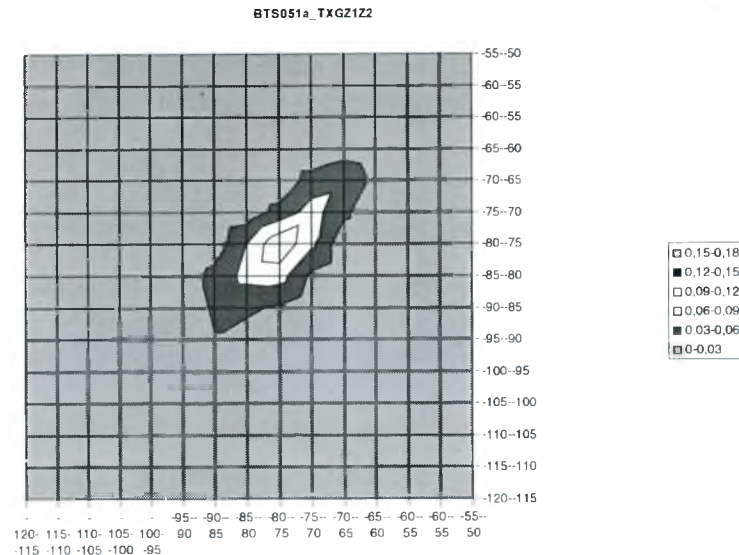


Figura 6.15 – BTS053a_TZGZ1Z2 (Vista Sup.)

6.4.2 - CONJUNTO DE DADOS 2 (FIGURA 6.16 A FIGURA 6.35)

Como anteriormente, ambas as figuras são 3D e vista superior do mesmo gráfico. Neste conjunto foram agrupados os dados com formato gráfico diferenciado em relação ao outro conjunto. Abaixo está o resultado do 1º teste (dia “a”) realizado no 1º setor (setor X) da estação nº 3. O eixo das abcissas tem a variável X1 (potência *RSSI* recebida pela ant. X1 em dBm) e o eixo das ordenadas tem a variável X2 (*RSSI* da ant. de diversidade).

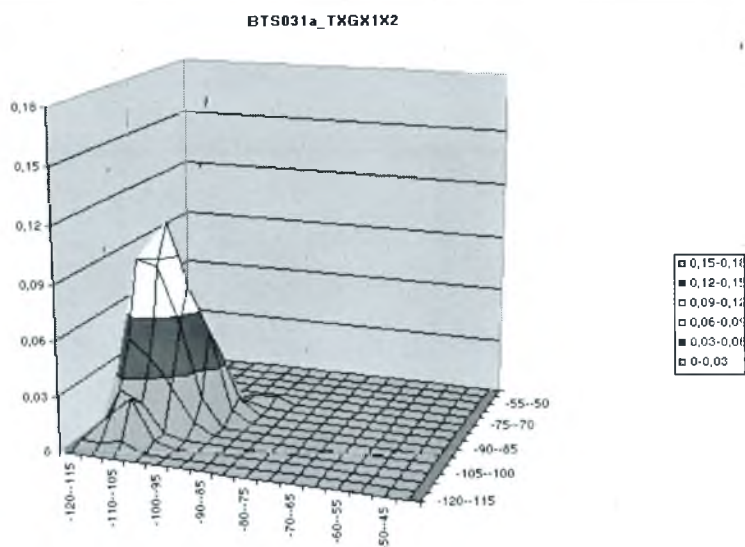


Figura 6.16 – BTS031a_TXGX1X2

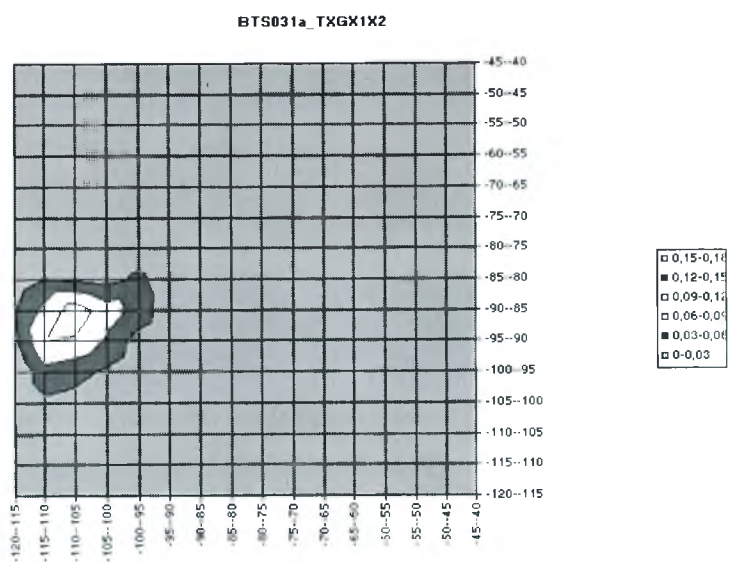


Figura 6.17 – BTS031a_TXGX1X2 (Vista Sup.)

Estes gráficos das figuras 6.18 e 6.19 foram obtidos dos dados coletados no 1º teste, isto é no dia “a”, novamente da estação nº 3. O teste foi realizado no azimuth do 2º setor (setor Y) e as variáveis aleatórias observadas foram Y1 e Y2, respectivamente: potência *RSSI* recebida na antena Y1 e na antena de diversidade Y2 (em dBm).

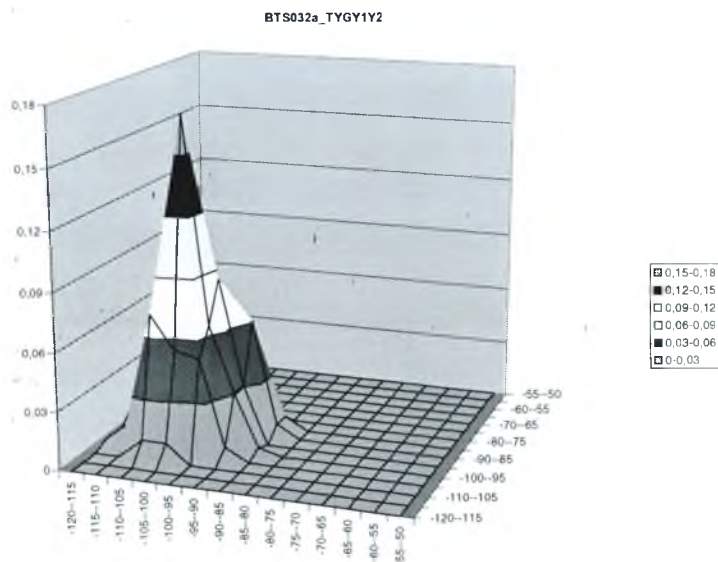


Figura 6.18 – BTS032a_TYGY1Y2

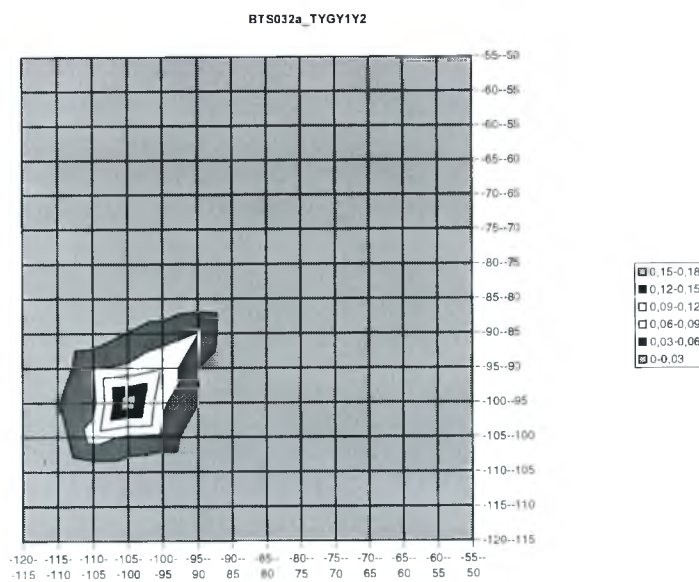


Figura 6.19 – BTS032a_TYGY1Y2 (Vista Sup.)

Tem-se mais outros gráficos obtidos ainda no teste na estação 03. Porém, agora, trata-se do 2º teste (dia “b”). Além disso os dados neste caso foram coletados transmitindo-se do azimute do segundo setor (setor Y). Variáveis aleatórias: Y1 e Y2 (potência *RSSI* em dBm captada pela antena Y1 e pela antena Y2 de diversidade).

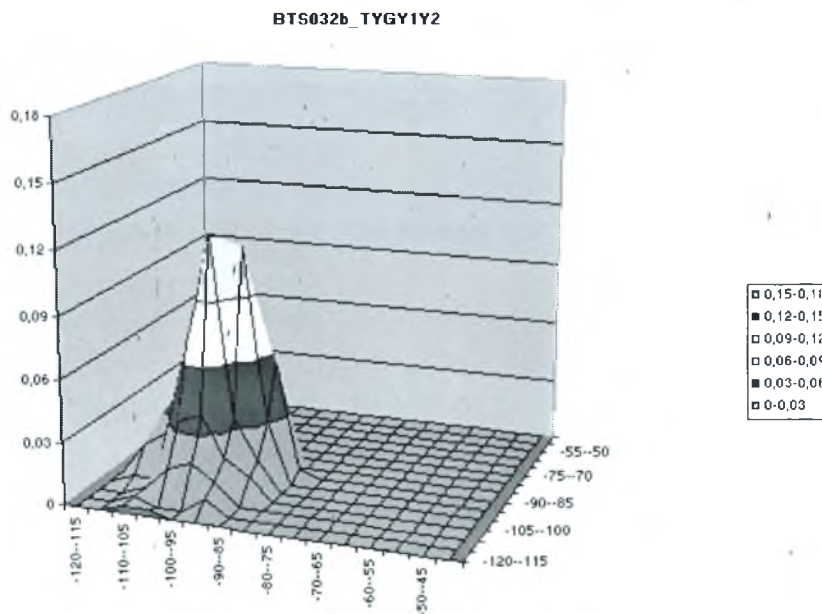


Figura 6.20 – BTS032b_TYGY1Y2

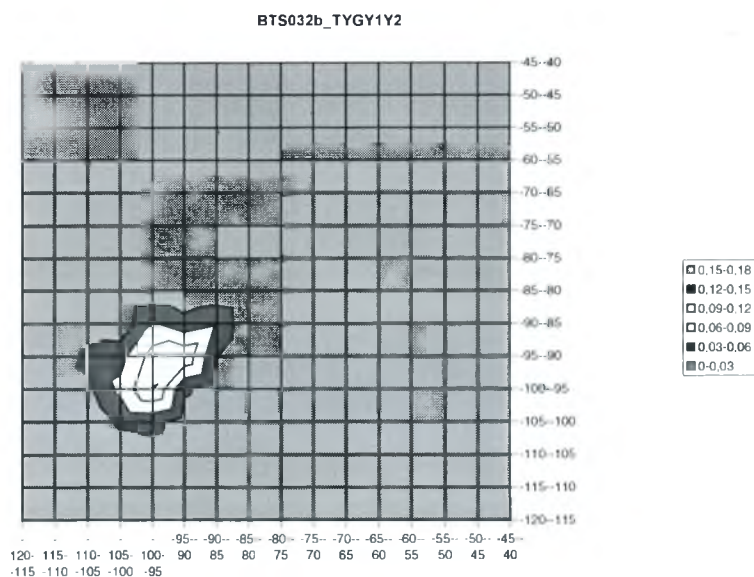


Figura 6.21 – BTS032b_TYGY1Y2 (Vista Sup.)

Mais outro teste realizado na estação nº 3. O azimute em que o teste foi feito é o do setor 2 (setor Z). As variáveis aleatórias são Z1 e Z2 expressas em dBm. Foi o primeiro dia em que a estação foi testada (dia “a”).

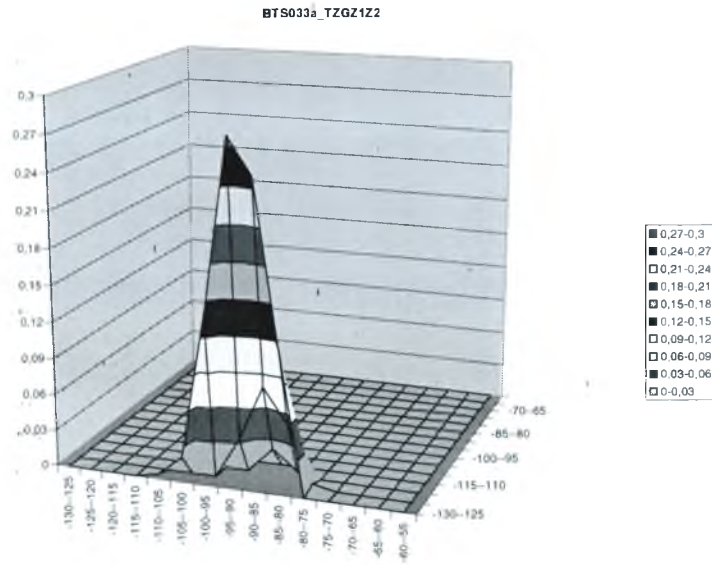


Figura 6.22 – BTS033a_TZGZ1Z2

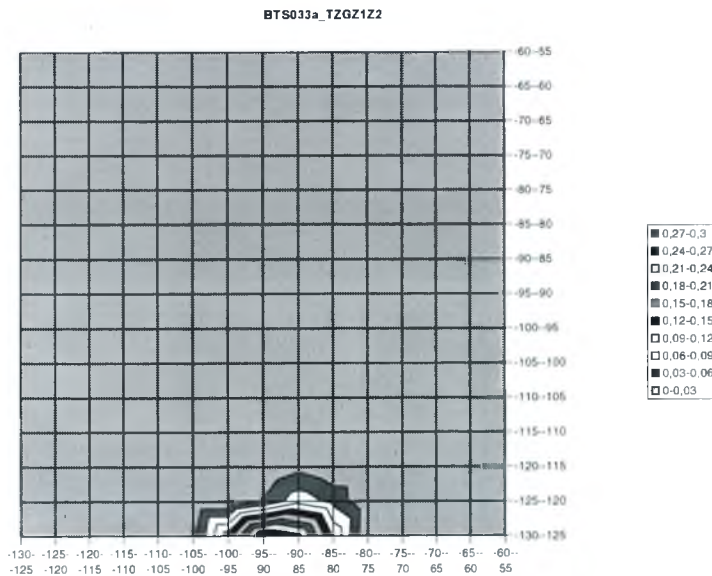


Figura 6.23 – BTS033a_TZGZ1Z2 (Vista Sup.)

Para os gráficos abaixo (figuras 6.24 e 6.25) a estação de teste foi a mesma: estação nº3. Teste realizado no azimute do setor 3 (setor Z). Variáveis aleatórias Z1 e Z2 expressam a potência *RSSI* das antenas de transmissão e diversidade do referido azimute em dBm. Dessa vez foi o segundo teste da estação (dia “b”).

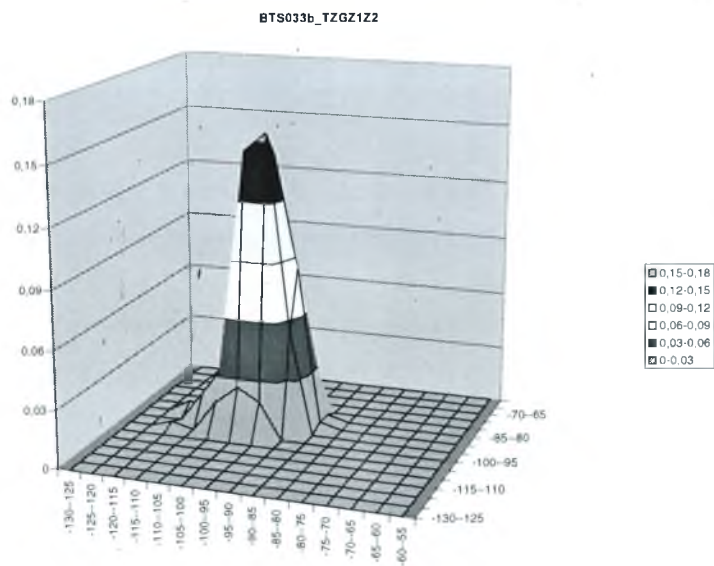


Figura 6.24 – BTS033b_TZGZ1Z2

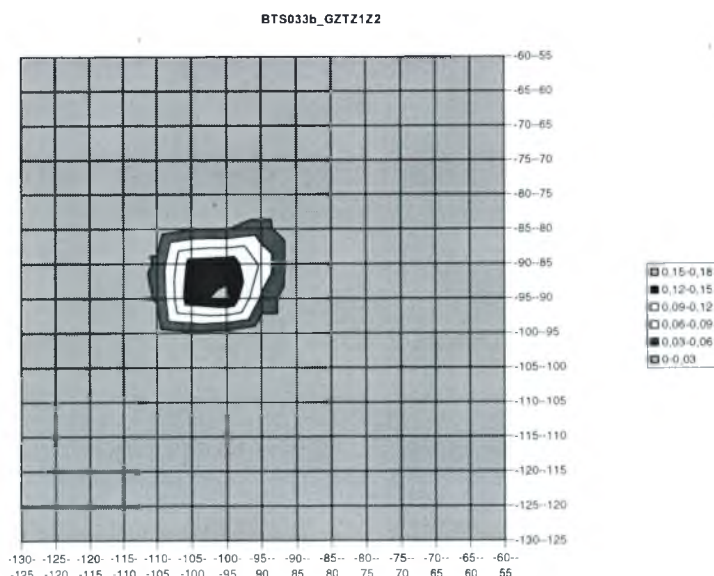


Figura 6.25 – BTS033b_TZGZ1Z2 (Vista Sup.)

Mudando de estação agora, os gráficos abaixo (figuras 6.26 e 6.27) mostram resultados da estação n°5, teste no azimute do setor 2 (setor Y). Variáveis aleatórias Y1 e Y2 expressam a potência *RSSI* das antenas de transmissão e diversidade do referido azimute em dBm. Foi o primeiro teste da estação (dia “a”).

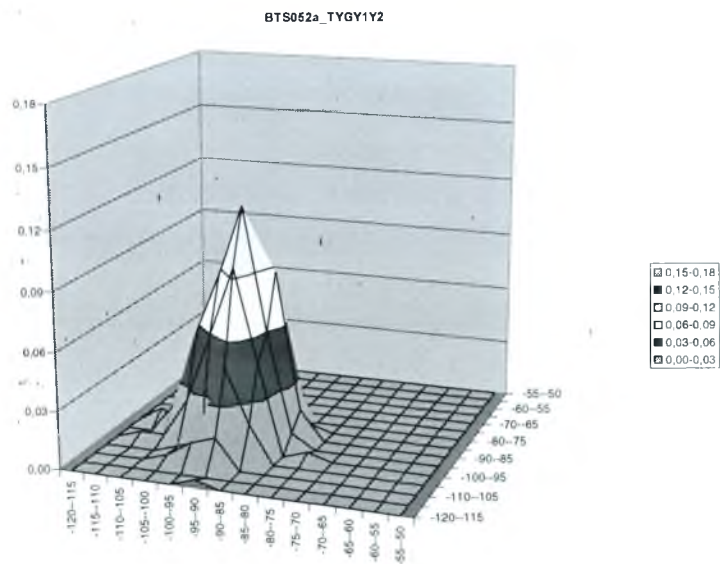


Figura 6.26 – BTS052a_TYGY1Y2

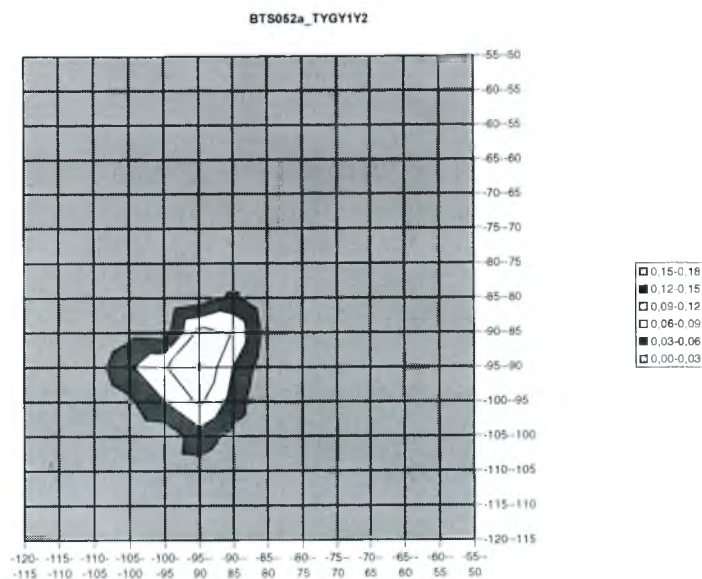


Figura 6.27 – BTS052a_TYGY1Y2 (Vista Sup.)

Para os gráficos abaixo (figuras 6.28 e 6.29) a estação de teste foi a estação nº6, teste no azimute do setor 2 (setor Y). Variáveis aleatórias Y1 e Y2 expressam a potência *RSSI* das antenas de transmissão e diversidade do referido azimute em dBm. Foi o primeiro teste da estação (dia “a”).

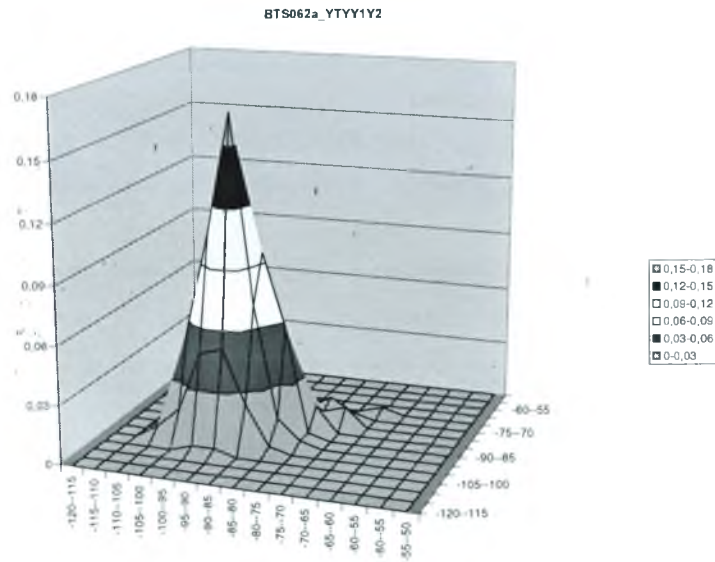


Figura 6.28 – BTS062a_TYGY1Y2

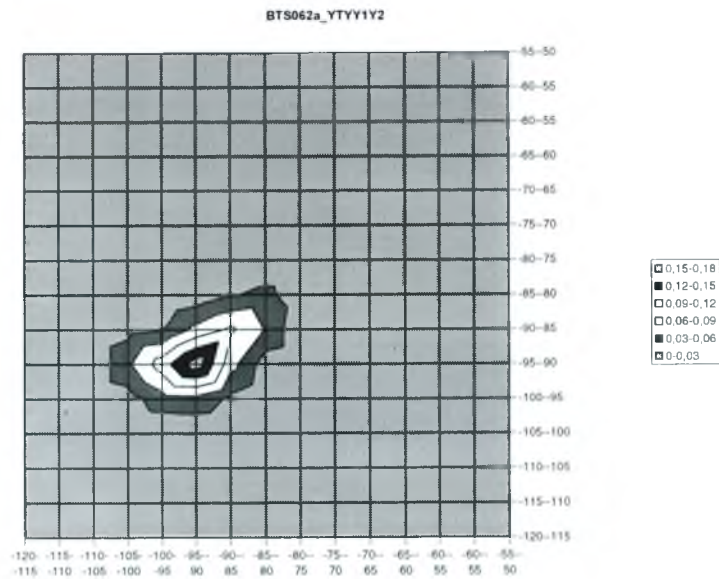


Figura 6.29 – BTS062a_TYGY1Y2 (Vista Sup.)

Abaixo dados coletados no setor 2 (Setor Y) novamente da estação n° 6, segundo dia (dia “b”), tendo como variáveis aleatórias Y1 e Y2. Tratam-se das potências *RSSI* da antena de transmissão (que graças ao duplexador também é de recepção) e da antena de diversidade, respectivamente, em dBm.

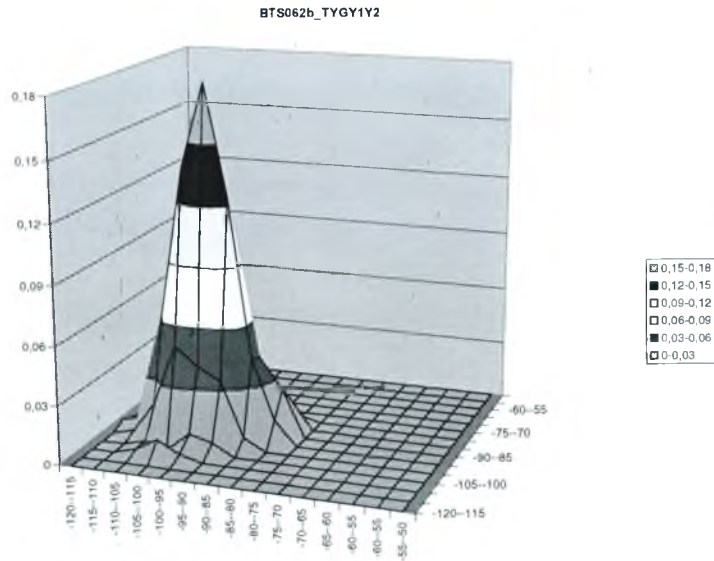


Figura 6.30 – BTS062b_TYGY1Y2

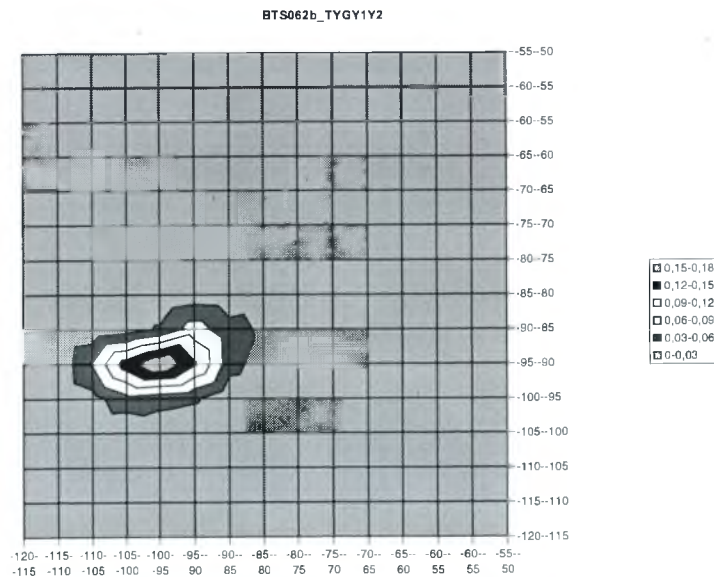


Figura 6.31 – BTS062b_TYGY1Y2 (Vista Sup.)

Outro teste na estação n° 6, realizado no azimute do setor 2 (setor Y) ao terceiro dia de testes nesta estação (dia “c”). Variáveis aleatórias Y1 e Y2 (potência RSSI das antenas de transmissão e diversidade).

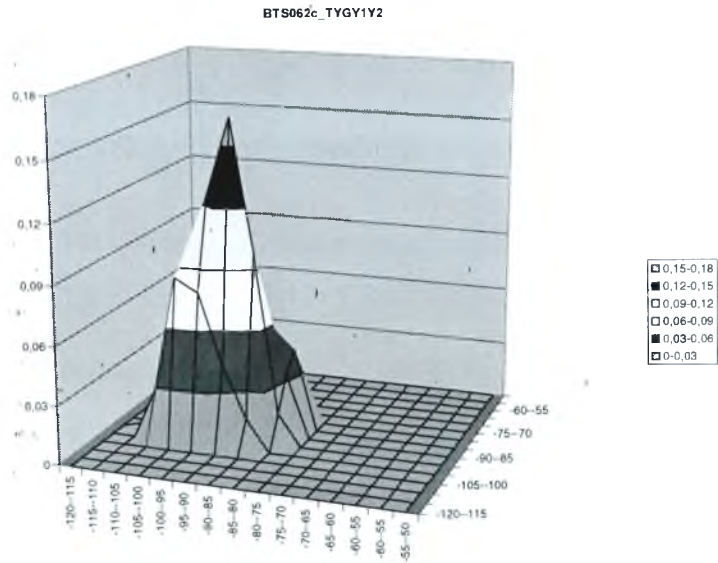


Figura 6.32 – BTS062c_TYGY1Y2

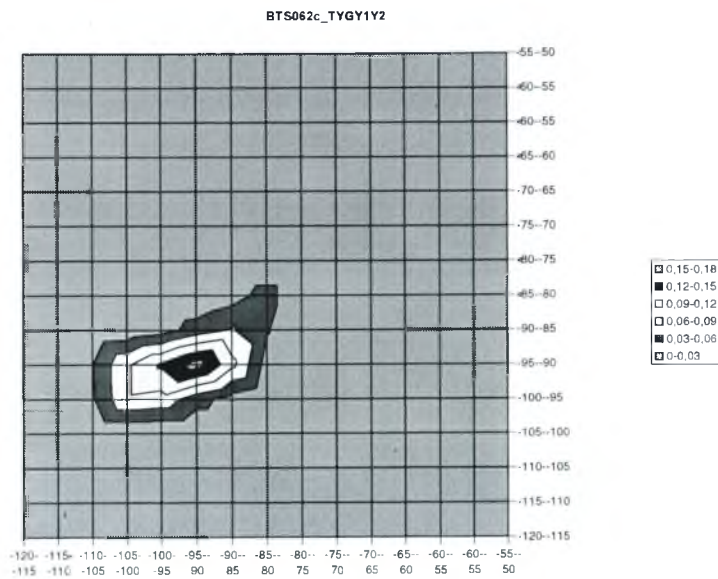


Figura 6.33 – BTS062c_TYGY1Y2 (Vista Sup.)

Teste realizado novamente na estação nº 6, azimuth do setor 3 (setor Z) ao segundo dia de testes nesta estação (dia “b”). Variáveis aleatórias Z1 e Z2 (potência RSSI das antenas de transmissão e diversidade) respectivamente.

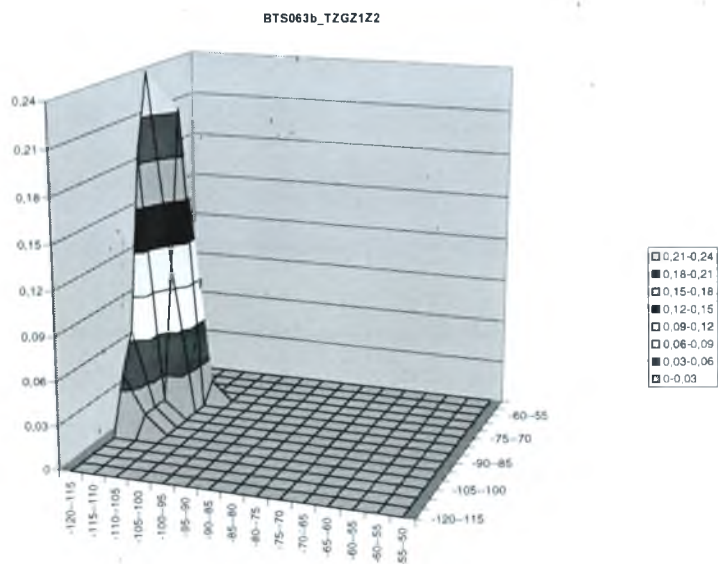


Figura 6.34 – BTS063b_TZGZ1Z2

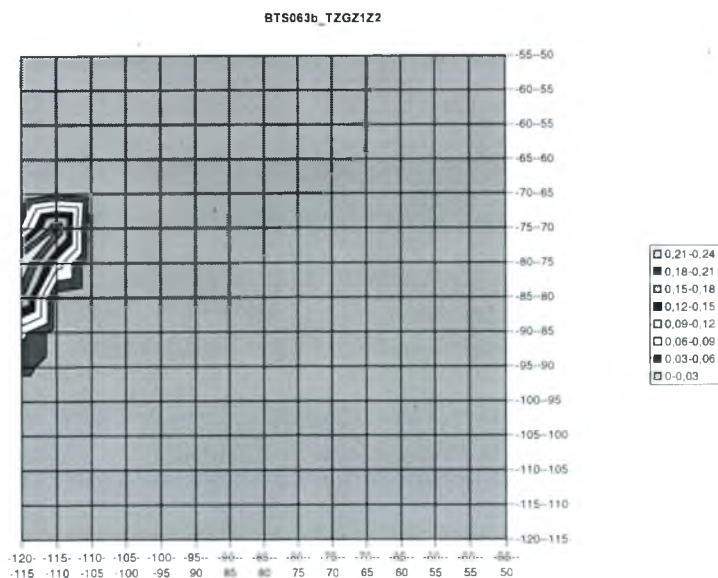


Figura 6.35 – BTS063b_TZGZ1Z2 (Vista Sup.)

6.4.3 – RESUMO DE PARÂMETROS DOS CONJUNTOS DE DADOS 01 E 02

Para cada teste TBL realizado foram calculados os parâmetros relacionados a Distribuição Normal Bivariada correspondente. São eles as médias, os desvios padrão das duas vareáveis aleatórias (medidos em dBm) e por fim a correlação entre as mesmas. Estes dados encontram-se na Tabela 6.1 abaixo.

Tabela 6.1 – Médias e Desvios Padrões (em dBm) e Correlações

Estação/ Azim. de Teste/ Dia	Conj. de Dados	Ant. X1 Média / Desv pad	Ant. X2 Média / Desv pad	Ant. Y1 Média / Desv pad	Ant. Y2 Média / Desv pad	Ant. Z1 Média / Desv pad	Ant. Z2 Média / Desv pad	Correlação
1/X/a	1	-81,1 / 8,72	-80,47 / 8,96					0,8286645
2/X/a	1	-68,35 / 6,9	-68,26 / 7,45					0,650303
2/Y/b	1			-50,04 / 3,13	-48,26 / 3,06			0,612351
3/X/a	2	-88,35 / 7,19	-107,09 / 5,91					0,016298
3/Y/a	2			-95,7 / 5,43	-101,51 / 5,66			0,392032
3/Y/b	2			-95,70 / 6,16	-97,34 / 5,99			0,273565
3/Z/a	2					-127,61 / 2,97	-90,26 / 5,10	0,366889
3/Z/b	2					-89,86 / 4,05	-91,59 / 8,80	0,431843
4/Y/a	1			-47,65 / 3,92	-47,59 / 3,63			0,795406
4/Z/a	1					-49,28 / 2,60	-45,83 / 3,36	0,696207
5/X/a	1	-87,35 / 5,25	-87,46 / 5,39					0,293347
5/Y/a	2			-93,36 / 5,71	-93,65 / 5,46			0,17695
5/Z/a	1					-78,64 / 7,59	-77,57 / 7,34	0,746401
6/Y/a	2			-90,32 / 5,59	-91,46 / 7,10			0,625345
6/Y/b	2			-92,60 / 4,24	-96,46 / 7,10			0,425672
6/Y/c	2			-92,32 / 3,75	-94,58 / 6,76			0,586636
6/Z/b	2					-83,97 / - 6,59	-123,46 / 5,35	0,50822

6.5 - ANÁLISE DE DADOS

Nos testes realizados em 6 estações foi possível agrupar os resultados dos 17 testes em dois conjuntos. O primeiro conjunto são os TBL's que foram aprovados (07 testes) e o segundo conjunto, os que foram reprovados (10 testes).

Seja o primeiro conjunto de dados. A figura 6.2 mostra um gráfico com formato 3D (sua respectiva vista superior é mostrada na figura 6.3). Esse gráfico foi construído seguindo-se o método explicado no item 4.9.3. Comparando-se o formato obtido com os apresentados no subitem 4.8.1.5 do capítulo 4, nota-se uma certa semelhança com aquele da figura 3.9, o qual tem médias $m_1=m_2$ e correlação $c= 0,95$. Isso indica que as médias obtidas no teste (referentes às variáveis aleatórias RSSI recebido pela antena 1 e RSSI recebido pela antena 2) são aproximadamente iguais. A tabela 6.1 confirma isso com valores de RSSI iguais a $-81,1$ dBm e $-80,47$ dBm (vide primeira linha da tabela). Também é notório, pela vista superior da figura 6.3 que as amostras se dispõem em pontos próximos à diagonal do gráfico. Isso confirma novamente uma alta correlação, a qual foi de 82,8% (vide tabela 6.1, primeira linha). Todos esses indícios revelam que o teste foi realizado exatamente como deveria ser (vide 2º passo do método de realização no item 5.3).

Uma análise idêntica vale também para os pares de figuras: 6.4 e 6.5, 6.6 e 6.7, 6.8 e 6.9, 6.10 e 6.11, 6.12 e 6.13; que são correspondentes aos demais testes do primeiro conjunto de dados (testes aprovados). As constatações são especialmente evidentes no formato 3D da figura 6.14 e respectiva vista superior (figura 6.15). Foi a distribuição bivariada mais próxima da normal entre todas desse conjunto.

Durante o processamento dos dados para geração dos Histogramas Bivariados foi possível identificar problemas relacionados ao segundo conjunto (TBL's reprovados).

Em alguns dos casos, foi detectada a existência de interferência no canal utilizado para o teste. É que uma parte dos dados do link direto foi coletada antes que o telefone começasse a transmitir. Assim, qualquer potência medida pela estação acima do piso de ruído, nesses segundos iniciais do teste, pode ser interpretada como uma potência interferente.

Em outro caso, foi detectado após investigação que havia uma troca de antenas. É o caso da Estação nº 3 (vide Figura 6.23). Foi realizada a correção na disposição das antenas a realizado outro TBL. O resultado é mostrado na Figura 6.25. Percebe-se uma grande diferença entre as médias e entre as variâncias após a correção. Mesmo assim, o teste continuou sendo reprovado, devido a presença de interferência, sendo que a mesma causou um aumento das variâncias. O ideal era que se pudesse fazer ainda mais um outro TBL.

Na última figura (Figura 6.35) temos um caso onde a rota realizada foi analisada posteriormente e estava fora da abertura horizontal das antenas em questão. Pode-se observar no gráfico uma diferença grande entre as médias e ainda uma alta variância.

A Correlação

Um estudo matematicamente formal foi realizado por [2] à respeito da correlação das envoltórias de dois sinais recebidos por antenas de uma estação separadas espacialmente (vide Cap. 4; item 4.11). Tal estudo tem como resultado o gráfico da figura abaixo, onde é mostrada a correlação em função do espaçamento físico entre as antenas para diferentes ângulos de incidência e abertura de feixe da antena transmissora igual a $0,4^\circ$. Essas curvas foram confirmadas experimentalmente pelo referido pesquisador.

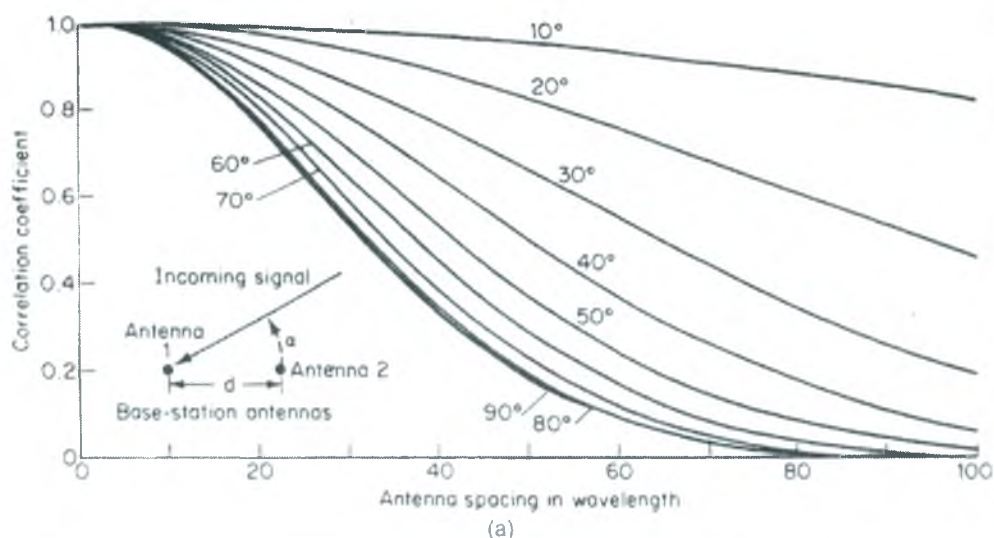


Figura 6.38 – Coeficiente de Correlação entre duas antenas de uma estação [2].

A correlação segundo [2] é uma função das seguintes variáveis:

- Atraso de tempo
- Comprimento de Onda
- Velocidade do móvel transmissor
- Ângulo de incidência da onda com relação ao plano das duas antenas
- Espaçamento entre as antenas
- Abertura de feixe do sinal recebido
- Espalhamento (*Scattering*)

Assim, pode-se observar que, devido às características do ambiente celular, não necessariamente é preciso esperar uma alta correlação para garantir que o teste esteja sendo bem feito ou não. Apesar disso uma alta correlação continua sendo algo desejável. No caso da figura 6.2 e figura 6.3 a correlação foi alta ($c = 0,828$). Pode-se constatar que há boa probabilidade de que as ondas tenham tido um ângulo de incidência próximo de zero. Isto é, o teste provavelmente foi mesmo realizado no azimute do setor.

6.6 - ESTUDO DE CASO I

Para exemplificar melhor o método apresentado seja o seguinte estudo de caso:

O teste TBL foi realizado na estação número 03, azimute do setor Z, onde foram coletados os dados em um arquivo *ASCII*.

Inicialmente foi realizada a contagem dos dados (vide dados em Apêndice B Tabela B.2). Através de recurso computacional (tabela dinâmica de uma planilha eletrônica) foi possível facilitar e dar praticidade a essa etapa. O resultado está na Tabela 6.2 a seguir:

Tabela 6.2 – Contagem de Amostras

Contagem	Z1			Total Global
Z2	-130--125	-125--120	-120--115	
-110—105	1			1
-105—100	5			5
-100—95	33			33
-95—90	67	8		75
-90—85	60	19	5	84
-85—80	28	12	1	41
-80—75		1		1
Total Global	194	40	6	240

Veja que 67 amostras tinham potência RSSI na antena de diversidade entre -95 e -90 dBm. E simultaneamente, para Z1 (potência RSSI da antena Tx/Rx) o valor estava entre -130 e -125 dBm, conforme se pode constatar na tabela anterior.

Em seguida, com base no total global de 240 amostras, obtêve-se as probabilidades de ocorrência para cada conjunto de intervalo. Conforme Tabela 6.3. Aquelas 67 amostras, então, passaram a corresponder a 27,9167% de probabilidade (vide 2ª coluna 5ª linha).

Tabela 6.3 - Probabilidades

PROB	-130--125	-125--120	-120--115	-115--110
-110—105	0,004167	0	0	0
-105—100	0,020833	0	0	0
-100—95	0,1375	0	0	0
-95—90	0,279167	0,033333	0	0
-90—85	0,25	0,079167	0,020833	0
-85—80	0,116667	0,05	0,004167	0
-80—75	0	0,004167	0	0

Como as duas antenas são à princípio, idênticas quanto às características de recepção, esperaria-se que o valor das variáveis aleatórias Z1 e Z2 fossem aproximadamente iguais, ou “muito parecidos”.

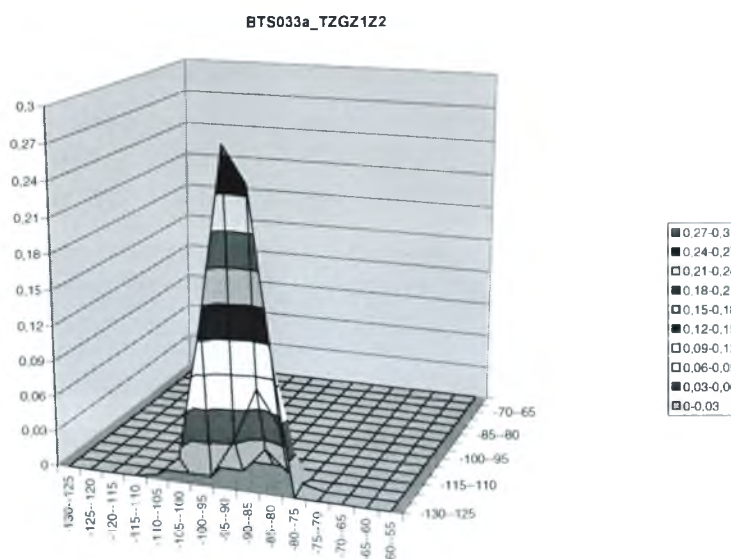


Figura 6.37 – BTS033a_TZGZ1Z2

As amostras, caso atendessem a essa expectativa, quando plotadas estariam provavelmente situadas principalmente em torno da reta diagonal imaginária do gráfico. No entanto isso não aconteceu, o que levantou uma forte suspeita quanto à situação do sistema irradiante do setor Z em questão. Poderia ter acontecido, por exemplo, uma falha de montagem (vide capítulo 02, item 2.5).

Pode-se ver na Figura 6.37 a plotagem dos dados constantes na Tabela 6.3. A Figura 6.38 a seguir mostra o mesmo gráfico 3D só que numa perspectiva de vista superior.

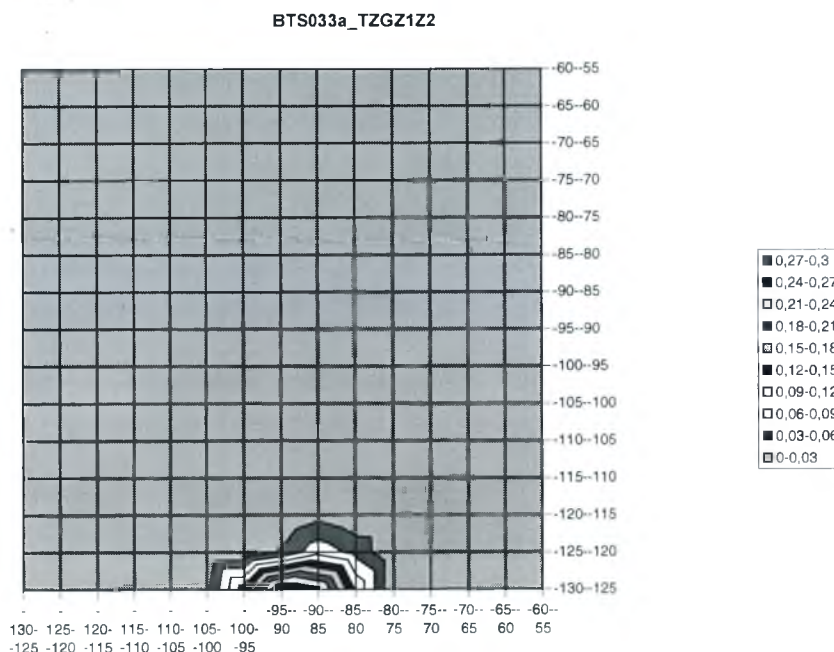


Figura 6.38 – BTS033a_TZGZ1Z2 (Vista Superior)

Observa-se, principalmente pela última figura que o padrão de formato gráfico é bem diverso dos padrões encontrados no primeiro conjunto de dados (subitem 6.4.1; figuras 6.2 a 6.15).

Observa-se também por comparação com o gráfico teórico da Figura 6.40 uma certa irregularidade.

Auditoria do Site:

Uma verificação em campo constatou que realmente o sistema irradiante da antena Z1 tinha seu azimute apontado numa direção muito diferente do especificado. Foi um erro de montagem; possivelmente por um descuido na execução do serviço de montagem, o que resultou em uma orientação inadequada dos azimutes das antenas.

O sinal que estava sendo captado não estava no lóbulo principal da antena, mas sendo captado possivelmente pelo lóbulo secundário da antena Z1.

Uma equipe de Operação e Manutenção (O&M) foi até o local e fez as correções necessárias.



Figura 6.39 – Sistema irradiante antes (esquerda) e depois da correção(direita).

A figura 6.39 mostra duas configurações do sistema irradiante analisado. Na figura da direita tem-se a correta disposição das antenas dos setores. Observa-se nessa figura que as antenas do setor Z (Z1 e Z2) estão apontando para a mesma direção. Antes da intervenção corretiva (figura da esquerda), as antenas do setor Z apontavam para direções diferentes.

A seguir (Figuras 6.40 e 6.41) tem-se o gráfico correspondente teórico da distribuição normal bivariada (vide capítulo 4 item 4.8.1.3).

Vê-se que o gráfico concentra as maiores probabilidades na diagonal e no centro do gráfico.

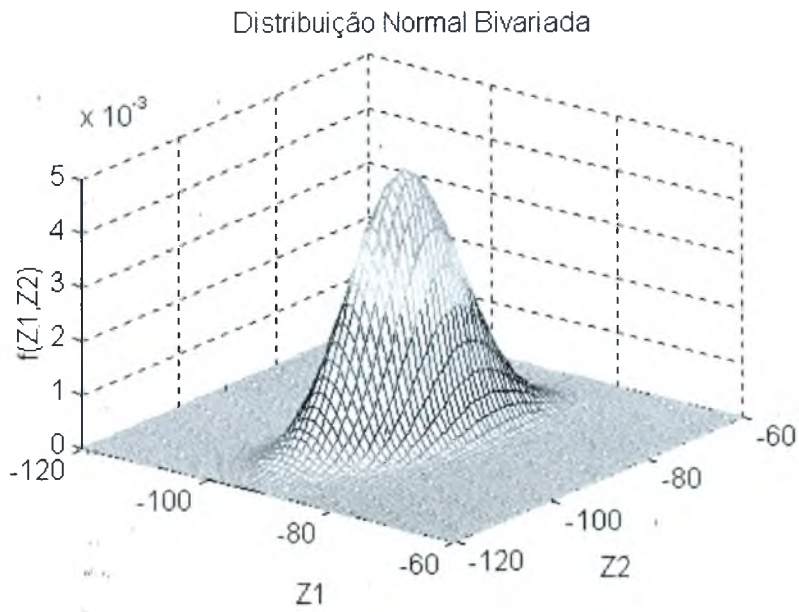


Figura 6.40 – Gráfico 3D teórico do Estudo de Caso (Distribuição Normal Bivariada)

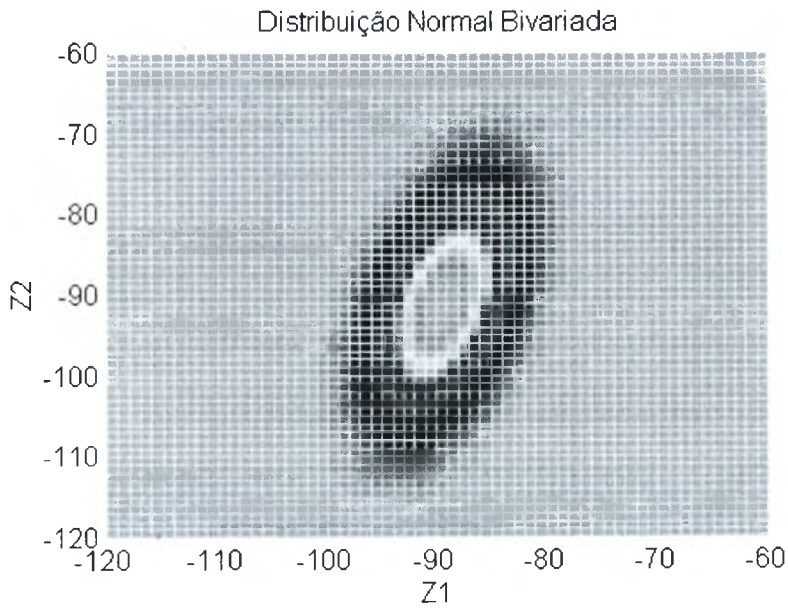


Figura 6.41 – Vista superior (Distribuição Normal Bivariada)

A Equação da Distribuição Normal Bivariada usada para gerar o gráfico é:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left\{-\frac{\left[\left(\frac{x-\bar{x}_1}{\sigma_1}\right)^2 - 2\rho\left(\frac{x-\bar{x}_1}{\sigma_1}\right)\left(\frac{y-\bar{x}_2}{\sigma_2}\right) + \left(\frac{y-\bar{x}_2}{\sigma_2}\right)^2\right]}{2(1-\rho^2)}\right\} \quad (6.1)$$

Onde $-\infty < x < +\infty$, $-\infty < y < +\infty$; \bar{x}_1 , \bar{x}_2 são as médias de X e Y, σ_1 , σ_2 , são os desvios padrões de X e Y e ρ é o coeficiente de correlação entre X e Y.

As médias, desvios padrão e correlação utilizados para a elaboração do gráfico teórico são parâmetros extraídos dos dados coletados, conforme apresentação da Tabela 6.1.

Tabela 6.4 – Parâmetros da Distribuição Normal Bivariada correspondente

Estação/Azim de Conj. de Dados Teste/ Dia	Ant. Z1	Média / Desv pad	Ant. Z2	Média / Desv pad	Correlação
3/Z/b	2	-89,86 / 4,05	-91,59 / 8,80	0,431843	

Neste estudo de caso a suspeita de erro na montagem das antenas foi confirmada e outro TBL teve de ser executado. Os resultados do novo TBL encontram-se nas tabelas 6.5 e 6.6.

Tabela 6.5 – Contagem de Amostras

Contagem de Z2	Z1				Total Global
Z2	-100--95	-95--90	-90--85	-85--80	
-120—115	1		2		3
-115—110		5		3	8
-110—105	5	10	11	4	30
-105—100	8	45	42	9	104
-100—95	6	48	44	9	107
-95—90		17	26	13	56
-90—85			1	1	2
Total Global	20	125	126	39	310

Tabela 6.6 - Probabilidades

PROB	-100--95	-95--90	-90--85	-85--80
-120--115	0	0	0,01	0
-115--110	0	0,02	0	0,01
-110--105	0,02	0,03	0,04	0,01
-105--100	0,03	0,15	0,14	0,03
-100--95	0,02	0,15	0,14	0,03
-95--90	0	0,05	0,08	0,04

Vê-se que desta feita, após correções realizadas, o maior número de amostras foi obtido para o conjunto $f(Z1, Z2) = [(-90 \text{ a } -85), (-95, -90)]$ dBm.

Vide Figura 6.43. Esse já é um conjunto de valores que se aproxima de valor da diagonal de gráfico “vista superior”).

Isso indica que o problema identificado pelo método estatístico foi corrigido. Assim vê-se que o gráfico é bem coerente, se aproximando mais do gráfico teórico que antes.

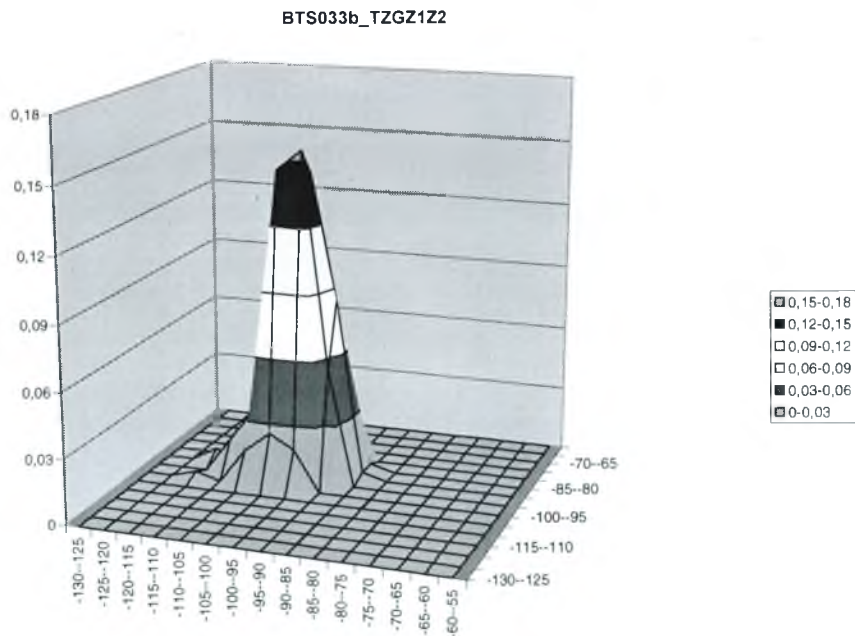


Figura 6.42 – BTS033b_TZGZ1Z2

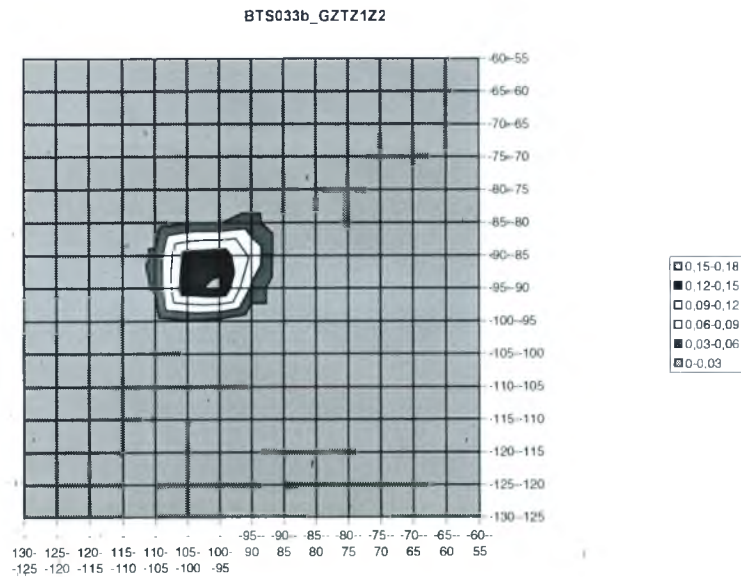


Figura 6.43 – BTS033b_TZGZ1Z2 (Vista Superior)

Após verificações constatou-se a utilização de uma frequência suscetível a interferência de canal adjacente (C/A). Isso causou desvios padrão maiores para as amostras (4,05 e 8,80, respectivamente). Caso não houvesse interferência o gráfico poderia ser ainda mais próximo do modelo teórico, com amostras concentradas na diagonal ($Z1 \approx Z2$)

6.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em situações práticas de Otimização de Sistemas de Telefonia Móvel é comum aparecerem situações em que duas variáveis estão sob análise. Normalmente utiliza-se gráfico de dispersão e a correlação para estudar tais problemas. Como os dados obtidos são numerosos em muitos casos e atendem aos critérios do Teorema do Limite Central, pode-se valer de uma metodologia baseada em Distribuições Normais Bivariadas também.

No estudo de caso apresentado vê-se que foi possível identificar um erro de montagem de antena de diversidade. Algo que pode ser bastante imperceptível na maioria das vezes, já que a antenas é apenas receptora.

Aqui tem-se mais um exemplo prático de utilização de métodos estatísticos para otimização de sistemas.

7 - MÉTODO ESTATÍSTICO CASO 03 – ANÁLISE MULTIVARIADA DE DESEMPENHO

7.1 - OBJETIVO

O objetivo do capítulo é sugerir uma abordagem estatística para o problema de análise de uma massa de dados de tamanho considerável, mesmo sem modelos teóricos bem definidos que auxiliem a explicar o relacionamento entre várias variáveis relacionadas ao *GPRS (General Packet Radio Services)*. Ao longo do capítulo e como exemplificação do método, apenas duas variáveis relacionadas ao GPRS são criteriosamente selecionadas para um estudo de caso. Claro que o método pode ser aplicado para outras variáveis de interesse, ressalta-se no entanto o foco do trabalho o qual recai mesmo sobre a apresentação do método.

7.2 - VISÃO GERAL

Em muitas situações um engenheiro de otimização se depara com uma massa de dados de tamanho expressivo. Usualmente dados de séries temporais de várias variáveis aleatórias, podendo chegar a algumas dezenas de milhares de amostras. E pode acontecer ainda que não haja um conceito totalmente formado sobre cada uma das variáveis (nem mesmo teórico), ou uma percepção clara de como as variáveis se relacionam umas com as outras.

Um exemplo de situação assim pode acontecer com o chamado *Drive Test* (vide capítulo 02, item 2.8). O *Drive Test* é uma ferramenta de otimização de redes de comunicação móvel que além de medidas relacionadas à verificações de cobertura, dá acesso a grande quantidade de dados (desde interferência a mensagens dos canais lógicos na camada 3 do modelo OSI). O teste pressupõe duas etapas: coleta de dados e pós-processamento. Cada uma delas tem suas particularidades e existem *softwares* específicos para assistir o usuário em cada uma dessas etapas. Mas, após adequadamente coletados e pós-processados, chega o momento da Análise de Dados. Aí então uma metodologia estatística pode ser útil.

Algumas bibliografias [14],[18] sugerem as seguintes etapas:

- Descrição de Dados
- Inferência
- Investigação de Relacionamentos

A descrição dos dados objetiva sumarizar os dados, construir gráficos (histogramas, diagramas de frequência) e tabelas. Várias medidas podem auxiliar essa etapa como por exemplo: médias, variâncias, desvios padrão.

A inferência visa tirar conclusões válidas tomando por base resultados observados num certo número de amostras [17]. Intervalos de confiança e testes de hipóteses são alguns conceitos relacionados à etapa de inferência estatística.

Já a investigação de relacionamentos utiliza conceitos como covariância e correlação, para averiguar de que maneira as variáveis estatísticas se comportam umas em relação à outras. Também são comumente utilizados nessa parte a análise de diagramas de dispersão e tendências.

Durante a implantação de um certo sistema *GSM* urgiu a necessidade de uma primeira avaliação de desempenho. Numa coleta de dados através de um *Drive Test* voltado especificamente para avaliação de desempenho de *GPRS* sobre *GSM*, obteve-se algo próximo a 54 mil amostras de 47 variáveis, ou seja, mais de 2 milhões e meio de amostras. Para o estudo dessa massa de dados pôde ser adotada a seguinte abordagem:

- Identificação e estudo das variáveis envolvidas
- Cálculo da Correlação usando combinação de variáveis duas a duas
- Seleção de variáveis mais relevantes do ponto de vista de relacionamento com as demais
- Elaboração de diagramas de dispersão e histogramas bivariados da seleção de variáveis

- Pesquisa bibliográfica de aprofundamento em conceitos relacionados às variáveis de relevância

Isso permitiu viabilizar uma investigação de interdependência de variáveis numa situação em que inicialmente não se tinha um conhecimento teórico aprofundado sobre elas. É importante frisar que não só as variáveis selecionadas como mais relevantes podem ser analisadas. Sendo assim, cabe a sugestão de continuação das análises para próximos trabalhos.

7.3 - METODOLOGIA

O auxílio de ferramentas computacionais e equipamentos de medidas em campo assistidos por computador propiciam a coleta e armazenamento de uma grande massa de dados. Surge a necessidade de desenvolver metodologias investigatórias que permitam extrair desses dados informações relevantes sobre como as variáveis se comportam e se relacionam.

7.3.1 - PASSOS PARA A EXECUÇÃO DO *DRIVE TEST*

O sistemas de *drive test* podem ser usados também para verificações de desempenho ou para diagnósticos relacionados com o *GPRS*. As devidas precauções e preparações seriam os primeiros procedimentos para uma investigação.

1º Passo — Cuidados com o ambiente celular

Conforme foi feito para o teste TBL no capítulo 06, deve-se proteger o *drive test* contra interferências. Nesse caso o teste aconteceu na fase inicial de um sistema, quando não havia quase nenhum tráfego e nenhum reuso de frequências. O horário também foi escolhido criteriosamente visando baixo tráfego, sendo que o teste acabou ocorrendo entre 19:50h a 21:12h.

2º Passo — Configuração prévia e instalação de equipamentos

Foi utilizado um equipamento de *drive test* com *notebook*, telefone com facilidade *GPRS* tipo (3+1), isto é, 1 slot para *upload* (*Up Link*) e 3 slots para *Download* (*Down Link*). O telefone estava devidamente configurado e habilitado pela operadora para utilizar esse serviço. O *notebook* também estava previamente configurado com *driver* específico a fim de possibilitar o reconhecimento do *hardware* do telefone (também como modem). E uma conexão com a *internet* a nível de provedora (*ISP – Internet Service Provider*) foi configurada corretamente.

Depois disso realizou-se as configurações específicas do *software* de coleta de informações do sistema de *drive test*. Por certo as mesmas variam de fabricante para fabricante. O *software* utilizado foi o E74xx da Agilent e o equipamento de coleta foi o Viper (do mesmo fornecedor). Então fez-se a instalação do referido equipamento em um veículo e ainda todas as conexões físicas necessárias (no caso por meio de cabos — é possível usar conexões não físicas, como o infravermelho).

7.3.2.- PROCEDIMENTO

Foi estabelecida uma conexão *GPRS* com a *internet*. Na WEB existem sites que medem a velocidade da conexão. Foi realizada uma conexão a um desses sites para verificar o funcionamento do telefone, a normal operação da facilidade *GPRS* e calibração do equipamento. O site utilizado foi o www.numion.com.br e, após realizadas tais verificações, deu-se prosseguimento ao teste. Foi efetuado um *download* de um arquivo de 7MB do site www.pegar.com.br enquanto era realizado um percurso de carro nas proximidades de uma estação cujo desempenho do *GPRS* estava sendo avaliada.

A velocidade do veículo variou entre 0 e 40 km/h. Sabe-se que altas velocidades causam dificuldades para o protocolo de comunicação, principalmente relacionadas a alinhamento de quadro (sincronismo), sem falar em outros efeitos secundários como o efeito *Doppler*.

As 47 variáveis *GPRS* relacionadas na tabela a seguir foram selecionadas para observação, coleta e armazenamento pelo *software* durante o *drive test*. Uma são do tipo numérica e outras do tipo texto. Um certo número de variáveis é relacionado ao protocolo de camadas do modelo *OSI* [40]. Por exemplo: *RLC (Radio Link Control)*, *MAC (Medium Access Control)* e *LCC (Logical Link Control)*. Vide capítulo 2, subitem 2.10.3 e figura 2.21. O equipamento de *drive test* utilizado permite a observação da camada 02 do modelo *OSI* (enlace de dados) [40]. As seguintes camadas do *GPRS* estão nesta condição: *MAC*, *RLC*, *LCC* e *SNDCP*. As variáveis relacionadas, a essas camadas do *GPRS*, e que portanto permitem coleta de dados, encontram-se descritas no Apêndice C, item C.2, também as funções básicas de cada uma dessas camadas são descritas no item 2.10.3. As variáveis em questão são:

1. Longitude	19. RLC Information [DownLink Coding Scheme]	32. SM Information [Textual SM Information]
2. Latitude	20. RLC Information [UpLink Coding Scheme]	33. SM Information [Numeric SM Information]
3. GPRS Packet Timing Advance	21. RLC Information [TBF UpLink]	34. SNDCP Information
4. GPRS RLC Block Error Rate (%)	22. RLC Information [TFI UpLink]	35. Absolute RF Channel Number [Serving ARFCN]
5. GPRS RLC MAC Tput D/L	23. RLC Information [TBF DownLink]	36. Absolute RF Channel Number [Traffic ARFCN]
6. GPRS RLC MAC Tput U/L	24. RLC Information [TFI DownLink]	37. Radio Link Timeout Counter [maximum RLTC]
7. LLC Data Tput Downlink	25. RLC MAC Data Throughput Downlink [Current Tput]	38. Radio Link Timeout Counter [current RLTC]
8. LLC Data Tput Uplink	26. RLC MAC Data Throughput Downlink [Max Tput]	39. Rx Level (Full) (dBm)
9. MAC Information [MS Class]	27. RLC MAC Data Throughput Uplink [Current Tput]	40. Rx Level (Sub) (dBm)
10. MAC Information [Timeslots Allocated Uplink]	28. RLC MAC Data Throughput Uplink [Max Tput]	41. Rx Quality (Full)
11. MAC Information [Timeslots Allocated Downlink]	29. RLC MAC Retransmitted RLC Block Rate Downlink	42. Rx Quality (Sub)
12. MAC Information [Allocation Type]	30. RLC MAC Retransmitted RLC Block Rate Uplink	43. Timeslot
13. MAC Information [MS Output Power]	31. Routing Area Update Indicator	44. Timing Advance
14. MAC Information [C Value]		45. Tx Power (dBm)
15. MAC Information [Signal Variance]		46. Time
16. QoS Strip Chart [Field X]		47. Date
17. QoS Strip Chart [Field Y]		
18. QoS Strip Chart [Field Z]		

A coleta de dados foi realizada com sucesso e passou-se a uma fase de manipulação da massa de dados coletada.

Inicialmente, visando a etapa de inferência, foram determinados valores mínimos e máximos de todas as variáveis coletadas e também foi calculada a média. Depois foi calculada a correlação de uma variável contra a outra considerando todas as combinações possíveis. E com base na lista gerada e resultados foi feita a seleção das variáveis mais relevantes e, na sequência, o traçado do diagrama de dispersão com essas variáveis. Alternativamente, ou complementarmente, pode ser traçado o Histograma Bivariado.

Finalmente, pôde-se passar para uma fase de aprofundamento conceitual em bibliografia específica sobre as variáveis selecionadas na tentativa de buscar explicação para os resultados encontrados. Essa etapa foi realizada apenas para essas variáveis com o intuito de ilustrar o trabalho. A continuação da análise de outras combinações no sentido da avaliação de interdependência é possível e interessante, mas isso não o foi feito, pois fugiria um pouco do objetivo do trabalho.

7.4 - RESULTADOS

53990 amostras foram coletadas durante o *Drive Test*.

A seguir são apresentados os resultados dos valores mínimos e máximos das variáveis coletadas e também a média. Foram consideradas as amostras tomadas quando o fluxo de blocos estava aberto (*Temporary Block Flow – TBF = Open*). Explicações das variáveis encontram-se no Apêndice C.

Tabela 7.1 – Valores máximos, mínimos e médios

Variável	Mínimo	Média	Máximo
GPRS Packet Timing Advance	0	2,437917398	9
GPRS RLC Block Error Rate (%)	0	3,022523112	100
GPRS RLC MAC Tput D/L	0	16,53812304	39,624
GPRS RLC MAC Tput U/L	0	2,934349842	11,544
LLC Data Tput Downlink	0	11,21641631	39,232
LLC Data Tput Uplink	0	1,114746353	10,904
MAC Information [MS Class]	4	4	4
MAC Information [Timeslots Allocated Uplink]	-128	4,057512506	64

MAC Information [Timeslots Allocated Downlink]	-128	-40,11146322	56
MAC Information [Allocation Type]	1	4,818924652	7
MAC Information [MS Output Power]	2	25,48919676	30
MAC Information [C Value]	-101	-64,83280518	-47
MAC Information [Signal Variance]	0	36,84912134	63
QoS Strip Chart [Field X]	-110	-67,65825105	-47
QoS Strip Chart [Field Y]	0	16,43189273	39,624
QoS Strip Chart [Field Z]	0	1,649372758	100
RLC Information [DownLink Coding Scheme]	0	0,595683943	1
RLC Information [UpLink Coding Scheme]	0	0,377497839	1
RLC Information [TBF UpLink]	0	0,377497839	1
RLC Information [TFI UpLink]	0	5,944687426	31
RLC Information [TBF DownLink]	0	0,95770369	1
RLC Information [TFI DownLink]	0	16,13720766	31
RLC MAC Data Throughput Downlink [Current Tput]	0	16,37224189	39,624
RLC MAC Data Throughput Downlink [Max Tput]	11,672	39,02709855	39,784
RLC MAC Data Throughput Uplink [Current Tput]	0	2,88443632	11,544
RLC MAC Data Throughput Uplink [Max Tput]	6,032	10,41981657	11,544
RLC MAC Retransmitted RLC Block Rate Downlink	0	1,159049839	77
RLC MAC Retransmitted RLC Block Rate Uplink	0	0,1644711	100
Routing Area Update Indicator	1	1	1
SM Information [Numeric SM Information]	3	3	3
SNDCP Information	0	0	0
Radio Link Timeout Counter [maximum RLTC]	20	20	20
Radio Link Timeout Counter [current RLTC]	2	11,88225126	20
Rx Level (Full) (dBm)	-104	-68,55210434	-43
Rx Level (Sub) (dBm)	-67	-67	-67
Rx Quality (Full)	5	5	5
Rx Quality (Sub)	5	5	5
Timeslot	0	0	0
Timing Advance	1	4,779378257	5
Tx Power (dBm)	30	38,50360108	39

Logo em seguida são apresentados os resultados da correlação de uma variável contra a outra considerando todas as combinações possíveis (num total de 1522 combinações). Para tanto foi desenvolvido uma Macro de *Excell* que agilizou o esforço de cálculo – vide código no apêndice C, item C.1.

Tabela 7.2 – Resultado da Correlações (Maiores Valores Obtidos)

Variável 1	Variável 2	Correlação
QoS Strip Chart [Field Y]	RLC MAC Data Throughput Downlink [Current Tput]	95,47%
RLC MAC Data Throughput Downlink [Current Tput]	QoS Strip Chart [Field Y]	95,47%
GPRS RLC MAC Tput D/L	QoS Strip Chart [Field Y]	91,17%
QoS Strip Chart [Field Y]	GPRS RLC MAC Tput D/L	91,17%
GPRS RLC MAC Tput D/L	RLC MAC Data Throughput Downlink [Current Tput]	88,18%
RLC MAC Data Throughput Downlink [Current Tput]	GPRS RLC MAC Tput D/L	88,18%
GPRS RLC MAC Tput U/L	RLC MAC Data Throughput Uplink [Current Tput]	85,55%
RLC MAC Data Throughput Uplink [Current Tput]	GPRS RLC MAC Tput U/L	85,55%
RLC Information [UpLink Coding Scheme]	RLC Information [TFI UpLink]	80,78%
RLC Information [TBF UpLink]	RLC Information [TFI UpLink]	80,78%
RLC Information [TFI UpLink]	RLC Information [UpLink Coding Scheme]	80,78%
RLC Information [TBF UpLink]	RLC Information [TBF UpLink]	80,78%
LLC Data Tput Downlink	RLC MAC Data Throughput Downlink [Current Tput]	79,45%
RLC MAC Data Throughput Downlink [Current Tput]	LLC Data Tput Downlink	79,45%
LLC Data Tput Downlink	QoS Strip Chart [Field Y]	79,13%
QoS Strip Chart [Field Y]	LLC Data Tput Downlink	79,13%
MAC Information [Allocation Type]	MAC Information [MS Output Power]	77,17%
MAC Information [MS Output Power]	MAC Information [Allocation Type]	77,17%
GPRS RLC MAC Tput D/L	LLC Data Tput Downlink	76,26%
LLC Data Tput Downlink	GPRS RLC MAC Tput D/L	76,26%
MAC Information [C Value]	Rx Level (Full) (dBm)	73,79%
Rx Level (Full) (dBm)	MAC Information [C Value]	73,79%
MAC Information [C Value]	QoS Strip Chart [Field X]	61,30%
QoS Strip Chart [Field X]	MAC Information [C Value]	61,30%
Longitude	GPRS Packet Timing Advance	57,51%

Os resultados dessa tabela estão ordenados crescentemente, incluindo apenas as correlações mais altas. Notável é que os resultados são iguais para as mesmas duplas de variáveis e que os resultados da correlação é o mesmo, naturalmente.

A seguir tem-se os resultados das menores correlações obtidas, sendo que apenas o módulo da correlação foi considerado:

Tabela 7.3 – Resultado do Módulo das Correlações (Menores Valores Obtidos)

Variável 1	Variável 2	Correlação
GPRS Packet Timing Advance	RLC MAC Retransmitted RLC Block Rate Downlink	0,00%
RLC MAC Retransmitted RLC Block Rate Downlink	GPRS Packet Timing Advance	0,00%
GPRS RLC Block Error Rate (%)	Tx Power (dBm)	0,01%
Tx Power (dBm)	GPRS RLC Block Error Rate (%)	0,01%
GPRS RLC Block Error Rate (%)	Timing Advance	0,01%
Timing Advance	GPRS RLC Block Error Rate (%)	0,01%
MAC Information [MS Output Power]	MAC Information [Signal Variance]	0,01%
MAC Information [Signal Variance]	MAC Information [MS Output Power]	0,01%
RLC Information [TFI UpLink]	RLC MAC Data Throughput Downlink [Max Tput]	-0,02%
RLC MAC Data Throughput Downlink [Max Tput]	RLC Information [TFI UpLink]	-0,02%
RLC MAC Retransmitted RLC Block Rate Uplink	Radio Link Timeout Counter [current RLTC]	0,02%
Radio Link Timeout Counter [current RLTC]	RLC MAC Retransmitted RLC Block Rate Uplink	0,02%
RLC Information [DownLink Coding Scheme]	RLC MAC Retransmitted RLC Block Rate Uplink	0,04%
RLC MAC Retransmitted RLC Block Rate Uplink	RLC Information [DownLink Coding Scheme]	0,04%
MAC Information [Allocation Type]	Absolute RF Channel Number [Serving ARFCN]	0,04%
MAC Information [Allocation Type]	Absolute RF Channel Number [Traffic ARFCN]	0,04%
Absolute RF Channel Number [Serving ARFCN]	MAC Information [Allocation Type]	0,04%
Absolute RF Channel Number [Traffic ARFCN]	MAC Information [Allocation Type]	0,04%
GPRS RLC MAC Tput U/L	Radio Link Timeout Counter [current RLTC]	-0,09%
Radio Link Timeout Counter [current RLTC]	GPRS RLC MAC Tput U/L	-0,09%
MAC Information [Allocation Type]	Time	-0,10%
Time	MAC Information [Allocation Type]	-0,10%
GPRS RLC Block Error Rate (%)	Radio Link Timeout Counter [current RLTC]	-0,11%
Radio Link Timeout Counter [current RLTC]	GPRS RLC Block Error Rate (%)	-0,11%
MAC Information [Timeslots Allocated Downlink]	Rx Level (Full) (dBm)	-0,13%

Observando a Tabela 7.2 com as correlações entre variáveis selecionou-se como um par de variáveis relevantes o par *MAC Information [C Value] versus Rx Level (Full) (dBm)* cuja correlação obtida foi de 73,79%. Alguns pares com correlação mais alta poderiam ser selecionados, mas optou-se pelo C Value pelo fato de ser esse um indicador estatístico chave mais desconhecido.

O próximo resultado apresenta o diagrama de dispersão entre o *MAC Information [C Value] versus Rx Level (Full) (dBm)*. Não está no escopo deste trabalho realizar uma avaliação quantitativa do gráfico através de algum método de ajustamento de curva.

Mas fazendo-se uma avaliação qualitativa, ainda que superficial, verifica-se claramente a interdependência das variáveis.

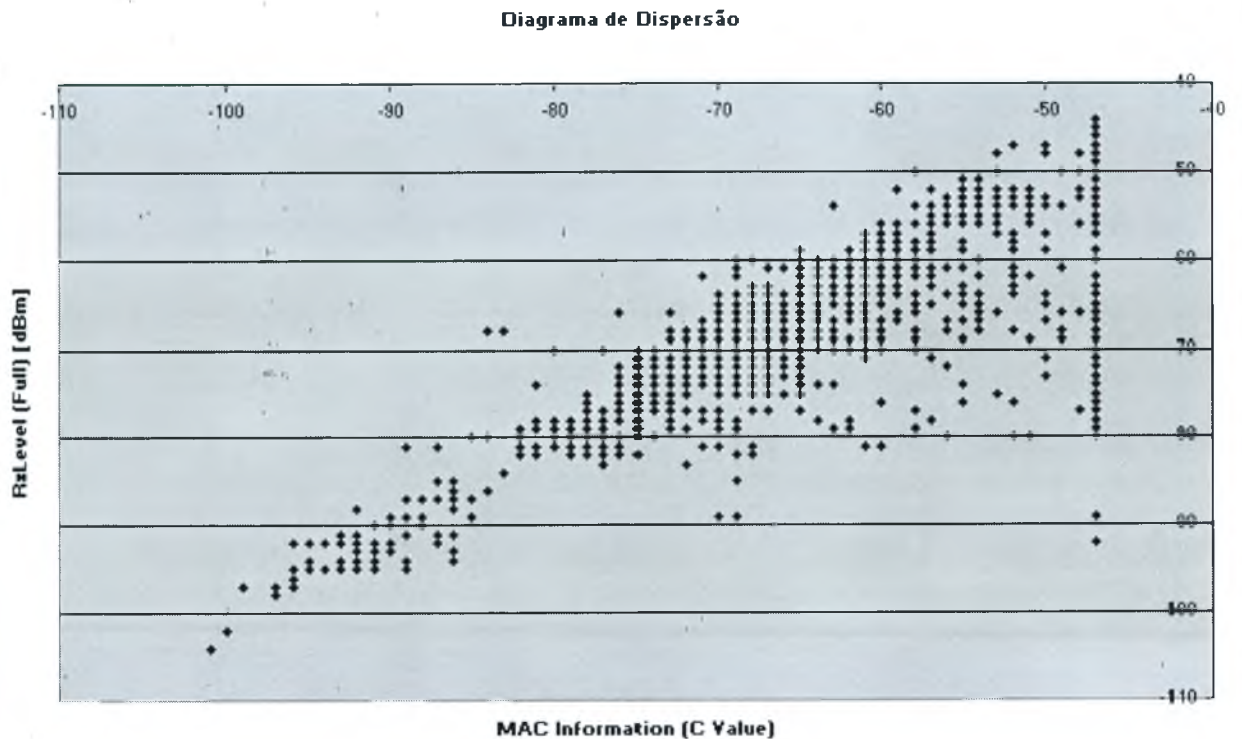


Figura 7.1 – Diagrama de Dispersão do *C Value* e *RxLevel*

Apresenta-se também como resultado a pesquisa bibliográfica referente ao *C Value*.

O Documento 3GPP TS 05.08 [19] diz que:

$$C_{\text{block},n} = SS_{\text{block},n} + P_b \quad (7.1)$$

Onde $SS_{\text{block},n}$ é a média dos níveis de sinal recebidos nos quatro *burst* que compõem o bloco de dados *GPRS*. P_b é a redução de potência de saída da estação (relativa à potência de saída usada na mesma).

7.5- ANÁLISE DE DADOS

O desempenho de uma rede *GPRS* é bastante dependente da interação entre as diferentes camadas na camada de protocolos [10] (vide capítulo 2, item 2.10.3). Essas interações precisam ser entendidas muito bem se a rede tiver que ser otimizada. Partindo-se desse princípio avaliado na bibliografia consultada [10], pode-se realizar alguns comentários com base no trabalho realizado:

Houve uma alta correlação entre o *Throughput* medido nas diferentes camadas, confirmando uma alta interação entre as mesmas. Tem-se como exemplo a correlação entre as variáveis aleatórias “*LLC Data Tput Downlink*” e “*RLC MAC Data Throughput Downlink [Current Tput]*” a qual foi igual a 79,45% (vide Tabela 7.2). Em particular, a camada *LLC* deve interagir bastante com a *RLC*. Assim, o desempenho no nível *RLC* poderia ter sérios impactos no *Throughput LLC*. Acontece que, altas taxas de *RLC BLER* que poderiam levar a atrasos significantes no *LLC*, não ocorreram durante o teste. Então o impacto da performance de uma camada, na outra não pode ser avaliado com maior profundidade.

Sobre as variáveis selecionadas, o Valor C e o *RxLevel*, utilizadas para apresentar o método, averiguou-se que o Valor C trata-se de uma média móvel a qual tende a acompanhar o *RxLevel* (potência recebida pelo móvel). Nos gráficos apresentados pelo *software* de coleta o Valor C segue a variável “*QoS Strip Chart [Field Y]*”, exercendo um papel relevante na negociação de esquemas de codificação por desempenho.

Observou-se no diagrama de dispersão da figura 7.1 que as variáveis tem uma relação linear. Como o ambiente de teste utilizava controle dinâmico de potência, as amostras com C Value maiores ficaram mais dispersas. E além dessa particularidade ainda dois fenômenos podem influenciar essa dispersão: o *delay spread*, e o *fading* de curto prazo; ambos causando maior influência em pontos mais próximos da estação devido aos multipercursos do sinal (característica particular da região em que o teste foi realizado).

Outros resultados de investigação de interdependência entre outras combinações de variáveis (por exemplo, o *ThroughPut* e os Esquemas de Codificação) poderiam ser incluídos na análise, mas optou-se aqui por limitar a mesma às variáveis que exemplificarão o método no estudo de caso a seguir.

7.6 - ESTUDO DE CASO I

Na Figura 7.2 tem-se o Histograma relacionado à função densidade de Probabilidade, indicando que a potência recebida pelo móvel (*Rx Level*) média era de -65 dBm. Um sinal consideravelmente forte. Foram coletadas 53.990 amostras, sendo que apenas parte dessas eram de *Rx Level*. Mesmo assim, o número de amostras em cada intervalo foi bem elevado: próximo a 9.500 amostras somente para o intervalo onde se encontra a média.

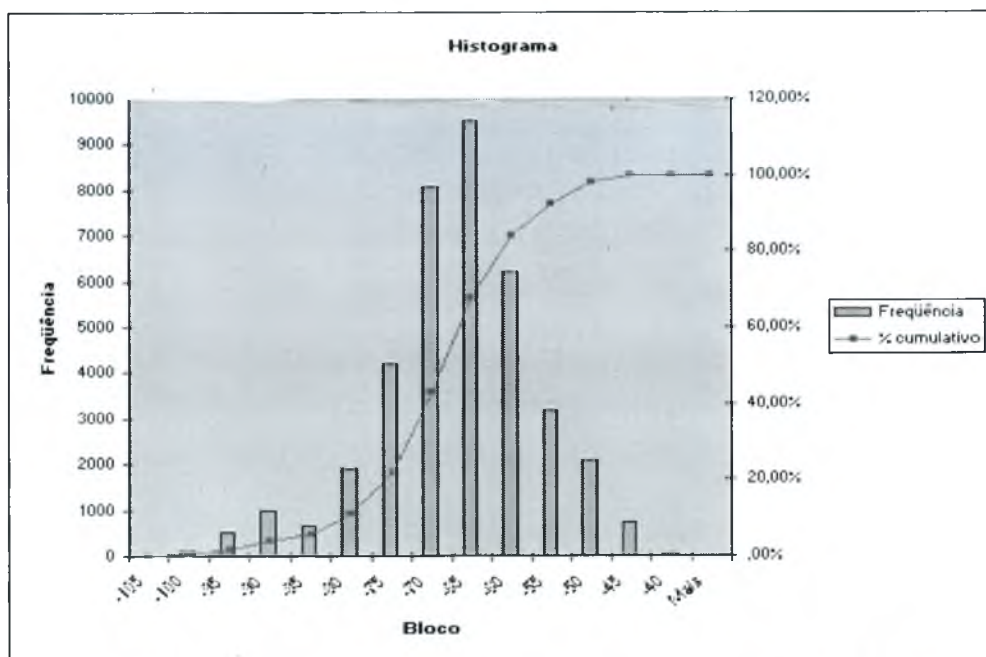


Figura 7.2 – Histograma da Potência recebida pelo móvel (*Rx Level*)

À seguir tem-se um exemplo de tela do *software* de coleta utilizado. Ela foi capturada no formato de imagem eletrônica durante a coleta.

Não cabe aqui apresentar explanações pormenorizadas sobre o processo de *drive test* incluindo descrições completas da tela apresentada (figura 7.3) e de outras.

Mas no canto inferior direito da Figura 7.3 pode-se observar um gráfico.

Ele é construído com base das variáveis “*QoS Strip Chart*” (*Field X* representa o valor *C*, *Field Y* representa o *Throughput*, *Field Z* representa o *BLER*). A linha azul representa o valor *C* (que é uma variável dependente da potência recebida em dBm).

A linha vermelha representa o *BLER* (Block Error Rate). E a amarela, a taxa instantânea de *Through Put* (em kbps). É possível identificar 4 bursts, sendo que em dois deles houve uma certa taxa de *BLER*.

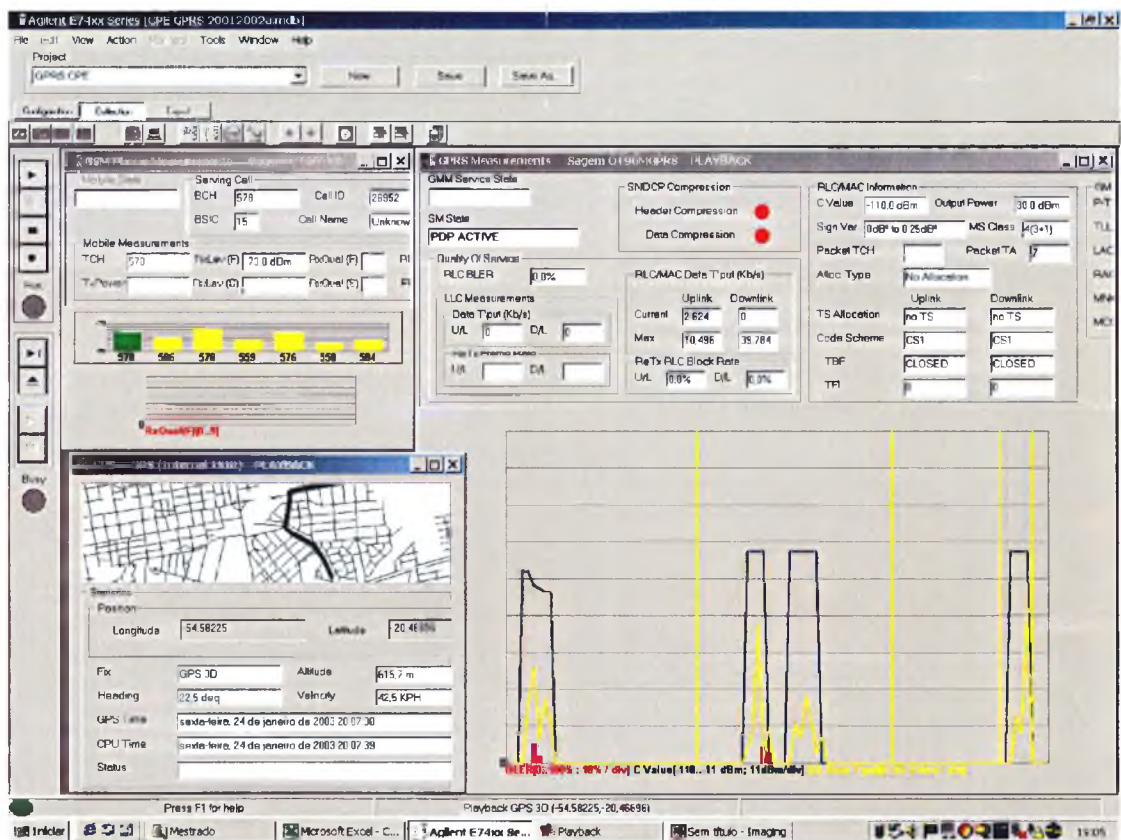


Figura 7.3 – Tela do software de coleta capturada durante o *drive test* (GPRS)

De posse dos dados de todo o *drive test* é possível construir o Histograma bivariado apresentado na Figura 7.4.

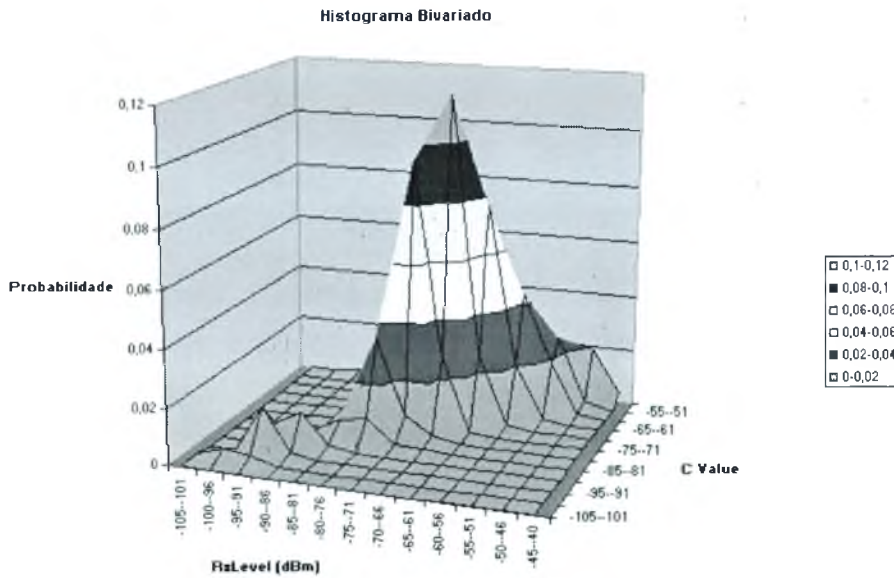


Figura 7.4 – Vista Superior do Histograma bivariado (variáveis C Value, RxLevel)

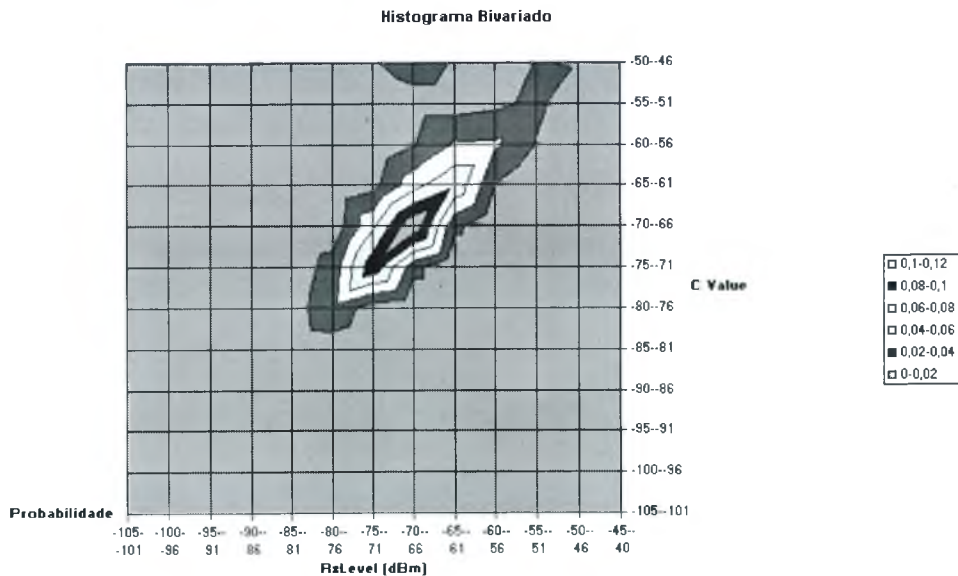


Figura 7.5 – Vista Superior do Histograma bivariado (variáveis C Value, RxLevel)

Uma boa correlação entre as variáveis Valor C e *RXLevel* é evidenciada pelo formato na figura 3D (vide capítulo 04, item 4.8.1.5).

A Figura 7.5 mostra uma vista superior, onde é notável a concentração de grupos de amostras onde os valores de *RXLevel* e Valor C de igual valor.

7.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse capítulo continua a apresentar o valor da estatística na análise de dados obtidos por ferramentas de otimização de sistemas móveis, neste caso, envolvendo um número maior de variáveis. Uma exemplificação é dada no estudo de caso e vê-se que uma identificação de variáveis correlacionadas foi possível, além de confirmada na norma técnica.

Observando-se atentamente, vê-se que a análise multivariada de desempenho acaba recaindo, em sua etapa final, na análise bivariada de várias combinações de variáveis. Como o número de combinações pode ser grande, inviabilizando essa análise para todas as combinações, recorreu-se ao cálculo da correlação entre as variáveis combinadas duas a duas, seguida da seleção de variáveis de maior relevância. Isso gera um esforço menor e que pode ser facilmente automatizado por uma macro de planilha eletrônica.

Outro aspecto relevante: o telefone do equipamento de coleta de dados de *drive test* possuía facilidade *GPRS* tipo (3+1) e também não tinha funcionalidade de esquemas de codificação CS-03 e CS04 (vide capítulo 2, item 2.10.1). Essa foi uma das razões pela qual a negociação dos esquemas de codificação baseada no desempenho da conexão *GPRS* não foi abordada no estudo de caso. A outra razão para tanto reside no fato de que a operadora possuía designação dinâmica de *time slots* para dados que dava prioridade de alocação para chamadas de voz. Por exemplo, se devido ao tráfego, todos os *time slots* de voz estivessem ocupados, não haveria nenhum *time slot* disponível para cursar a conexão *GPRS*. O fluxo de blocos estaria frequentemente fechado. Essas duas razões, portanto, comprometeriam os resultados, ou exigiriam um ambiente mais controlado ainda para os testes.

Mais uma vez vale chamar a atenção para a ênfase dada à pesquisa bibliográfica, à elaboração de diagramas de dispersão e à construção de histogramas bivariados apenas para as variáveis selecionadas (*RxLevel* e Valor C).

Isso foi feito segundo a necessidade de atender os objetivos do capítulo. Ainda assim, os resultados preliminares obtidos na fase de descrição dos dados foram úteis para a constatação de um bom grau de relacionamento entre as variáveis de *ThroughPut* das camadas de protocolo LLC e RLC conforme relatos encontrados na bibliografia [10].

8 - MÉTODO ESTATÍSTICO CASO 05 – DUAL RATE

8.1 - OBJETIVO

Será discutida uma metodologia estatística voltada para o dimensionamento de hardware de sistemas de telefonia celular onde a teoria de tráfego telefônico considerando *Erlang B* não se aplica. Um exemplo relacionado à tecnologia *Half Rate* (encontrado na literatura especializada) é apresentado e uma metodologia ligada à tecnologia *Dual Rate* é proposta.

8.2 - VISÃO GERAL

Em operadoras de telefonia celular é comum a existência de áreas, ou profissionais voltados para Engenharia de Tráfego. Entre as atividades desempenhadas inclui-se:

- acompanhamento do tráfego baseado em medidas operacionais da central coletadas de hora em hora;
- Dimensionamento e ampliações de hardware;
- Previsões de expansões futuras dos vários elementos de rede (rádios, combinadores, bastidores, estações, entre outros) para orçamento de investimentos.

Por muito tempo na Engenharia de Tráfego as ações e o planejamento eram baseados praticamente apenas na tabela *Erlang B* (vide Capítulo 2: item 2.11 e tabela 2.2). Mas, com a evolução das tecnologias, passaram a existir casos em que as premissas sobre as quais se apoia essa teoria específica não se aplicam. Um exemplo disso é a utilização da **tecnologia *Half Rate (HR)***. Com o *HR* dois usuários podem compartilhar o mesmo *time slot (TSL)*, sendo que é possível determinar a porcentagem de *TSL* de um rádio que são habilitados com conexões *HR*. A referência [12] sugere uma modelagem deste tipo de situação que será brevemente explanada aqui para introduzir o problema a ser estudado nesse capítulo.

Seja o caso particular do *GSM* onde existem 8 *TSL* por rádio (*TSL0* a *TSL7*). Considere-se o seguinte cenário o qual é usualmente encontrado nas operadoras para o caso de um único rádio no setor de uma estação:

- O *TSL0* é dedicado para o canal lógico *BCCH* (*Broadcast Control Channel*);
- O *TSL1* é dedicado para *SDCCH* (*Stand-alone Dedicated Control Channel*);
- Os *TSL's* 3 ao 7 são *TCH's* (*Traffic Channels*) destinados para voz sendo que o *TSL7* está alocado dinamicamente para *GPRS* com prioridade para voz, isto é, ele não é dedicado exclusivamente para *GPRS* e ainda que esteja fazendo parte de rotas de conexões *GPRS*, assim que uma chamada de voz é solicitada e, estando os outros *TSL's* de voz todos ocupados, o *TSL7* deixa de servir ao *GPRS* e passa automaticamente a funcionar como um *TSL* de voz.
- Os *TSL's* 2 a 4 são habilitados para conexões *HR*, e os *TSL's* 5 a 7 são habilitados para conexões *FR* ou seja, 50% de *HR*.

Tabela 8.1 — Ocupação de *Time Slot's* típica de sistema *GSM* para setor com 1 portadora

<i>TSL0</i>	<i>TSL1</i>	<i>TSL2</i>	<i>TSL3</i>	<i>TSL4</i>	<i>TSL5</i>	<i>TSL6</i>	<i>TSL7</i>
<i>BCCH</i>	<i>SDCCH</i>	<i>TCH</i>	<i>TCH</i>	<i>TCH</i>	<i>TCH</i>	<i>TCH</i>	<i>GPRS</i>

O estudo desse problema estatístico segue exatamente os mesmos princípios apresentados no capítulo 02 item 2.11.2, para construção de diagrama de estados do caso Erlang B. Só que desta feita utiliza uma versão bidimensional. É importante observar que a probabilidade de bloqueio não mais está relacionada à probabilidade do último estado, pois agora tem-se mais de um estado em que todas as conexões estão ocupadas (sejam *Full Rate*, *Half Rate*, ou misto de ambas).

A seguir tem-se o caso simplificado de apenas 2 *TSL* (Figura 8.1) estudado na referência (Halonon, 2001). $PfFhH$ representa o estado onde existem f conexões *Full Rate* e h conexões *Half Rate*. λ é a taxa de chegada de chamadas; μ é a taxa de terminações de chamadas, γ é a percentagem de conexões *HR*. O estado $P1F2H$, por exemplo, indica a probabilidade de um estado em que os *TSL* estivessem ocupados com 01 conexão *Full Rate* no primeiro *TSL* e 02 conexões *Half Rate* no segundo *TSL*.

Acrescenta-se a premissa de um sistema em que dois tipos de recursos são possíveis e limitados. O diagrama de estados proposto na referência [12] (caso de 2 TSL) é apresentado na Figura 8.1. As respectivas equações são mostradas na Figura 8.2.

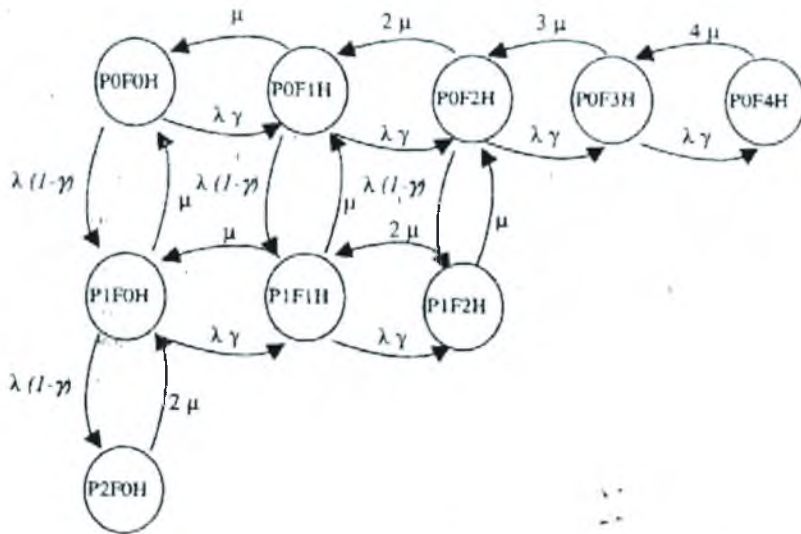


Figura 8.1 Diagrama de Estados para o caso *Half Rate c/ 2 TSL*. [12]

Como foi feito no item 2.11.2 do capítulo 2 para o caso *Erlang B*, partindo-se do diagrama de estados acima é possível definir várias equações de equilíbrio de estados, onde considera-se que T é o tráfego dado por $T = \lambda/\mu$:

$$\begin{aligned}
 0 &= P0F1H + P1F0H - T P0F0H \\
 0 &= T\gamma P0F0H + 2P0F2H + P1F1H - (T + 1) P0F1H \\
 0 &= T\gamma P0F1H + 3P0F3H + P1F2H - (T + 2) P0F2H \\
 0 &= T\gamma P0F3H - 4P0F4H \\
 0 &= T(1 - \gamma)P0F0H + P1F1H + 2P2F0H - (T + 1) P1F0H \\
 0 &= T(1 - \gamma)P0F0H + P1F1H + 2P2F0H - (T + 1) P1F0H \\
 0 &= T\gamma P1F0H + T(1 - \gamma)P0F1H + 2P1F2H - (T\gamma + 2) P1F1H \\
 0 &= T\gamma P1F1H + T(1 - \gamma)P0F2H - 3P1F2H \\
 0 &= T(1 - \gamma)P1F0H - 2P2F0H
 \end{aligned}$$

Figura 8.2 – Equações obtidas do Diagrama de Estados para o caso *Half Rate c/ 2 TSL* [12]

Através de métodos numéricos, utilizando Programação Linear, obtém-se como solução para o sistemas de equações da Figura 8.2 a seguinte tabela:

Tabela 8.2 – Tráfego (*Erl*) com 2% de Bloqueio e várias taxas de conexões *Half Rate* [12]

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	0,0204	0,0207	20	0,0224	0,0243	0,0268	0,032	0,034	0,0559	0,1138	0,2235
2	0,2236	0,2278	0,2366	0,2527	0,2789	0,315	0,3722	0,4515	0,5828	0,7889	1,0923
3	0,6024	0,6155	0,6456	0,6965	0,772	0,8729	1,0118	1,1897	1,4419	1,795	2,2759
4	1,0927	1,1204	1,1828	1,2819	1,4197	1,5938	1,8195	2,0963	2,468	2,9674	3,6271
5	1,6578	1,7065	1,8084	1,9628	2,1683	2,4169	2,7292	3,1061	3,5987	4,2451	5,084
6	2,2769	2,3526	2,4985	2,7109	2,986	3,3096	3,7089	4,1874	4,8022	5,5967	6,6147
7	2,9367	3,0448	3,2375	3,509	3,8538	4,2532	4,7404	5,3216	6,0596	7,003	8,2003
8	3,6287	3,7733	4,0146	4,3457	4,7601	5,2359	5,8119	6,4968	7,359	8,4517	9,8284
9	4,3468	4,5311	4,8222	5,2131	5,6969	6,2502	6,9161	7,7053	8,692	9,9344	11,491
10	5,0864	5,3128	5,6248	6,1058	6,6593	7,2905	8,0469	8,9409	10,053	11,445	13,182
11	5,8443	6,1143	6,5082	7,0199	7,6432	8,3528	9,2001	10,199	11,436	12,978	14,896
12	6,6178	6,9206	7,3662	7,9445	8,6452	9,4345	10,372	11,477	12,84	14,534	16,631
13	7,405	7,7521	8,2508	8,8911	9,6629	10,532	11,561	12,772	14,361	16,105	18,383
14	8,204	8,5963	9,1486	9,8511	10,694	11,643	12,764	14,082	15,697	17,693	20,15
15	9,0137	9,4517	10,058	10,823	11,738	12,766	13,981	15,405	17,147	19,294	21,932
16	9,8328	10,317	10,978	11,806	12,792	13,901	15,208	16,739	18,609	20,907	23,725
24	16,636	17,497	18,601	19,943	21,515	23,274	25,329	27,724	30,615	34,129	38,392
32	23,729	24,978	26,522	28,367	30,516	32,932	35,753	39,044	42,985	47,729	53,428
40	30,998	32,618	34,611	36,982	39,735	42,819	46,408	50,589	55,575	61,548	68,688
48	38,387	40,358	42,8	45,709	49,082	52,839	47,201	62,278	68,315	75,519	84,1
56	45,863	48,161	51,051	54,511	58,519	62,955	68,092	74,073	81,164	89,602	99,964

E esta é a explanação resumida do caso utilizando *HR*. Entretanto, pelo fato de que na prática o uso de conexões *Half Rate* causa certa queda no desempenho do audio das ligações (percebida pelo usuário) foi promovido outro avanço tecnológico: o ***Dual Rate (DH)***. Com ele possível designar todos os *TSL TCH* inicialmente como *Full Rate (TCHF)* e apenas sob demanda convertê-los em *Half Rate (TCHH)*, dependendo de um limiar de *TSL TCH* livres (γ). O caso *Dual Rate* será o objeto de estudo deste capítulo. Trata-se de um caso que requer mais aprimoramento do modelo estatístico.

8.3 - METODOLOGIA

O caso do *Dual Rate (DH)* a princípio passa a ser um processo estocástico não Markoviano (vide Capítulo 4, item 4.12) o qual considera perda de chamadas (vide Capítulo 2, item 2.11.1).

Isso se deve ao fato de passar a ser um sistema com memória, ou seja, de acordo com a transição de estados feita entre estados muito anteriores (*TCHF*, ou *TCHH*) alguns estados subsequentes passam a ser impossíveis. Além disso diagramas de estados bastante diferentes são obtidos para cada limiar γ utilizado como será visto mais adiante. Uma maneira ainda que trabalhosa de contornar tudo isso é realizar um estudo separado para cada limiar γ de interesse (0%, 10%, ..., 40%,..., 80%,...,100%). E com isso ir obtendo uma tabela como a Tabela 8.2. Assim o sistema passa a ser novamente passível de abordagem com o conceito de Cadeias de Markov aplicado a processos de Nascimento-Morte.

8.3.1 - PASSOS PARA A MODELAGEM ESTATÍSTICA DO CASO *DH*

A modelagem estatística também pode usar diagrama de estado bidimensional, sistema de equações e solução por método numérico, mas não se pode obter um diagrama de estados genérico para n recursos implementados (n canais).

1º Passo — Definição do limiar γ , número de *TSL* e bloqueio

O problema de dimensionamento da rede a nível de estação consiste em planejar quantos rádios são necessários para suportar um certo tráfego com uma determinada taxa de bloqueio considerada tolerável. Em geral, é considerado como premissa para o bloqueio a taxa de 2%, que no caso é dado pela soma das probabilidades de estados em que todos os *TSL* estejam ocupados.

Para a definição do limiar γ entende-se que selecionar 11 valores no intervalo de 0% a 100% (de 10% em 10 %) seria suficiente na prática para realizar um bom dimensionamento. Acontece que como neste trabalho visa apenas apresentar a metodologia, utilizou-se os valores de 0%, 40%, 70% e 100%.

O número de *time slot's* (*TSL*) é naturalmente vinculado ao número de rádios, sendo que é comum adotar como premissa, em sistemas *GSM*, que cada rádio possui 8 *TSL* sendo 6 destinados para voz (*TCH*).

Novamente, levando em consideração o escopo deste trabalho quanto à exposição da metodologia, utilizou-se a hipótese irreal, porém simplificadora e didática de uma situação com 3 *TSL TCH*.

Assim, 04 situações serão estudadas em que se almeja determinar tráfego correspondente:

Tabela 8.3 – Casos de interesse na modelagem do caso *Dual Rate*

Número de <i>TSL</i>	Limiar γ	Bloqueio %	Tráfego
3	0	2	?
3	40	2	?
3	70	2	?
3	100	2	?

2º Passo — Cálculo das possíveis % de *TSL TCH* livres

Para diferentes estados de ocupação de *TSL* é necessário calcular as possíveis porcentagens de *TSL* livres. Considerando a situação simplificada com 03 conexões *DH* e limiar de conversão ajustado para 40% de conexões *HR* acontece o seguinte: A primeira chamada é alocada como *FR* e ocupa o *TSL0*, isto é, 33,3% dos 3 *TCH*'s estão ocupados, restando 66,6% de conexões *FR* livres; esse valor ainda está acima do limiar de 40%. Então, quando entra a segunda chamada, ela ainda entra em modo *FR*, mas o número de conexões *FR* disponíveis cai abaixo do limiar (para o valor de 33,3%). Isso significa que a próxima conexão entrará em modo *HR*. E também a subsequente, até que aconteçam terminações de chamadas suficientes para liberar novamente 66,6% dos *TSL TCH*. Ou, também pode acontecer que não haja mais conexão nenhuma e aconteça um bloqueio das ligações subsequentes enquanto não houver novamente conexões disponíveis.

Observação: a respeito do número de *TSL* ocupados é importante ressaltar que, se existe pelo menos uma chamada *HR* no *TSL*, ou 2 *HR*, ou 1 *FR*; em todos esses três casos considera-se que o *TSL* está ocupado.

3º Passo — Desenvolvimento de Modelo de Otimização utilizando Programação Linear

A modelagem estatística relacionada ao dimensionamento de tráfego de canais *Dual Rate* recai em sistemas de equações matematicamente trabalhosos. Recorreu-se por isso a métodos numéricos utilizando Programação Linear (PL -vide maiores explicações sobre Programação Linear e Modelos de Otimização utilizando PL no Apêndice A7). A ferramenta utilizada para tanto foi o suplemento do Microsoft Excell chamado Solver (maiores detalhes também constam do referido apêndice).

8.3.2.- PROCEDIMENTO

Construi-se os diagramas de estados para cada um dos limiares γ (0%, 40%, 70% e 100%), considerando as possíveis designações de chamadas (modo *HR*, ou modo *FR*). Começa-se pelo estado onde não existem chamadas alocadas em nenhum *TSL*.

Convencionou-se usar as alocações de conexões *HR* para a direita e alocações de *FR* para baixo. Assim vai-se realizando uma simulação e alocando chamadas em novos estados com todas as combinações possíveis, isto é, que não violem as restrições impostas pelo limiar γ utilizado. Por exemplo, se o γ é pequeno, sempre a primeira alocação não poderá ser cursada em modo *HR*, pois é inerente a esta restrição que a primeira chamada (com este limiar) seja *FR*.

A seguir interliga-se os estados com setas indicando as possíveis transições de estado e suas respectivas probabilidades. Por exemplo, a probabilidade de geração de uma chamada é sempre igual a λ , pois considera-se uma fonte infinita tráfego. E é possível que algumas transições sejam unilaterais, então é importante ter muita atenção para não realizar uma interligação indevida (pois isso causaria alteração nos resultados).

Depois disso é hora de formular as equações em torno de cada estado, supondo que o sistema esteja em equilíbrio. A representação gráfica dos estados é particularmente útil nesse momento.

Cada equação é obtida da análise de equilíbrio de fluxo de probabilidades relacionado a um único estado de referência. A probabilidade do estado multiplicada pela probabilidade de transição das setas saíntes do estado deve ser igual à probabilidade de todas as setas entrantes no estado multiplicadas pelas probabilidades dos seus respectivos estados onde se originam. Esse procedimento é repetido recursivamente até que seja possível montar um sistema de n equações de n incógnitas; onde n é igual ao número total de estados. Claramente, outra equação também deve ser atendida como premissa das Cadeias de Markov:

$$\sum P_n = 1 \quad (8.1)$$

O bloqueio é dado pela soma das probabilidades onde todos os *TSL* estariam completamente ocupados, não sendo mais possível alocar chamada alguma (*FR*, ou *HR*). Cada sistema de equações foi analisado em planilha eletrônica, resultando em um valor de tráfego para cada diagrama de estados (isto é cada limiar γ sobre 3 *TLS* a 2% de Bloqueio).

8.4 - RESULTADOS

Tem-se abaixo o diagrama de estados para o **limiar γ de 0%**:

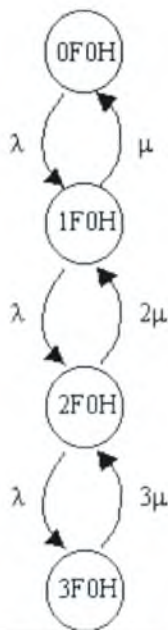


Figura 8.3 – Diagrama de Estados para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 0 \%$

Abaixo tem-se as equações obtidas:

$$\begin{cases} -T.P_1(0F0H) + P_2(1F0H) = 0 \\ -(T+1).P_2(1F0H) + T.P_1(0F0H) + 2.P_3(2F0H) = 0 \\ -(T+2).P_3(2F0H) + T.P_2(1F0H) + 3.P_4(3F0H) = 0 \\ -3.P_4(3F0H) + T.P_3(2F0H) = 0 \end{cases} \quad (8.2)$$

Com esse limiar, não existem conexões *Half Rate*. A probabilidade de bloqueio neste caso é a probabilidade do último estado, $P_4(3F0H)$ e igual a 0,0206 (ou 2,06%) – vide Figura 8.4 em amarelo.

Os erros conseguidos estão indicados na Figura 8.4, sendo obtidos para cada equação. O Erro total é dado pela soma dos módulos dos erros de cada equação.

O modelo de otimização em planilha eletrônica resultou num tráfego de 0,61 erlangs (em cinza). Também em cinza na Figura 8.4 estão as probabilidades de cada estado. A probabilidade de $P_1(0F0H)$ é de 0,55 (ou 55%).

TRAF		P				RESULT.	ERRO TOTAL
0,61							0,0000014743
		P1	P2	P3	P4		
0		-0,6	1	0	0	0,00	0,0000006405
0		0,61	-1,6	2	0	0,00	0,000000966
0		0	0,61	-2,6	3	0,00	0,000000452
0		0	0	0,61	-3	0,00	0,0000006919
1		1	1	1	1	1,00	0,000000000
0,02		0	0	0	1	0,0206	0,006281701

Figura 8.4 – Modelagem para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 0 \%$

Tem-se a seguir o diagrama de estados para o **limiar γ de 40%**:

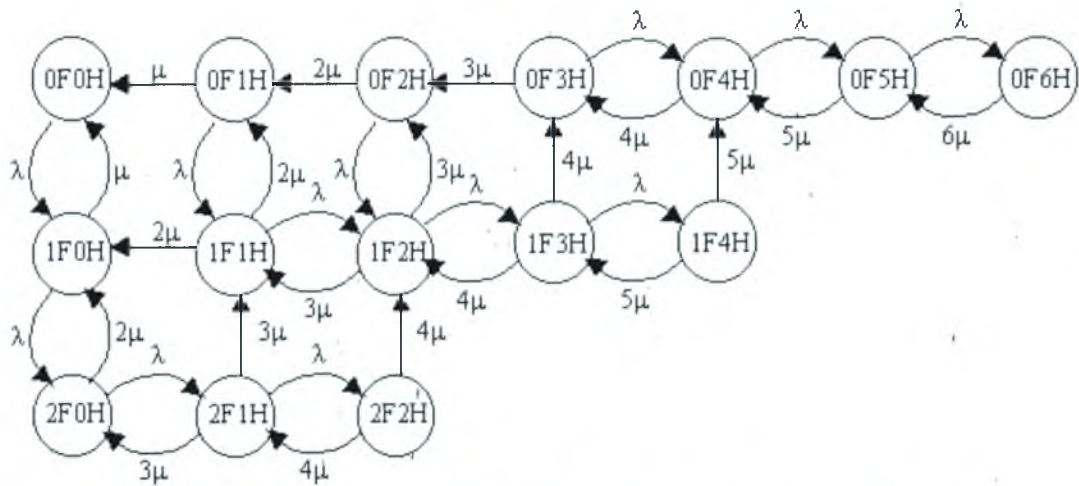


Figura 8.5 – Diagrama de Estados para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 40\%$

Já com esse limiar, existem conexões *Full Rate* e *Half Rate*. A probabilidade de bloqueio neste caso já não é simplesmente dada pela probabilidade do último estado, mas da soma das probabilidades $P_7(OF6H)$, $P_{12}(1F4H)$ e $P_{15}(2F2H)$. O Bloqueio é igual a 0,0205 (ou 2,05%) – vide Figura 8.6 em amarelo. Os erros conseguidos estão indicados na Figura 8.6. Abaixo tem-se as equações obtidas:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 -T.P_1(OF0H) + P_2(OF1H) + P_8(1F0H) = 0 \\
 -(T+1).P_2(OF1H) + 2.P_3(OF2H) + 2.P_9(1F1H) = 0 \\
 -(T+2).P_3(OF2H) + 3.P_4(OF3H) + 3.P_{10}(1F2H) = 0 \\
 -(T+3).P_4(OF3H) + 4.P_5(OF4H) + 4.P_{11}(1F3H) = 0 \\
 -(T+4).P_5(OF4H) + 5.P_6(OF5H) + 5.P_{12}(1F4H) + T.P_4(OF3H) = 0 \\
 -(T+5).P_6(OF5H) + 6.P_7(OF6H) + T.P_5(OF4H) = 0 \\
 -6.P_7(OF6H) + T.P_6(OF5H) = 0 \\
 -(T+1).P_8(1F0H) + 2.P_{13}(2F0H) + T.P_1(OF0H) + 2.P_9(1F1H) = 0 \\
 -(T+4).P_9(1F1H) + 3.P_{10}(1F2H) + 3.P_{14}(2F1H) + T.P_2(OF1H) = 0 \\
 -(T+6).P_{10}(1F2H) + 4.P_{11}(1F3H) + 4.P_{15}(2F2H) + T.P_3(OF2H) + T.P_9(1F1H) = 0 \\
 -(T+8).P_{11}(1F3H) + 5.P_{12}(1F4H) + T.P_{10}(1F2H) = 0 \\
 -10.P_{12}(1F4H) + T.P_{11}(1F3H) = 0 \\
 -(T+2).P_{13}(2F0H) + 3.P_{14}(2F1H) + T.P_8(1F0H) = 0 \\
 -(T+6).P_{14}(2F1H) + 4.P_{15}(2F2H) + T.P_{13}(2F0H) = 0 \\
 -8.P_{15}(2F2H) + T.P_{14}(2F1H) = 0
 \end{array} \right. \quad (8.3)$$

O modelo de otimização em planilha eletrônica resultou num tráfego de 2,20 erlangs (em cinza). Também em cinza na Figura 8.6 estão as probabilidades de cada estado. A probabilidade de $P_1(0F0H)$ é de 0,16 (ou 16%).

TRAF															ERRO TOTAL		
															0,0000446130		
0,16 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00																	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	RESULT.	ERRO
0	-2,2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,0000179216
0	0	-3,2	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0,00	0,0000000021
0	0	0	-4,2	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0,00	0,0000107312
0	0	0	0	-5,2	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0,00	0,0000002889
0	0	0	0	0	-6,2	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0,00	0,0000003836
0	0	0	0	0	0	-7,2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,0000017866
0	0	0	0	0	0	0	-8,2	7	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,0000007478
0	2,2	0	0	0	0	0	0	-3,2	2	0	0	0	2	0	0	0,00	0,0000043762
0	0	2,2	0	0	0	0	0	0	-6,2	3	0	0	0	3	0	0,00	0,0000000372
0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	2,2	-8,2	4	0	0	0	4	0,00	0,0000019119
0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	2,2	-10	5	0	0	0	0,00	0,0000033272
0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	2,2	-10	0	0	0	0	0,00	0,0000011522
0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	-4,2	3	0	0	0,00	0,0000000887
0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	2,2	-8,2	4	0	0,00	0,0000009966
0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	2,2	-8	0	0,00	0,0000009413
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	0,0000000000
0,02	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0,0205	0,0004761374

Figura 8.6 – Modelagem para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 40\%$

Tem-se abaixo o diagrama de estados para o limiar γ de 70%:

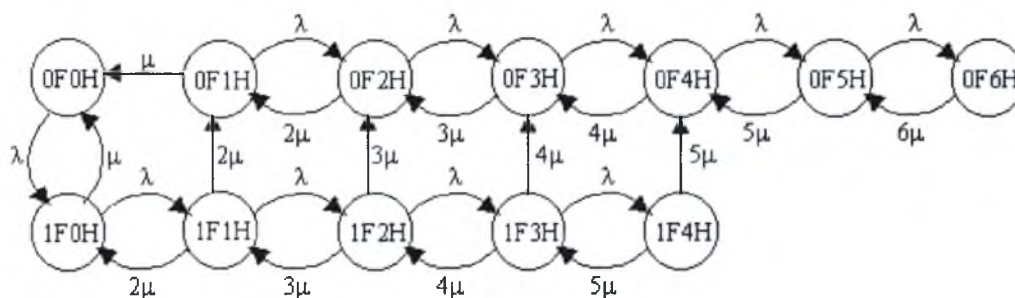


Figura 8.7 – Diagrama de Estados para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 70\%$

Abaixo tem-se as equações obtidas:

$$\begin{cases}
 -T.P_1(0F0H) + P_2(0F1H) + P_8(1F0H) = 0 \\
 -(T+1).P_2(0F1H) + 2.P_3(0F2H) + 2.P_9(1F1H) = 0 \\
 -(T+2).P_3(0F2H) + 3.P_4(0F3H) + 3.P_{10}(1F2H) + T.P_2(0F1H) = 0 \\
 -(T+3).P_4(0F3H) + 4.P_5(0F4H) + 4.P_{11}(1F3H) + T.P_3(0F2H) = 0 \\
 -(T+4).P_5(0F4H) + 5.P_6(0F5H) + 5.P_{12}(1F4H) + T.P_4(0F3H) = 0 \\
 -(T+5).P_6(0F5H) + 6.P_7(0F6H) + T.P_5(0F4H) = 0 \\
 -6.P_7(0F6H) + T.P_6(0F5H) = 0 \\
 -(T+1).P_8(1F0H) + 2.P_9(1F1H) + T.P_1(0F0H) = 0 \\
 -(T+4).P_9(1F1H) + 3.P_{10}(1F2H) + T.P_8(1F0H) = 0 \\
 -(T+6).P_{10}(1F2H) + 4.P_{11}(1F3H) + T.P_9(1F1H) = 0 \\
 -(T+8).P_{11}(1F3H) + 5.P_{12}(1F4H) + T.P_{10}(1F2H) = 0 \\
 -10.P_{12}(1F4H) + T.P_{11}(1F3H) = 0
 \end{cases} \tag{8.4}$$

Com esse outro limiar, também existem tanto conexões *Full Rate* como *Half Rate*. Também aqui a probabilidade de bloqueio não é dada pela probabilidade do último estado, mas da soma das probabilidades $P_7(0F6H)$ e $P_{12}(1F4H)$. O Bloqueio é igual a 0,0200 (ou 2,00%) – vide Figura 8.8 em amarelo. Os erros conseguidos estão indicados na Figura 8.8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		TRAF																	ERRO TOTAL
2		2,35																	0,0000197852
3																			
4			0,11	0,16	0,22	0,17	0,1	0,05	0,02	0,11	0,05	0,01	0	0					
5			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	RESULT.	ERRO			
6	0		-2,4	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,00	0,0000014995			
7	0		0	-3,4	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0,00	0,0000012119			
8	0		0	2,35	-4,4	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0,00	0,0000060405			
9	0		0	0	2,35	-5,4	4	0	0	0	0	0	4	0	0,00	0,0000000084			
10	0		0	0	0	2,35	-6,1	5	0	0	0	0	0	5	0,00	0,0000007159			
11	0		0	0	0	0	2,35	-7,4	6	0	0	0	0	0	0,00	0,0000019616			
12	0		0	0	0	0	0	2,35	-6	0	0	0	0	0	0,00	0,0000014058			
13	0		2,35	0	0	0	0	0	0	-3,4	2	0	0	0	0,00	0,0000010877			
14	0		0	0	0	0	0	0	0	2,35	-6,4	3	0	0	0,00	0,0000003149			
15	0		0	0	0	0	0	0	0	0	2,35	-8,4	4	0	0,00	0,0000000447			
16	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,35	-10	5	0,00	0,0000000096			
17	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,35	-10	0,00	0,0000054848			
18																			
19																			
20																			
21	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	0,0000091772			
22	0,02		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,0200	0,00000174059			
23																			

Figura 8.8 – Modelagem para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 70\%$

O modelo de otimização em planilha eletrônica resultou num tráfego de 2,35 erlangs (em cinza). Também em cinza na Figura 8.8 estão as probabilidades de cada estado. A probabilidade de $P_1(0F0H)$ é de 0,11 (ou 11%).

Tem-se abaixo o diagrama de estados para o **limiar γ de 100%**:

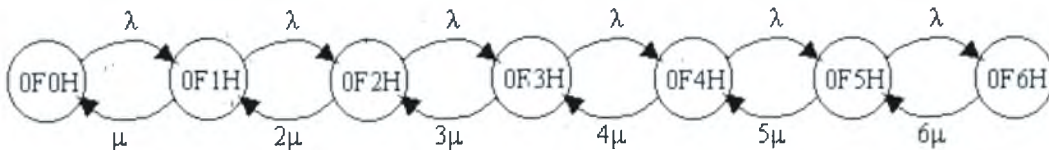


Figura 8.9 – Diagrama de Estados para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 100\%$

Abaixo tem-se as equações obtidas:

$$\begin{cases} -T.P_1(0F0H) + P_2(0F1H) = 0 \\ -(T+1).P_2(0F1H) + T.P_1(0F0H) + 2.P_3(0F2H) = 0 \\ -(T+2).P_3(0F2H) + T.P_2(0F1H) + 3.P_4(0F3H) = 0 \\ -(T+3).P_4(0F3H) + T.P_3(0F2H) + 4.P_5(0F4H) = 0 \\ -(T+4).P_5(0F4H) + T.P_4(0F3H) + 5.P_6(0F5H) = 0 \\ -(T+5).P_6(0F5H) + T.P_5(0F4H) + 6.P_7(0F6H) = 0 \\ -6.P_7(0F6H) + T.P_6(0F5H) = 0 \end{cases} \quad (8.5)$$

Com esse limiar, não existem conexões *Full Rate*. A probabilidade de bloqueio neste caso volta a ser dada pela probabilidade do último estado, $P(0F6H)$ e igual a 0,0201 (ou 2,01%). Os erros conseguidos estão indicados na Figura 8.10.

O modelo de otimização em planilha eletrônica resultou num tráfego de 2,28 erlangs (em cinza). Também em cinza na Figura 8.10 estão as probabilidades de cada estado. A probabilidade de $P_1(0F0H)$ é de 0,1 (ou 10%).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		TRAF											ERRO TOTAL	
2		2,28											0,0000528963	
3														
4			0,1	0,24	0,27	0,2	0,12	0,15	0,1					
5			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7		RESULT.		ERRO	
6	0		-2,3	1	0	0	0	0	0		0,00		0,0000047376	
7	0		2,28	-3,3	2	0	0	0	0		0,00		0,0000139045	
8	0		0	2,28	-4,3	3	0	0	0		0,00		0,0000073108	
9	0		0	0	2,28	-5,3	4	0	0		0,00		0,0000004953	
10	0		0	0	0	2,28	-6,3	5	0		0,00		0,0000000000	
11	0		0	0	0	0	2,28	-7,3	6		0,00		0,0000085315	
12	0		0	0	0	0	0	2,28	-6		0,00		0,0000179166	
13														
14														
15														
16	1		1	1	1	1	1	1	1		1,00		0,0000000865	
17	0,02		0	0	0	0	0	0	1		0,0201		0,0001303741	
18														

Figura 8.10 – Modelagem para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 100\%$

8.5 – ANÁLISE DE DADOS

Esta modelagem estatística utilizou métodos numéricos para encontrar os valores de tráfego correspondentes a um bloqueio de 2%. Os erros obtidos foram bastante pequenos o que resultou numa precisão da ordem de milésimos (vide figuras 8.4, 8.6, 8.8 e 8.10).

Nesta situação com 3 TSL os resultados dos limiares de $\gamma=0\%$ (todas as conexões *Full Rate*) e $\gamma=100\%$ (todas as conexões *Half Rate*) corresponderam aos valores da tabela Erlang B relativos a 3 canais e 6 canais respectivamente (vide capítulo 2 tabela 2.2).

Quanto menores os limiares γ , maiores as probabilidades dos estado de bloqueio com maior número de conexões *Full Rate*. Em contrapartida, quanto maiores os limiares γ , maiores as probabilidades dos estado de bloqueio com mais conexões *Half Rate*.

A capacidade de tráfego utilizando o limiar de $\gamma=70\%$ foi superior à capacidade de tráfego utilizando limiar de $\gamma=100\%$. Isso é incomum para números maiores de TSL, mas ocorre porque a equação 8.1 tem que ser atendida. Então um número grande de estados possíveis influencia nos resultados, requerendo um maior tráfego para obter uma certa porcentagem de bloqueio. No caso a 70% de limiar existem 12 estados possíveis, enquanto que no caso de limiar de 100% existem apenas 7 estados possíveis.

8.6 – ESTUDO DE CASO

Seja o caso apresentado com 3 TSL e limiar $\gamma=40\%$. Vide diagrama de estados abaixo:

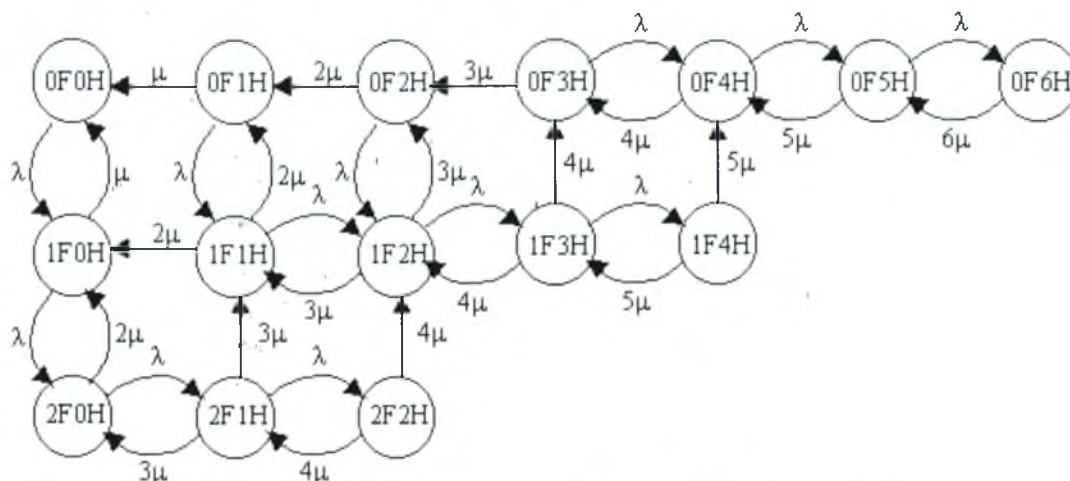


Figura 8.11 – Diagrama de Estados para o caso 3 TSL e limiar DH $\gamma = 40 \%$

Apenas por referência, suponha uma numeração de estados iniciando da esquerda para a direita e depois continuando de cima para baixo. Por exemplo o estado 1F1H é o estado número 9:

No início não existem chamadas alocadas e o sistema encontra-se no estado de zero chamadas *Full Rate* e zero chamadas *Half Rate* (0F0H – estado número 1). Existem 100% de conexões *FR* disponíveis, $\gamma = 100 \%$, que é um valor acima do limiar. Por isso, quando é alocada uma primeira chamada, a mesma é alocada em modo *FR*. E o sistema passa para o estado número 8 (1F0H) logo abaixo do estado inicial no diagrama da Figura 8.11. Nesse novo estado o sistema só possui agora 66,6% de conexões *FR* livres, *i.e.*, $\gamma = 66,6 \%$. Este valor ainda é acima do limiar de 40%, significando que a próxima chamada será alocada igualmente em modo *FR*. Quando a segunda chamada é alocada, passa-se para o estado número 13 (2F0H) e γ cai para 33,3% (um valor abaixo do limiar). Neste ponto não mais será possível alocar conexões *FR*, justamente porque γ está abaixo do limiar de 40%. Quando mais uma chamada é alocada, esta é alocada em modo *HR* (estado número 14 – 2F1H).

Caso a chamada *HR*, após algum tempo, chegue ao final, o sistema voltaria para o estado anterior (2F0H), caso uma das chamadas *FR* seja finalizada, o sistema passaria para um novo estado que antes não tinha ocorrido ainda (o estado número 9 – 1F1H). Nesse estado somente 1 conexão *FR* está disponível (mesmo que também exista uma outra conexão *HR* disponível). O γ é igual a 33,3% — que é abaixo do limiar de 40% — por isso caso uma nova chamada seja gerada, esta alocaria um recurso *HR*. Pode-se observar na Figura 8.11 que não existe uma seta direcionada para o estado logo abaixo (2F1H – estado número 14). Esta é uma transição proibida. E assim por diante é realizada a elaboração da Cadeia de Markov completa com todos os estados possíveis e todas as transições possíveis. Cada estado determina uma equação, o sistema de equações total se encontra reproduzido abaixo:

$$\begin{cases}
 -T.P_1(0F0H) + P_2(0F1H) + P_8(1F0H) = 0 \\
 -(T+1).P_2(0F1H) + 2.P_3(0F2H) + 2.P_9(1F1H) = 0 \\
 -(T+2).P_3(0F2H) + 3.P_4(0F3H) + 3.P_{10}(1F2H) = 0 \\
 -(T+3).P_4(0F3H) + 4.P_5(0F4H) + 4.P_{11}(1F3H) = 0 \\
 -(T+4).P_5(0F4H) + 5.P_6(0F5H) + 5.P_{12}(1F4H) + T.P_4(0F3H) = 0 \\
 -(T+5).P_6(0F5H) + 6.P_7(0F6H) + T.P_5(0F4H) = 0 \\
 -6.P_7(0F6H) + T.P_6(0F5H) = 0 \\
 -(T+1).P_8(1F0H) + 2.P_{13}(2F0H) + T.P_1(0F0H) + 2.P_9(1F1H) = 0 \\
 -(T+4).P_9(1F1H) + 3.P_{10}(1F2H) + 3.P_{14}(2F1H) + T.P_2(0F1H) = 0 \\
 -(T+6).P_{10}(1F2H) + 4.P_{11}(1F3H) + 4.P_{15}(2F2H) + T.P_3(0F2H) + T.P_9(1F1H) = 0 \\
 -(T+8).P_{11}(1F3H) + 5.P_{12}(1F4H) + T.P_{10}(1F2H) = 0 \\
 -10.P_{12}(1F4H) + T.P_{11}(1F3H) = 0 \\
 -(T+2).P_{13}(2F0H) + 3.P_{14}(2F1H) + T.P_8(1F0H) = 0 \\
 -(T+6).P_{14}(2F1H) + 4.P_{15}(2F2H) + T.P_{13}(2F0H) = 0 \\
 -8.P_{15}(2F2H) + T.P_{14}(2F1H) = 0
 \end{cases} \quad (8.7)$$

Seja o caso do penúltimo estado da Figura 8.11 (2F1H – estado número 14). Vê-se que 3 setas saem do estado, enquanto que 2 entram no mesmo. No equilíbrio, a probabilidade do estado número 14, $P_{14}(2F1H)$, multiplicada pelas probabilidades de transição de estado (representada sobre as setas saintes) deve ser igual à soma das probabilidades dos estados entrantes multiplicados pelas suas respectivas probabilidades de transição.

Ou seja:

$$P_{14}(2F1H).3\mu + P_{14}(2F1H).3\mu + P_{14}(2F1H).\lambda = P_{13}(2F0H).\lambda + P_{15}(2F2H).4\mu \quad (8.6)$$

Sabe-se que o tráfego $T = \lambda/\mu$. Assim, dividindo a equação 8.6 por μ e substituindo λ/μ por T , chega-se a:

$$-(T+6). P_{14}(2F1H) + 4 P_{15}(2F2H) + T. P_{13}(2F0H) = 0 \quad (8.7)$$

Que é justamente a penúltima equação do sistema de equação (8.7). Resolvendo o sistema para $T=2,20$ tem-se para a probabilidade de cada estado os seguintes resultados:

$P_1=16,1\%$; $P_2=7,8\%$; $P_3=4,7\%$; $P_4=1,9\%$; $P_5=1,4\%$; $P_6=0,6\%$; $P_7=0,2\%$; $P_8=27,5\%$;
 $P_9=7,8\%$; $P_{10}=4,7\%$; $P_{11}=1,1\%$; $P_{12}=0,2\%$; $P_{13}=18,5\%$; $P_{14}=5,7\%$ e $P_{15}=1,6\%$.

Para calcular o Bloqueio basta somar as probabilidades dos estados em que todas as conexões dos 3 TSL estão ocupadas:

$$P_7(0F6H) + P_{12}(1F4H) + P_{15}(2F2H) = 0,2 + 0,2 + 1,6 = 2\% \quad (8.8)$$

Vale lembrar que o estado 3F0H não é um estado possível para o limiar γ de 40%. Assim para 3 TSL, limiar $\gamma = 40\%$, bloqueio = 2% a capacidade de tráfego é de 2,20 erl.

8.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O problema de análise de capacidade de tráfego com a utilização de conexões *Dual Rate* é possível de ser modelado estatisticamente. Para que o problema ainda seja modelado com a utilização de Cadeias de Markov é preciso realizar um diagrama de estados para cada limiar. O processo, embora trabalhoso e dependente de certo esforço computacional é bem simples. E é útil na engenharia de tráfego para o dimensionamento de hardware de sistemas de telefonia celular.

9 - CONCLUSÕES

9.1 – OS MÉTODOS ABORDADOS

A estatística aplicada a telecomunicações é uma ferramenta poderosa para resolver problemas complexos que são também trabalhosos de resolver. Essas complicações aumentam quando existem muitas variantes de muitas variáveis e quando os fenômenos radio-móveis são complicados demais para serem descritos em termos simples. A teoria estatística aplicada a telecomunicações pode ser usada para analisar vários tipos de fenômenos naturais. Por exemplo, quando os parâmetros que descrevem o processo são aleatórios em sua natureza, existem algumas leis para defini-los. “As leis naturais não proporcionam respostas determinísticas, mas levam a resultados que podem ser sujeitos a avaliação estatística” [2].

Ao longo dos capítulos anteriores foram vistos 4 métodos estatísticos aplicados a processos de otimização de redes de comunicação móvel. Dentre as finalidades de cada um duas aplicações se destacaram: a detecção de falhas e a elaboração de um modelo estatístico voltado para engenharia de tráfego. No primeiro caso, a metodologia estatística vem aumentar o poder de visão do profissional de otimização. Algumas falhas que seriam de difícil detecção, com os métodos passam a ser bem mais observáveis.

No capítulo 5 tem-se o exemplo dos *time slots* defeituosos devido a falha específica de carga corrompida de software. Sabe-se que é muito pequena a probabilidade condicional de um dos *time slots* de voz de um rádio recair fora do intervalo de confiança de utilização média dado que os outros *time slots* de voz também recaíram fora. Assim fica evidenciada uma falha. Isso através de uma comparação com a utilização média de outros *time slots* de vozes com as mesmas características. E essa é a análise para apenas uma variável aleatória, que, no caso, foi o tempo médio de utilização. No exemplo utilizado viu-se que um rádio estava com mal funcionamento, já que as medições dos seus três *time slots* de voz recaíram fora do intervalo de confiança, o que é uma probabilidade condicional muito pequena. Aplicando-se uma nova carga de software, o funcionamento foi normalizado.

Também é possível detectar falhas valendo-se de uma análise bivariada de desempenho. O capítulo 6 trata desse tipo de problema. O exemplo utilizado foi o do teste de balanceamento de link, onde era esperada uma alta correlação entre as potências recebidas pelas antenas de um mesmo setor onde foi feito o teste. Apenas o cálculo da correlação entre as duas séries temporais poderia não evidenciar tanto a semelhança entre os dois sinais, devido à pequena defasagem entre as ondas. Contudo, através da observação do formato da curva/superfície tridimensional do histograma bivariado fica novamente melhor evidenciada a presença, ou não, de falhas. No estudo de caso foi possível a identificação de um erro de montagem de sistema irradiante envolvendo troca de antenas. E nesse caso em particular a troca aconteceu com antenas receptoras, ou seja, uma detecção mais difícil já que o problema não se manifesta nos dados de um *drive test* por exemplo.

Análise multivariada de desempenho foi o tema do capítulo 7. Ainda na área de detecção de falhas foi utilizado como exemplo o estudo de variáveis aleatórias ligadas a indicadores de desempenho do *GPRS (General Packet Radio Systems)* coletados da interface aérea do sistema durante um *drive test*. Muitas vezes o problema de identificar variáveis relevantes e como umas se relacionam com as outras pode ser complexo. Mas graças à aplicação do método foi possível reconhecer a variável “Valor C” como um indicador chave dentro do contexto da negociação de *throughput* dos protocolos da tecnologia *GPRS*. Caso o histograma bivariado do Valor C não tenha boa semelhança com o do *RxLevel* isso é um indício de falha. No estudo de caso apresentada foi confrontada com a teoria da literatura especializada demonstrando assim a coerência dos resultados obtidos.

O capítulo 8 não é como os três anteriores que versam sobre identificação de defeitos, mas também é igualmente importante. O exemplo utilizado mostrou a possibilidade de obter um novo modelo de capacidade de tráfego adaptado à nova realidade imposta pelas premissas de utilização da tecnologia *Half Rate*. Foi utilizada uma cadeia bidimensional de Markov e a solução computacional de sistemas lineares de n variáveis e n incógnitas por programação linear. A obtenção desse novo modelo de engenharia de tráfego não deixa de estar relacionada com o desempenho do sistema, pois um hardware mal dimensionado não obstante gera congestionamento e conseqüente perda de receita.

Ou, contrariamente, pode até não trazer congestionamento, mas causa baixa utilização, caracterizando desperdício de recursos. E faz parte do conceito moderno de administração atender com economia, pois satisfaz não só a clientes externos, mas ao principal cliente interno que é o acionista. O método é trabalhoso, então requer auxílio de ferramentas computacionais.

9.2 – FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

A eficiência de um método estatístico aplicado à otimização de redes de telefonia celular está ligada aos recursos computacionais utilizados para sua implementação. O esforço de evidenciar problemas se torna menor à medida em que tais recursos vão evoluindo. Assim a dificuldade de detecção das falhas tem se tornado uma tarefa cada vez mais fácil.

Talvez por isso tais métodos não tenham estado tão presentes no dia a dia dos profissionais de otimização de rede do passado. Hoje, com o uso cada vez mais simplificado, difundido e avançado de planilhas eletrônicas aliado à difusão sempre crescente de conhecimento de linguagens de programação entre os profissionais da área nos últimos anos, ficou viável superar etapas trabalhosas como:

- A construção de histogramas bivariados; ou
- Resolução de sistemas lineares de várias variáveis e várias incógnitas, ou ainda;
- Calcular a correlação de 50 variáveis combinadas 2 a 2.

Tarefas que sem o uso de uma informática um pouco mais avançada não poderiam ser automatizadas e então consumiriam bastante tempo.

Em especial o uso de planilhas eletrônicas tradicionais tende a ser cada vez mais frequente como ferramenta de trabalho, se talvez um pouco menos no meio acadêmico, pelo menos no meio profissional sim.

Uma das razões são as retromencionadas simplificações e potencializações das mesmas que permitem realizar cálculos complexos cada vez mais facilmente (por exemplo, a realização de cálculos de álgebra linear e a construção de gráficos tridimensionais e tabelas dinâmicas). Mas não somente isso, dentro das empresas sabe-se que o custo de aquisição de licenças de compiladores e ambientes de desenvolvimento de *softwares* é controlado. Então se torna interessante o fato de que algumas planilhas eletrônicas já possuem ambientes de desenvolvimento em *Visual Basic* inclusos nas suas mais recentes versões, bem como ferramentas de programação linear.

9.3 – SUGESTÃO DE TRABALHOS

O objetivo deste trabalho foi tão somente o de apresentar os métodos estatísticos e não o de estudar detalhadamente cada uma das aplicações utilizadas (TsD, TBL, *GPRS*, *Dual Rate*) as quais foram usadas apenas para ilustrar os mesmos.

Uma sugestão para pesquisas futuras é justamente realizar estudos aprofundados sobre tópicos interiores às telecomunicações móveis utilizando esses métodos e outros que possam ser criados (ou desenvolvidos) para *Data Mining*.

Uma outra opção é continuar o desenvolvimento do capítulo 8 para obtenção de uma tabela semelhante à popular tabela Erlang B, só que para várias taxas (γ) de utilização de *Half Rate* e bloqueio fixo em 2% para n quantidades de *time slots* de voz.

Tabela 9.1 — Tabela de Tráfego adaptada para *Half Rate*

Número de time slots de vozs	Taxa de HR	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	0,02											0,22
2	0,224											1,92
3	0,602											2,28
4	1,92											3,63
5	1,657											5,08
6	2,276											
7	2,935											
8	3,627											

9	4,345	
10	5,084	13,2
20	13,18	31
30	21,93	
40	31	
50	40,26	

(Bloqueio = 2%)

Outra opção de estudo seria verificar qual a influência de altas variâncias de sinal no *throughput* de pacotes *GPRS*. E que outros fatores, a parte o *C/I* (interferência) e o baixo *RxLevel*, poderiam causar baixo desempenho de *throughput*.

9.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Depreende-se do trabalho apresentado que a estatística pode ser um artifício valioso nos processos de otimização desempenhados pelas operadoras de telefonia móvel. Principalmente nesse momento em que por todo o mundo está acontecendo a implantação de sistemas 2,5G e 3G. Sistemas esses que exigem bom desempenho para o alcance de taxas máximas de transferência de dados.

Mas vale lembrar que a estatística é apenas uma ferramenta poderosa que não dispensa o conhecimento aprofundado das tecnologias e nuances dos padrões de telecomunicação, bem como base científica e bagagem teórico-prática específica de telecomunicações.

Um conceito moderno de administração chamado “Inteligência Competitiva” diz que uma quantidade de dados quase infinita está disponível, mas pode não ter muito valor. Salvo se estes dados forem acessados, os mesmos se transformaram em informação. Contudo ainda assim tal informação pode não significar tanto, se não for organizada propriamente. Organizadas elas caracterizam o conhecimento, o qual por sua vez, sendo utilizado caracteriza processos de inteligência. E no futuro aonde chegamos o fator velocidade se tornou algo básico nos processos inteligentes já que garante competitividade no promissor mercado de telecomunicações. E é nesse contexto que os métodos estatísticos aplicados a otimização das redes de telecomunicação móvel podem ser muito úteis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rappaport, T.S. (1996). *Wireless Communications – Principles and Practice*, Prentice Hall, New Jersey, USA
- [2] Lee, W.C.Y. (1997). *Mobile Communication Engineering: Theory and Applications*, McGraw-Hill, New York, EUA
- [3] Lee, W.C.Y. (1995). *Mobile Cellular Telecommunications: Analog and Digital System*, McGraw-Hill, New York, EUA
- [4] Pozar, David M. (1998). *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Massachusetts, USA
- [5] Collin, Robert E. (1992). *Foundations on Microwave Engineering*, McGraw-Hill, USA
- [6] Decibel (1999). *RF Communication*, Decibel Products, USA.
- [7] Ericsson (1998). *GSM System Survey*, Ericsson Radio Systems AB, São Paulo, Brasil.
- [8] Huemer, E.R (2000). *Guia Prático de Antenas* (Kathrein), Dinâmica Gráfica e Editora, São Paulo, SP
- [9] Garg, V.K. and Wilkes, J.E. (1999). *Principles & Applications of GSM*, Prentice Hall
- [10] Laiho, J; Wacker, A. and Novosad, T. (2002). *Radio Network Planning and Optimization for UMTS*; John Wiley & Sons, West Sussex, England
- [11] Akyildiz, I.F.; McNair, J.; Ho, J.; Uzunalioglu, H. and Wang, W. (1999). *Mobility Management in Next-Generation Wireless Systems*. Proceedings of the IEEE, August in http://www.sis.pitt.edu/~prashant/inf3965/pres_10_10_1.pdf
- [12] Halonen, T.; Romero, J. and Melero, J. (2001). *GSM, GPRS and EDGE Performance*, John Wiley & Sons, West Sussex, England
- [13] CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações). (2001). *Tráfego – Caderno de Treinamento*, Campinas, SP
- [14] Albright, S. and Winston, W.L. (2003). *Data Analysis & Decision Making – with Microsoft Excel*, Thomson Brooks/ColeMakon Books, Califórnia, USA
- [15] Bussab, W.O. e Morettin, P.A. (1990). *Estatística Básica: Métodos Quantitativos*, Atual Editora, São Paulo, SP

- [16] Downing, D. and Clark, J. (2002). *Estatística Aplicada*, Editora Saraiva, São Paulo, SP
- [17] ETSI (*European Telecommunication Standard Institute*). (1999). *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio Subsystem Link Control (3GPP TS 05.08 version 8.14.0 Release 1999)*
- [18] Lee, W.C.Y. (1973). "Effects of correlation between two Mobile Radio Base-Station Antennas" In: *IEEE Trans. Comm.*, 21, November, 1214-1224
- [19] Morley, G.D. and Grover, W.D. (2000). "Strategies to maximize Carried Traffic in Dual-Mode Cellular Systems" In: *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 49(2) March, 357-366
- [20] Nortel Networks (1994). "Nonmenu Commads Reference Manual – PARCHER Through QVIEW" In: *MTX006*, Volume 3 of 4 BCS36 and up, January
- [21] Nortel Networks (1996). "Wireless Networks DMS-MTX Growth Plannig (Traffic) MTX02" In: *MTX006*, April
- [22] Nortel Networks (1997). "Wireless Networks Base/Telecom Customer Service Data Schema" In: *MTX006*, Volume 2 of 4 and Volume 4 of 4 Base 8, October
- [23] Nortel Networks (1997). "Wireless Networks DMS-MTX Systems Optimization – Call Performance Manual MTX04" In: *MTX006*, January
- [24] Nortel Networks. (1997). "Wireless Networks Base/Telecom Log Reports Reference Manual" In: *MTX006*, Volume 3 of 4 Base 8, October
- [25] Nortel Networks. (1997). "Wireless Networks TDMA Deployment Guidelines for 800 MHz Cellular Systems" In: *MTX006*, May
- [26] Papoulis, A. (1991). *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*; McGraw-Hill, Singapura.
- [27] Spiegel, M.R.(1978). *Probabilidade e Estatística*, McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, SP
- [28] Yokoyama, H., Oda, T. and Nakamura, H. ano. (1997). "Dimentioning Dual-rate Acces Links of a Mobile Cellular Network" In: *ITC-5*, 517-526
- [29] Guedes, Leonardo G. de R., *Sistemas de Comunicação Móvel Celular*, Apostila, Universidade Federal de Goiás, 1996
- [30] <http://www.telemoveis.com/gprs/default.asp>
- [31] mobilegprs.com/whatis.htm "WHAT IS GPRS?"

- [32] sites.uol.com.br/helyr/secoes/sec_gprs.html
- [33] Revista IDGNow, 25/08/2003. Sites relacionados: yankeegroup.com; idgnow.terra.com.br
- [34] Revista Executivos Financeiros, 29/09/2003. Sites relacionados: pythia.com.br; executivosfinanceiros.com.br
- [35] Catálogo Nokia – Web Site: nokia.com
- [36] Catálogo Narda Microwave – Web Site: nardamicrowave.com
- [37] Heine, Gunnar (1998). , *GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation*, Artech House, London, England
- [38] Petrizzelli, Sandro (2003). *Appunti di Reti di Telecomunicazioni - Seminario sulla rete GSM*, Itália
- [39] Queseth, Olav; Gessler, Fredrik; Frodigh, Magnus (1998) “Algorithms for Link Adaptation in GPRS” Radio Communications Laboratory, Dept. of Signals, Sensors and Systems, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- [40] Couch II, Leon W. (1995) *Modern Communication Systems Principles and Applications* , Prentice Hall, New Jersey, USA

APÊNDICES

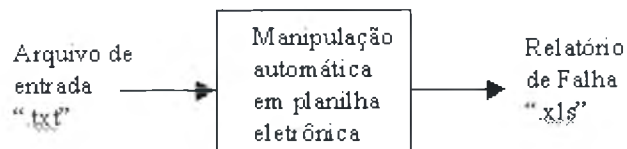
APÊNDICE A – *TIME SLOT* DEFEITUOSO

A1 - *SOFTWARE* DE APOIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE *TIME SLOTS* DEFEITUOSOS (CAP5)

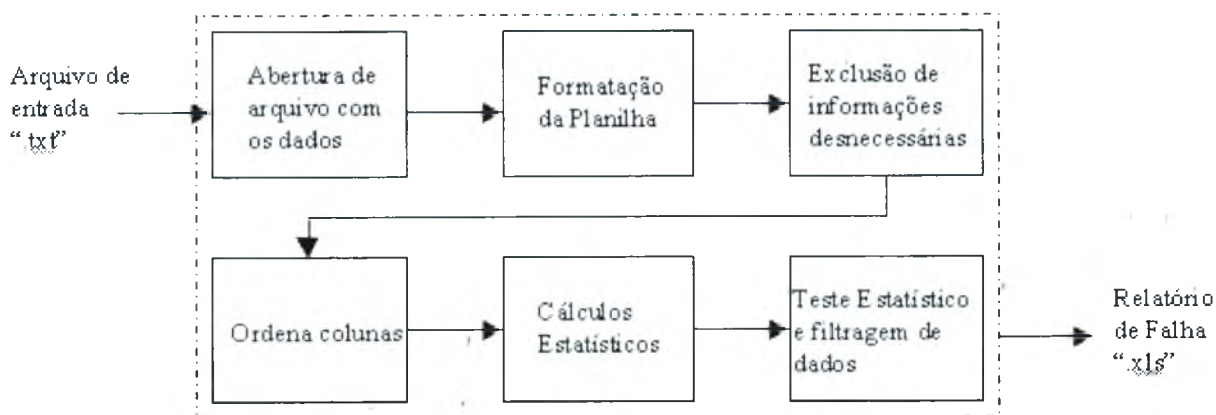
A ferramenta computacional utilizada para o processamento dos dados foi o *Excell* (Pacote *Microsoft Office*). A escolha dessa ferramenta é justificada pela sua larga utilização dentro das empresas. Os primeiros arquivos *ASCII* gerados pela *MSC* diariamente foram tratados sem auxílio de *software* para confecção de relatório (Relatório de Falha em Troncos). O tempo de preparação desse relatório ficava em torno de 3 horas; porque o número de troncos de um sistema de médio porte normalmente excede a quantidade de 1000 troncos. Assim, foi necessário o desenvolvimento de um *software* que agilizasse esse processo. Optou-se pela utilização de uma Macro de *Excell* com linguagem *VBA*, pelo mesmo motivo antes citado: a disponibilidade e o baixo custo associados à larga utilização do *software*.

Os DFD's (Diagrama de Fluxo de Dados) de nível 0, 1 e 2 são apresentados a seguir:

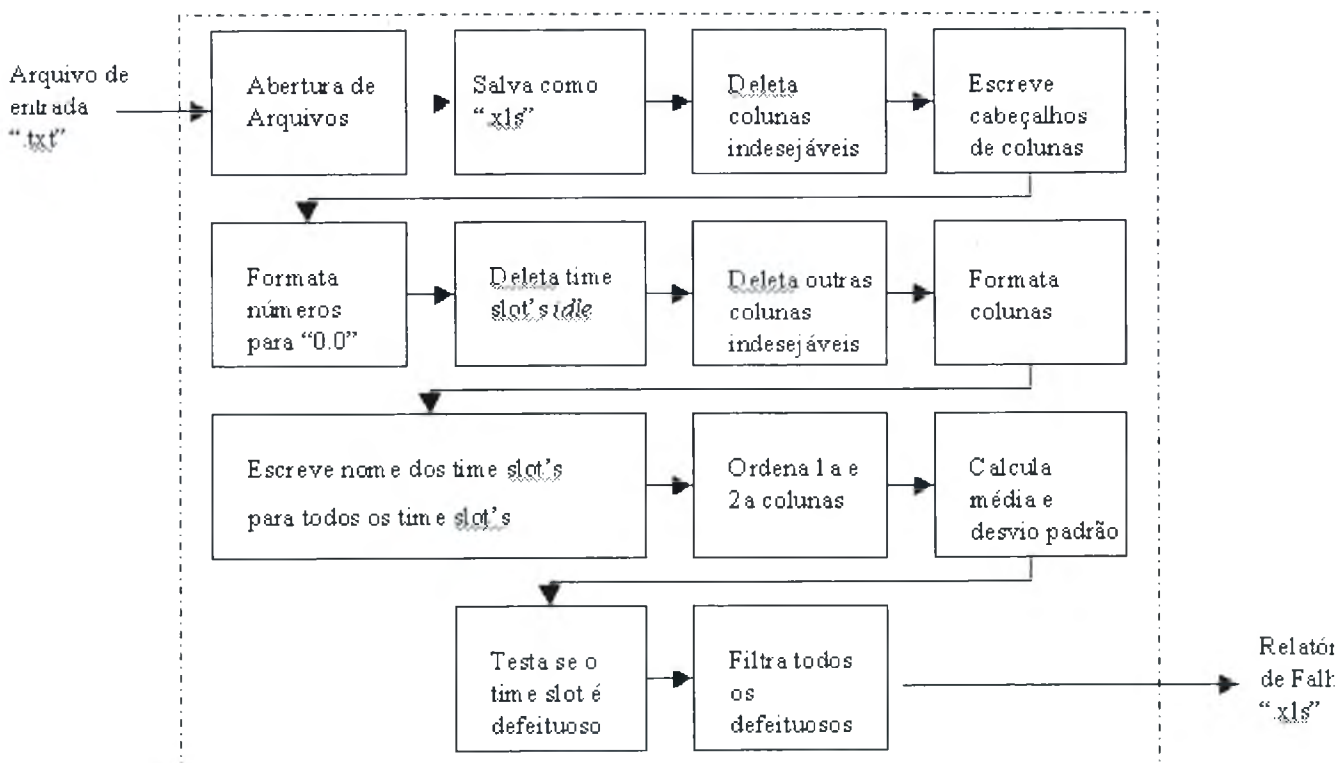
DFD de Nível 0



DFD de Nível 1



DFD de Nível 2



A.2- CÓDIGO EM VBA - MACRO EXCELL (CAP5)

```
Sub Macro_KillerTrunk()  
Macro_KillerTrunk Macro  
Atalho do teclado: Ctrl+Shift+K  
Variables Declaration  
Dim LastRow, TRKRow, SectorBegin, SectorEnd, Diference As Integer  
Dim TRKName, ActualSector As String  
Opening file  
Workbooks.OpenText FileName:="C:\Meus documentos\Mercado_DF\ktrk.txt", _  
Origin:=xlWindows, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited, TextQualifier:= _  
xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=True, Tab:=True, Semicolon:=False, _  
Comma:=False, Space:=True, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1, 1), _  
Array(2, 1), Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1), Array(6, 1), Array(7, 1), Array(8, 1))  
Saving with the name ktrk.xls  
ChDir "C:\Meus documentos\Mercado_DF"  
ActiveWorkbook.SaveAs FileName:="C:\Meus documentos\Mercado_DF\ktrk.xls", _  
FileFormat:=xlNormal, Password:="", WriteResPassword:="", _  
ReadOnlyRecommended:=False, CreateBackup:=False  
Deleting undesired rows and columns  
Rows("1:8").Select  
Selection.Delete Shift:=xlUp  
Columns("F:H").Select  
Selection.Delete Shift:=xlToLeft  
Setting Reader Row Bold  
Rows("1:1").Select  
Selection.Font.Bold = True  
Setting Reader Row Labels  
Range("F1").Select  
ActiveCell.FormulaR1C1 = "MÉDIA"  
Range("G1").Select  
ActiveCell.FormulaR1C1 = "SIGMA"  
Setting number format  
Columns("F:G").Select  
Range("F2").Activate  
Selection.NumberFormat = "0.0"  
Finding LastRow  
For Row = 1 To 5000  
If Cells(Row, 1) = "ACCUMULATION" Then  
LastRow = Row - 1  
GoTo 10  
End If  
Next Row  
10:  
Deleting Idle trunks  
For IdleRow = 1 To LastRow  
If Cells(IdleRow, 5) = "" Then
```

```

    Rows(IdleRow & ":" & IdleRow).Select
    Selection.Delete Shift:=xlUp
    IdleRow = IdleRow - 1
    LastRow = LastRow - 1
End If

```

```
Next IdleRow
```

```
Deleting undesired columns at the end
```

```
Rows(LastRow & ":" & (LastRow + 3)).Select
Selection.Delete Shift:=xlUp
```

```
Autofitting Columns
```

```
Cells.Select
Selection.Columns.AutoFit
```

```
Autofill link trunk names to all the lines
```

```
TRKName = Cells(2, 1)
```

```
For Row = 2 To LastRow
```

```
    If Cells(Row, 1) <> "" Then
```

```
        TRKRow = Row
```

```
        For AuxRow = TRKRow + 1 To LastRow
```

```
            If AuxRow = LastRow Then
```

```
                EndRow = LastRow
```

```
                GoTo 20
```

```
            End If
```

```
            If Cells(AuxRow, 1) <> "" Then
```

```
                EndRow = AuxRow - 1
```

```
                GoTo 20
```

```
            End If
```

```
        Next AuxRow
```

```
20:
```

```
    Range("A" & TRKRow).Select
```

```
    Selection.AutoFill Destination:=Range("A" & TRKRow & ":" & "A" & EndRow), Type:=xlFillDefault
```

```
    Range("A" & TRKRow & ":" & "A" & EndRow).Select
```

```
End If
```

```
Row = EndRow
```

```
Next Row
```

```
Cells(LastRow, 1) = ""
```

```
Sorting 1st and 2nd column
```

```
Columns("A:E").Select
```

```
Selection.Sort Key1:=Range("A2"), Order1:=xlAscending, Key2:=Range("B2") _
```

```
, Order2:=xlAscending, Header:=xlGuess, OrderCustom:=1, MatchCase:= _
```

```
False, Orientation:=xlTopToBottom
```

```
For Row = 2 To LastRow
```

```
    ActualSector = Cells(Row, 1)
```

```
    If ActualSector = "" Then
```

```
        GoTo 40
```

```
    End If
```

```
    SectorBegin = Row
```

```
    Finding SectorEnd
```

```
    For AuxRow = SectorBegin To LastRow
```



```

    If Cells(AuxRow, 1) <> ActualSector Then
        SectorEnd = AuxRow - 1
        GoTo 30
    End If
Next AuxRow
30:
Diference = SectorEnd - SectorBegin
    ' Calculating Average and Standard Deviation for each trunk
    Range("F" & SectorBegin).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=AVERAGE(RC[-1]:R[" & Diference & "]C[-1])"
    Range("G" & SectorBegin).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=STDEV(RC[-2]:R[" & Diference & "]C[-2])"
    ' Finding Average and Standard Deviation for every row
    Range("F" & SectorBegin & ":G" & SectorBegin).Select
    Selection.Copy
    Range("F" & (SectorBegin + 1)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
        False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.AutoFill Destination:=Range("F" & (SectorBegin + 1) & ":G" & SectorEnd), Type:=xlFillDefault
    Range("F" & (SectorBegin + 1) & ":G" & SectorEnd).Select
    Row = SectorEnd
    If Row > LastRow Then
        GoTo 40
    End If
Next Row
40:
    ' Inserting if test to identify KT's
    Range("H2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-3]<(RC[-2]-(2*RC[-1])),\"KT\",\"\")"
    Selection.AutoFill Destination:=Range("H2:H" & LastRow), Type:=xlFillDefault
    Range("H2:H" & LastRow).Select
    ' Autofiltering
    Columns("A:H").Select
    Selection.AutoFilter
    Selection.Columns.AutoFit
    Selection.AutoFilter Field:=8, Criteria1:="KT"
    Range("A1").Select
End Sub

```

A.3 - ARQUIVO DE DADOS ASCII - APENAS PARTE (CAP5)

OPERADORA_UF TsD000 MESDIA 11:59:58 9600 INFO TSDRK_REPORT

EXCEPTIONS

TsDPARMS CRITERIA: PEG HT TROUBLE
> 1 < 10000 DEFECTIVE TRUNK
> 1 SLOW RELEASE

```
=====
```

GROUP	MEMBER	PEG	USAGE	HT	TROUBLE
SETOR020XD	0	13	870	66	TsD AND SR
	1	13	710	54	TsD AND SR
	100	13	830	63	TsD AND SR
	101	13	940	72	TsD AND SR
	200	10	2510	251	TsD AND SR
	201	12	560	46	TsD AND SR
	102	13	870	66	TsD AND SR
	202	13	630	48	TsD AND SR
	2	13	1030	79	TsD AND SR
SETOR020YD	20	27	1010	37	TsD AND SR
	120	24	850	35	TsD AND SR
	220	23	1100	47	TsD AND SR
	21	25	1400	56	TsD AND SR
	121	23	1120	48	TsD AND SR
	221	22	1390	63	TsD AND SR
	122	26	940	36	TsD AND SR
	222	24	780	32	TsD AND SR
	123	26	1310	50	TsD AND SR
	223	26	1210	46	TsD AND SR
	124	27	1420	52	TsD AND SR
	224	23	1190	51	TsD AND SR
	23	27	1330	49	TsD AND SR
	22	27	950	35	TsD AND SR
	24	27	1340	49	TsD AND SR
	SETOR021XD	0	60	3580	59
1		64	3800	59	TsD AND SR
100		67	3310	49	TsD AND SR
101		64	2950	46	TsD AND SR
200		60	2960	49	TsD AND SR
201		60	3430	57	TsD AND SR
2		57	3820	67	TsD AND SR
102		58	3670	63	TsD AND SR
202		53	3860	72	TsD AND SR
3		64	2840	44	TsD AND SR
103		67	2960	44	TsD AND SR
203		60	3070	51	TsD AND SR
104		67	2570	38	TsD AND SR
204		62	3610	58	TsD AND SR
105		62	3010	48	TsD AND SR

	205	60	3610	60	TsD AND SR
	106	60	3460	57	TsD AND SR
	206	65	2790	42	TsD AND SR
	107	66	2530	38	TsD AND SR
	207	62	3090	49	TsD AND SR
	5	61	3150	51	TsD AND SR
	7	65	3520	54	TsD AND SR
	4	51	5010	98	TsD AND SR
	6	62	3120	50	TsD AND SR
SETOR021YD	20	44	1810	41	TsD AND SR
	21	43	2630	61	TsD AND SR
	22	46	1900	41	TsD AND SR
	23	45	2270	50	TsD AND SR
	24	45	2310	51	TsD AND SR
	120	42	2350	55	TsD AND SR
	121	43	1640	38	TsD AND SR
	122	47	1960	41	TsD AND SR
	123	43	2160	50	TsD AND SR
	124	44	2000	45	TsD AND SR
	220	44	1930	43	TsD AND SR
	221	39	2740	70	TsD AND SR
	222	46	2100	45	TsD AND SR
	223	45	2070	46	TsD AND SR
	224	41	2710	66	TsD AND SR
	125	39	2830	72	TsD AND SR
	225	42	2310	55	TsD AND SR
	126	42	2020	48	TsD AND SR
	226	43	1850	43	TsD AND SR
	127	45	2640	58	TsD AND SR
	227	44	2070	47	TsD AND SR
	26	43	2640	61	TsD AND SR
	25	43	2540	59	TsD AND SR
	27	44	2270	51	TsD AND SR
	28	44	2270	51	TsD AND SR
	128	35	3550	101	TsD AND SR
	228	45	1540	34	TsD AND SR
	29	44	2280	51	TsD AND SR
	129	46	2230	48	TsD AND SR
	229	47	2170	46	TsD AND SR
SETOR021ZD	40	90	3970	44	TsD AND SR
	41	92	4230	45	TsD AND SR
	42	86	4680	54	TsD AND SR
	43	88	4460	50	TsD AND SR
	140	81	4390	54	TsD AND SR
	141	87	4360	50	TsD AND SR
	142	74	5470	73	TsD AND SR
	143	85	4680	55	TsD AND SR
	240	87	3870	44	TsD AND SR

	241	86	3660	42	TsD AND SR
	242	81	4930	60	TsD AND SR
	243	90	4130	45	TsD AND SR
	144	94	3600	38	TsD AND SR
	244	83	5070	61	TsD AND SR
	44	87	4800	55	TsD AND SR
	45	76	5960	78	TsD AND SR
	145	96	4330	45	TsD AND SR
	245	102	3970	38	TsD AND SR
	46	81	5070	62	TsD AND SR
	146	87	4900	56	TsD AND SR
	246	83	5060	60	TsD AND SR
	47	94	4390	46	TsD AND SR
	147	84	5240	62	TsD AND SR
	247	78	5310	68	TsD AND SR
	48	56	6570	117	TsD AND SR
	148	76	5030	66	TsD AND SR
	248	69	6120	88	TsD AND SR
	49	80	5600	70	TsD AND SR
	149	90	5290	58	TsD AND SR
	249	87	5160	59	TsD AND SR
	50	83	5160	62	TsD AND SR
	150	76	5550	73	TsD AND SR
	250	89	4940	55	TsD AND SR
	51	89	4560	51	TsD AND SR
	151	85	5340	62	TsD AND SR
	251	88	4610	52	TsD AND SR
SETOR024XD	0	44	2830	64	TsD AND SR
	1	44	2130	48	TsD AND SR
	2	45	2180	48	TsD AND SR
	3	48	2240	46	TsD AND SR
	4	43	2370	55	TsD AND SR
	5	47	2390	50	TsD AND SR
	100	41	2550	62	TsD AND SR
	101	41	2670	65	TsD AND SR
	102	45	2090	46	TsD AND SR
	103	44	2310	52	TsD AND SR
	104	45	2640	58	TsD AND SR
	105	42	2900	69	TsD AND SR
	200	44	2160	49	TsD AND SR
	201	41	2310	56	TsD AND SR
	202	42	2080	49	TsD AND SR
	203	41	1880	45	TsD AND SR
	204	44	2140	48	TsD AND SR
	205	45	1850	41	TsD AND SR
SETOR024YD	20	67	4290	64	TsD AND SR
	21	81	2790	34	TsD AND SR
	22	71	3990	56	TsD AND SR
	23	76	3100	40	TsD AND SR

	120	64	3990	62	TsD AND SR
	121	72	4170	57	TsD AND SR
	122	77	3430	44	TsD AND SR
	123	73	3760	51	TsD AND SR
	220	71	3680	51	TsD AND SR
	221	75	3190	42	TsD AND SR
	222	75	2700	36	TsD AND SR
	223	63	3560	56	TsD AND SR
	24	72	3780	52	TsD AND SR
	124	80	3250	40	TsD AND SR
	224	72	2640	36	TsD AND SR
	25	81	2890	35	TsD AND SR
	125	71	3300	46	TsD AND SR
	225	68	3110	45	TsD AND SR
	26	79	3010	38	TsD AND SR
	126	76	3430	45	TsD AND SR
	226	76	2650	34	TsD AND SR
	27	72	3790	52	TsD AND SR
	127	72	3410	47	TsD AND SR
	227	78	3160	40	TsD AND SR
SETOR024ZD	40	105	4880	46	TsD AND SR
	41	126	3910	31	TsD AND SR
	42	105	5010	47	TsD AND SR
	43	122	4540	37	TsD AND SR
	140	95	5650	59	TsD AND SR
	141	108	4880	45	TsD AND SR
	142	108	4960	45	TsD AND SR
	143	111	4100	36	TsD AND SR
	240	104	4750	45	TsD AND SR
	241	104	4510	43	TsD AND SR
	242	103	4800	46	TsD AND SR
	243	111	3790	34	TsD AND SR
	44	108	4850	44	TsD AND SR
	144	98	5270	53	TsD AND SR
	244	94	5490	58	TsD AND SR
	45	115	4620	40	TsD AND SR
	145	101	4790	47	TsD AND SR
	245	112	3690	32	TsD AND SR
	46	149	1460	9	TsD AND SR
	146	148	1470	9	TsD AND SR
	246	148	1620	10	TsD AND SR
SETOR028XD	0	75	3560	47	TsD AND SR
	1	75	4080	54	TsD AND SR
	2	75	4010	53	TsD AND SR
	100	74	3280	44	TsD AND SR
	101	73	3790	51	TsD AND SR
	102	81	3360	41	TsD AND SR
	200	64	4060	63	TsD AND SR
	201	74	3370	45	TsD AND SR

	202	74	3550	47	TsD AND SR
	3	76	3680	48	TsD AND SR
	4	54	4790	88	TsD AND SR
	5	77	3060	39	TsD AND SR
	103	73	3380	46	TsD AND SR
	203	74	3430	46	TsD AND SR
	104	71	4150	58	TsD AND SR
	204	71	3370	47	TsD AND SR
	105	72	3600	50	TsD AND SR
	205	67	3710	55	TsD AND SR
SETOR028YD	20	42	2910	69	TsD AND SR
	21	43	2410	56	TsD AND SR
	120	43	2920	67	TsD AND SR
	121	41	2520	61	TsD AND SR
	220	42	3080	73	TsD AND SR
	221	40	2840	71	TsD AND SR
	22	44	2060	46	TsD AND SR
	23	46	2280	49	TsD AND SR
	24	42	3360	80	TsD AND SR
	25	41	2350	57	TsD AND SR
	26	43	2620	60	TsD AND SR
	126	45	2210	49	TsD AND SR
	122	44	2600	59	TsD AND SR
	123	41	2940	71	TsD AND SR
	124	45	2570	57	TsD AND SR
	125	42	2700	64	TsD AND SR
	226	46	2390	51	TsD AND SR
	27	41	2830	69	TsD AND SR
	222	41	2800	68	TsD AND SR
	223	41	1980	48	TsD AND SR
	224	43	2120	49	TsD AND SR
	225	46	2200	47	TsD AND SR
	127	43	2360	54	TsD AND SR
	227	38	3050	80	TsD AND SR
SETOR028ZD	40	40	1550	38	TsD AND SR
	41	40	2360	59	TsD AND SR
	140	41	1410	34	TsD AND SR
	141	41	2220	54	TsD AND SR
	240	40	1820	45	TsD AND SR
	241	36	1930	53	TsD AND SR
	43	42	1830	43	TsD AND SR
	143	42	1800	42	TsD AND SR
	243	39	2180	55	TsD AND SR
	42	42	2390	56	TsD AND SR
	142	38	2380	62	TsD AND SR
	242	38	1950	51	TsD AND SR

A.4- TABELAS PDF E CPD (CAP5)

Tabela A.1 – PDF e CPD (Cap 5)

Bloco	Dia1(Qua)		Dia2(Qui)		Dia3(Sex)		Dia5(Dom)		Dia6(Seg)	
	PDF	CPD	PDF	CPD	PDF	CPD	PDF	CPD	PDF	CPD
-4,5	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-4,25	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-4	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-3,75	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	2	,05%
-3,5	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,05%
-3,25	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,05%
-3	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	1	,08%
-2,75	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	2	,13%
-2,5	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	1	,16%
-2,25	4	,10%	1	,03%	2	,05%	0	,00%	2	,21%
-2	5	,24%	8	,23%	7	,24%	1	,03%	13	,55%
-1,75	21	,79%	19	,73%	28	,97%	14	,40%	41	1,62%
-1,5	50	2,10%	65	2,43%	64	2,64%	30	1,19%	86	3,87%
-1,25	151	6,05%	148	6,29%	132	6,09%	90	3,58%	167	8,24%
-1	245	12,47%	248	12,77%	230	12,11%	241	9,96%	254	14,88%
-0,75	348	21,59%	376	22,58%	334	20,84%	334	18,81%	300	22,72%
-0,5	474	34,01%	423	33,63%	456	32,77%	523	32,67%	388	32,87%
-0,25	491	46,87%	461	45,67%	480	45,32%	555	47,38%	388	43,02%
0	416	57,77%	399	56,08%	472	57,66%	500	60,63%	401	53,50%
0,25	341	66,70%	378	65,95%	365	67,21%	368	70,38%	405	64,10%
0,5	288	74,25%	316	74,20%	295	74,92%	275	77,66%	305	72,07%
0,75	240	80,53%	231	80,23%	220	80,67%	191	82,72%	281	79,42%
1	180	85,25%	202	85,51%	174	85,22%	153	86,78%	208	84,86%
1,25	153	89,26%	154	89,53%	154	89,25%	105	89,56%	154	88,89%
1,5	90	91,62%	115	92,53%	118	92,34%	88	91,89%	140	92,55%
1,75	97	94,16%	69	94,33%	79	94,40%	87	94,20%	90	94,90%
2	59	95,70%	67	96,08%	70	96,23%	46	95,42%	49	96,18%
2,25	44	96,86%	46	97,28%	38	97,23%	41	96,50%	51	97,52%
2,5	41	97,93%	28	98,02%	29	97,99%	35	97,43%	36	98,46%
2,75	29	98,69%	23	98,62%	29	98,74%	24	98,07%	33	99,32%
3	19	99,19%	15	99,01%	13	99,08%	17	98,52%	16	99,74%
3,25	11	99,48%	7	99,19%	10	99,35%	12	98,83%	7	99,92%
3,5	6	99,63%	11	99,48%	4	99,45%	13	99,18%	2	99,97%
3,75	4	99,74%	8	99,69%	8	99,66%	6	99,34%	1	100,00%
4	4	99,84%	5	99,82%	3	99,74%	8	99,55%	0	100,00%
4,25	2	99,90%	3	99,90%	2	99,79%	6	99,71%	0	100,00%
4,5	3	99,97%	2	99,95%	1	99,82%	3	99,79%	0	100,00%
Mais	0	100,00%	2	100,00%	7	100,00%	8	100,00%	0	100,00%

Bloco	Dia7(Ter)		Dia8(Qua)		Dia9(Qui)		Dia13(Seg)		Dia14(Ter)		Dia15(Qua)	
	PDF	CPD	PDF	CPD	PDF	CPD	PDF	CPD	PDF	CPD	PDF	CPD
-5	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-4,75	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-4,5	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-4,25	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-4	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-3,75	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-3,5	0	,00%	0	,00%	1	,03%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-3,25	1	,03%	0	,00%	0	,03%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-3	0	,03%	0	,00%	0	,03%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-2,75	0	,03%	0	,00%	0	,03%	0	,00%	0	,00%	0	,00%
-2,5	5	,16%	2	,05%	0	,03%	2	,05%	2	,05%	1	,03%
-2,25	3	,24%	3	,13%	3	,10%	5	,18%	2	,10%	7	,21%
-2	25	,89%	19	,62%	9	,34%	15	,58%	18	,58%	14	,57%
-1,75	52	2,25%	50	1,90%	45	1,51%	37	1,55%	38	1,57%	45	1,72%
-1,5	78	4,29%	72	3,75%	81	3,62%	87	3,83%	94	4,03%	95	4,17%
-1,25	165	8,60%	164	7,97%	159	7,75%	166	8,18%	141	7,73%	166	8,44%
-1	228	14,57%	257	14,58%	275	14,90%	244	14,58%	229	13,72%	279	15,62%
-0,75	288	22,10%	332	23,11%	306	22,86%	324	23,07%	320	22,11%	295	23,21%
-0,5	393	32,37%	378	32,83%	395	33,13%	391	33,32%	400	32,58%	383	33,06%
-0,25	408	43,04%	398	43,06%	418	44,01%	379	43,26%	424	43,69%	404	43,45%
0	389	53,22%	420	53,86%	407	54,59%	419	54,25%	429	54,92%	415	54,13%
0,25	394	63,52%	398	64,09%	335	63,30%	376	64,11%	361	64,38%	358	63,34%
0,5	325	72,02%	337	72,75%	362	72,72%	282	71,50%	331	73,05%	324	71,67%
0,75	270	79,08%	255	79,31%	264	79,58%	300	79,37%	265	79,99%	286	79,03%
1	212	84,62%	209	84,68%	203	84,86%	211	84,90%	193	85,04%	209	84,41%
1,25	173	89,15%	160	88,79%	167	89,21%	176	89,51%	178	89,71%	177	88,96%
1,5	128	92,49%	122	91,93%	120	92,33%	121	92,68%	100	92,33%	127	92,23%
1,75	96	95,01%	103	94,58%	96	94,82%	90	95,04%	91	94,71%	111	95,09%
2	61	96,60%	74	96,48%	70	96,64%	69	96,85%	69	96,52%	71	96,91%
2,25	44	97,75%	50	97,76%	38	97,63%	35	97,77%	50	97,83%	41	97,97%
2,5	37	98,72%	39	98,77%	23	98,23%	24	98,40%	34	98,72%	29	98,71%
2,75	25	99,37%	21	99,31%	29	98,99%	25	99,06%	13	99,06%	23	99,31%
3	12	99,69%	8	99,51%	21	99,53%	15	99,45%	13	99,40%	11	99,59%
3,25	1	99,71%	12	99,82%	8	99,74%	6	99,61%	7	99,58%	8	99,79%
3,5	5	99,84%	2	99,87%	3	99,82%	6	99,76%	7	99,76%	6	99,95%
3,75	4	99,95%	2	99,92%	2	99,87%	4	99,87%	3	99,84%	2	100,00%
4	0	99,95%	2	99,97%	2	99,92%	1	99,90%	1	99,87%	0	100,00%
4,25	2	100,00%	1	100,00%	0	99,92%	2	99,95%	2	99,92%	0	100,00%
4,5	0	100,00%	0	100,00%	1	99,95%	2	100,00%	0	99,92%	0	100,00%
4,75	0	100,00%	0	100,00%	2	100,00%	0	100,00%	0	99,92%	0	100,00%
5	0	100,00%	0	100,00%	0	100,00%	0	100,00%	1	99,95%	0	100,00%
Mais	0	100,00%	0	100,00%	0	100,00%	0	100,00%	2	100,00%	0	100,00%

APÊNDICE B – TESTE DE BALANCEAMENTO DE *LINK*

Tabela B.1 – Lista dos TBL's realizados (Aprovados e Reprovados)

		GRÁFICOS																					
Estação	Teste	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	X2	Y2	Z2	AZIM. TESTE	DIA DO TESTE
		X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1		
Estação 01	Teste 1			APROV																		X	a
	Teste 2																					Y	a
	Teste 3			APROV																		X	a
	Teste 4																					Y	a
	Teste 5								APROV													Y	b
	Teste 6																					Z	a
Estação 03	Teste 7			REPR																	X	a	
	Teste 8																				X	b	
	Teste 9																				X	c	
	Teste 10										REPR										Y	a	
Estação 04	Teste 11										REPR										Y	b	
	Teste 12											REPR									Z	a	
	Teste 13												REPR								Z	b	
Estação 05	Teste 14																				X	a	
	Teste 15										APROV										Y	a	
	Teste 16											APROV									Z	a	
Teste 17																					X	a	

Teste 18														X	b
Teste 19														Y	a
Teste 20														Y	b
Teste 21														Z	a
Teste 22														Z	b
Teste 23														X	a
Teste 24														X	b
Teste 25														X	c
Teste 26														X	d
Teste 27														Y	a
Teste 28														Y	b
Teste 29														Y	c
Teste 30														Z	a
Teste 31														Z	b
Teste 32														Z	c

Estação
06

APR
OV

REP
R

REP
R

REP
R

REP
R

REP
R

Rota
errada

Tabela B.2– Dados de TBL da Estação 3 antes, quando as antenas estavam trocadas

Amostra	Z1	Z2	Amostra	Z1	Z2	Amostra	Z1	Z2	Amostra	Z1	Z2
1	-129.60	-83.70	61	-128.40	-99.00	121	-127.60	-88.80	181	-122.90	-90.70
2	-128.00	-81.70	62	-130.00	-96.20	122	-128.00	-90.70	182	-128.00	-89.20
3	-127.60	-82.90	63	-130.00	-92.70	123	-130.00	-90.00	183	-126.80	-102.90
4	-129.20	-82.90	64	-130.00	-100.10	124	-126.80	-89.20	184	-128.40	-89.60
5	-128.00	-82.90	65	-128.40	-93.90	125	-128.00	-87.60	185	-129.60	-91.50
6	-128.80	-83.30	66	-130.00	-91.50	126	-130.00	-91.90	186	-129.60	-88.80
7	-126.00	-88.80	67	-130.00	-99.40	127	-128.40	-96.20	187	-127.60	-84.90
8	-130.00	-96.20	68	-130.00	-99.00	128	-130.00	-99.00	188	-125.20	-90.00
9	-127.60	-89.60	69	-130.00	-95.00	129	-130.00	-91.50	189	-125.60	-95.00
10	-130.00	-90.30	70	-130.00	-93.50	130	-130.00	-88.40	190	-128.80	-93.50
11	-130.00	-93.50	71	-129.60	-95.40	131	-130.00	-95.00	191	-129.60	-94.30
12	-130.00	-93.10	72	-129.60	-92.30	132	-130.00	-92.30	192	-130.00	-98.60
13	-129.60	-83.70	73	-130.00	-93.90	133	-130.00	-99.80	193	-128.80	-93.90
14	-130.00	-91.90	74	-130.00	-91.10	134	-130.00	-94.30	194	-128.80	-91.50
15	-130.00	-100.90	75	-126.80	-85.60	135	-129.60	-92.70	195	-128.40	-84.90
16	-130.00	-93.10	76	-130.00	-96.60	136	-129.60	-96.20	196	-128.40	-90.70
17	-130.00	-91.10	77	-130.00	-87.60	137	-129.20	-96.20	197	-130.00	-104.10
18	-130.00	-95.80	78	-128.80	-88.40	138	-130.00	-90.70	198	-130.00	-89.20
19	-130.00	-91.90	79	-129.60	-90.00	139	-130.00	-95.00	199	-129.20	-88.80
20	-124.50	-90.00	80	-129.20	-88.40	140	-130.00	-96.20	200	-127.60	-96.20
21	-130.00	-94.70	81	-125.20	-80.50	141	-130.00	-93.90	201	-130.00	-91.50
22	-130.00	-91.10	82	-124.50	-95.00	142	-130.00	-91.50	202	-130.00	-97.40
23	-130.00	-92.70	83	-124.10	-93.50	143	-130.00	-96.20	203	-129.20	-94.70
24	-130.00	-93.50	84	-129.60	-95.00	144	-130.00	-93.90	204	-129.60	-97.80
25	-128.00	-84.90	85	-124.10	-79.80	145	-130.00	-95.00	205	-130.00	-95.00
26	-129.20	-90.70	86	-121.70	-84.50	146	-130.00	-89.20	206	-130.00	-96.20
27	-130.00	-87.60	87	-129.20	-97.40	147	-128.40	-94.30	207	-130.00	-97.00
28	-128.40	-93.50	88	-121.30	-88.00	148	-126.40	-86.00	208	-130.00	-90.70
29	-127.60	-87.60	89	-119.00	-88.40	149	-130.00	-84.50	209	-130.00	-99.40
30	-130.00	-90.30	90	-121.70	-86.80	150	-129.60	-91.50	210	-130.00	-88.80
31	-125.20	-87.60	91	-120.50	-89.60	151	-130.00	-96.60	211	-130.00	-103.30
32	-130.00	-93.90	92	-126.40	-94.70	152	-130.00	-88.00	212	-130.00	-96.60
33	-125.60	-83.30	93	-127.20	-87.20	153	-127.60	-94.30	213	-130.00	-98.60
34	-122.90	-84.90	94	-119.40	-90.00	154	-124.10	-85.60	214	-126.80	-99.40
35	-121.30	-86.80	95	-123.30	-87.60	155	-124.90	-90.30	215	-130.00	-90.70
36	-129.60	-87.60	96	-122.90	-84.10	156	-124.90	-82.50	216	-128.40	-93.10
37	-130.00	-84.50	97	-117.40	-90.00	157	-120.90	-82.90	217	-130.00	-88.40
38	-130.00	-108.80	98	-126.80	-88.40	158	-126.80	-85.20	218	-130.00	-85.60
39	-129.60	-83.70	99	-124.50	-87.60	159	-122.90	-88.80	219	-126.00	-88.80
40	-124.90	-86.40	100	-128.00	-85.20	160	-125.60	-88.80	220	-124.50	-90.00
41	-130.00	-91.10	101	-123.30	-86.00	161	-120.50	-81.30	221	-128.80	-98.20
42	-130.00	-86.40	102	-127.20	-85.60	162	-122.10	-83.70	222	-129.20	-91.50
43	-130.00	-83.70	103	-130.00	-91.10	163	-127.60	-89.60	223	-130.00	-81.30
44	-125.20	-87.60	104	-128.00	-83.70	164	-130.00	-81.30	224	-124.90	-81.30
45	-125.20	-88.00	105	-130.00	-84.10	165	-129.20	-89.20	225	-130.00	-85.20
46	-124.50	-86.80	106	-126.40	-85.20	166	-129.60	-90.30	226	-130.00	-82.90
47	-122.10	-84.10	107	-122.50	-88.00	167	-126.40	-84.90	227	-119.80	-90.00
48	-122.90	-93.50	108	-130.00	-88.00	168	-126.80	-87.60	228	-129.60	-85.20
49	-130.00	-88.40	109	-128.40	-90.00	169	-122.90	-84.90	229	-128.80	-81.30
50	-129.20	-89.20	110	-125.20	-87.60	170	-121.30	-90.30	230	-129.20	-91.50
51	-122.10	-82.90	111	-123.30	-88.80	171	-120.10	-82.90	231	-124.50	-89.20
52	-123.30	-86.40	112	-128.40	-81.70	172	-124.50	-87.20	232	-118.20	-87.60
53	-128.80	-89.20	113	-126.00	-87.20	173	-130.00	-99.40	233	-119.00	-83.70
54	-130.00	-99.00	114	-125.60	-95.80	174	-130.00	-86.40	234	-121.30	-91.10
55	-128.80	-89.60	115	-127.60	-84.50	175	-127.20	-89.20	235	-126.80	-95.80
56	-128.00	-90.70	116	-126.40	-89.60	176	-130.00	-82.50	236	-126.40	-87.20
57	-130.00	-98.20	117	-126.00	-91.10	177	-127.60	-93.90	237	-127.60	-95.00
58	-130.00	-87.20	118	-122.90	-86.40	178	-127.20	-87.20	238	-125.60	-84.10
59	-128.80	-94.30	119	-130.00	-90.30	179	-128.40	-92.70	239	-122.50	-92.30
60	-130.00	-93.10	120	-126.80	-88.00	180	-126.00	-89.60	240	-126.40	-82.10

EXEMPLO DE ARQUIVO ASCII – APENAS PARTE (VIDE CAP6)

771 -123,3 -100,5 -130,0 -122,5 -123,3 -124,1

771 -124,1 -100,5 -130,0 -121,3 -123,7 -123,7

771 -122,1 -100,1 -130,0 -122,1 -122,9 -124,1

771 -124,1 -100,9 -130,0 -122,5 -122,9 -124,5

771 -123,7 -100,9 -130,0 -122,1 -123,3 -124,1

771 -123,7 -100,5 -130,0 -122,5 -122,9 -123,7

771 -123,7 -100,9 -130,0 -122,5 -123,7 -124,5

771 -123,3 -100,9 -130,0 -122,1 -123,3 -122,9

771 -124,1 -100,1 -130,0 -122,5 -123,3 -124,1

771 -122,1 -100,5 -130,0 -122,1 -123,3 -124,1

771 -103,3 - 99,4 -130,0 -110,3 -109,2 - 83,7 **(PRIMEIRA LINHA APÓS INÍCIO DA TRANSMISSÃO DO TELEFONE)**

771 -102,1 - 99,8 -129,6 -104,5 -106,0 - 83,7

771 - 99,4 - 98,6 -128,0 -101,7 -106,4 - 81,7

771 -100,5 - 99,0 -127,6 - 99,4 -104,9 - 82,9

771 -102,1 - 99,4 -129,2 -104,9 -107,2 - 82,9

771 -101,3 - 98,6 -128,0 -104,5 -107,2 - 82,9

771 -101,3 - 98,2 -128,8 -102,5 -108,0 - 83,3

771 -108,4 - 99,0 -126,0 -109,6 -109,6 - 88,8

771 -103,7 - 97,4 -130,0 - 95,4 -113,1 - 96,2

Tabela B.3a– Dados de TBL da Estação 3 depois, quando as antenas estavam destrocadas

Amostra	Z1	Z2	Amostra	Z1	Z2	Amostra	Z1	Z2	Amostra	Z1	Z2
1	-95,00	-96,20	51	-91,50	-89,60	101	-87,60	-84,50	151	-91,90	-95,00
2	-95,80	-95,80	52	-91,10	91,10	102	-80,50	-104,90	152	-85,60	-92,30
3	-96,60	-98,20	53	-95,40	-94,30	103	-89,60	-88,00	153	-93,50	-89,20
4	-92,30	-100,10	54	-89,20	-87,60	104	-85,60	-81,70	154	-96,20	-90,00
5	-90,30	-85,60	55	-93,90	-87,20	105	-94,70	-82,10	155	-95,00	-95,80
6	-90,30	-87,20	56	-90,30	-85,60	106	-84,10	-90,00	156	-84,50	-85,20
7	-90,70	-90,00	57	-85,60	-86,00	107	-93,50	-84,50	157	-83,30	-81,30
8	-91,90	-91,90	58	-88,40	-84,90	108	-92,30	-84,10	158	-87,20	-88,00
9	-94,70	-86,40	59	-86,40	-86,00	109	-86,80	-92,70	159	-81,70	-79,00
10	-95,40	-90,70	60	-91,90	-84,90	110	-86,40	-89,60	160	-86,40	-85,60
11	-97,00	-105,20	61	-85,60	-87,60	111	-90,30	-88,00	161	-82,50	-82,90
12	-88,00	-93,90	62	-88,40	-92,70	112	-86,00	-84,10	162	-93,50	-90,70
13	-83,70	-90,70	63	-84,90	-87,60	113	-92,70	-84,50	163	-85,60	-97,00
14	-93,50	-88,40	64	-90,70	-92,30	114	-91,10	-88,00	164	-92,70	-95,00
15	-88,40	-83,70	65	-90,00	-89,20	115	-95,40	-94,70	165	-89,20	-94,70
16	-88,40	-86,00	66	-92,30	-86,00	116	-84,90	-94,30	166	-88,80	-93,10
17	-83,70	-95,40	67	-88,80	-90,70	117	-87,60	-91,50	167	-86,40	-91,10
18	-86,00	-90,30	68	-90,30	-87,60	118	-91,10	-90,70	168	-84,90	-90,00
19	-86,80	-87,20	69	-87,60	-93,10	119	-83,30	-81,70	169	-93,90	-86,80
20	-91,90	-86,40	70	-94,70	-91,50	120	-91,90	-82,10	170	-88,00	-81,70
21	-83,70	-94,30	71	-96,20	-92,30	121	-89,20	-82,50	171	-85,20	-87,20
22	-95,00	-81,70	72	-90,70	-96,60	122	-84,90	-84,10	172	-89,20	-95,80
24	-85,60	-99,00	74	-93,10	-92,70	124	-86,80	-81,30	174	-84,50	-93,90
25	-90,30	-86,00	75	-90,30	-95,00	125	-92,70	-88,00	175	-95,00	-93,90
26	-82,90	-89,60	76	-90,30	-91,90	126	-91,90	-88,80	176	-86,00	-84,90
27	-91,90	-94,70	77	-91,90	-89,60	127	-82,10	-83,70	177	-86,80	-85,60
28	-92,70	-83,30	78	-87,60	-90,30	128	-87,60	-82,90	178	-89,20	-83,70
29	-82,10	-84,10	79	-96,60	-93,50	129	-88,00	-95,00	179	-85,20	-86,00
30	-80,50	-80,90	80	-93,90	-94,30	130	-95,40	-97,80	180	-92,70	-90,30
31	-82,10	-86,00	81	-87,60	-99,40	131	-92,70	-86,40	181	-91,10	-93,10
32	-85,20	-84,90	82	-90,70	-83,30	132	-87,60	-86,80	182	-90,70	-88,00
33	-86,40	-83,70	83	-88,40	-86,80	133	-91,10	-87,60	183	-91,10	-99,00
34	-86,00	-85,20	84	-90,70	-91,90	134	-91,50	-95,40	184	-90,00	-91,90
35	-86,80	-85,60	85	-95,40	-87,60	135	-90,30	-87,20	185	-91,90	-90,30
36	-87,60	-82,90	86	-90,70	-87,20	136	-91,50	-90,00	186	-86,40	-97,80
38	-88,40	-89,60	88	-91,10	-87,60	138	-89,20	-93,50	188	-93,10	-81,70
39	-94,30	-82,90	89	-93,90	-87,60	139	-95,80	-91,50	189	-87,20	-96,20
40	-90,70	-80,90	90	-89,20	-90,00	140	-87,60	-93,10	190	-90,70	-86,00
41	-90,70	-86,80	91	-90,30	-80,10	141	-93,50	-89,20	191	-86,40	-83,30
42	-88,40	-92,70	92	-88,40	-78,20	142	-90,70	-92,30	192	-91,10	-87,20
43	-89,20	-90,00	93	-89,20	-92,30	143	-93,50	-89,60	193	-87,60	-87,20
44	-84,50	-89,20	94	-96,20	-92,30	144	-84,10	-97,40	194	-86,80	-85,60
45	-86,00	-90,70	95	-86,80	-84,10	145	-93,10	-85,60	195	-89,20	-90,30
46	-85,20	-106,00	96	-90,00	-87,60	146	-85,20	-90,00	196	-85,20	-84,90
47	-88,00	-91,50	97	-87,20	-85,20	147	-93,50	-88,00	197	-85,60	-95,00
48	-91,50	-87,20	98	-87,20	-84,90	148	-82,10	-90,30	198	-93,10	-91,50
49	-87,60	-99,40	99	-95,00	-84,90	149	-90,70	-93,90	199	-91,50	-85,20
50	-89,60	-86,80	100	-86,40	-85,20	150	-85,60	-87,60	200	-93,50	-103,30

Tabela B.3b– Dados de TBL da Estação 3 depois, quando as antenas estavam destruídas

Amostra	Z1	Z2	Amostra	Z1	Z2	Amostra	Z1	Z2
201	-90,00	-109,20	249	-94,30	-89,60	297	-90,00	-93,50
202	-94,30	-93,10	250	-88,40	-95,80	298	-89,60	-91,50
203	-84,90	-87,60	251	-85,20	-87,60	299	-88,00	-91,90
204	-94,30	-95,00	252	-84,90	-92,30	300	-88,40	-92,30
205	-88,40	-84,90	253	-84,50	-93,10	301	-88,00	-88,80
206	-90,30	-91,10	254	-86,80	-93,50	302	-96,60	-89,60
207	-91,90	-102,50	255	-90,00	-87,20	303	-91,50	-92,30
208	-91,10	-91,90	256	-89,60	-80,90	304	-90,70	-91,90
209	-87,20	-95,80	257	-90,00	-82,90	305	-91,90	-92,70
210	-85,20	-93,50	258	-86,40	-93,90	306	-93,10	-91,90
211	-92,30	-94,70	259	-86,40	-90,30	307	-90,00	-84,90
212	-88,00	-91,10	260	-85,60	-84,50	308	-82,90	-104,90
213	-95,80	-95,00	261	-92,30	-98,60	309	-84,90	-95,80
214	-91,10	-93,90	262	-91,10	-87,60	310	-88,00	-93,10
215	-85,20	-91,10	263	-85,20	-93,90	311	-97,00	-122,10
216	-87,60	-89,60	264	-88,00	-85,20	312	-97,40	-122,50
217	-94,30	-90,00	265	-92,30	-90,30	313	-96,60	-122,50
218	-90,70	-91,50	266	-93,50	-87,60	314	-97,00	-122,50
219	-89,20	-89,60	267	-82,10	-84,50	315	-97,00	-122,10
220	-88,80	-88,00	268	-87,20	-84,90	316	-97,40	-122,10
221	-91,10	-91,10	269	-90,30	-84,50	317	-97,00	-122,50
222	-84,50	-83,70	270	-89,60	-87,60	318	-97,00	-122,90
223	-88,40	-82,50	271	-86,80	-90,30	319	-97,80	-121,70
224	-81,70	-97,80	272	-91,90	-88,80	320	-97,40	-122,90
225	-83,30	-80,50	273	-86,40	-90,30	321	-97,80	-122,50
226	-91,90	-85,20	274	-92,30	-91,90	322	-97,80	-122,50
227	-88,80	-87,20	275	-81,70	-91,10	323	-98,20	-122,10
228	-86,00	-93,90	276	-84,90	-88,80	324	-97,80	-121,70
229	-81,30	-84,50	277	-90,70	-90,30	325	-97,40	-122,10
230	-95,00	-82,10	278	-90,70	-89,20	326	-97,40	-122,10
231	-90,00	-95,80	279	-95,40	-86,40	327	-97,80	-122,50
232	-97,00	-95,40	280	-90,70	-92,70			
233	-90,30	-82,50	281	-96,60	-89,20			
234	-80,50	-82,90	282	-89,60	-93,50			
235	-90,70	90,00	283	-95,00	-97,40			
236	-81,70	-101,70	284	-88,00	-88,40			
237	-83,70	-92,70	285	-95,40	-97,80			
238	-91,10	-85,20	286	-89,20	-91,50			
239	-90,70	-95,40	287	-92,70	-91,50			
240	-90,00	-88,00	288	-94,30	-91,10			
241	-94,70	-91,50	289	-93,90	-99,80			
242	-84,90	-84,50	290	-90,00	-96,20			
243	-88,40	-87,20	291	-88,80	-88,00			
244	-90,70	-92,70	292	-92,70	-87,20			
245	-88,80	-88,00	293	-90,30	-94,70			
246	-94,30	-93,90	294	-95,00	-96,20			
247	-92,30	-90,30	295	-90,70	-103,70			
248	-97,00	-86,80	296	-90,30	-101,70			

APÊNDICE C – DRIVE TEST GPRS

C.1 – CÓDIGO EM VBA UTILIZADO NO CAP. 6

```
MacroCorrelation Macro

Dim LastRow, LastColumn, ResultRow As Integer

Find Last Row
For Row = 2 To 65535
    If Cells(Row, 1) = "" Then
        LastRow = Row - 1
        GoTo 10
    End If
Next
10:
Find last Column
For Column = 1 To 255
    If Cells(1, Column) = "" Then
        LastColumn = Column - 1
        GoTo 20
    End If
Next
20:
ResultRow = 2
For Column2 = 1 To LastColumn
    For Column3 = 1 To LastColumn
        Cells(ResultRow, LastColumn + 2) = Cells(1, Column2)
        Cells(ResultRow, LastColumn + 3) = Cells(1, Column3)
        Cells(ResultRow, LastColumn + 4).Select
        ActiveCell.FormulaR1C1 = _
            "=CORREL(R[-" & ResultRow - 2 & "]C[-" & LastColumn + 4 - Column2 & "]:R[" & LastRow - 2 - (ResultRow - 2) & "]C[-" & LastColumn + 4 - Column2 & "].R[-" & ResultRow - 2 & "]C[-" & LastColumn + 4 - Column3 & "]:R[" & LastRow - 2 - (ResultRow - 2) & "]C[-" & LastColumn + 4 - Column3 & "])"
        Cells(ResultRow, LastColumn + 2).Select
        ResultRow = ResultRow + 1
    Next
Next
End Sub
```


C.2 - DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS

Tabela C.1 – Descrição de Variáveis da interface aérea do Drive Test de GPRS.

Categoria	Parâmetro / Estados	Descrição
GMM Estados de Serviço	Stand By	O telefone está conectado na rede.
	Ready	O telefone estabeleceu um contexto PDP.
	Idle	O telefone não está conectado na rede e nenhum contexto PDP foi estabelecido, mas o mesmo encontra-se acampado.
	No Service	O telefone não está conectado à rede.
SM Indicadores de Estado	PDP Inactive	A rede aceitou uma desconexão do contexto PDP ou nunca teve um contexto PDP estabelecido. Este é normalmente o estado em que o telefone se encontra quando é inicialmente ligado.
	PDP Active Pending	A rede recebeu uma solicitação para estabelecer um contexto PDP. Esta é uma solicitação feita pelo móvel.
	PDP Inactive Pending	A rede ou o móvel solicitou a terminação de um contexto PDP.
	PDP Active	A rede forneceu um contexto PDP e está pronta para transferência de dados.
SNDCP Compression	Header Compression	Header Compression (Compressão de Cabeçalho) é a compressão da informação de controle do protocolo não utilizada, por exemplo cabeçalhos TCP/IP.
	Data Compression at transmission and reception	Data Compression (Compressão de Dados) é a compressão dos dados não utilizados pelo usuário.
	P-TMSI	Mostra o Packet TMSI para a célula atualmente usada pelo móvel.
	TLLI	Mostra o identificador do Temporary Logical Link Layer. O TLLI é usado apenas nos blocos de dados RLC de uplink. Este valor só é transmitido nos 3 primeiros blocos de dados RLC.
	LAC	Location area Code
	RAC	Routing Area Code
	MNC	Mobile Network Code
	MCC	Mobile Country Code
RLC / MAC Information C Value (dBm)		Média do Sinal Recebido
	Output Power	Mostra a potência do burst dual
	Sign Variance	Variância do Sinal. Altos valores podem levar a uma conexão pobre.
	MS Class	Mostra a classe multislot do móvel
	Packet TCH	Tráfego no canal de dados

	Packet TA	Time Advance do pacote
	Allocation Type	Mostra o tipo de alocação de time slot
	Dynamic	Time Slot pode variar sob demanda
	Fixed	Como a comutação por circuito
	No allocation	Ainda não foi alocado
	TS Allocation	Mostra os time slots em uso no Downlink e no Uplink
	Code Scheme	Mostra os code scheme em uso no Downlink e no Uplink
	Temporary Block Flow	Mostra o status de TBF Open. O frame do bloco está sendo transmitido. TBF Closed: nada está sendo transmitido.
	Temporary Flow Identifier	O TFI é incluído em cada cabeçalho RLC de um bloco de dados
Quality of Service	RLC BLER (%)	% de Erro de Blocos
	ReTx RLC Block State	Blocos de controle retransmitidos
	RLC / MAC Data Throughput (kbps)	Vazão de Dados
	ReTx LLC Frame Rate (%)	Taxa de retransmissão do bloco LLC
	LLC Data Throughput (kbps)	Vazão de Dados relacionada à camada LLC

APÊNDICE D – PROGRAMAÇÃO LINEAR

D.1 – VISÃO GERAL (CAP8)

A Programação Linear trata do problema específico de Maximizar ou minimizar uma função do tipo:

$$f(x_1, \dots, x_n) = a_1x_1 + \dots + a_nx_n + b \quad (D.1)$$

restrita a um subconjunto A poliedral convexo de \mathbb{R}^n .

(Note que $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ é uma transformação afim, isto é, $f(x) = L(x) + b$ onde L é uma transformação linear, $b \in \mathbb{R}$.)

Na linguagem de programação linear (PL), f é chamada de função objetivo (f.o.) e A é denominada região factível.

Seja o problema a seguir, o qual será importante na compreensão da programação linear:

Suponha-se que um agricultor queira adubar a sua plantação e disponha de dois tipos de adubo. O primeiro contém 3g de fósforo, 1g de nitrogênio e 8g de potássio, e custa 10 unidades de moeda por quilograma. O segundo tipo contém 2g de fósforo, 3g de nitrogênio e 2 g de potássio, e custa 8 unidades de moeda por quilograma. Sabe-se que um quilograma de adubo dá para 10 m² de terra, e que o solo em que estão as suas plantações necessita de pelo menos 3g de fósforo, 1,5 de nitrogênio e 4 g de potássio a cada 10 m². Quanto o agricultor deve comprar de cada adubo, para cada 10 m² de terra, de modo a conseguir Ter mínimo custo? Seja x a quantidade de Kg de adubo do primeiro tipo e y a do segundo tipo. Evidentemente x e y não podem assumir qualquer valor, pois deve-se ter $x \geq 0$ e $y \geq 0$ e, além disso, x Kg do primeiro adubo fornece 3x g de fósforo, enquanto que y Kg do segundo tipo fornece 2y g de fósforo. Então se for usado x Kg do primeiro e y Kg do segundo, se estaria adicionando $3x+2y \geq 3$.

Analogamente, para o nitrogênio e o potássio deve-se ter $x+3y \geq 1,5$ e $8x+2y \geq 4$. Então os valores x e y devem satisfazer simultaneamente:

$$x \geq 0, \quad y \geq 0, \quad 3x+2y \geq 3, \quad x+3y \geq 1,5 \quad e \quad 8x+2y \geq 4 \quad (D.2)$$

Além disso, quer-se que o custo dado pela função $f(x,y) = 10x + 8y$, seja mínimo.

No exemplo apresentado f.o. (função objetivo) é dada por $f(x,y) = 10x + 8y$ e a região factível é a região A descrita por:

$$\begin{cases} x \geq 0 \\ y \geq 0 \\ 3x + 2y \geq 3 \\ x + 3y \geq 1,5 \\ 8x + 2y \geq 4 \end{cases} \quad (D.3)$$

O problema é minimizar f restrita a A.

D.2 – EXEMPLO DE MODELAGEM – PROGRAMAÇÃO LINEAR (CAP8)

Uma companhia produz 4 tipos de quadros de parede, que são denominados aqui de Q₁, Q₂, Q₃ e Q₄. Os 4 são diferentes em relação a tamanho, forma, material usado, tempo de trabalho necessário para produção e preço de venda, conforme a tabela abaixo:

Tabela D.1 – Produção de Quadros

	Trabalho Necessário	Kits de Metal	Kits de Vidro	Preço de Venda
Q1	2	4	6	R\$ 28,50
Q2	1	2	2	R\$ 12,50
Q3	3	1	1	R\$ 29,25
Q4	2	2	2	R\$ 21,50

A companhia pode dispor numa semana de 400 horas de trabalho, 6000 kits de metal, 10000 kits de vidro. Os custos envolvem:

- Hora trabalhada: R\$ 8,00
- Kits de metal: R\$ 0,50
- Kits de vidro: R\$ 0,75

Restrições de mercado:

É impossível vender mais que 1000 unidade de Q₁, 2000 unidades de Q₂, 500 de Q₃ e 1000 de Q₄.

A companhia precisa maximizar seu lucro.

Modelagem

As variáveis de decisão são Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 . O lucro total e as restrições devem ser expressas em termos das variáveis Q_n . Como as quantidades Q_n são números positivos pode-se incluir como restrição que Q_n seja não negativo. Assim:

$$\text{Maximizar:} \quad 6Q_1 + 2Q_2 + 4Q_3 + 3Q_4 \quad \text{objetivo de lucro (D.4)}$$

$$\text{Restrito a:} \quad 2Q_1 + Q_2 + 3Q_3 + 2Q_4 \leq 4000 \quad \text{Horas de trabalho (D.5)}$$

$$4Q_1 + 2Q_2 + Q_3 + 2Q_4 \leq 6000 \quad \text{Kits de metal (D.6)}$$

$$6Q_1 + 2Q_2 + Q_3 + 2Q_4 \leq 10000 \quad \text{Kits de vidro (D.7)}$$

$$Q_1 \leq 1000 \quad \text{Limitação de venda } Q_1 \text{ (D.8)}$$

$$Q_2 \leq 2000 \quad \text{Limitação de venda } Q_2 \text{ (D.9)}$$

$$Q_3 \leq 500 \quad \text{Limitação de venda } Q_3 \text{ (D.10)}$$

$$Q_4 \leq 1000 \quad \text{Limitação de venda } Q_4 \text{ (D.11)}$$

$$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 \geq 0 \quad \text{Quantidades não negativas (D.12)}$$

Cálculos relacionados:

Objetivo e lucro: O lucro de Q_1 quadros do tipo 1 é $6 Q_1$ porque contribui com lucro de R\$6,00. Estes R\$ 6,00 são obtidos do preço de venda unitário menos os custos de uma única unidade do tipo 1.

$$\text{Lucro unitário} = 28,50 - [2.(8,00)+4.(0,50)+6.(0,75)]=\text{R}\$6,00$$

O lucro para os outros tipos de quadro são obtidos de maneira similar e são respectivamente iguais a R\$2,00; R\$4,00 e R\$3,00. O lucro total é a soma dos lucros de cada tipo multiplicados pelas respectivas quantidades, conforme a equação que se deseja maximizar. As demais equações são obtidas basicamente das considerações da tabela D.1 e das restrições de mercado apresentadas.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Produção							
2								
3	Dados de Entrada							
4	Horas de Trabalho	R\$ 8,00						
5	Custo por Kit de Metal	R\$ 0,50						
6	Custo por Kit de Vidro	R\$ 0,75						
7								
8	Tipo de Quadro	1	2	3	4			
9	Horas de Trabalho por quadro	2	1	3	2			
10	Kits de Metal por Quadro	4	2	1	2			
11	Kits de vidro por Quadro	6	2	1	2			
12	preço unitário por unidade	28,5	12,5	29,25	21,5			
13								
14	Plano de produção							
15	Tipo de Quadro	1	2	3	4			
16	Quantidade produzida	500	800	400	1500			
17		<=	<=	<=	<=			
18	Venda máxima	1000	2000	500	1000			
19								
20	Restrições de recursos							
21	Horas de Trabalho	Usado		Disponível				
22	Kits de Metal	6000 <=		4000				
23	Kits de vidro	7000 <=		6000				
24		8000 <=		10000				
25	Resumo de Arrecadação e Custo							
26	Tipo de Quadro	1	2	3	4 Totals			
27	Arrecadação	R\$ 14.250,00	R\$ 10.000,00	R\$ 11.700,00	R\$ 32.250,00	R\$ 68.200,00		
28	Custos							
29	Horas de Trabalho	R\$ 8.000,00	R\$ 6.400,00	R\$ 9.600,00	R\$ 24.000,00	R\$ 48.000,00		
30	Kits de Metal	R\$ 1.000,00	R\$ 800,00	R\$ 200,00	R\$ 1.500,00	R\$ 3.500,00		
31	Kits de Vidro	R\$ 2.250,00	R\$ 1.200,00	R\$ 300,00	R\$ 2.250,00	R\$ 6.000,00		
32	Lucro	R\$ 3.000,00	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00	R\$ 4.500,00	R\$ 10.700,00		
33								

Nome de intervalo usado:
 produção - B16:E16
 vendamaxima - B18:E18
 utilizado - B21:B23
 disponivel - D21:D23
 lucrototal - F32

Variando as quantidades produzidas
 conseguir maior lucro possível
 Antendendo as restrições de máximo
 lucro e recursos disponíveis

Figura D1 – Modelagem de um problema

Na verdade, os problemas de Programação Linear podem ser formulados em planilhas eletrônicas (Ex.: Microsoft Excell) com a ajuda do complemento “Solver”. A Figura D.1 mostra uma formulação do problema apresentado. Quando o solver é executado a seguinte tela é mostrada (Figura D.2). O preenchimento de três seguintes seções é muito importante : a célula destino, as células variáveis e as restrições.

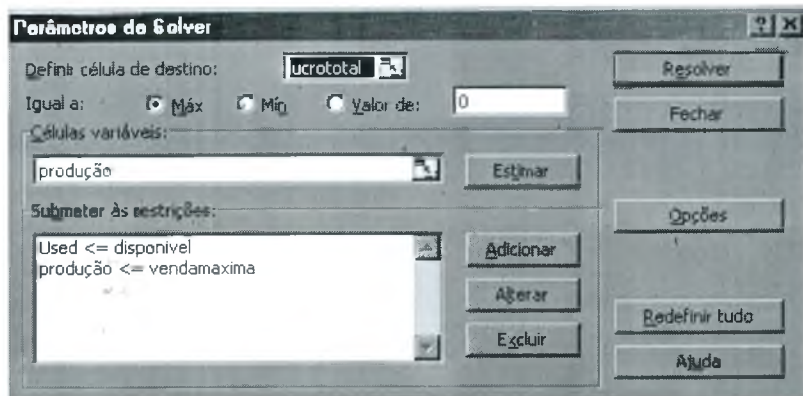


Figura D2 – Modelagem de um problema (Parâmetros)

A utilização do Solver considera a configuração de algumas premissas de cálculo que facilitam, quando bem ajustadas, a convergência dos resultados. Vide Figura D.3 abaixo:

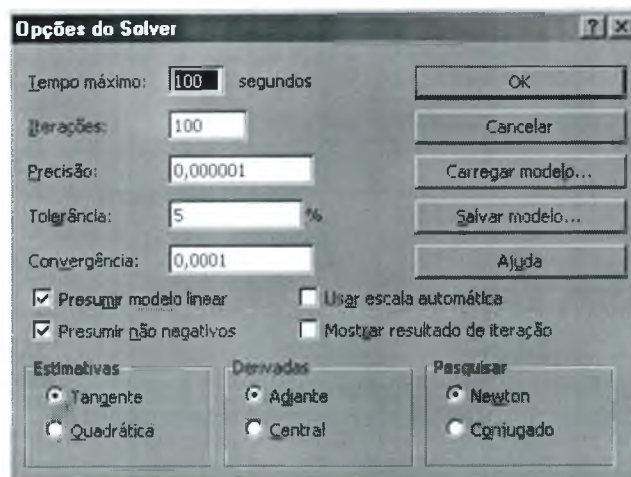


Figura D3 – Modelagem de um problema (Opções de configuração)

Para maiores informações consultar documentação específica (Albright, 2003).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Produção							
2								
3	Dados de Entrada							
4	Horas de Trabalho	R\$ 8,00						
5	Custo por Kit de Metal	R\$ 0,50						
6	Custo por Kit de Vidro	R\$ 0,75						
7								
8	Tipo de Quadro	1	2	3	4			
9	Horas de Trabalho por quadro	2	1	3	2			
10	Kits de Metal por Quadro	4	2	1	2			
11	Kits de vidro por Quadro	6	2	1	2			
12	preço unitário por unidade	28,5	12,5	29,25	21,5			Nome de intervalo usado: produção - B18:E16 vendamaxima - B18:E18 utilizado - B21:B23 disponivel - D21:D23 lucrototal - F32
13								
14	Plano de produção							
15	Tipo de Quadro	1	2	3	4			
16	Quantidade produzida	1000	800	400	0			Variando as quantidades produzidas conseguir maior lucro possível
17		<=	<=	<=	<=			
18	Venda máxima	1000	2000	500	1000			Atendendo as restrições de máximo lucro e recursos disponíveis
19								
20	Restrições de recursos	Usado		Disponível				
21	Horas de Trabalho	4000 <=		4000				
22	Kits de Metal	6000 <=		6000				
23	Kits de vidro	8000 <=		10000				
24								
25	Resumo de Arrecadação e Custo							
26	Tipo de Quadro	1	2	3	4 Totals			
27	Arrecadação	R\$ 28.500,00	R\$ 10.000,00	R\$ 11.700,00	R\$ 0,00	R\$ 50.200,00		
28	Custos							
29	Horas de Trabalho	R\$ 16.000,00	R\$ 6.400,00	R\$ 9.600,00	R\$ 0,00	R\$ 32.000,00		
30	Kits de Metal	R\$ 2.000,00	R\$ 800,00	R\$ 200,00	R\$ 0,00	R\$ 3.000,00		
31	Kits de Vidro	R\$ 4.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 300,00	R\$ 0,00	R\$ 6.000,00		
32	Lucro	R\$ 6.000,00	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00	R\$ 0,00	R\$ 9.200,00		
33								

Figura D4 – Modelagem de um problema (pós-processado)