

Virginio Velloso Freire

**Desenvolvimento de um Sistema de
Levantamento e Predição do Nível de Sinal de
Enlaces de Micro-Ondas**

Campina Grande, PB

17 de maio de 2015

Virginio Velloso Freire

Desenvolvimento de um Sistema de Levantamento e Predição do Nível de Sinal de Enlaces de Micro-Ondas

Relatório de Estágio apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.

Universidade do Federal de Campina Grande – UFCG

Engenharia Elétrica

Programa de Graduação

Orientador: Marcelo Sampaio de Alencar

Campina Grande, PB

17 de maio de 2015

Virginio Velloso Freire

Desenvolvimento de um Sistema de Levantamento e Predição do Nível de Sinal de Enlaces de Micro-Ondas/ Virginio Velloso Freire. – Campina Grande, PB, 17 de maio de 2015-

53 p.

Orientador: Marcelo Sampaio de Alencar

Relatório de Estágio – Universidade do Federal de Campina Grande – UFCG Engenharia Elétrica

Programa de Graduação, 17 de maio de 2015.

1. Levantamento de Nível de Sinal. 2. Predição de Nível de Sinal. 3. Enlace de Micro-Ondas. 4. Nível de Sinal. 5. Micro-Ondas. I. Marcelo Sampaio de Alencar. II. Universidade Federal de Campina Grande. III. Curso de Engenharia Elétrica. IV. Desenvolvimento de um Sistema de Levantamento e Predição do Nível de Sinal de Enlaces de Micro-Ondas

Virginio Velloso Freire

Desenvolvimento de um Sistema de Levantamento e Predição do Nível de Sinal de Enlaces de Micro-Ondas

Relatório de Estágio apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.

Trabalho aprovado. Campina Grande, PB, 17 de maio de 2015:

Marcelo Sampaio de Alencar
Orientador

Professor
Convidado

Campina Grande, PB
17 de maio de 2015

IDENTIFICAÇÃO DO ESTÁGIO

EMPRESA

Nome: Televisão Cabo Branco Ltda.

Endereço: Av. Monsenhor Walfredo Leal, 258

Bairro: Tambiá

Cidade: João Pessoa

Estado: Paraíba

CEP: 58020-540

Tel.: +55(83) 2106-1900

ESTÁGIO

Área da Empresa: Setor de Engenharia/Manutenção

Data de Início: 03/10/2014

Data de Término: 20/03/2015

Carga Horária Semanal: 30 horas

Carga Horária total: 720 horas

Supervisor do Estágio: Andersson Guimarães Oliveira

Lista de ilustrações

Figura 1 – Interação entre os setores da empresa.	13
Figura 2 – Exemplo de objetos refletores criando um sinal atrasado de 180 graus na antena receptora.	19
Figura 3 – Gráficos para as Distribuições de Poisson com várias médias diferentes.	24
Figura 4 – Relação entre chegadas e tempos de interchegada.	24
Figura 5 – Gráficos da PDF e da CDF para a distribuição exponencial.	26
Figura 6 – Antena semelhante à antena usada na UM.	29
Figura 7 – Antena semelhante à antena usada na torre.	30
Figura 8 – Tabela utilizada para criar o levantamento dos enlaces ao vivo.	33
Figura 9 – Tabela de dados de entrada no programa.	33
Figura 10 – Gráfico resultado da interpolação do programa, representando a cidade de João Pessoa.	34
Figura 11 – Gráfico de comparação entre as principais distribuições de probabilidade para os dados medidos (Exponencial e Valor Extremo).	36
Figura 12 – Gráfico de comparação entre as principais distribuições de probabilidade para os dados medidos (Lognormal e Normal).	36
Figura 13 – Gráfico de comparação entre as principais distribuições de probabilidade para os dados medidos (Rayleigh e Weibull).	36
Figura 14 – Gráfico contendo informações referente a altitude do terreno, zona de Fresnel e osbtáculos.	39
Figura 15 – Tela principal da interface usuário-programa.	40
Figura 16 – Interface utilizada para o cálculo teórico do nível de sinal.	41
Figura 17 – Interface utilizada para gerar um relatório com dados importantes dos testes e entradas ao vivo.	41
Figura 18 – Interface utilizada para selecionar e excluir dados de entrada do programa.	42
Figura 19 – Interface utilizada para salvar dados novos na tabela de entrada de dados do programa.	42
Figura 20 – Diagrama de polarização horizontal	51
Figura 21 – Diagrama de polarização vertical	51
Figura 22 – Diagrama de Azimute	53

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resultados do programa comparados com testes reais.	43
--	----

Lista de abreviaturas e siglas

TVCB	TV Cabo Branco
TVPB	TV Paraíba
VHF	<i>Very High Frequency</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UPJ	Unidade Portátil de Jornalismo
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
SNR	<i>Signal-to-Noise Rate</i>
RF LoS	<i>Radio Frequency Line of Sight</i>
2-D	Duas Dimensões
PDF	<i>Probability Distribution Function</i>
CDF	<i>Cumulative Distribution Function</i>
VA	Variável Aleatória
PMF	<i>Probability Mass Function</i>
UT	Unidade de Tempo
UM	Unidade Móvel
DVR	<i>Digital Video Recorder</i>
PG	<i>Pulse Generator</i>
PGM	Programa
DME	<i>Digital Mixing Effect</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
dB	Decibel

Lista de símbolos

R	Distância ao centro da antena
D	Maior deimensão da antena
λ	Comprimento de onda
γ	Constante de propagação do meio
P	Potência da atena
W_0	Densidade de potência isotrópica
e	eficiência de radiação da antena
W	Densidade de potência da antena
G	Ganho da antena
D	Diretividade da antena
A	Área efetiva da antena
W_i	Densidade de potência incidente
σ	Área do eco
W_s	Densidade de potência espalhada
P_c	Quantidade de potência capturada
F_n	Raio da n-ésima zona de Fresnel
d	Distância ao ponto final do enlace
c	Constante velocidade da luz
f	Frequência
r_{max}	Raio máximo da zona de Fresnel
$F_X()$	Função distribuição acumulada de probabilidade
$f_X()$	Função densidade de probabilidade
$E_{max\%}$	Erro máximo permitido em porcentagem

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Considerações iniciais	11
1.2	Motivação e objetivos	12
1.2.1	Objetivos Específicos	12
1.3	A Empresa	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E TÉCNICA	15
2.1	Teoria de Antenas	15
2.1.1	Campos próximos e distantes	15
2.1.1.1	Região de Campos Próximos Reativos	15
2.1.1.2	Região de Campos Próximos Radiantes	16
2.1.1.3	Região de Campos Distantes	16
2.1.2	Equação de Friis	16
2.1.2.1	Equação de Transmissão de Friis	16
2.1.2.2	Equação de alcance do radar	18
2.1.3	Zona de Fresnel	18
2.2	Interpolação Bilinear	20
2.3	Distribuições de Probabilidade Acumulada	21
2.3.1	O Modelo de Poisson	23
2.3.2	O Modelo Exponencial	23
2.4	Sistemas de TV e Unidade Móvel	26
2.4.1	Sistemas de TV	26
2.4.2	Unidade Móvel de Televisão	27
2.5	Antenas Transmissora e Receptora	29
2.5.1	Antena Direcional	29
2.5.2	Antena Omnidirecional	30
3	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	31
3.1	Desenvolvimento do Sistema de Levantamento e Predição do Nível de Sinal de Enlaces de Micro-Ondas	31
3.1.1	Levantamento dos níveis de sinal	32
3.1.2	Cálculo do nível de sinal no interior da área mapeada	33
3.1.3	Cálculo de medidas estatísticas e cálculo da confiabilidade	35
3.1.4	Cálculo teórico para o nível do sinal	37
3.1.5	Criação da interface usuário-programa	39
3.1.6	Resultados do Sistema Desenvolvido	42

3.2	Instalação do gerador principal	45
3.3	Acompanhamento da rotina de funcionamento da TV	45
3.4	Visita às torres de <i>broadcast</i>	46
3.5	Montagem de estrutura de transmissão em grandes eventos	46
4	CONCLUSÕES	47
	Referências	48
	 ANEXOS	 49
	ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES DAS ANTENAS	50
A.1	Antena Parabólica Ideal PB0625	50
A.2	Antena Slot Ideal SMO1125HN	52

1 Introdução

1.1 Considerações iniciais

Uma estação ou emissora de televisão é uma organização, companhia ou empresa que transmite (radiodifusão) conteúdo através da televisão aberta. Uma transmissão televisiva pode ser realizada tanto via sinais de televisão analógica quanto por televisão digital. Empresas como essas, buscam sempre precisão e rapidez na hora de publicar notícias em sua programação, por isso realizam entradas ao vivo, necessitando criar enlaces de micro-ondas, com níveis de sinal aceitáveis, entre a equipe responsável pela matéria e a matriz da TV.

Quando se tratam de vários enlaces diários, as plataformas disponíveis não são capazes de prever o nível de sinal com uma margem de segurança aceitável para os padrões da empresa. A emissora de TV em questão realiza, diariamente, várias entradas ao vivo na programação, logo, é necessário que vários "*links* de vivo" (como são chamados comumente no meio) sejam realizados pelo setor de engenharia e manutenção. Essa empresa, portanto, tem de contar com a experiência dos técnicos disponíveis para realizar decisões importantes. Caso os técnicos nunca tenham realizado um teste do nível de sinal em determinado local, é possível que a operação seja cancelada devido ao pequeno espaço de tempo dado para que a equipe monte o sistema capaz de realizar o enlace de micro-ondas.

Dada essa dificuldade na tomada de decisões por parte dos supervisores e gerentes da empresa, o setor de engenharia da TV Cabo Branco necessitava realizar um levantamento e, com base nesses dados, criar um sistema capaz de prever, não só os níveis de sinal nos pontos que já haviam sido realizadas medições, mas em qualquer ponto dentro de uma área delimitada por tais pontos

Um levantamento do nível de sinal foi executado com base em medições de "*links* de vivo" passados e, com base nele, o sistema foi desenvolvido. Esse sistema, além de ser capaz de realizar cálculos teóricos de nível de sinal de um enlace de micro-ondas, como a plataforma já citada, é capaz de realizar previsões a cerca do nível de sinal real, auxiliando o trabalho dos técnicos e a tomada de decisão por parte dos superiores da empresa. Os resultados obtidos com a aplicação do sistema foram utilizados para realização de relatórios e execução de medidas preventivas (no caso do programa considerar que o sinal do enlace não é confiável para os padrões da empresa).

1.2 Motivação e objetivos

O programa foi desenvolvido com a finalidade principal de auxiliar gerentes e supervisores na tomada de decisões rápidas, assim como diminuir a carga dos técnicos do setor de engenharia, no que se refere à realização de testes, e ainda, diminuir a dependência da experiência do técnico disponível, criando possibilidades para técnicos menos experientes adquirirem conhecimento e ajudarem nas tomadas de decisões.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Realizar levantamento dos níveis de sinal das entradas ao vivo na programação da emissora de Televisão;
- Criar procedimentos de rotina para a utilização dos técnicos no caso de testes de enlaces para programações ao vivo;
- Desenvolver um sistema capaz de prever o nível de sinal recebido na torre da TV, utilizando dados do levantamento realizado anteriormente;
- Criar uma interface Usuário-Programa com a finalidade de facilitar o acesso dos técnicos e supervisores aos dados do levantamento e ao sistema de predição;
- Verificar a eficiência do sistema de predição de níveis de sinal produzido a partir de testes, comparando medidas reais com as calculadas no programa.

1.3 A Empresa

A TV Cabo Branco (TVCB), localidade do estágio, faz parte da Rede Paraíba de Comunicação. Além da TVCB, a marca reúne a TV Paraíba (TVPB, ambas afiliadas da rede Globo), os portais G1 Paraíba e GloboEsporte.com, as rádios Cabo Branco FM (CBFM) e CBN João Pessoa e o Jornal da Paraíba.

O grupo começou com a criação, em 5 de Setembro de 1971, do Jornal da Paraíba, em Campina Grande. Sua circulação é matutina e diária, e ele é composto por duas redações situadas nas cidades de João Pessoa e Campina Grande, além de vários correspondentes nas principais cidades da Paraíba. Após um tempo, na virada dos anos 1986 para 1987, foi realizada a primeira transmissão da TV Paraíba e a primeira transmissão da TV Cabo Branco foi realizada em Outubro de 1986, retransmitindo a programação da TV Bandeirantes. A Cabo Branco FM foi criada em 1993, e é uma emissora de rádio dedicada principalmente à música, mas que também cobre jogos de futebol. A CBN estreou em João Pessoa, no prédio da TV Cabo Branco, em fevereiro de 2012. Quanto aos portais de notícia do G1 e Globo Esporte, estes foram criados simultaneamente em 2011.

A transmissão das TVs Cabo Branco e Paraíba é tanto analógica quanto digital, nos canais 7 em VHF e 19 em UHF para a TVCB, e 3 em VHF e 21 em UHF para a TVPB, respectivamente. As Rádios operam na faixa de FM, com a CBFM operando em 91,5 MHz e a CBN em 101,7 MHz. A rádio CBN também transmite em AM (920 kHz). A transmissão de TV no estado da Paraíba pela Rede Paraíba é dividida entre as duas emissoras.

A TV é composta pelos seguinte setores: administrativo, comercial, jornalismo, rádios, UPJ (Unidade Portátil de Jornalismo), Informática e Engenharia/Manutenção (incluindo Manutenção Predial). Dentro do setor administrativo estão a presidência e superintendência, a quem os outros setores se reportam. Todos os setores são independentes entre si, os quais possuem um gerente incumbido de administrá-los. O organograma a seguir explicita como os setores interagem entre si (Figura 1).

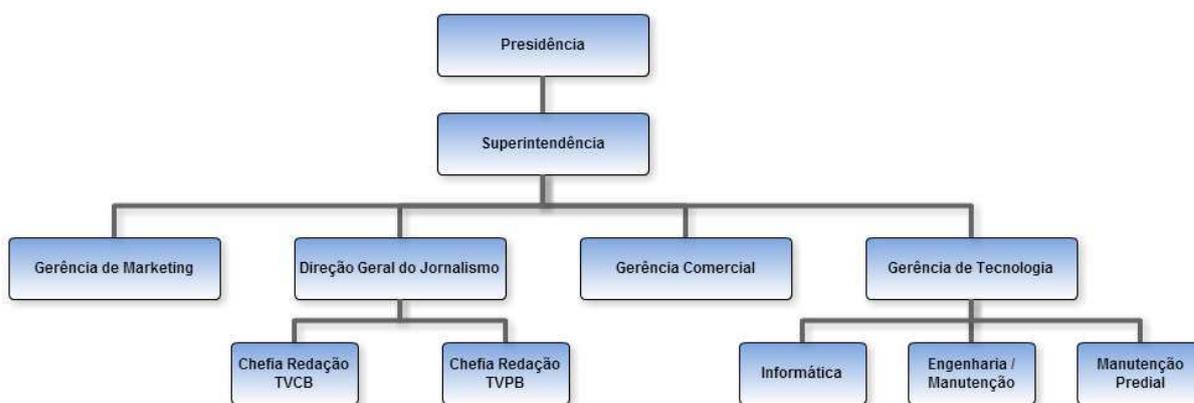


Figura 1 – Interação entre os setores da empresa.

Nota-se no caso do jornalismo, uma divisão entre as emissoras TV Cabo Branco e TV Paraíba, pois ambas produzem conteúdo local. Porém, ao aprofundar na hierarquia do jornalismo, a emissora de João Pessoa possui alguns cargos, como os de chefia de edição e coordenação de produção, que são unificados no caso de Campina Grande. O motivo dessa diferença é que dos três telejornais locais exibidos diariamente, apenas o JPB 2ª edição é completamente editado pela emissora. No caso do Bom dia Paraíba e do JPB 1ª Edição, há uma relação de certa dependência quanto a TV Cabo Branco. É lá que estão as chefias de edição e conseqüentemente, a última palavra quanto às decisões operacionais, reforçando o atrelamento editorial.

O Setor de Engenharia e Manutenção da TV Cabo Branco é responsável pela manutenção de equipamentos utilizados em transmissões e jornais (câmeras, microfones), pelos transmissores, subestação, ente outros. Na empresa, existem técnicos que são responsáveis pela manutenção *in loco* das transmissões ao vivo, e outros responsáveis pela manutenção interna de toda a parte técnica da empresa (com exceção da informática).

Além de cuidar da manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos de toda

empresa, o setor de engenharia toma grande parte das decisões na escolha de lugares para transmissão da programação ao vivo. Esse setor fica incumbido, também, de otimizar procedimentos de várias áreas da empresa, criar programas para facilitar manobras internas, monitorar o funcionamento de equipamentos vitais para o funcionamento da empresa e pesquisar novos métodos e maneiras de se melhorar o consumo de energia e a transmissão de sinais.

2 Fundamentação Teórica e Técnica

Neste capítulo serão apresentados conceitos teóricos e técnicos acerca de dispositivos, equipamentos e programas. Esses conhecimentos foram essenciais para o desenvolvimento das atividades do estágio.

Também serão introduzidas algumas definições e informações que virão a ser úteis no decorrer do trabalho. Será apresentada uma base para a compreensão de teorias que incluem definições sobre probabilidade e estatística, como distribuições de probabilidade, Teoria de Antenas (Campos próximos e distantes, Equação de Friis e Zona de Fresnel) e Interpolação Bilinear.

2.1 Teoria de Antenas

O *IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas* (IEEE Std 145-1983) define uma antena como "um meio para irradiar ou receber ondas de rádio" (BALANIS, 1997) Em outras palavras, a antena é a estrutura de transição entre o espaço livre e um dispositivo guiante. O dispositivo guiante pode assumir as formas de uma linha coaxial ou um tubo oco (guia de onda), e é usado para transportar energia eletromagnética da fonte transmissora para a antena (transmissora), ou da antena (receptora) para o receptor.

2.1.1 Campos próximos e distantes

O espaço em torno da antena é usualmente subdividido em três regiões: região de campos próximos reativos, região de campos próximos radiantes e região de campos distantes (região de Fraunhofer). Essas regiões são assim denominadas para identificar a estrutura do campo em cada uma delas. Embora nenhuma mudança abrupta nas configurações do campo sejam notadas quando as fronteiras entre elas são cruzadas, existem diferenças entre as regiões. Os limites separando tais regiões não são únicos, no entanto vários critérios foram estabelecidos e são comumente usados para identificar as regiões.

2.1.1.1 Região de Campos Próximos Reativos

É definida como a parte da região de campos próximos no entorno imediato da antena, onde o campo reativo predomina. Para a maioria das antenas, o limite de fora dessa região é usualmente tomado a uma distância $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ da superfície da antena, na qual λ é o comprimento de onda e D é a maior dimensão da antena.

2.1.1.2 Região de Campos Próximos Radiantes

Também conhecida como região de Fresnel, é definida como a região do campo da antena entre a região de campos próximos reativos e a região de campos distantes, onde campos radiantes são predominantes e a distribuição do campo angular é dependente da distância até a antena. Se a antena possuir uma dimensão máxima que não é muito superior ou inferior comparada com o comprimento de onda, essa região pode não existir. A fronteira interna é tomada a distância $R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ e o limite superior é tomado a distância $R < 2D^2/\lambda$ (para ser válido, D tem de ser grande comparado ao comprimento de onda λ). Esse critério é baseado em um erro de fase máximo de $\pi/8$. Nessa região o comportamento do campo, em geral, é função da distância radial, e a componente radial do campo pode ser importante.

2.1.1.3 Região de Campos Distantes

A região, também conhecida como região de Fraunhofer, é definida como a região do campo da antena onde a distribuição angular do campo é essencialmente independente da distância da antena. Se a antena tem uma dimensão máxima D , a região de campos distantes é comumente tomada a distâncias maiores que $2D^2/\lambda$ da antena. λ sendo o comprimento de onda. Os padrões de campo distante de certas antenas, como antenas refletoras de *multibeam*, são sensíveis a variações na fase por suas aberturas. Para tais antenas $2D^2/\lambda$ pode ser inadequado. No meio físico, se a antena possui uma dimensão máxima D , que é grande comparada a $\pi/|\gamma|$, a região de campo distante pode ser tomada como sendo aproximadamente igual a distância $|\gamma|D^2/\pi$ da antena, γ sendo a constante de propagação no meio. Nessa região, as componentes do campo são essencialmente transversas e a distribuição angular é independente da distância radial onde as medidas são tomadas. A fronteira interna é dita a uma distância $R < 2D^2/\lambda$ e a fronteira final no infinito.

2.1.2 Equação de Friis

A análise e o design de radares e sistemas de comunicações requerem, na maioria das vezes, o uso da equação de transmissão de *Friis* e a equação de alcance do radar. Devido à importância das equações citadas para o trabalho proposto, elas serão derivadas a seguir.

2.1.2.1 Equação de Transmissão de Friis

A equação de transmissão de Friis relaciona a potência recebida com a potência transmitida entre duas antenas, separadas por uma distância $R > 2D^2/\lambda$, ou seja, as antenas se encontram na região de campo distante uma da outra. Assumindo que a antena transmissora é inicialmente isotrópica, isto é, a potência emitida é igualmente distribuída em uma esfera com centro na antena. Se a potência de entrada nos terminais da antena

transmissora é P_t , então a densidade de potência isotrópica W_0 a uma distância R da antena pode ser dado como

$$W_0 = e_t \frac{P_t}{4\pi R^2}, \quad (2.1)$$

na qual e_t é a eficiência de radiação da antena transmissora. Para uma antena transmissora não-isotrópica, a densidade de potência na direção θ_t, ϕ_t pode ser escrita como

$$W_t = \frac{P_t G_t(\theta_t, \phi_t)}{4\pi R^2} = e_t \frac{P_t D_t(\theta_t, \phi_t)}{4\pi R^2}, \quad (2.2)$$

na qual $G_t(\theta_t, \phi_t)$ é o ganho e $D_t(\theta_t, \phi_t)$ é a diretividade da antena transmissora na direção θ_t, ϕ_t . Já que a área efetiva A_r da antena é relacionada à sua eficiência e_r e diretividade D_r por

$$A_r = e_r D_r(\theta_r, \phi_r) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right). \quad (2.3)$$

A quantidade de potência P_r absorvida pela antena receptora pode ser escrita, usando as duas fórmulas anteriores, como

$$P_r = e_r D_r(\theta_r, \phi_r) \frac{\lambda^2}{4\pi} W_t = e_t e_r \frac{\lambda^2 D_t(\theta_t, \phi_t) D_r(\theta_r, \phi_r) P_t}{(4\pi R)^2} |\hat{\boldsymbol{\rho}}_t \cdot \hat{\boldsymbol{\rho}}_r|^2, \quad (2.4)$$

ou a razão entre a potência recebida e a potência de entrada como

$$\frac{P_r}{P_t} = e_t e_r \frac{\lambda^2 D_t(\theta_t, \phi_t) D_r(\theta_r, \phi_r)}{(4\pi R)^2}. \quad (2.5)$$

A potência recebida, baseada na equação anterior, assume que as antenas transmissoras e receptoras estão casadas com suas respectivas linhas ou cargas (as eficiências de reflexão são unitárias) e a polarização da antena receptora é casada com a onda recebida (o fator de perda de polarização e a eficiência de polarização são unitárias). Se esses dois fatores forem incluídos, a razão entre a potência recebida e a potência de entrada é representada por

$$\frac{P_r}{P_t} = e_{edt} e_{edr} (1 - |\Gamma_t|^2) (1 - |\Gamma_r|^2) \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 D_t(\theta_t, \phi_t) D_r(\theta_r, \phi_r) |\hat{\boldsymbol{\rho}}_t \cdot \hat{\boldsymbol{\rho}}_r|^2. \quad (2.6)$$

Para antenas casadas em reflexão e polarização alinhadas para a máxima radiação e recepção direcional, a equação anterior se reduz a

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_{0t} G_{0r}. \quad (2.7)$$

As três equações anteriores são conhecidas como as equações de transmissão de Friis, e relacionam a potência P_r (entregue a carga receptora) a potência de entrada da antena transmissora P_t . O termo $(\lambda/4\pi R)^2$ é chamado de fator de perda do espaço livre, e leva em consideração as perdas devido ao espalhamento esférico da energia pela antena.

2.1.2.2 Equação de alcance do radar

No desenvolvimento dessa equação, assume-se que a potência transmitida é incidente em um alvo. É introduzida, então, uma nova variável, conhecida como corte transversal do radar ou área do eco - σ - (do inglês *radar cross section* e *echo area*) do alvo, que é definida como "a área interceptando essa quantidade de potência que, quando espalhada isotropicamente, produz no receptor uma densidade que é igual àquela dispersada pelo alvo real" (BALANIS, 1997). Em forma de equação

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \left[\frac{\sigma W_t}{4\pi R^2} \right] = W_s, \quad (2.8)$$

na qual σ é a área do eco (m^2); R é a distância de observação do alvo (m); W_t é a densidade de potência incidente (W/m^2); W_s é a densidade de potência espalhada (W/m^2).

Usando a definição do corte transversal do radar, pode-se considerar que a potência transmitida incidente no alvo é inicialmente capturada e, então, é reirradiada isotropicamente, no que diz respeito ao receptor. A quantidade de potência capturada P_c é obtida multiplicando a densidade de potência incidente W_t pelo corte transversal do radar σ , ou seja

$$P_c = \sigma W_t = \sigma \frac{P_t G_t(\theta_t, \phi_t)}{4\pi R_1^2} = e_t \sigma \frac{P_t D_t(\theta_t, \phi_t)}{4\pi R_1^2}. \quad (2.9)$$

Fazendo um caminho semelhante ao feito no desenvolvimento da equação de transmissão de Friis, chega-se na equação de alcance do radar para antenas casadas em polarização e alinhadas para a máxima radiação e recepção direcional como sendo

$$\frac{P_r}{P_t} = \sigma \frac{G_{0t} G_{0r}}{4\pi} \left[\frac{\lambda}{4\pi R_1 R_2} \right]^2. \quad (2.10)$$

Essa equação relaciona a potência P_r (entregue a carga receptora) à potência de entrada transmitida por uma antena, depois de ter sido espalhada por um alvo com corte transversal de radar (área do eco) de σ .

2.1.3 Zona de Fresnel

O conceito de zona de Fresnel é central no que se trata de propagação de ondas. A construção da zona foi proposta inicialmente por Fresnel em 1818, em uma tentativa

de explicar os fenômenos de difração, utilizando os princípios de Huygen (PEARCE; MITTLEMAN,). A zona de Fresnel é uma região elipsoide tridimensional entorno do caminho da linha de visada entre a antena transmissora e a receptora. Caso um objeto refletor seja posicionado em qualquer lugar na borda da zona, o mesmo irá causar um sinal refletido, devido ao atraso na propagação, defasado de 180 graus (na fase da portadora) com o sinal recebido por meio da linha de visada na antena receptora. Esse conceito se torna mais visível com o auxílio da Figura 2, na qual um avião e um prédio estão no limite da zona, criando um mesmo sinal refletido com atraso de 180 graus na antena receptora.

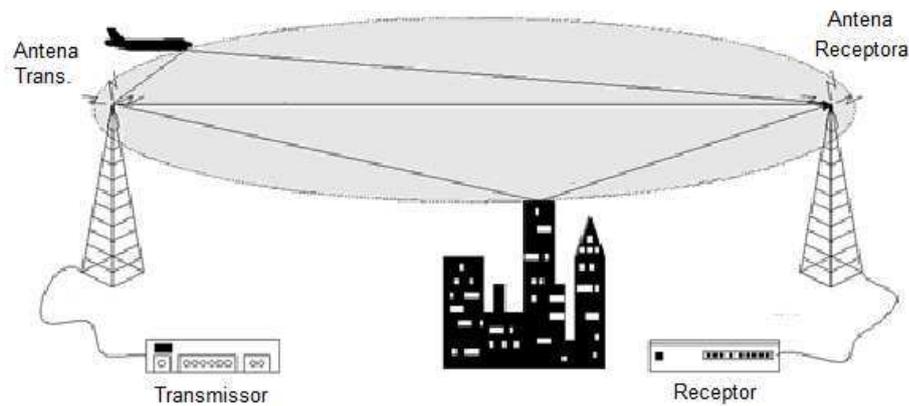


Figura 2 – Exemplo de objetos refletores criando um sinal atrasado de 180 graus na antena receptora.

Se desobstruído, ondas de rádio viajarão em linha reta do transmissor ao receptor. Porém, se existirem superfícies refletivas ao longo do caminho, como corpos d'água ou terrenos suaves, as ondas de rádio refletidas dessas superfícies podem chegar em fase ou fora de fase com os sinais que viajam diretamente ao receptor. Ondas que refletem em uma superfície dentro de uma zona de Fresnel par estarão fora de fase com as ondas do caminho direto, reduzindo a potência do sinal recebido. Ondas que refletem em superfícies dentro de uma zona de Fresnel ímpar estarão em fase com as ondas do caminho direto, podendo aumentar a potência recebida do sinal. Com isso, às vezes, encontra-se contra-intuitivamente que reduzir a altura das antenas pode aumentar a relação sinal-ruído (*SNR - Signal-to-Noise Ratio*).

Fresnel desenvolveu um método de calcular onde as zonas se encontram, ou seja, onde um obstáculo irá causar reflexões em fase ou fora de fase entre o transmissor e o receptor. Obstáculos na primeira zona de Fresnel criarão sinais com deslocamento de fase entre 0 e 180 graus, na segunda zona serão entre 180 e 360 graus fora de fase, e assim por diante.

Para maximizar a potência recebida, é necessário minimizar os efeitos da perda por obstrução removendo os obstáculos da linha de visada de rádio frequência (*RF LoS - Radio*

Frequency Line of Sight). Os sinais mais fortes estão na linha direta entre o transmissor e o receptor e sempre caem na primeira zona de Fresnel.

O conceito liberação da zona de Fresnel pode ser usado para analisar a interferência por obstáculos situados perto do caminho do feixe de rádio. A primeira zona deve ser mantida largamente livre de obstruções para evitar interferências na recepção dos sinais. Contudo, algumas obstruções nas zonas de Fresnel podem ser toleradas. Como regra geral, a máxima obstrução permitida, para que o sinal seja aceitável no receptor, é de 40% da zona de Fresnel, porém o recomendado é uma obstrução de apenas 20%.

Para estabelecer as zonas de Fresnel, primeiro é necessário determinar a *RF LoS*, o que significa, em termos mais simples, a linha reta entre as antenas transmissora e receptora. A equação geral para calcular o raio da zona de Fresnel a qualquer ponto entre os pontos inicial e final do enlace é

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}, \quad (2.11)$$

na qual F_n é o raio da n -ésima zona de Fresnel (m); d_1 é a distância do ponto P a um dos fins do enlace (m); d_2 é a distância do ponto P ao outro final do enlace (m); λ é o comprimento de onda do sinal transmitido (m).

Assim, a zona que rodeia a *RF LoS* com o raio dado pela equação anterior é denominada zona de Fresnel. O raio do corte transversal de cada zona de Fresnel é maior no ponto do meio da *RF LoS*, diminuindo gradativamente até os pontos finais das antenas transmissora e receptora. Para aplicações práticas, usualmente é importante saber o raio máximo da primeira zona de Fresnel. Para tal dedução, é necessário fazer as seguintes considerações: $d_1 = d_2$, $D = d_1 + d_2$ e $\lambda = \frac{c}{f}$. Sendo assim, o raio máximo da primeira zona de Fresnel em metros é

$$r_{max} = 8.657 \sqrt{\frac{D}{f}}, \quad (2.12)$$

no qual D é a distância total em quilômetros, f é a frequência transmitida em gigahertz e r_{max} é o raio máximo da zona de Fresnel em metros.

2.2 Interpolação Bilinear

Interpolação em duas dimensões funciona para construir um novo conjunto de dados a partir de um aglomerado discreto de valores pontuais previamente conhecidos em funções de duas variáveis. Existem vários tipos de interpolações 2-D, como interpolação bilinear, bicúbica e vizinho mais próximo (*nearest neighbor*) (PRESS SAUL A. TEUKOLSKY; FLANERY, 1997). Neste trabalho será tratada a interpolação bilinear.

Em matemática, a interpolação bilinear é uma extensão da interpolação linear para interpolar funções de duas variáveis em uma grade regular de duas dimensões.

A ideia chave é realizar uma interpolação linear primeiro em uma direção, e depois realizar uma interpolação em outra direção. Mesmo que cada passo na interpolação seja linear nos valores amostrados e na posição, a interpolação como um todo não é linear, mas sim quadrática no local da amostra.

Seja uma função f desconhecida no ponto (x,y) . É assumido que o valor dessa função seja conhecida em pelo menos quatro pontos $Q_{11} = (x_1, y_1)$, $Q_{12} = (x_1, y_2)$, $Q_{21} = (x_2, y_1)$ e $Q_{22} = (x_2, y_2)$

Primeiramente é realizada uma interpolação linear na direção x . O que resulta em

$$f(x, y_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}); \quad (2.13)$$

$$f(x, y_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}). \quad (2.14)$$

O passo seguinte é interpolar na direção de y e obter a estimativa desejada

$$\begin{aligned} f(x, y) &\approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(x, y_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(x, y_2) \\ &\approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} \left(\frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) \right) + \\ &\quad \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \left(\frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}) \right); \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} f(x, y) = \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} &((f(Q_{11})(x_2 - x)(y_2 - y) + f(Q_{21})(x - x_1)(y_2 - y) + \\ &f(Q_{12})(x_2 - x)(y - y_1) + f(Q_{22})(x - x_1)(y - y_1)). \end{aligned} \quad (2.16)$$

Nota-se que o resultado teria sido o mesmo, caso a primeira interpolação feita tivesse sido tomada ao longo da direção y e depois ao longo da direção x .

2.3 Distribuições de Probabilidade Acumulada

Antes de derivar a distribuição de probabilidade acumulada (*CDF - Cumulative Distribution Function*), é necessário o entendimento da função densidade de probabilidade (*PDF - Probability Density Function*). A PDF é uma função que descreve a probabilidade

relativa para que uma variável aleatória X assumira um dado valor x , ou em termos matemáticos:

$$f_X(x) = P(X = x). \quad (2.17)$$

Logo, a probabilidade de um valor aleatório estar incluído dentro de uma faixa de valores será, portanto, a integral da PDF dentro da faixa de valores, como explicitado na equação seguinte:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f_X(x) dx, \quad (2.18)$$

ou em termos discretos

$$P(a \leq X \leq b) = \sum_{i=a}^b f_X(x_i). \quad (2.19)$$

Sendo assim, a função de distribuição de probabilidade acumulada, que descreve a probabilidade de uma variável aleatória (VA) X possuir um valor menor ou igual a x , é dada pela área abaixo da curva da PDF de menos infinito até o valor x (MEYER, 2000). Ou seja, $F_X(x) = P(X \leq x)$. Daí:

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(u) du, \quad (2.20)$$

ou ainda na forma discreta:

$$F_X(x) = \sum_{x_i \leq x} f_X(x_i). \quad (2.21)$$

A função densidade de probabilidade associa os valores de X com a probabilidade de cada um deles ocorrer. A função massa de probabilidade, ou PMF, é a mesma função, porém definida somente para variáveis aleatórias discretas.

A $F_X(x)$ tem as seguintes propriedades:

1. $F_X(x)$ é uma função não-decrescente;
2. $\lim_{x \rightarrow +\infty} F_X(x) = 1$;
3. $\lim_{x \rightarrow -\infty} F_X(x) = 0$.

Conhecidos os principais conceitos referentes ao cálculo das probabilidades, pode-se agora estudar distribuições e funções densidade de probabilidade que, pela sua importância,

merecem um estudo especial. Tais distribuições partem do pressuposto da existência de certas hipóteses bem definidas. Como diversas situações na vida real se aproximam destas premissas, os modelos descritos a seguir são úteis para o estudo destas situações.

Existem experimentos aleatórios cujos resultados, refletidos em uma V.A., seguem um comportamento previsível em relação às suas probabilidades de ocorrência, e, portanto, podem ser modelados por uma equação específica.

2.3.1 O Modelo de Poisson

Basicamente, este modelo representa a probabilidade de ocorrência de um certo número de chegadas em um determinado tempo (LEON-GARCIA, 1994).

A distribuição de probabilidades de Poisson é definida como: seja uma variável aleatória X que pode assumir os valores $x = 0, 1, 2, \dots, n, \dots$. A probabilidade de X assumir um determinado valor x é dada pela seguinte expressão:

$$f(x) = P(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}, x = 0, 1, 2, 3, \dots, n, \dots, \quad (2.22)$$

ou seja, $P(X = x)$ representa a probabilidade de ocorrerem x chegadas na unidade de tempo trabalhada, sendo que λ é a média de chegadas na unidade de tempo. A distribuição de Poisson é discreta, definida apenas para valores inteiros de x .

O resumo das características principais da distribuição de Poisson é mostrado a seguir e a Figura 3 traz a aparência da distribuição, para diversos valores de média.

- Parâmetro: λ (evento/UT)
- PMF: $f(x) = P(X = x) = \lambda^x \frac{e^{-\lambda}}{x!}$
- CDF: $F(x) = \sum_i p_i$, para $f(x) = P(X = x) = p_i$
- Média: λ
- Variância: λ

2.3.2 O Modelo Exponencial

Conforme visto anteriormente, a Distribuição de Poisson está relacionada com ritmo ou taxa de chegadas. A Distribuição Exponencial (também chamada em algumas literaturas como Distribuição Exponencial Negativa) é a correspondente da Distribuição de Poisson para intervalos entre chegadas, ou tempos de interchegada (LEON-GARCIA, 1994). Quando um fenômeno, portanto, segue Poisson em sua taxa de chegada, ele também

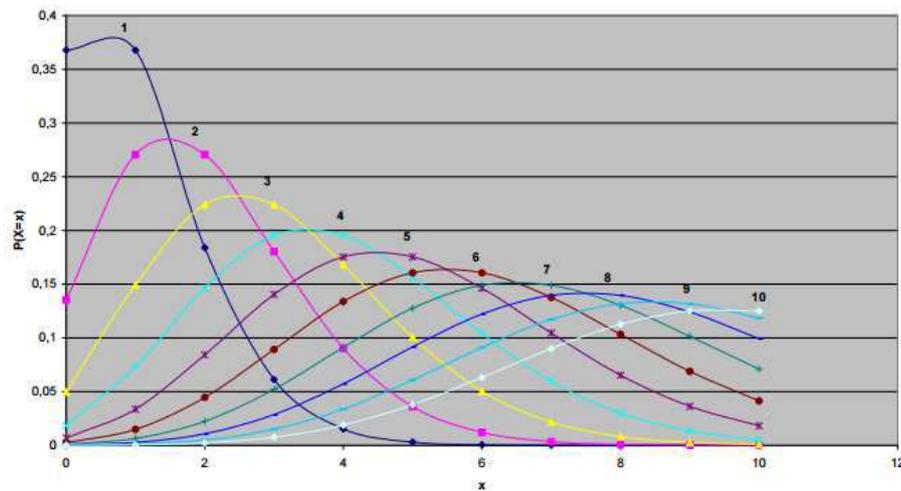


Figura 3 – Gráficos para as Distribuições de Poisson com várias médias diferentes.

se comporta segundo a Distribuição Exponencial em termos de tempo entre chegadas (Figura 4).

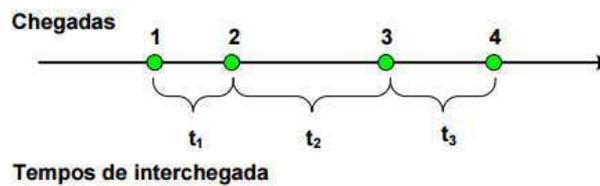


Figura 4 – Relação entre chegadas e tempos de interchegada.

Assim, seja um fenômeno qualquer, seu processo de chegadas é baseado em Poisson, de modo que o número de chegadas em um intervalo de tempo t é uma V.A. discreta, e a média de chegadas no intervalo t é λ (chegadas/unidade de tempo-UT). O tempo entre as ocorrências dessas chegadas é definido segundo a Distribuição Exponencial.

O período de tempo T entre contagens sucessivas de um processo de Poisson, com média $\lambda > 0$, é uma Variável Aleatória contínua, cuja função densidade de probabilidade (PDF) é dada por:

$$f(x) = P(X = x) = \lambda e^{-x\lambda}, x \geq 0. \tag{2.23}$$

Nessa equação, x representa o tempo e λ é a taxa de chegada ou taxa de ocorrência de eventos por unidade de tempo, a mesma utilizada como parâmetro em Poisson. Novamente, x é uma V.A. contínua.

A distribuição cumulativa de probabilidade (CDF) da expressão de probabilidade

do modelo exponencial é calculada a seguir:

$$\begin{aligned} F(x) &= \int_0^x f(x)dx = \int_0^x \lambda \cdot e^{-x\lambda} dx \\ F(x) &= P(X \leq x) = 1 - e^{-x\lambda}. \end{aligned} \quad (2.24)$$

O resumo das características principais da distribuição exponencial segue enumerado

- Parâmetro: a (UT/evento)
- PDF: $f(x) = \frac{1}{a}e^{-\frac{x}{a}}$
- CDF: $F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{a}}$
- Média: a
- Variância: a^2

É necessário observar que o parâmetro utilizado não é a taxa média de ocorrência do evento por unidade de tempo, mas sim seu inverso, o tempo médio de interocorrência do evento (unidade de tempo por evento). A relação entre o parâmetro a e a taxa média λ , para fins práticos é:

$$\lambda = \frac{1}{a}. \quad (2.25)$$

O resumo pode então ser reescrito em função de λ como

- Parâmetro: λ (evento/UT)
- PDF: $f(x) = \lambda e^{-x\lambda}$
- CDF: $F(x) = 1 - e^{-x\lambda}$
- Média: $1/\lambda$
- Variância: $(1/\lambda)^2$

A Figura 5 contém gráficos que ilustram a PDF e a CDF da distribuição exponencial, que é contínua.

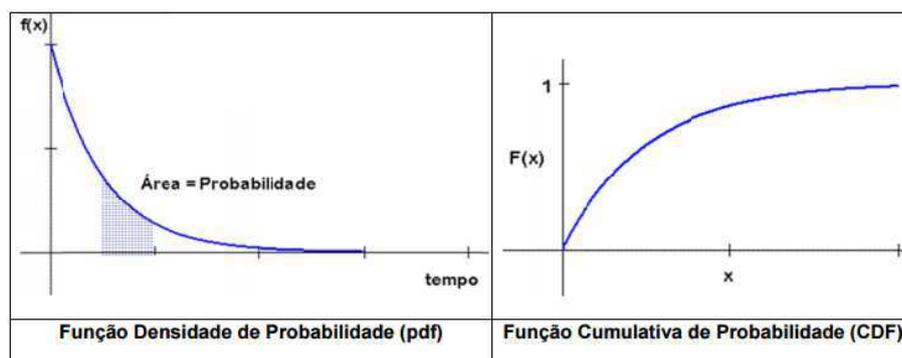


Figura 5 – Gráficos da PDF e da CDF para a distribuição exponencial.

2.4 Sistemas de TV e Unidade Móvel

Uma unidade móvel de televisão (UM) contém toda a estrutura de um estúdio de televisão, porém em espaço extremamente reduzido, logo o projeto de uma UM deve levar em conta não somente as limitações espaciais, como também o fato dela ser um veículo que se move e sofre trepidações (MENEGAT,).

2.4.1 Sistemas de TV

Qualquer sistema de TV necessita de redundância nos equipamentos, incluindo a unidade móvel. Todo equipamento de *broadcast* deve possuir duas fontes de alimentação, sendo que apenas uma já seria suficiente para alimentar o equipamento e a outra entra como alimentação redundante, caso a primeira alimentação falhe. Isso é usado para que o risco de que seja perdida a comunicação seja reduzido, minimizando as perdas da empresa responsável pelo *broadcasting*.

Outro fator importante a ser observado é que os equipamentos em geral possuem alta modularidade, ou seja, possuem placas separadas e independentes, havendo também em muitos casos placas em *spare* (que servem como emergência, sendo utilizadas apenas na falha das titulares). Por exemplo, um equipamento pode possuir quatro cartões multiplexadores, sendo que dois estão funcionando no sistema e dois estão em *spare*. No caso de falha de algum multiplexador titular, é feito um *patch* para o reserva e o sistema não deixa de funcionar. A operação de *patch* é basicamente um desvio manual do sinal através de um equipamento passivo também chamado de *patch*.

Além da redundância nos equipamentos, existe a redundância de equipamentos. Mesmo com os cuidados citados anteriormente, ainda existem riscos de falhas em módulos inteiros. Por isso, alguns dos equipamentos mais críticos de um sistema de TV possuem reserva, ou seja, outro equipamento de especificações menos rígidas, mas que receba quase todos os sinais do titular e possa exercer perfeitamente a função realizada pelo mesmo. Este é o exemplo da mesa de produção (*production switcher*), do *mixer* de áudio e de

DVR's.

A mesa de produção é o equipamento onde o diretor de TV faz os cortes das imagens que irão para o ar. Esse é um equipamento primordial para exibição da programação, o qual não pode deixar de funcionar e, portanto, tem um *stand-by*. Assim como o *mixer* de áudio, que é o equipamento que controla todos os áudios de um evento, também não pode deixar de funcionar corretamente e possui um reserva.

Existem também sistemas completos em redundância, como é o caso dos PGs, ou *pulse generators*, que são os equipamentos que geram a referência de vídeo para todos os sinais que chegam à UM, portanto estão presentes em par. No caso de falha de um equipamento, por meio de um outro equipamento chamado *automatic change over*, o sinal de sincronismo é comutado imediatamente e não é gerado nenhum prejuízo ao sistema de TV.

Em sistemas de comunicação, pode-se utilizar o sistema de *party-line* em paralelo com o sistema de intercomunicação, que pode assumir parcialmente a função desempenhada pelo titular.

O fornecimento de energia em um sistema de TV é outro aspecto que se destaca na escala de importância. Para se ter garantia do fornecimento contínuo de energia é utilizado um sistema de *no-break*, além de duas fontes distintas de alimentação, uma da concessionária de energia elétrica e outra de geradores. No caso da UM, existem dois geradores distintos que a alimentam, um fornece energia apenas para o sistema de ar-condicionado e outro para os equipamentos. Além disso, existe o cabo da concessionária que pode entrar imediatamente no caso de pane dos geradores.

2.4.2 Unidade Móvel de Televisão

Uma unidade móvel de televisão tem por objetivo servir como um estúdio que possa ser levado para perto do evento. Tomando o exemplo de um jogo de futebol, no qual existem diversas câmeras, muitos microfones, repórteres e comentaristas. Cada um destes gera sinais que devem se concentrar em um local para serem processados e enviados a emissora de TV, garantindo a qualidade da transmissão.

A dificuldade é ter essa estrutura no local onde o evento acontece, já que muitas vezes a emissora de TV não tem permissão de instalar a infra-estrutura necessária. Portanto, a unidade móvel nada mais é que uma estação de geração de TV instalada em um automóvel grande (geralmente uma Van ou um caminhão) para garantir proximidade dos eventos.

Alguns dos equipamentos que podem estar incluídos em UMs em geral são:

- Matriz de vídeo: É o equipamento que concentra sinais em um sistema de TV. Funciona como um grande comutador de sinais, de quaisquer das suas muitas

entradas para suas saídas, o que dá grande flexibilidade ao sistema.

- Mesa de produção: Conhecida como *production switcher*, é também um grande concentrador de sinais, sendo o segundo destino de sinal mais comum em um sistema de TV. Ela é responsável pela escolha do sinal que vai formar o PGM (Programa), ou seja, é com esse equipamento que o operador seleciona diferentes imagens presentes no *monitor wall* a mando do diretor, e assim vai formando a transmissão.
- DME e gerador de caracteres: *Digital Mixing Effect* é o equipamento que faz a inserção de grafismos como placares de jogos, o símbolo da emissora, projeções no gramado, etc. O Gerador de caracteres funciona de maneira semelhante, por meio de sinais de vídeo e *key*, o equipamento insere caracteres na imagem, como por exemplo, letras de músicas e tabelas numéricas.
- *Patch*: É um equipamento passivo que funciona como comutador manual de sinais. Seu principal objetivo é dar flexibilidade ao sistema, funcionando como uma opção de desvio de sinais no caso de defeito de algum equipamento, por exemplo, se um DVR usado para gravar deixa de funcionar, pode-se desviar o sinal que chega no DVR para um outro DVR através de um cabo. Essa operação é conhecida como *patch*.
- Referências: Esta referência é um sinal analógico chamado de *Black*, que pode ser *Black PAL-M* ou *Black NT* (NTSC). Este sinal, apesar de analógico, referencia também os sistemas de vídeo digital. Este sincronismo é necessário, pois, cada vez que o sinal é comutado ou sofre edições, problemas de posicionamento podem aparecer. É por meio do sinal de referência que o vídeo começa e termina no tempo certo. Na UM, as referências são geradas por dois PGs e então todas as saídas destes são ligadas em *automatic changeover*, tornando o sistema robusto e confiável.
- Sinais externos: A UM possui um painel com conectores de áudio e vídeo para que possa receber sinais de equipamentos instalados fora do veículo. Esses sinais de vídeo que entram na UM, passam primeiramente por um equipamento denominado *Frame Synchronizer*, que sincroniza os sinais externos com a referência local, dentro da UM.
- Matriz de áudio: Esta recebe sinais das câmeras, do painel externo, dos *mixers*, dos reprodutores de áudio e de comunicação. A matriz geralmente é digital, processando sinais de áudio no padrão AES/EBU, na qual cada sinal pode carregar até dois canais de áudio.
- *Mixers*: É o equipamento capaz de misturar os diversos canais de áudio para entrar no PGM.
- *Partyline*: É o nome dado ao tipo de comunicação em que todos se falam e se ouvem, sendo uma espécie de conferência. Considerada comunicação a dois fios, utiliza-se de

um cabo de áudio balanceado como meio de transmissão. Cada membro envolvido na comunicação carrega um *beltpack* (equipamento portátil de comunicação que está ligado na matriz da *Partyline*).

- **Linhas Telefônicas:** Em um evento de TV, além da comunicação operacional entre os envolvidos no local, é necessário ter uma linha de comunicação externa, com a emissora, por exemplo. Para tal, contrata-se, junto à operadora de telecomunicações, linhas telefônicas. Essas linhas são conectadas ao painel externo da UM e passam por um equipamento chamado TEL-14, que converte o sinal para comunicação. Este entra na matriz e, com isso, gera a possibilidade de estabelecer contato entre uma pessoa que esteja na linha de telefone com qualquer envolvido no evento que tenha um equipamento de comunicação a seu dispor.

2.5 Antenas Transmissora e Receptora

O enlace de micro-ondas entre a unidade móvel e a torre da emissora de TV podia ser realizado entre uma antena transmissora, que se encontrava na UM, e quatro antenas receptoras, localizadas na torre. Tanto a antena transmissora quanto uma das antenas receptoras possuía um sistema capaz de rotacioná-las em torno de seus eixos vertical e horizontal, denominado de *Pan Tilt*. Esse sistema se parece com uma junta, podendo ser movida por acionamento elétrico, e era usado para alinhar as duas antenas, que formariam o enlace, da melhor maneira possível.

2.5.1 Antena Direcional

A antena transmissora e uma das antenas receptoras era da marca Ideal, parabólica, atuando na faixa de frequência entre 2300 MHz e 2500 MHz. Seu modelo era PB0625, como a antena mostrada na Figura 6. Era sempre manuseada por um técnico de externa (no caso da UM) e um técnico de manutenção (no caso da torre) na necessidade de fechar algum enlace ao vivo. Suas especificações técnicas estão incluídas no Anexo A.



Figura 6 – Antena semelhante à antena usada na UM.

2.5.2 Antena Omnidirecional

Três das antenas receptoras eram de marca Ideal, tipo *slot*, atuando na faixa de frequência entre 2300 MHz e 2500 MHz. Seu modelo era SMO1125HN, como a antena mostrada na Figura 7. Não era necessário o manuseio dessa antena, pois era omnidirecional. Suas especificações técnicas estão incluídas no Anexo A.



Figura 7 – Antena semelhante à antena usada na torre.

Citadas as ferramentas principais para a concepção do objetivo inicial, é possível apresentar as idéias desenvolvidas durante o estágio na TV Cabo Braco, sem que haja confusão, no próximo capítulo.

3 Atividades Desenvolvidas

Nesta parte do trabalho, serão citadas as atividades desenvolvidas durante o estágio na emissora de TV. A principal atividade realizada foi o desenvolvimento de um sistema capaz de prever o nível de sinal de um enlace de micro-ondas a partir de testes e medições realizadas durante as entradas "ao vivo" na programação da TV. Além disso, também foram executadas outras atividades mais simples como: O auxílio na instalação do gerador principal, dos procedimentos utilizados para seu funcionamento e das manobras realizadas na subestação; O acompanhamento da rotina de funcionamento da TV; A visita às torres de *broadcast*; A assistência na montagem da estrutura de transmissão e produção em grandes eventos.

3.1 Desenvolvimento do Sistema de Levantamento e Predição do Nível de Sinal de Enlaces de Micro-Ondas

O setor de engenharia da TV Cabo Branco possuía a necessidade de um sistema que fosse capaz de eliminar ou reduzir a necessidade de testes de nível de sinal em um enlace de micro-ondas para uma transmissão ao vivo na programação, pois transmissões desse gênero são corriqueiras e, usualmente, possuem um prazo apertado para que sejam realizados testes antes da transmissão real. Antes desse projeto, várias possibilidades de entradas ao vivo eram desperdiçadas devido à necessidade do teste do nível de sinal por parte do setor de engenharia em várias localidades da cidade.

O desenvolvimento de um sistema como esse poderia não somente acarretar em programações ao vivo mais frequentes e com maior qualidade, mas também no ganho real, caso os testes não fossem mais realizados, pois era necessário que pelo menos um técnico tivesse de se deslocar com o carro da empresa para determinado ponto da cidade, causando a ausência de um técnico e da unidade móvel.

A partir de observações realizadas enquanto eram criados os enlaces entre a unidade móvel e a torre, percebeu-se que pontos próximos gravavam valores semelhantes de níveis de sinal. Além disso, entre dois pontos testados, havia sempre um espaço que, quando medições de nível de sinal eram realizadas, o resultado geralmente era um valor intermediário entre as outras duas medições. Isso deu a entender que seria possível aproximar os resultados por meio de uma interpolação entre os pontos medidos, principalmente sabendo que o número de amostras poderia ser grande, reduzindo o erro.

Decidido o método de cálculo para o nível de sinal como sendo interpolação, o projeto foi dividido nas seguintes partes:

- Levantamento dos níveis de sinal anteriores e presentes;
- Cálculo do nível de sinal no interior da área mapeada;
- Cálculo de medidas estatísticas;
- Cálculo da confiabilidade do resultado;
- Desenvolvimento de métodos de cálculo teórico para o nível do sinal;
- Criação de uma interface usuário-programa.

Cada parte apresentada é de fundamental importância para a compreensão do programa final. Algumas das partes seguintes podem depender de outras partes. Testes foram realizados após o funcionamento completo do aplicativo.

3.1.1 Levantamento dos níveis de sinal

O levantamento dos níveis de sinal de testes e entradas ao vivo foi realizado em duas partes. A primeira consistiu em obter informações em *emails* passados, coletando informações restantes com os técnicos responsáveis por cada um dos enlaces criados entre a unidade móvel e a torre. A segunda etapa consistiu em criar um procedimento sistemático, para que a cada vez que fossem realizadas entradas ao vivo e testes, o responsável por finalizar o enlace de micro-ondas (ou "fechar o sinal", como era chamado esse procedimento) com a UM, enviasse um *e-mail* para o setor de engenharia contendo as informações necessárias para o levantamento. As informações contidas no *e-mail* deveriam ser:

- Nível de sinal do enlace;
- Taxa de erro de bit (BER - *Bit Error Rate*);
- Localização do teste/entrada "ao vivo";
- Situação do mastro da antena na UM (comumente chamado de tubulão);
- Ocorrência no enlace de micro-ondas (se houvesse alguma);
- Data da medição.

Após o recolhimento das informações passadas e presentes, era necessário verificar a localização geográfica do teste, encontrando a latitude, longitude e altitude do local da UM, utilizando o Google Maps (disponível na internet ou como aplicativo de celular).

De posse desses dados, foi possível a realização do levantamento dos níveis de sinal nos pontos que já tinham sido realizados testes ou entradas na programação. Foi criada uma tabela no Microsoft Excel exatamente como mostrado na Figura 8.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Localização	Latitude(GMap)	Longitude(GMap)	Altitude (m)	Nível do Sinal(db)	BER	Data	Latitude	Longitude	OBS	Tubulão Levantado
Rua Pres. João Pessoa, s/n, Centro, Cabedelo (Sede da Polícia Federal)	-7.031896	-34.839121	5	-76	1.0e-8	22.10.2014	7°01'54.8" S	34°50'20.8" W	-	Sim
Praça Getúlio Vargas, Cabedelo (Prefeitura Municipal de Cabedelo)	-6.970542	-34.837969	5	-65	1.0e-8	5.02.2014	6°58'13.9" S	34°50'16.7" W	-	Sim
R. Oceano Atlântico, 520, Jardim Oceania	-7.078734	-34.83696	6	-79	1.0e-8	20.03.2014	7°04'43.4" S	34°50'13.1" W	Fechado com a Antena 4	Sim
Av. Alm. Tamandaré, 100 (Centro Turístico Tambáú)	-7.110439	-34.823663	7	-72	1.00E-08	31.10.2014	7°06'37.6" S	34°49'25.2" W	-	Sim
Estrada Pôr do Sol Jacaré (Praia do Jacaré)	-7.038957	-34.855255	7	-60	1.0e-8	14.11.2014	7°02'20.2" S	34°51'18.9" W	-	Sim

Figura 8 – Tabela utilizada para criar o levantamento dos enlaces ao vivo.

Era necessário, ainda, filtrar os dados para que pudessem ser introduzidos no programa de predição de nível de sinal. Foi constatado que a latitude e a longitude seriam melhor aceitos em forma decimal e, assim, a forma com graus, minutos e segundos foi retirada da tabela de entrada no programa. Foi percebido, também, que a BER era fixo em 10^{-8} caso o nível de sinal fosse aceitável, portanto foi excluído dos cálculos. A tabela de levantamento que alimenta o programa ficou como a presente na Figura 9.

A	B	C	D	E	F	G	H
Latitude(GMap)	Longitude(GMap)	Altitude (m)	Nível do Sinal(db)	Data(DD-Mês-AA)	Localização	Ocorrências	Tubulão Levantado
-7.114521	-34.859438	42	-59	9-Mar	Av. Minas Gerais (EMLUR)	-	Não Informado
-7.170919	-34.826513	43	-63	7-Feb	R. Cel. Francisco de Assis Veloso (Colégio da Polícia Militar da Paraíba)	Fechado com a Antena 4	Não Informado
-7.122642	-34.879765	43	-54	28-Jul	Av. Dom Pedro II (Mercado Central - Ala das Frutas)	-	Não Informado
-7.117786	-34.866287	43	-34	4-Nov	R. Eugênio Lucena Neiva (Hospital Edson Ramalho)	-	Não Informado
-7.170919	-34.826513	43	-70	9-Nov	R. Cel. Francisco de Assis Veloso (Colégio da Polícia Militar da Paraíba)	-	Não Informado
-7.170919	-34.826513	43	-48	9-Nov	R. Cel. Francisco de Assis Veloso (Colégio da Polícia Militar da Paraíba)	-	Não Informado
-7.122642	-34.879765	43	-58	15-Dec	Av. Dom Pedro II (Mercado Central - Ala das Frutas)	-	Não Informado
-7.174962	-34.841325	43	-63	2-Jan	R. Roseane de Fátima Clemente	-	Sim
-7.174962	-34.841325	43	-65	5-Jan	R. Roseane de Fátima Clemente	-	Sim
-7.158538	-34.835753	43	-78	26-Jan	R. Antônio Targino Pessoa da Silveira (Geo Sul)	-	Não Informado
-7.12058	-34.858449	43	-77	13-Mar	Av. Júlia Freire (Secretaria Municipal de Saúde)	-	Não
-7.138225	-34.936322	44	-49	17-Mar	Rua Epitácio Pessoa, 404 Jd Aeroporto, Bayeux	Fechado com a Antena 4	Não Informado
-7.146664	-34.87528	44	-59	19-Mar	Av. Mourão Rangel, Varjão	-	Não Informado
-7.123945	-34.858816	44	-72	2-Sep	R. Prefeito José Bezerra (Centro municipal Imunização)	-	Não Informado
-7.123945	-34.858816	44	-65	7-Nov	R. Prefeito José Bezerra (Centro municipal Imunização)	-	Não Informado
-7.15008	-34.877085	44	-65	26-Nov-14	R. Cromácio de Souza Arnaud	-	Não Informado
-7.161751	-34.838361	44	-67	8-Dec	Rua Walfredo Macedo Brandão (Trevo de Mangabeira)	-	Não Informado

Figura 9 – Tabela de dados de entrada no programa.

O levantamento desses dados poderá ser usado pelos técnicos, para conferir se já houve outras entradas na programação de algum lugar menos utilizado pelo setor do jornalismo, reduzindo, portanto, a experiência necessária para o técnico disponível.

3.1.2 Cálculo do nível de sinal no interior da área mapeada

Após realizar o levantamento, é possível aplicar técnicas de interpolação para encontrar o nível de sinal aproximado em áreas que ainda não foram mapeadas. A técnica de interpolação escolhida foi a bilinear, explicada anteriormente. Porém, testes realizados com outros tipos de interpolação em duas dimensões sugerem que a interpolação bicúbica também seja bastante precisa, mas o gasto computacional nesse caso aumenta muito devido à utilização de mais equações no sistema de equações utilizado para interpolar cada ponto.

Os dados do levantamento foram alinhados em matrizes, para que cada par de

coordenadas nos dados obtidos (latitude e longitude) possuíssem um nível de sinal. Logo, as entradas no cálculo da interpolação seriam as matrizes de latitude e longitude nos eixos x e y , respectivamente, e o nível de sinal seria a função $f(x, y)$ a ser interpolada.

Decididas as entradas e a saída no cálculo, era necessário criar uma grade de valores de latitude e longitude, para que o valor do nível de sinal pudesse ser calculado em cada par (latitude - longitude) que ainda não existisse tal valor. Testes foram realizados para saber qual a melhor distância entre os valores de latitude e longitude, para minimizar o erro e o peso computacional do programa. O melhor resultado do passo entre valores de longitude adjacentes, bem como valores de latitude adjacentes, foi de 0,001, tornando o erro máximo entre a coordenada real e a calculada aproximadamente 72 metros (no caso da cidade de João Pessoa que fica próxima à Linha do Equador), sendo aceitável para o objetivo do projeto.

A interpolação foi realizada com o auxílio da plataforma MatLab[®], utilizando as funções `meshgrid()` (responsável pela criação da grade de valores latitude - longitude) e `griddata()` (responsável pela interpolação em si), na qual o resultado do `meshgrid()` seria utilizado como parâmetro da função `griddata()`. Encontrando essas matrizes, seria possível a criação de um gráfico latitude X longitude X nível de sinal, utilizando a função `surf()`, para melhor visualização dos resultados, como o da Figura 10,

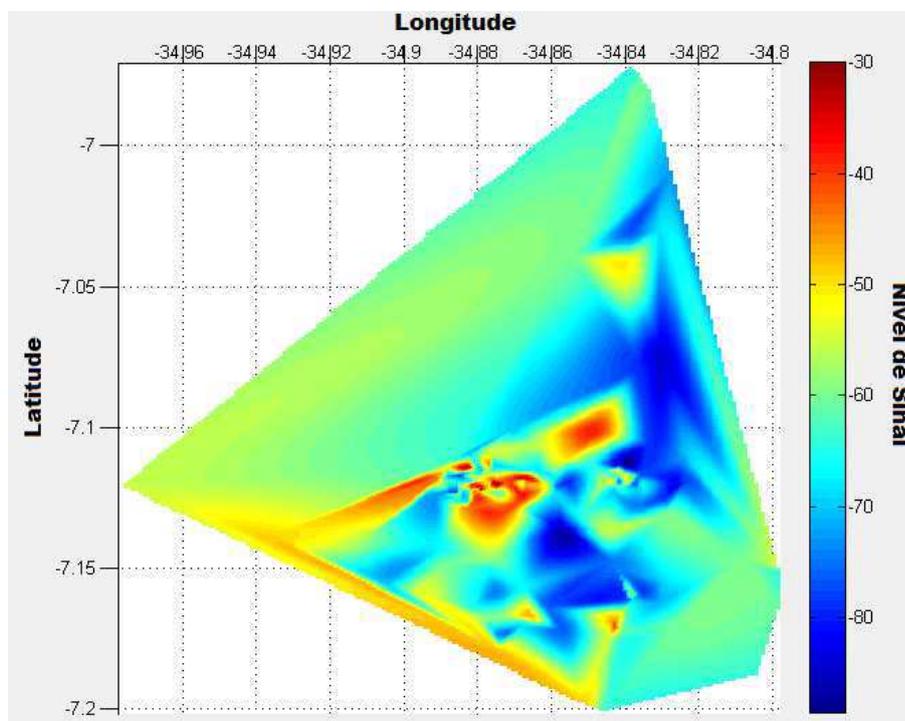


Figura 10 – Gráfico resultado da interpolação do programa, representando a cidade de João Pessoa.

Após encontrar o resultado da interpolação, foi necessário o desenvolvimento de um mecanismo de busca, com a finalidade de encontrar o nível de sinal desejado em

uma coordenada geográfica desejada. A função utilizada no MatLab[®] para tal busca foi `find()`, procurando nas matrizes de latitude e longitude em que posição as duas eram mais próximas da coordenada procurada. Assim, ao encontrar a posição, o elemento da matriz do nível de sinal que se encontrasse na mesma seria o valor desejado.

3.1.3 Cálculo de medidas estatísticas e cálculo da confiabilidade

Com a apresentação do resultado principal, seria necessário um técnico capaz de compreender a teoria envolvida, para, então, ser capaz de tomar decisões com relação a possibilidade de o sinal ser razoável para que o enlace seja aceitável. Buscando aprimorar a experiência do usuário, facilitando a tomada de decisão, seria preciso um sistema que calculasse a confiabilidade dos cálculos realizados pelo programa. Esse sistema é explicado melhor durante a atual seção.

Para provar a confiabilidade do programa, seria preciso encontrar o erro entre o valor real medido a cada entrada ao vivo e o valor calculado no programa. Porém, a confiabilidade do programa iria demorar a ser confirmada, já que entradas ao vivo eram realizadas entre duas a três vezes ao dia. Portanto, uma ferramenta de cálculo foi criada para que o programa calculasse o erro de cada medida já realizada, retirando a mesma da matriz de dados de entrada, realizando os cálculos previamente apresentados e comparando com o valor calculado pelo programa.

Encontrando o erro em cada medida, foi possível determinar a média e o desvio padrão do erro. Sabendo que a média e o desvio padrão eram diferentes em certas áreas da cidade, devido à aglomeração de edificações ou proximidade com a torre, a cidade foi dividida em áreas com diferentes valores estatísticos. O mapa da Figura 10 foi repartido em 16 áreas com desvios padrões e médias distintas, para que cada ponto calculado em áreas diferentes pudesse ser tratado de maneira similar a seus pontos mais próximos.

A confiabilidade da medida foi dita como a probabilidade que o valor encontrado pelo programa gerasse uma entrada ao vivo confiável. Uma entrada ao vivo confiável é aquela cujo o nível de sinal é maior ou igual a -80 dBm. Para definir a probabilidade do nível de sinal calculado ser o maior ou igual a -80 dBm, é necessário saber qual distribuição de probabilidade é mais próxima da distribuição real dos valores de erro encontrados pelo programa, antes de utilizar a função cumulativa de probabilidade ou a função densidade de probabilidade para encontrar o valor.

Utilizando a função `probplot()`, é possível visualizar a proximidade das amostras tomadas com as principais distribuições de probabilidade. As distribuições utilizadas para comparação foram exponencial, valor extremo, rayleigh, lognormal, normal e weibull. O gráfico plotado para comparação é o mesmo que segue nas Figuras 11, 12 e 13.

Quanto mais próximo forem os dados (marcados em azul) da linha tracejada, mais

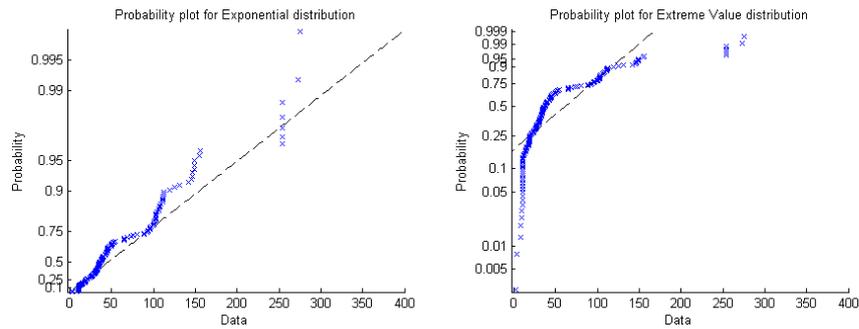


Figura 11 – Gráfico de comparação entre as principais distribuições de probabilidade para os dados medidos (Exponencial e Valor Extremo).

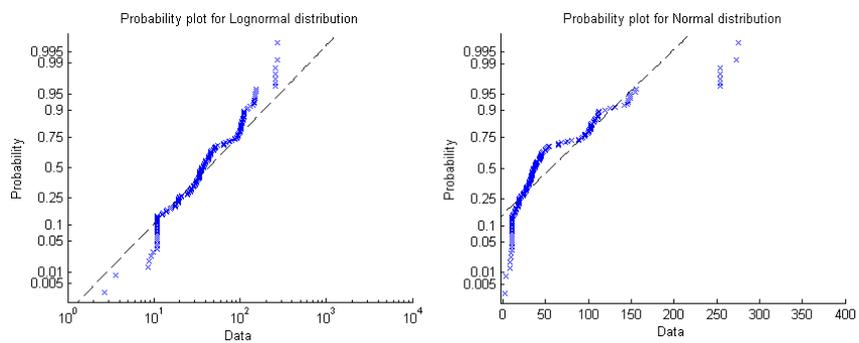


Figura 12 – Gráfico de comparação entre as principais distribuições de probabilidade para os dados medidos (Lognormal e Normal).

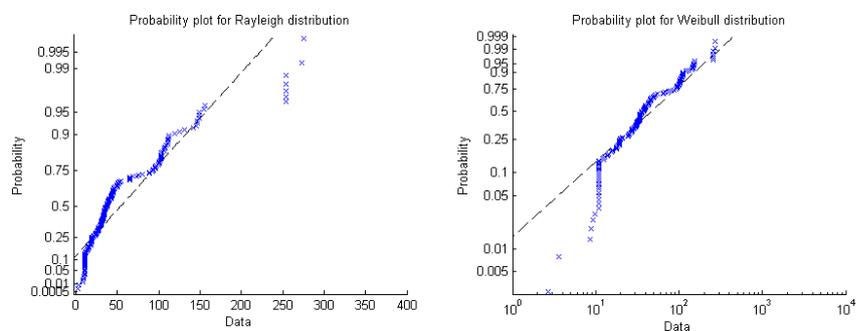


Figura 13 – Gráfico de comparação entre as principais distribuições de probabilidade para os dados medidos (Rayleigh e Weibull).

próxima é a distribuição real da distribuição teórica. No caso em questão, é visível a proximidade de um maior número de pontos no caso da distribuição exponencial, portanto essa foi a distribuição tomada para este projeto.

Sabendo dessas informações, o erro máximo permitido em porcentagem foi calculado como:

$$E_{max\%} = \frac{||f(x, y)| - 80|}{|f(x, y)|} \times 100\%, \quad (3.1)$$

na qual x é a latitude, y é a longitude e $f(x, y)$ é o resultado da interpolação para o nível de sinal no ponto geográfico. A confiabilidade, mais uma vez, seria a probabilidade do erro ser menor ou igual ao erro máximo calculado. Como o desvio padrão, a média e a distribuição de probabilidade já haviam sido definidos anteriormente, foi então utilizada a fórmula da distribuição cumulativa de probabilidade, daí:

$$\text{Conf} = \left(1 - e^{-\lambda \cdot E_{max\%}}\right) \times 100\%. \quad (3.2)$$

Uma observação é: caso já exista uma medição feita na coordenada geográfica em questão e o resultado do teste de nível de sinal foi positivo, então a confiabilidade do resultado é de 100%, mas se o teste do nível de sinal foi negativo, a confiabilidade se reduz a 0%.

De posse do resultado da confiabilidade, seria necessário classificar o resultado em três diferentes patamares:

1. Muito confiável: Não será necessário um teste antes do fechamento do sinal entre a UM e a torre naquela coordenada geográfica;
2. Confiável: Testar o nível de sinal recebido pela torre da unidade móvel é aconselhável em casos importantes, porém é provável que o nível de sinal seja adequado;
3. Pouco confiável: Testar o nível de sinal entre a UM e a torre da emissora é essencial, principalmente em casos importantes, porém é pouco provável que o nível de sinal seja seguro o bastante para a transmissão.

Com base na experiência dos técnicos disponíveis e após vários testes, os limiares de confiabilidade foram os seguintes:

- Confiabilidade $> 75\%$: Muito confiável;
- $50\% < \text{Confiabilidade} \leq 75\%$: Confiável;
- Confiabilidade $\leq 50\%$: Pouco confiável.

Esses limiares podem ser trocados à medida que os técnicos e seus superiores sintam necessidade, tornando o resultado mais seguro.

3.1.4 Cálculo teórico para o nível do sinal

Apesar de os dois cálculos anteriores serem suficientes na maioria dos casos, seria necessário desenvolver uma função que pudesse calcular o nível de sinal sem o uso da

interpolação, já que essa técnica só retornava resultados caso o ponto, no qual o nível do sinal seria calculado, estivesse dentro de uma área já mapeada. Logo, o desenvolvimento desse método é necessário para obter resultados fora de áreas mapeadas. O cálculo teórico para o nível do sinal foi desenvolvido com esse propósito, porém é possível utilizá-lo como complemento para o cálculo da interpolação no caso de tomadas de decisão complexas.

O método do cálculo teórico foi inspirado em plataformas já existentes no mercado, porém geralmente possuem licenças anuais caras. Consiste em ligar as antenas que formam o enlace, mostrando a elevação geográfica do terreno entre elas, calculando a linha de visada, a primeira zona de Fresnel, o nível de sinal teórico e a confiabilidade do sinal.

Para o cálculo da linha de visada, foi necessário obter um arquivo .dt1, contendo informações geográficas entre as latitudes de -6.0 a -7.0 e longitudes entre -34.0 a -35.0 , o que engloba a totalidade da área da grande João Pessoa. Depois, foram obtidos os dados de altitude em uma reta entre o ponto no qual o nível de sinal seria calculado e a torre da TV. Plotando esses dados em um gráfico, algo como um gráfico Distância X Altitude seria criado.

Os raios da zona de Fresnel foram calculados como citado anteriormente nas equações 2.11 e 2.12, então alinha-se uma reta entre a antena transmissora da unidade móvel e a antena receptora da torre, construindo uma elipse em torno da mesma. Caso qualquer secção transversal reta da zona de Fresnel estivesse inteiramente obstruída pelo terreno ou por algum obstáculo, o enlace possuiria uma linha de visada obstruída, não sendo possível transmitir o sinal com sucesso. Como citado na seção 2.1.3, se a obstrução da área da primeira zona de Fresnel for maior ou igual a 40% do total, torna-se praticamente impossível realizar a transmissão do sinal, mas o ideal é que a taxa de obstrução da zona de Fresnel seja abaixo de 20%, portanto o cálculo dessa área foi realizado utilizando a função `cumtrapz()`, capaz de calcular a área abaixo de curvas de modo cumulativo. Para isso, primeiramente calculou-se a área da elipse, em seguida subtraiu-se da área do relevo que estava incluído na elipse.

O nível de sinal teórico, simplesmente calculado como demonstrado na seção 2.1.2, seria parte importante no cálculo da confiabilidade do nível de sinal.

A parte mais importante para a tomada de decisão por parte da engenharia, seria a confiabilidade do nível de sinal teórico, pois seria uma ferramenta de simples visualização e de fácil acesso que compreenderia todas as informações calculadas anteriormente. A confiabilidade, nesta situação, não seria um número inteiro, mas uma escala de cores, calculada semelhante a classificação dos níveis de confiabilidade no caso da interpolação, com base em testes práticos, na experiência dos técnicos e dos erros obtidos em simulações. Como o erro máximo foi de cerca de -20 dBm, o sinal só poderia ser dito muito confiável caso possuísse um nível de -60 dBm. Portanto, os níveis de confiabilidade foram os seguintes:

- Verde (muito confiável): Percentual de obstrução da zona de Fresnel menor que 20%; Nível de sinal maior que -60 dBm; Linha de visada não obstruída.
- Amarelo (confiável): Percentual de obstrução da zona de Fresnel entre 20% e 40%; Nível do sinal entre -60 dBm e -80 dBm; Linha de visada não obstruída.
- Vermelho (pouco confiável): Percentual de obstrução da zona de Fresnel maior que 40%; Nível de sinal menor que -80 dBm; Linha de visada obstruída.

Caso as três condições não apontassem para um mesmo nível de confiabilidade, esse nível seria decidido pela pior condição, ou seja, do vermelho para o verde. Além de todos os cálculos realizados, o programa gerava um gráfico, facilitando o trabalho de identificação no caso de obstruções menores, como segue na Figura 14

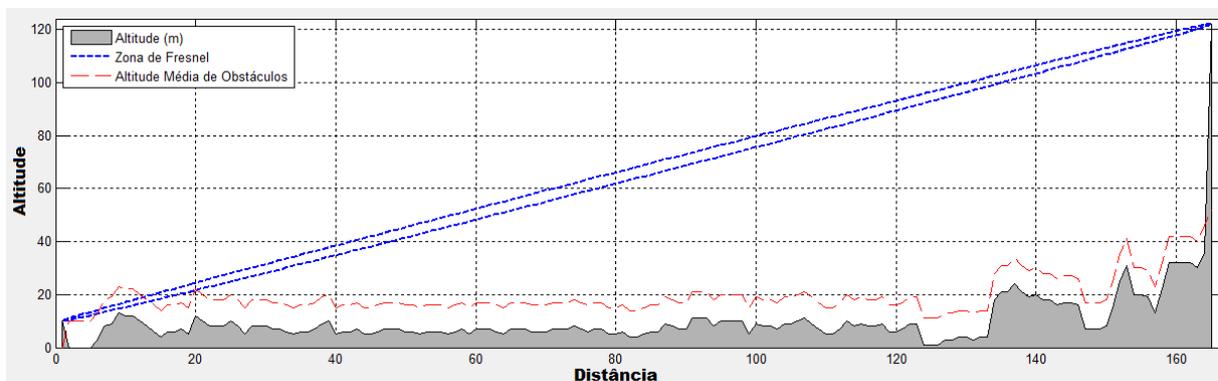


Figura 14 – Gráfico contendo informações referente a altitude do terreno, zona de Fresnel e obstáculos.

No caso do gráfico dos obstáculos, foi realizada uma média entre edificações da cidade e chegou-se a um valor de aproximadamente 10 metros, porém um estudo mais detalhado poderá ser realizado para chegar a valores mais precisos, refinando os resultados do programa.

Desenvolvidas todas as funções de cálculo, se fez necessária a disponibilização das mesmas de forma simples e prática para o acesso de todo o setor de engenharia. Portanto, uma interface deveria ser desenvolvida, como é explicada na seção seguinte.

3.1.5 Criação da interface usuário-programa

Para que o programa pudesse ser aplicado na empresa com sucesso, seria preciso desenvolver uma interface que simplificasse e reunisse todas as informações necessárias em cada uma das partes citadas anteriormente. Ainda seria bastante útil criar funções que armazenassem e deletassem os dados das tabelas, sem que o técnico ou qualquer outra pessoa que viria a manipular o programa precisasse lidar com tabelas extensas e complexas.

A interface foi criada no MatLab[®] e então transformada em *Windows Standalone Application* (Aplicativo que funciona no sistema operacional *Windows* sem que o MatLab[®] esteja instalado no computador) utilizando a ferramenta *deploytool*. A aparência final do aplicativo é mostrada na Figura 15. Em seguida, todas as suas funções serão explicadas.

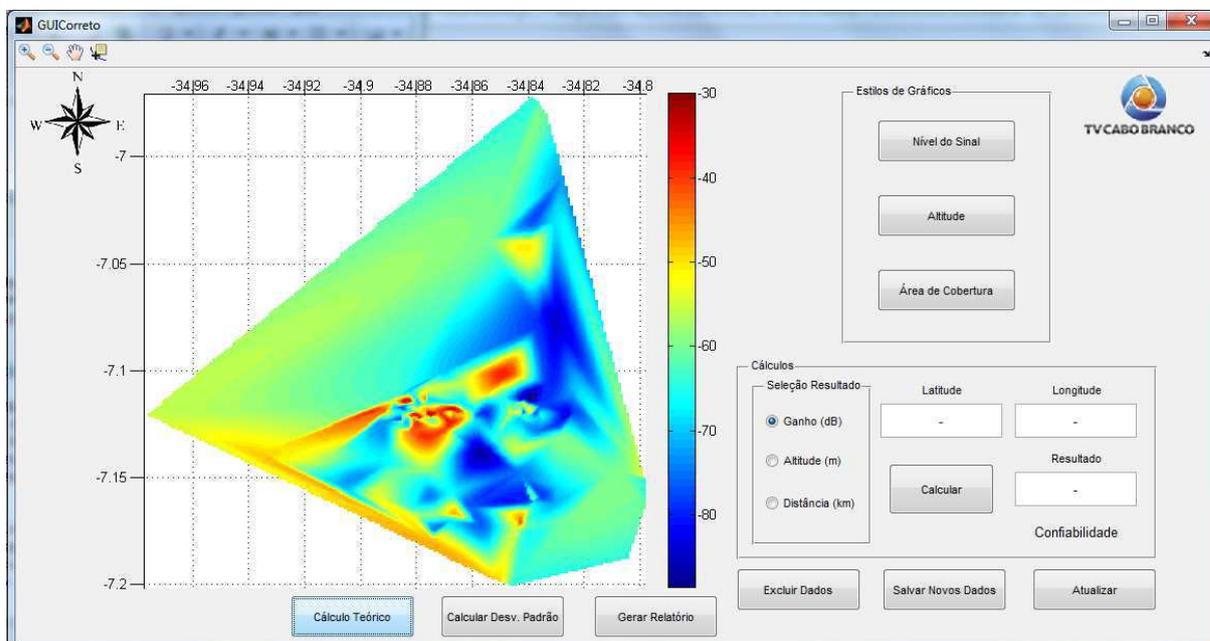


Figura 15 – Tela principal da interface usuário-programa.

- Botão nível do sinal: Mostra o gráfico do nível do sinal na interface;
- Botão altitude: Mostra o gráfico da altitude da cidade na interface;
- Botão área de cobertura: Mostra os pontos onde já houveram realizações de testes ou entradas ao vivo.
- Botão calcular: Realiza os cálculos do que estiver selecionado no painel "Seleção Resultado", tomando como entrada os valores nas caixas de texto "Latitude" e "Longitude", e mostra esse resultado na caixa de texto "Resultado". Após o cálculo, no caso do ganho, altera o valor da caixa de texto "Confiabilidade" para o valor calculado da confiabilidade, mudando a cor dependendo do resultado. Verde: Muito confiável; Amarela: Confiável; Vermelha: Pouco confiável.
- Botão cálculo teórico: Abre a aba mostrada na Figura 16, na qual é possível realizar o cálculo teórico citado anteriormente.
- Botão calcular desv. padrão: Calcula as variáveis estatísticas dos dados de entrada do programa e armazena essas variáveis em uma tabela, para que possam ser visualizadas e sirvam de entrada para o programa.

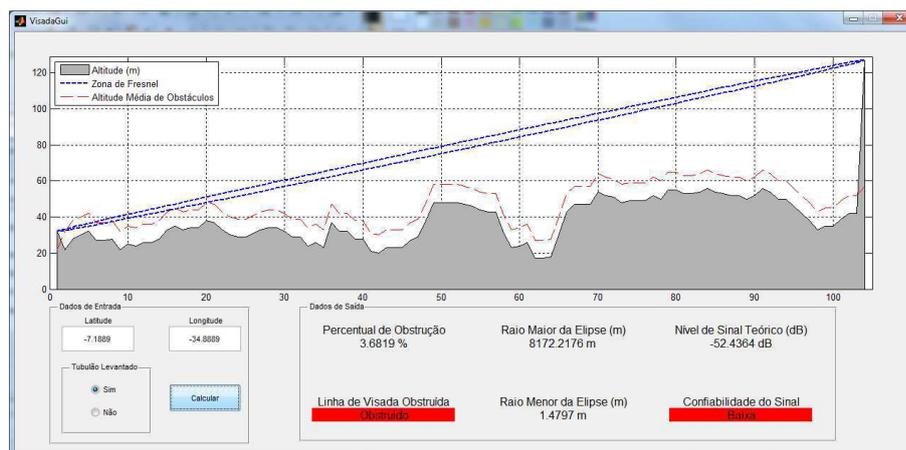


Figura 16 – Interface utilizada para o cálculo teórico do nível de sinal.

- Botão gerar relatório: Abre uma pequena interface (Figura 17) que utiliza como entrada uma data de início e uma data de fim, podendo adicionar uma pasta para que esse relatório seja salvo. Tem como saída uma tabela mostrando as ocorrências de testes e entradas ao vivo na programação, juntamente com todas as variáveis medidas e informações importantes.



Figura 17 – Interface utilizada para gerar um relatório com dados importantes dos testes e entradas ao vivo.

- Botão excluir dados: Abre outra aba do programa capaz de excluir o último dado inserido, excluir todos os dados inseridos ou selecionar dado a ser excluído, como é visto na Figura 18. No caso da seleção de dados, é possível procurar o dado pela sua latitude ou longitude, e, só então, confirmar sua exclusão.
- Botão salvar novos dados: Gera uma aba, como a da Figura 19, com todos os dados necessários para alimentar a tabela de dados de entrada do programa.
- Botão atualizar: Após salvar novos dados, é necessário clicar nesse botão para que os novos cálculos possam ser realizados pelo programa utilizando os dados recém salvos.

Algumas dessas funções requerem um longo tempo para serem calculadas, portanto ao serem utilizadas geram uma barra de carregamento que acompanha o tempo do programa, para que o usuário não tenha a impressão que o programa parou de funcionar.

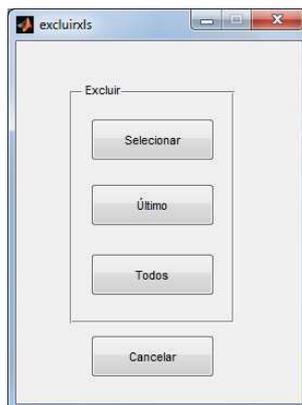


Figura 18 – Interface utilizada para selecionar e excluir dados de entrada do programa.



Figura 19 – Interface utilizada para salvar dados novos na tabela de entrada de dados do programa.

3.1.6 Resultados do Sistema Desenvolvido

Para que o sistema de predição de nível de sinal em enlaces de micro-ondas pudesse ser aplicado a rotina da programação ao vivo da emissora, foi necessária uma fase de testes, onde o programa era utilizado, mas sempre tinha de ser confirmado com um teste de sinal no local desejado.

Os testes se deram em uma janela de cerca de dois meses, e o programa foi sendo melhorado conforme eram percebidas mudanças que alteravam a qualidade do resultado. A Tabela 1 traz os resultados dos testes, com os dados do local, valor medido, valor encontrado pelo programa e erro em porcentagem.

Alguns valores dos testes foram omitidos devido a grande quantidade de amostras recolhidas. Nesta tabela se encontram apenas os testes mais importantes para a compreensão dos resultados do programa desenvolvido.

É fácil observar que o erro máximo incluído na Tabela 1 é de 30,435 %, porém, percebe-se que esse tipo de erro ocorre apenas em casos esporádicos nos quais não existem

Tabela 1 – Resultados do programa comparados com testes reais.

Teste	Latitude	Longitude	Valor Medido (dBm)	Medição Programa (dBm)	Erro (%)
1	-7,12486	-34,8288	-79	-68,3093	13,5325
2	-7,11016	-34,8234	-68	-72,3393	6,3813
3	-7,11016	-34,8234	-71	-67,3765	5,1035
4	-7,02957	-34,8305	-69	-62,22	9,8260
5	-7,02957	-34,8305	-68	-62,22	8,5
6	-7,11016	-34,8234	-71	-72,3393	1,8863
7	-7,11016	-34,8234	-70	-69,8717	0,1832
8	-6,97889	-34,8331	-61	-64,3267	5,4536
9	-7,11935	-34,8237	-80	-79,5673	0,5408
10	-7,11935	-34,8237	-76	-78,4991	3,2882
11	-7,11935	-34,8237	-76	-78,4991	3,2882
12	-7,11935	-34,8237	-78	-78,4991	0,6398
13	-7,11935	-34,8237	-79	-77,8131	1,5024
14	-7,11935	-34,8237	-75	-77,8131	3,7508
15	-7,11935	-34,8237	-76	-77,8131	2,3856
16	-7,11935	-34,8237	-77	-77,8131	1,0559
17	-7,11935	-34,8237	-77	-77,8131	1,0559
18	-7,11935	-34,8237	-78	-77,8131	0,2396
19	-7,11935	-34,8237	-74	-77,3462	4,5218
20	-7,11935	-34,8237	-75	-77,3462	3,1282
21	-7,11935	-34,8237	-80	-77,3462	3,3172
22	-7,07496	-34,8301	-84	-74,591	11,2011
23	-7,00772	-34,8271	-73	-64,7828	11,2564
24	-7,11919	-34,8585	-71	-70,9701	0,0421
25	-7,12834	-34,8369	-74	-59,3745	19,764
26	-7,12024	-34,8257	-84	-78,4919	6,5572
27	-7,11252	-34,889	-63	-53,2331	15,5030
28	-7,10926	-34,8825	-71	-60,8183	14,3404
29	-7,13093	-34,8524	-56	-60,9661	8,868
30	-7,12024	-34,8907	-47	-49,5852	5,5004
31	-7,11938	-34,827	-82	-83,5256	1,8605
32	-7,10009	-34,8706	-70	-49,0988	29,859
33	-7,10204	-34,8646	-60	-61,7179	2,8632
34	-7,15095	-34,7979	-64	-53,3744	16,603
35	-7,11671	-34,8881	-70	-54,3349	22,379
36	-7,16519	-34,7979	-60	-62,1834	3,639
37	-7,11549	-34,846	-63	-63,4974	0,7895
38	-7,18816	-34,8037	-65	-62,9779	3,1109
39	-7,11492	-34,8424	-54	-61,4864	13,864
40	-7,10857	-34,877	-62	-48,0581	22,487
41	-7,15457	-34,906	-71	-49,3914	30,435
42	-7,1225	-34,8366	-70	-64,5401	7,7999
43	-7,11582	-34,8358	-78	-56,2663	27,864
44	-7,14675	-34,8088	-60	-56,6958	5,507
45	-7,1164	-34,8427	-57	-59,7674	4,8551
46	-7,11935	-34,8373	-76	-57,6325	24,168
47	-7,14103	-34,9128	-57	-60,7025	6,4956
48	-7,12212	-34,8349	-68	-65,2346	4,0668
49	-7,1197	-34,8357	-67	-67,394	0,5881
50	-7,11933	-34,8554	-79	-69,3302	12,24

muitos pontos testados próximos, ou seja a interpolação é realizada com um número de amostras baixo, reduzindo a verossimilhança da curva interpolada com a curva real.

Locais com erros acima de 25 % são exceções no programa, podendo ser tratados pelo uso do cálculo teórico incluído no programa, caso a tomada de decisão tenha de ser realizada urgentemente. A média de todos os testes calculada foi de 15,644 %, dando uma segurança alta para o usuário do programa.

Devido ao uso do programa para realizar o levantamento dos testes e das entradas ao vivo na programação, percebeu-se uma grande utilização na coordenada geográfica de latitude $-7,11935$ e longitude $-34,8237$, o que corresponde ao final da Avenida Presidente Epitácio Pessoa, em João Pessoa, mais precisamente no local do busto de Tamandaré. Como a utilização do local foi grande em todas as épocas do ano, a gerência resolveu contratar um plano de internet para que o "mochilink" pudesse ser realizado desse ponto, com base nos levantamentos da plataforma desenvolvida. Assim, a unidade móvel estaria livre para trabalhos em outras áreas onde o sinal das redes 3G e 4G eram fracos, impossibilitando a utilização do "mochilink".

3.2 Instalação do gerador principal

A instalação do gerador principal foi uma manobra crítica, pois, caso ocorresse a queda de energia, o gerador antigo (que tornou-se secundário) não seria capaz de suportar a carga total instalada na empresa, fazendo com que partes importantes da empresa pudessem ficar sem energia.

A instalação do gerador principal (650 kVA) foi realizada para que a carga total da instalação fosse suportada por ele. O primeiro gerador (320 kVA), que se tornou secundário, não suportava a instalação. Após testes de funcionamento sem carga, esta foi transferida para o gerador principal. Em caso de falha do gerador principal, o reserva assume a carga da parte operacional da empresa, através de uma chave reversora, implicando em falta de energia para boa parte da empresa, inclusive nos setores de jornalismo, engenharia e manutenção.

3.3 Acompanhamento da rotina de funcionamento da TV

Boa parte da rotina da TV era realizada em torno dos jornais ao vivo produzidos na empresa, ou seja, das 11 : 00 às 14 : 00 horas e das 18 : 00 às 20 : 00 horas, contando também com *flashes* de notícias que ocorriam entre os telejornais locais.

O principal trabalho da engenharia na empresa é garantir que toda a programação seja transmitida corretamente e com qualidade para o telespectador, incluindo enlaces de tomadas ao vivo. Sendo assim, na sala da engenharia, eram monitorados os sinais gerados pela TV e por outras emissoras afiliadas a rede globo em um aparelho conhecido como *multiview*, para que caso houvesse alguma ocorrência prejudicando a transmissão do sinal gerado localmente, essa transmissão fosse realizada utilizando os sinais de outra emissora afiliada. Além do *multiview*, a engenharia possui um aparelho cujo nome é medidor de *loudness*, monitorado constantemente para garantir que não haja discrepância no volume do áudio da TV entre comerciais, programação local e programação nacional.

Os enlaces da programação ao vivo poderiam ser feitos de três formas diferentes: através de um carro com uma antena parabólica enviando informações em microondas para a TV (objeto principal de estudo deste trabalho); através de um dispositivo chamado "mochilink", capaz de transmitir áudio e vídeo em HD por meio de redes disponíveis como 3G, 4G ou Wi-Fi; e transmissões via cabo internamente na empresa, comumente chamadas de "vivo *hall*". A forma de transmitir programação ao vivo mais utilizada ainda é com o auxílio da UM, já que as redes disponíveis (3G, 4G e Wi-Fi) são dificilmente encontradas em partes periféricas da cidade.

3.4 Visita às torres de *broadcast*

A torre de transmissão da TV é parte essencial para todo o funcionamento da empresa, portanto visitas para verificar o estado e realizar manutenções preventivas e corretivas dos equipamentos são usuais, tanto no caso da TV Cabo Branco, como no caso da TV Paraíba (situada em Campina Grande).

Os principais equipamentos presentes em ambas as torres eram antenas, sejam elas de *broadcast* (transmitindo o sinal da TV e das rádios para toda a cidade), direcionais (criando enlaces entre a chamada "rota", que liga as torres de transmissão das TVs, formando uma espécie de "espinha de peixe" ao longo da Paraíba, para que o sinal das rádios e das TVs cheguem a todas as cidades do estado) ou omnidirecionais (responsáveis principalmente por criar os enlaces de micro-ondas para transmissões de programação ao vivo).

Além dos equipamentos das TVs e das rádios, havia uma concessão por parte da empresa para os rádios da polícia e o *broadcast* da TV Canção Nova, porém não são de responsabilidade da empresa.

3.5 Montagem de estrutura de transmissão em grandes eventos

A emissora de TV também era responsável por cobrir grandes eventos, como o ano novo, carnaval e manifestações. Para isso, uma estrutura diferenciada é sempre alocada no local em questão. Essa estrutura conta com a presença dos equipamentos da parte de produção e de transmissão, contando com o auxílio da unidade móvel, "mochilink" e uma terceira forma de comunicação com a torre, geralmente um enlace por satélite.

Equipes das TVs Cabo Branco e Paraíba são escaladas para a montagem, produção e transmissão do evento. No caso da cobertura do ano novo de 2014/2015, foi necessário a montagem de uma pequena central técnica no local, utilizando versões reduzidas dos equipamentos encontrados na empresa montados em um container, para que todo o evento pudesse ser controlado do local.

A montagem do enlace de micro-ondas entre a UM e a torre é sempre semelhante a montagem diária, porém a equipe e o carro precisam estar no local do evento bem mais cedo que o comum, garantindo uma boa localização. No caso do "mochilink", é usual a contratação de um plano de internet no local, para garantir a qualidade do sinal, já que as redes 3G e 4G não funcionam propriamente em grandes concentrações de pessoas.

4 Conclusões

O estágio na TV Cabo Branco deu a oportunidade de serem aplicados os conhecimentos adquiridos durante o curso, como programação, teoria de antenas, probabilidade e estatística, entre outros. Esses conhecimentos puderam ser ampliados no decorrer das atividades desenvolvidas, através da experiência e contato com os demais funcionários. Foi exigida também a habilidade de se encarar situações adversas e solucionar problemas de forma rápida e eficiente.

O sistema de predição do nível de sinal de enlaces de micro-ondas tem como objetivo principal determinar o nível de sinal de um enlace realizado entre a unidade móvel e a torre de transmissão da TV em uma dada localização geográfica, utilizando para isso interpolações bilineares e teoria de probabilidade e estatística, auxiliando a tomada de decisão por parte do setor de engenharia da empresa.

Para avaliar o desempenho da plataforma desenvolvida foram realizados testes reais em paralelo com medições do programa, comparando os resultados em um intervalo de aproximadamente dois meses, validando a teoria utilizada para o desenvolvimento do mesmo. Assim que os resultados do sistema foram aprovados, sua utilização foi constante. Até o término do período do estágio não houve nenhum problema com os resultados do programa que levassem a perda de uma programação ao vivo. Também não foram encontrados programas que realizassem funções semelhantes para que seus resultados pusessem ser comparados.

A maior dificuldade encontrada para a realização do trabalho foi conseguir reduzir o tempo de cálculo para as interpolações bilineares, pois trabalham com multivariáveis e muitos pontos simultaneos. Ao fim do desenvolvimento do projeto, o tempo de cálculo foi reduzido de cerca de dois minutos para dez segundos, otimizando, além da interpolação, o algoritmo de busca.

Outra preocupação constante do trabalho foi manter a interface usuário-programa simples e intuitiva, para que sejam rapidamente assimiladas por novos técnicos e funcionários da empresa, tornando o uso do programa viável mesmo quando o técnico responsável por manipular o programa estiver ausente.

Portanto, o trabalho apresentou uma proposta nova no que se diz respeito a predição de níveis de sinal de enlaces de micro-ondas, e seus resultados foram, de maneira geral, satisfatórios, podendo ser melhorados com o uso constante e a realimentação de dados após testes e entradas ao vivo na programação.

Referências

ALENCAR, M. S. de. *Televisão Digital*. [S.l.]: Primeira Edição, Editora Érica, 2007.

BALANIS, C. A. *Antenna Theory*. New York: 2nd edition, John Wiley and Sons, inc., 1997. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 18.

LEON-GARCIA, A. *Probability and Random Processes for Electrical Engineering*. Cambridge: 2nd edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1994. Citado na página 23.

MANITO, R. da R. Estudo de viabilidade de rádio enlace.

MENEGAT, F. L. Projeto de uma unidade móvel de tv. Citado na página 26.

MEYER, P. L. *Probabilidade: Aplicações à Estatística*. São Paulo: Segunda Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000. Citado na página 22.

PEARCE, J.; MITTLEMAN, D. Defining the fresnel zone for broadband radiation. Citado na página 19.

PRESS SAUL A. TEUKOLSKY, W. T. V. W. H.; FLANERY, B. P. *Numerical Recipes in Fortran 77: The art of scientific Computing*. Cambridge: 2nd edition, Cambridge University Press, 1997. Citado na página 20.

VASCO, J. F. R. C. L.; PELLENZ, M. E. Ensaio de transmissão e recepção de tv digital terrestre na região metropolitana de Curitiba.

Anexos

ANEXO A – Especificações das Antenas

A.1 Antena Parabólica Ideal PB0625

•Características Técnicas

Faixa de frequência: 2300 - 2500 *MHz*

Impedância de Entrada: 50 Ω

Diâmetro: 0,60 *m*

Polarização: Linear

Potência de entrada: 100 *W*

Ganho: 19,85 *dBd*

Ângulo de meia potência horizontal: 12,2°

Ângulo de meia potência vertical: 11,1°

Discriminação de pol. cruzada: 30 *dB*

Relação F/C: > 28 *dB*

VSWR: > 1.2 : 1

Área exposta: 0,28 *m*²

Carga ao vento: 38,8 *kgf*

Resistência ao vento: 80 *Km/h*

Conector: N Fêmea

Proteção elétrica: Por intermédio da própria estrutura da Antena

•Modelo

PB 06 25 (Parabólica, 60 *cm*, 2300 a 2500 *MHz*)

•Antena Homologada

Número de Homologação: 0821 - 04 - 2318

•Diagramas de Polarização

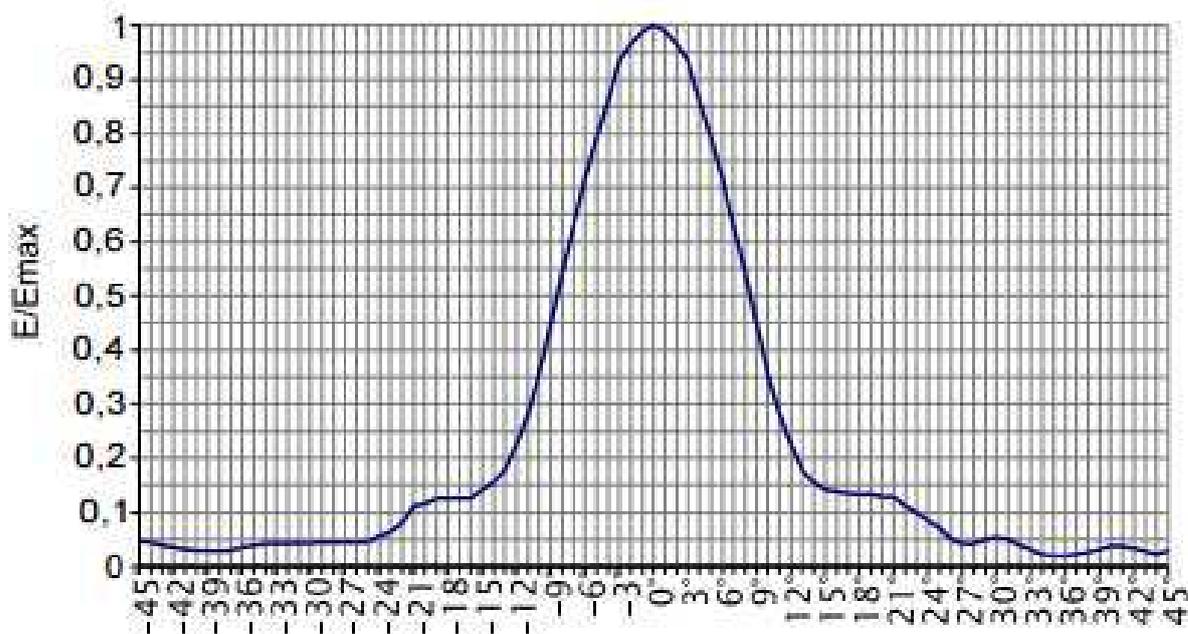


Figura 20 – Diagrama de polarização horizontal

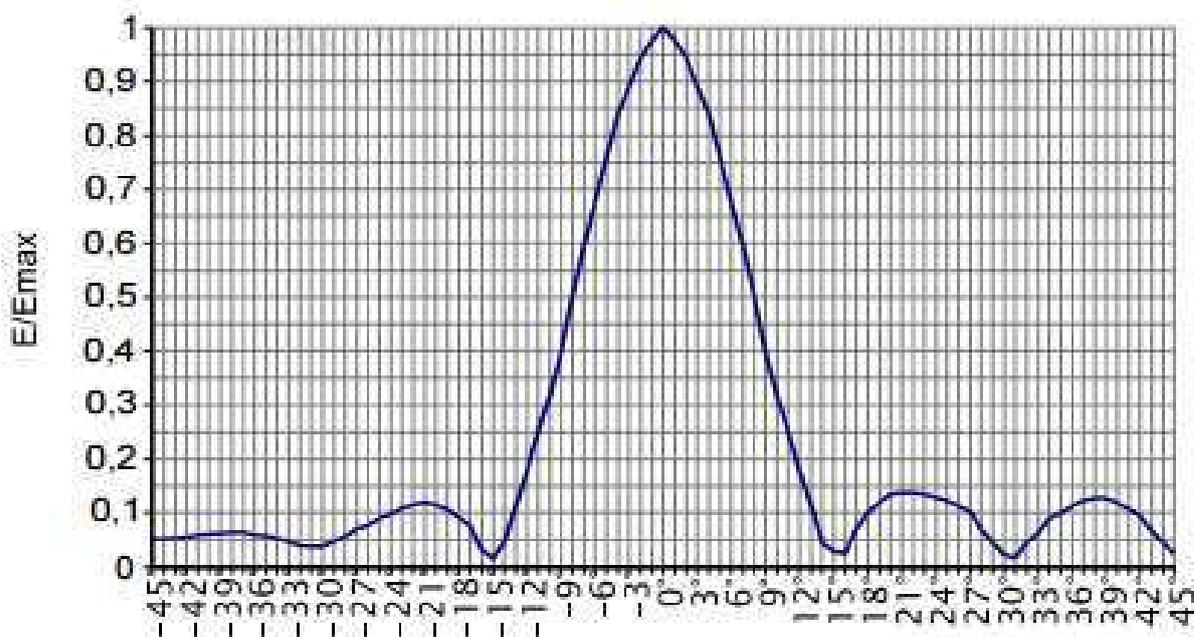


Figura 21 – Diagrama de polarização vertical

A.2 Antena Slot Ideal SMO1125HN

•Características Técnicas

Faixa de frequência: 2300 - 2500 *MHz*

Impedância de Entrada: 50 Ω

Polarização: Horizontal

Potência de entrada: 300 *W*

Ganho: 8,85 *dBd*

Área exposta: 0,18 *m*²

Carga ao vento: 18 *kgf*

Altura: > 875 *mm*

Largura: > 210 *mm*

VSWR: > 1.2 : 1

Resistência ao vento: 120 *Km/h*

Conector: N Fêmea

Proteção elétrica: Por intermédio da própria estrutura da Antena

•Modelo

SMO 11 25 H N (Slot MMDS Omnidirecional, 11 *dBi* (8,85 *dBd*), 2300 a 2500 *MHz*, Horizontal, N fêmea)

•Diagrama de Azimute

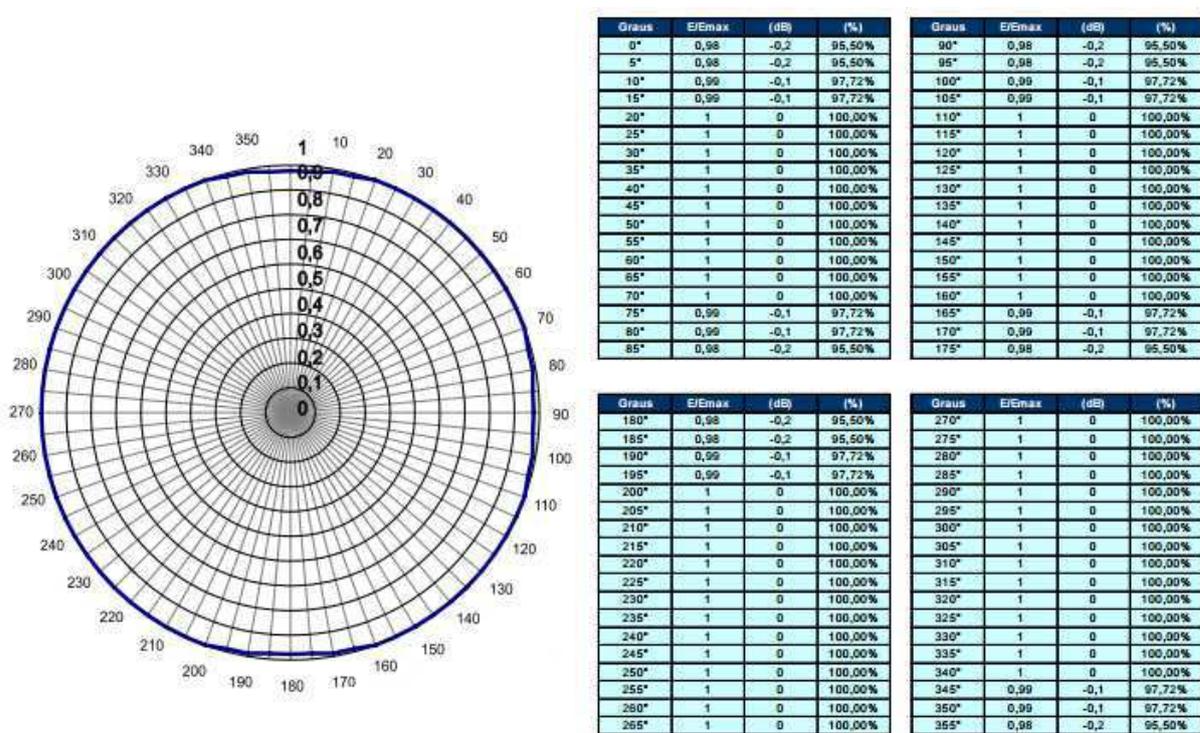


Figura 22 – Diagrama de Azimute