

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL - CPGEI

DEISI LUIZA WOSCH PASSARELLI

**ESTUDO DE MODELOS DE RADIOPROPAGAÇÃO PARA A
RECEPÇÃO DE TV UTILIZANDO ANTENA DE TRANSMISSÃO NA
POLARIZAÇÃO HORIZONTAL E ELÍPTICA**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA
2018

DEISI LUIZA WOSCH PASSARELLI

**ESTUDO DE MODELOS DE RADIOPROPAGAÇÃO PARA A
RECEPÇÃO DE TV UTILIZANDO ANTENA DE TRANSMISSÃO NA
POLARIZAÇÃO HORIZONTAL E ELÍPTICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Telecomunicações e Propagação.

Orientador: profa. Dra. Keiko Verônica Ono Fonseca. Coorientador: prof. Dr. Alexandre de Almeida Prado Pohl.

CURITIBA
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

P286e
2018

Passarelli, Deisi Luiza Wosch
Estudo de modelos de radiopropagação para a recepção de TV utilizando antena de transmissão na polarização horizontal e elíptica / Deisi Luiza Wosch Passarelli.-- 2018.
108 f. : il. ; 30 cm

Texto em português com resumo em inglês
Disponível também via World Wide Web
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba, 2018
Bibliografia: f. 96-98

1. Ondas de rádio - Propagação. 2. Televisão digital. 3. Comunicações digitais. 4. Antenas (Eletrônica). 5. Radioteledifusão pública. 6. Ondas de rádio - Propagação - Modelos. 7. Televisão - Transmissores e transmissão. 8. Engenharia elétrica - Dissertações. I. Fonseca, Keiko Verônica Ono. II. Pohl, Alexandre de Almeida Prado. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. IV. Título.

CDD: Ed. 23 – 621.3

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 806

A Dissertação de Mestrado intitulada “**Estudo de Modelos de Radiopropagação para a Recepção de TV utilizando Antena de Transmissão na Polarização Horizontal e Elíptica**” defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Deisi Luiza Wosch Passarelli**, no dia 04 de outubro de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração Telecomunicações e Redes, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Keiko Verônica Ono Fonseca - Presidente – (UTFPR)

Prof(a). Dr(a). Evelio Martín García Fernández - (UFPR)

Prof(a). Dr(a). João Luiz Rebelatto - (UTFPR)

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 04 de outubro de 2018.

RESUMO

PASSARELLI, D. L. W. *Estudo de modelos de radiopropagação para a recepção de TV utilizando antena de transmissão na polarização horizontal e elíptica*. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba, 2018.

Em função da necessidade de projetos de televisão cada vez mais elaborados e precisos, este trabalho consiste em um estudo sobre a aplicação de modelos de propagação para projetos de radiodifusão baseados nos dados obtidos dos ensaios realizados em campo do sinal digital de televisão na cidade de Maringá, estado do Paraná. Foram medidos quarenta e oito pontos fixos e aproximadamente dois mil e setecentos pontos em movimento, com uma antena de transmissão apenas com polarização horizontal e outra antena com polarização elíptica. A adequação dos modelos em relação às medidas e métricas escolhidas neste estudo apontaram para modelos diferentes, dependendo de cada região.

Palavras-chaves: Propagação em UHF. Televisão Digital. Antena Polarização Horizontal. Antena Polarização Elíptica. Modelos de Propagação.

ABSTRACT

PASSARELLI, D. L. W. *Study of radiopropagation models for TV reception with horizontal and elliptical transmission antenna*. BSc. Thesis - Postgraduate Program in Electrical Engineering and Industrial Informatics, Federal Technological University of Paraná - UTFPR, Curitiba, 2018.

Due to the need for more and more elaborate and precise television projects, this work consists of a study on the application of propagation models for broadcasting projects based on the data obtained from the field tests of the digital television signal in the city of Maringá, state of Parana. Forty-eight fixed points and approximately two thousand and seven hundred moving points were measured, with a transmitting antenna only with horizontal polarization and another antenna with elliptical polarization. The adequacy of the models in relation to the measurements and metrics chosen in this study pointed to different models, depending on each region.

Key-words: Propagation in UHF. Digital Television. Antenna Horizontal polarization. Antenna Elliptical polarization. Propagation Models.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Geometria para o cálculo enlace ponto a ponto: Zona de Fresnel, linha de visada, diferença entre o obstáculo e a linha de visada	23
Figura 2	– Ângulo de reflexão	24
Figura 3	– Esquemático - obstáculos	26
Figura 4	– ITUR 370-7: Curva de predição de campo elétrico para 600 MHz, percurso terrestre - 50 % das localidades para 50 % do tempo	30
Figura 5	– ITUR-1546- Curva de predição de campo elétrico para 600 MHz, percurso terrestre - 50 % das localidades para 50 % do tempo	32
Figura 6	– Ângulo de desobstrução do terreno	37
Figura 7	– Correção do ângulo de desobstrução do terreno	38
Figura 8	– Integração em z para encontrar o campo	39
Figura 9	– Pontos em que o campo é encontrado ao longo de uma radial. O Campo é mostrados em pontos na vertical	40
Figura 10	– Frentes de onda a 50 MHz para 3 obstáculos do tipo gume de faca na mesma altura que o transmissor	40
Figura 11	– Frentes de onda a 50 MHz para 3 obstáculos elevados	41
Figura 12	– Geometria do enlace no modelo Longle-Rice	44
Figura 13	– Bloco funcional do sistema brasileiro de TV Digital	49
Figura 14	– Imagem google earth - localização do ponto de transmissão	50
Figura 15	– Tipos de antenas usadas nas transmissões de televisão	52
Figura 16	– Diagrama horizontal e diagrama vertical da antena de transmissão polarização horizontal	54
Figura 17	– Diagrama horizontal, diagrama vertical e corte de elevação da antena de transmissão polarização elíptica	55
Figura 18	– Esquemático da torre de transmissão com a instalação das duas antenas na torre e seu posicionamento	56
Figura 19	– Foto da antena receptora instalada na vertical e horizontal	59
Figura 20	– Antena receptora omnidirecional	59
Figura 21	– Equipamentos de monitoração dentro do veículo de medidas	60
Figura 22	– Imagem de satélite google earth - pontos fixos em Maringá	62
Figura 23	– Imagem de satélite google earth - pontos fixos Maringá e região	62
Figura 24	– Imagem de satélite Google Earth com a indicação em vermelho da região de medições em movimento, Centro de Maringá	63
Figura 25	– Imagem de satélite google earth com a indicação em vermelho das medidas em movimento, avenida Colombo em Maringá	64
Figura 26	– Imagem de satélite google earth com a indicação em vermelho das medidas em movimento, rodovia Maringá - Marialva	64
Figura 27	– Imagem de satélite google earth com a indicação em vermelho das medidas em movimento, rodovia Maringá - Mandaguaçu	65
Figura 28	– Erro médio em dB para cada modelo de propagação - pontos fixos	70
Figura 29	– Desvio padrão em dB para cada modelo de propagação - pontos fixos	70
Figura 30	– Erro RMS em dB para cada modelo de propagação - pontos fixos	71
Figura 31	– Taxa de acerto média (0 a 5) para cada modelo de propagação - pontos fixos	71
Figura 32	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: ITU-R REC. 370 - polarização horizontal - pontos fixos	73

Figura 33	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: ITU-R REC. 370 - polarização elíptica - pontos fixos	73
Figura 34	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: CRC Predict - polarização horizontal - pontos fixos	74
Figura 35	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: CRC Predict - polarização elíptica - pontos fixos	74
Figura 36	– Erro médio em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: centro de Maringá	75
Figura 37	– Desvio padrão em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: centro de Maringá.....	75
Figura 38	– Erro RMS em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: centro de Maringá	76
Figura 39	– Taxa de acerto média (0 a 5) para cada modelo de propagação - pontos movimento: centro de Maringá	76
Figura 40	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Suburban - polarização horizontal - pontos em movimento: centro de Maringá	78
Figura 41	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Suburban - polarização elíptica - pontos em movimento: centro de Maringá	78
Figura 42	– Erro Médio em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: avenida Colombo em Maringá.....	79
Figura 43	– Desvio padrão em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: avenida Colombo em Maringá	80
Figura 44	– Erro RMS em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: avenida Colombo em Maringá.....	80
Figura 45	– Taxa de acerto média (0 a 5) para cada modelo de propagação - pontos movimento: avenida Colombo Maringá.....	81
Figura 46	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Suburban - polarização horizontal - pontos em movimento: avenida Colombo Maringá.....	82
Figura 47	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Suburban - polarização elíptica - pontos em movimento: avenida Colombo Maringá.....	83
Figura 48	– Erro médio em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Marialva	84
Figura 49	– Desvio padrão em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Marialva	84
Figura 50	– Erro RMS em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Marialva	85
Figura 51	– Taxa de acerto média (0 a 5) para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Marialva	85
Figura 52	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Open - Polarização Horizontal - pontos em movimento: rodovia Maringá a Marialva.....	87
Figura 53	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: ITUR 1546 - Polarização Elíptica - pontos em movimento: rodovia Maringá a Marialva.....	87

Figura 54	– Erro médio em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu	88
Figura 55	– Desvio padrão em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu.....	89
Figura 56	– Erro RMS em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu	89
Figura 57	– Taxa de acerto média (0 a 5) para cada modelo de propagação -pontos movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu	90
Figura 58	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Open - polarização horizontal - pontos em movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu	91
Figura 59	– Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Open - polarização elíptica - pontos em movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu	92
Figura 60	– Diagrama de constelação Layer A e B medido do instrumento ETL.....	100
Figura 61	– Configurações do sistema irradiante	102
Figura 62	– Definindo melhoria de margem - <i>Defining margin improvement</i>	104
Figura 63	– Características técnicas e mecânicas cabo RFS modelo HCA-158-50J	105
Figura 64	– Atenuação e potência para cada faixa de frequência cabo RFS modelo HCA-158-50J.....	106
Figura 65	– Dados medidos e calculados - 48 pontos fixos - antena de transmissão polarização horizontal.....	107
Figura 66	– Dados medidos e calculados - 48 pontos fixos - antena de transmissão polarização elíptica.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Resumo modelos de propagação	48
Tabela 2	–	Características técnicas - estação transmissora	58
Tabela 3	–	Características técnicas de recepção	61
Tabela 4	–	Melhor modelo de propagação por região	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
AM	Amplitude Modulada
BER	<i>Bit Error Rate</i> - Taxa de Erro de Bit
BTS	<i>Broadcast Transport Stream</i>
CDF	Função de Distribuição Cumulativa
CP	Polarização Circular
CRC	<i>Canadian Research Center</i>
EAD	Entidade Administradora do Processo de Redistribuição e Digitalização de Canais de TV e RTV, criada pela Anatel
ERP	Potência Máxima Irradiada
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FM	Frequência Modulada
GPS	<i>Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global
HD	<i>High Definition</i>
HDTV	<i>High Definition Television</i> - alta definição
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISBD-T	<i>Integrated Services Digital Broadcasting</i>
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor
ITS	<i>Institute for Telecommunication Sciences</i>
LD	<i>Low Definition</i>
LOS	<i>Line-of-Sight</i> - Linha de Visada
MC	Ministério das Comunicações
MER	<i>Modulation Error Rate</i>
MI	Incremento de Margem
MPEG-4	<i>Motion Picture Experts Group</i>
NLOS	<i>No Line-of-Sight</i> - sem Linha de Visada
NV	Norte Verdadeiro

NTIA	<i>National Telecommunication and Information Administration</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
PNAD	Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios
PE	Polarização Elíptica
PH	Polarização Horizontal
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
RF	Radiofrequência
RFS	<i>Radio Frequency Systems</i>
RMD	<i>Reflection plus Multiple Diffraction Loss</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SNR	<i>signal-to-noise ratio</i> - relação sinal-ruído
SBTV-D-T	Sistema Brasileiro de TV Digital Terrestre
SET	Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão
ST	<i>Superturnstyle</i>
TIREM	<i>Terrain Integrated Rough Earth Model</i>
TV	Televisão
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	18
2 MODELOS DE PROPAGAÇÃO	19
2.1 MODELO PROPAGAÇÃO ESPAÇO LIVRE.....	19
2.2 MODELO OKUMURA (HATA): <i>OPEN</i> , <i>SUBURBAN</i> E <i>URBAN</i>	20
2.3 MODELO HATA-EXTENDED/EPSTEIN-PETERSON DIFFRACTION: <i>OPEN</i> , <i>SUBURBAN</i> E <i>URBAN</i>	22
2.4 ATENUAÇÃO POR PROPAGAÇÃO - RMD	23
2.4.1 Cálculo do Coeficiente de Reflexão.....	24
2.4.2 Cálculo de Atenuação da Difração do Terreno	25
2.5 MODELO FCC + RMD.....	27
2.6 MODELO TIREM-EDX	28
2.7 MODELO FCC-EDX	29
2.8 MODELO FCC-FCC	29
2.9 MODELO ITUR 370-7	29
2.10 MODELO ITUR-370 + RMD	30
2.11 MODELO ITUR 1546	31
2.11.1 Interpolação da Intensidade de Campo em Função da Distância	33
2.11.2 Interpolação da Intensidade de Campo em Função Frequência.....	34
2.11.3 Interpolação da Intensidade de Campo em Função do Tempo Percentual.....	34
2.11.4 Interpolação da Intensidade de Campo em Função da Antena Transmissora	35
2.12 MODELO CRC-PREDICT	38
2.12.1 Cálculo.....	39
2.12.2 Reflexões na Terra	41
2.12.3 Espelhamento Troposférico.....	41
2.12.4 Variabilidade das Localidades	42
2.12.5 Disponibilidade Temporal	42
2.13 MODELO LONGLEY-RICE.....	42
2.14 MODELO ANDERSON 2D V1.00	46
2.14.1 Caminho Linha de Visada	46
2.14.2 Caminho Obstruído	47
2.15 RESUMO MODELOS DE PROPAGAÇÃO	47
3 ENSAIOS DE CAMPO	49
3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA	49
3.2 MEIO DE TRANSMISSÃO UTILIZADO.....	58
3.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA RECEPÇÃO	58
3.4 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIDA	61
3.5 PROCEDIMENTO DE MEDIDAS DO SINAL DIGITAL	65
4 SIMULAÇÃO E RESULTADOS	67
4.1 SIMULAÇÃO	67
4.1.1 Modelos de Propagação Utilizados	67
4.1.2 Cálculo do Erro	68
4.1.3 Taxa de Acerto.....	69
4.2 RESULTADOS	69

4.2.1	Pontos Fixos	69
4.2.2	Pontos em movimento - Região Central de Maringá	74
4.2.3	Pontos em movimento - Avenida Colombo em Maringá	79
4.2.4	Pontos em movimento - Rodovia Maringá - Marialva	83
4.2.5	Pontos em movimento - Rodovia Maringá - Mandaguaçu.....	88
5	CONCLUSÃO	93
6	APÊNDICE	99
6.1	UNIDADES DE MEDIDAS	99
6.1.1	<i>dBmW</i>	99
6.1.2	MER.....	99
6.1.3	<i>dBμV/m</i>	100
6.2	VANTAGENS DA ANTENA DE POLARIZAÇÃO ELÍPTICA PARA RECEPTORES MÓVEIS	102
6.3	CATÁLOGO CABO DE TRANSMISSÃO USADO NOS ENSAIO DE CAMPO ...	105
6.4	DADOS MEDIDOS E CALCULADOS - PONTOS FIXOS- POLARIZAÇÃO HORIZONTAL	107
6.5	DADOS MEDIDOS E CALCULADOS - PONTOS FIXOS- POLARIZAÇÃO ELÍPTICA	108

1 INTRODUÇÃO

A Televisão Brasileira é um serviço de recepção aberta, livre e gratuita, presente em praticamente todo o território nacional, em tempo real. É uma das principais opções de entretenimento, informação e cultura da população, sendo um instrumento fundamental para integração da federação, na defesa do idioma nacional, nas campanhas de mobilização comunitária e de valorização da democracia através da cessão de horários político-partidários. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na sua Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios (PNAD), realizada em 2015, a televisão está presente em 97,1% dos domicílios brasileiros. (IBGE, 2015)

A história da televisão no Brasil começa na década de 50. O primeiro acesso a um sinal aberto de TV aconteceu após a inauguração da TV Tupi, pelo jornalista Assis Chateaubriand, ainda em preto e branco. Em 19 de fevereiro de 1972, foi realizada a primeira transmissão pública de TV em cores, com programação produzida no Brasil, a festa da uva, em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul.

Um novo marco na tecnologia de televisão no Brasil ocorreu em novembro de 2003, quando o governo federal assinou o Decreto 4.901 (BRASIL, 2003) que instituiu o Sistema Brasileiro de Televisão Digital – SBTVD com o objetivo de criar um modelo de referência para TV digital terrestre no Brasil. Em junho de 2006, o Decreto 5.820 (BRASIL, 2006) oficializou a implantação do SBTVD-T tendo como base o padrão de sinais Japonês *Integrated Services Digital Broadcasting* - ISDB-T (DIBEG, 1997), incorporando algumas inovações tecnológicas tais como o padrão de codificação - *Motion Picture Experts Group* MPEG-4 (ISO/IEC, 1998) e a adoção do *middleware* Ginga (ISDB-TB, 2007).

As transmissões comerciais de TV Digital iniciaram em 2 de dezembro de 2007, em São Paulo. Em 2016, todas as 27 capitais já estavam transmitindo o serviço da TV Digital, uma cobertura do sinal digital atingindo mais de 75 % da população brasileira, cerca de 152 milhões de pessoas. (ABERT, 2017)

No Paraná, a Rede Paranaense de Televisão (RPC) iniciou a primeira transmissão de TV Digital no dia 22 de outubro de 2008 em Curitiba, quinta cidade do país a transmitir o sinal digital a população. O ministro das comunicações, Hélio Costa, assinou, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) os termos de consignação dos canais do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) com as emissoras de rádio e televisão da capital paranaense.

Em maio de 2012, segundo a Agência Nacional de Telecomunicações, Anatel, considerando as emissoras em operação e o campo elétrico de $51 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ (intensidade de campo mínima para determinação do contorno de serviço, conforme portaria 276, de 29 de março de 2010 no Ministério das Comunicações (MC, 2010) que aprovou a Norma 01/2010, norma técnica para execução dos serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão com utilização da tecnologia digital), a cobertura da TV Digital no Paraná, já era de 5.883.117

pessoas, um percentual de 56,35 % da população do Paraná (ANATEL, 2018).

Em 2016, o processo de encerramento das transmissões analógicas da TV aberta deu um importante passo. Em março, Rio Verde, Goiás, tornou-se o primeiro município com transmissão 100% digital; em novembro, Distrito Federal e entorno também passaram por esse processo (ANATEL, 2018). Para que o desligamento das transmissões analógicas ocorra é preciso que estejam aptos à recepção da televisão digital terrestre pelo menos 93% dos domicílios do município que acessam o serviço livre, aberto e gratuito por transmissão terrestre. Esse indicador é aferido por meio de pesquisa.

Segundo Gunnar Bedicks (BEDICKS, 2018), diretor técnico da Seja Digital (EAD - Entidade Administradora da Digitalização de Canais TV e RTV) criada pela Anatel, em sua palestra ministrada no 30º Congresso de Tecnologia da SET Expo 2018, até o final de 2018, 1.378 cidades brasileiras (25 % dos municípios brasileiros), correspondendo a 128 milhões de pessoas (63 % da população brasileira), terão seus sinais de TV analógicos desligados.

A primeira região de desligamento da TV analógica no Paraná ocorreu dia 31 de janeiro de 2018, atingindo a capital, Curitiba, cidades da região metropolitana, do litoral e também dos campos gerais, totalizando 26 cidades.

Ainda segundo Gunnar, o desafio para 2023 será digitalizar mais 4.192 cidades brasileiras, 77 milhões de habitantes, totalizando ainda 37 % da população brasileira, promovendo uma cobertura de canais digitais eficiente. Serão desligados até 31 de dezembro de 2023, 10.380 canais analógicos, completando assim o processo de *switch off* da TV analógica no Brasil.

Hoje a variedade de aparelhos, emissoras e qualidade de sinal foram aperfeiçoadas com os estudos científicos, proporcionando sinais de alta qualidade e de nitidez de imagens e evoluções tecnológicas constantes. Os principais benefícios da TV Digital são: qualidade superior de vídeo (alta definição) e áudio (estéreo e 5.1 canais), novos serviços, mobilidade, portabilidade e interatividade.

O mercado de TV Aberta corresponde a cerca de 60% de todo o mercado publicitário nacional, com uma receita bruta operacional de 29,55 bilhões de reais em 2014 (ABERT, 2017). Com mais de sessenta anos presente nos lares dos brasileiros, um modelo de negócio bem-sucedido e consolidado, baseado no serviço de recepção de ondas eletromagnéticas, o estudo dos fenômenos de propagação das faixas de frequência usadas pelas emissoras de televisão, sempre foi uma matéria de destaque, tanto para atender a legislação em vigor quanto para maximizar o retorno do investimento.

O nível de exigência dos engenheiros que desenvolvem projetos de transmissão de televisão digital aumentou. Diferentemente do sistema analógico que mesmo abaixo do limiar de recepção os televisores ainda têm informação (mesmo com a imagem na tela com chuvisco e fantasmas), no sistema de transmissão digital, o equipamento já não tem capacidade para decodificar o sinal, perdendo a informação (deixando a tela preta na casa do telespectador). Os engenheiros de projetos precisam desenvolver projetos em que o sinal digital de transmissão

seja recebido na maioria das localidades e regiões, exigindo um projeto aprimorado.

Um projeto de transmissão é composto da definição da frequência a ser utilizada (canal), equipamento transmissor, que transforma os sinais a serem transmitidos em energia, antena de transmissão, estrutura de sustentação (torre), cabos, conectores, combinadores e acessórios. O escopo deste trabalho é um estudo sobre a aplicação de modelos de propagação para projetos de radiodifusão baseados nos dados obtidos dos ensaios realizados em campo do sinal, tanto usando uma antena de transmissão horizontal quanto uma antena de polarização elíptica.

A antena de transmissão é um dos principais componentes de sistema de televisão. A função da antena é transformar a energia recebida pelo transmissor em campo eletromagnético, guiada pela linha de transmissão, emitindo este campo até o ponto de recepção desejado. Suas principais características técnicas são o diagrama de irradiação, ganho e polarização. A correta escolha da antena de transmissão com suas características técnicas pode facilitar a penetração do sinal e contribuir para a adesão da população à tecnologia de televisão digital.

Na recepção do sinal digital, além da recepção tradicional com antena externa instalada horizontalmente na casa dos telespectadores, é possível receber o sinal em aparelhos móveis, portáteis. Isso tem motivado projetistas das emissoras de televisão e fabricantes a desenvolver projetos de transmissão com outros tipos de polarização, além de projetos consolidados com a polarização horizontal, usado por muitos anos no sistema de transmissão analógico. (ANATEL, 2018)

A preocupação com a mobilidade e também com a facilidade de recepção do sinal de televisão digital já motivou estudos sobre o tema de polarização na transmissão de televisão digital, segundo o professor de Engenharia Elétrica da Universidade Positivo e integrante do comitê de ensino da Sociedade de Engenharia de Televisão - SET, José Frederico Rehme, em seu artigo publicado na Revista Set 2012 (REHME, 2012, p.29), em que destaca a importância sobre o tema:

“... Enfatizamos que um bom estudo de cobertura e definição de características do sistema irradiante, no entanto, é fundamental, obtendo eficiência entre potência irradiada x área atendida, mas muitas vezes tal atividade não é considerada como deveria.

Uma discussão ainda corriqueira trata da polarização do sinal: horizontal, circular, elíptica e em que relação H/V? Provavelmente nunca teremos uma resposta única e nem uma que se aplique para todos os casos. A topografia, a ocupação do solo, a localização do site de transmissão em relação ao núcleo urbano que se deseja atingir, a ênfase no serviço HDTV ou na recepção portátil ou móvel deverão influenciar na decisão a respeito da polarização”.

Segundo diretor executivo e proprietário da Transtel, membro da diretoria da SET, Dante Conti (CONTI, 2017b):

“...Técnicas construtivas bem como métodos de teste e fabricação mais elaborados são agora necessários para as antenas que vão operar com sinais digitais, principalmente para antenas que vão operar com múltiplos canais digitais combinados. Linearidade é o conceito chave para as antenas de transmissão de

TV Digital. Os parâmetros que devem ser considerados para a seleção da antena, são a sua resposta em frequência no modo reflexão, caracterizado pelo parâmetro VSWR - *Voltage Standing Wave Ratio* e a sua resposta em frequência no modo transmissão, caracterizados pelos diagramas de radiação dentro da faixa de operação. Não existe antena como solução universal e automaticamente “ótima e mais indicada” para transmissão de TV Digital bem como a experiência do fornecedor pode fazer a diferença no desenho das soluções demandadas nos diversos cenários de implantação de uma estação de transmissão de TV Digital.

Dante aconselha que no processo de seleção da antena de transmissão deve haver uma abordagem estruturada, não relegando uma importância menor à antena de transmissão e reconhecer que é necessário investir na seleção do sistema radiante o mesmo tempo, atenção e cuidado adotado nos demais componentes críticos da planta de transmissão digital.

Além dos parâmetros de transmissão citados, para a especificação otimizada de todos os itens do projeto faz-se necessária ainda, a utilização de modelos de propagação, determinísticos e/ou empíricos que tentam, por aproximação, simular o comportamento das ondas eletromagnéticas durante a propagação em um determinado meio.

Existem diversos modelos de propagação consolidados, a escolha destes modelos para a análise de cobertura é fundamental para o sucesso do projeto e a melhor qualidade de sinal na casa dos telespectadores.

Trazer à discussão uma comparação entre os resultados de ensaios realizados com tipos de polarização diferentes dos sistemas irradiantes de transmissão digital e modelos de propagação motivou o desenvolvimento deste trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em função da nova tecnologia digital para televisão e a inevitabilidade de projetos mais criteriosos e primorosos, considerando o uso intenso de antena interna pela população, o uso cada vez mais frequente dos aparelhos portáteis recebendo o sinal digital (ABERT, 2017), este trabalho consiste em comparar os resultados obtidos dos modelos de propagação em UHF com o resultado de medidas coletadas na cidade de Maringá, estado do Paraná. É feita a análise em quarenta e oito pontos fixos e aproximadamente dois mil e setecentos pontos em movimento, com uma antena de transmissão com polarização horizontal e outra antena com polarização elíptica. Com os resultados obtidos deste trabalho, espera-se contribuir no desenvolvimento novos projetos e modelamento do canal de radiofrequência mais assertivos e precisos, com modelos de propagação mais otimizados para cada tipo de região.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho consiste em comparar os resultados de modelos de propagação em UHF com valores medidos em campo na cidade de Maringá, estado do Paraná, usando uma antena de transmissão com polarização horizontal e outra antena com polarização elíptica. Através da análise realizada, espera-se que este estudo possa ser utilizado em projetos de radiodifusão de forma a aprimorar os resultados em campo auxiliando no uso de boas práticas para a definição dos projetos de radiodifusão. Além disso, a arquitetura de testes realizados possa servir de exemplo para outros trabalhos, tais como: a especificação de equipamentos, a caracterização dos tipos de antenas utilizadas, os tipos de equipamentos utilizados na monitoração do sinal, a maneira de definição dos locais na cidade de Maringá e região metropolitana dos pontos de medição do sinal (distribuídos geograficamente e por critérios de dificuldade de recepção) e o método de execução dos testes em campo.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos. O capítulo 2 faz uma revisão de modelos de propagação, assim como sobre os tópicos teóricos envolvidos. O capítulo 3 descreve a estrutura de ensaio, tanto no tocante à transmissão quanto às medidas realizadas na recepção. O capítulo 4 descreve a aplicação dos modelos na comparação com os dados obtidos em campo e apresenta uma análise comparativa entre ambos. Finalmente, o capítulo 5 apresenta a discussão final dos resultados e conclusões do trabalho.

No apêndice são apresentados algumas unidades de medida, vantagens da antena de polarização elíptica, catálogo do cabo de transmissão utilizado na transmissão e dados medidos e calculados dos diversos modelos de propagação para os pontos fixos medidos em Maringá.

2 MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Esta seção apresenta, resumidamente, alguns modelos de predição de cobertura. A predição de uma área é muito importante para um projeto de radiodifusão. Com as estimativas de intensidade de sinal recebido é possível concluir sobre a qualidade de um serviço a ser realizado e os equipamentos necessários para otimizar esta cobertura. Modelos de propagação utilizam fórmulas matemáticas, baseadas em conceitos físicos, usadas para caracterizar a propagação de ondas de rádio. Normalmente são em função da frequência, distância, alturas de antenas, terreno e outras condições.

Serão abordados neste trabalho os modelos de propagação: Espaço Livre, *Okumura (Hata) OPEN, SUBURBAN e URBAN, Hata-extended/ Epstein-Peterson Diffraction OPEN, SUBURBAN e URBAN*, atenuação por propagação RMD, TIREM-EDX, FCC-EDX, FCC-FCC, ITU-R 370-7, ITU-R 370 + RMD, ITU-R 1546, CRC-Predict, Longley-Rice e Anderson 2D v1.00.

Estes modelos foram escolhidos pois são modelos em larga escala, caracterizam a intensidade de campo média sobre grandes distâncias de separação entre o transmissor e o receptor (de centenas de metros a quilômetros), se aplicam na faixa de frequência em UHF (medido em campo em Maringá), são modelos de propagação publicados, de uso habitual pelos projetistas de radiodifusão, além de disponíveis nos softwares de predição de cobertura.

2.1 MODELO PROPAGAÇÃO ESPAÇO LIVRE

Este modelo de propagação é usado para predição da intensidade com a qual um sinal transmitido chega ao seu receptor, quando as duas pontas do enlace apresentam entre elas uma linha de visada não obstruída por obstáculo. O modelo prediz que a potência que chega ao receptor decai à medida que a distância de separação entre o transmissor e o receptor aumenta. Além disso, fatores como o ganho de ambas as antenas, potência transmitida e perdas sofridas durante a propagação influenciam diretamente no cálculo da intensidade do sinal que é recebido.

A potência de recepção P_r é dada pela equação do espaço livre de Friis, descrita em (RAPPAPORT, 1999), conforme equação a seguir:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}. \quad (2.1)$$

Onde:

P_t : potência do transmissor.

G_t : ganho da antena transmissora.

G_r : ganho da antena receptora.

λ : comprimento de onda do sinal transmitido.

d : distância entre o transmissor e receptor.

L : outras perdas não relacionadas à propagação.

A potência do receptor diminui com o inverso do quadrado da distância. A atenuação por propagação, *path loss*, que representa a perda do sinal com uma quantidade medida em decibel (dB), é definida como a potência transmitida e a potência recebida (RAPPAPORT, 1999).

$$P_L(dB) = P_t(dBm) - P_r(dBm) = G_t(dBi) + G_r(dBi) - L(dB) + 10 \log_{10} (\lambda^2 / (4\pi)^2 d^2). \quad (2.2)$$

Este modelo somente é válido para distâncias que estejam no campo distante da antena transmissora d_{ff} . O campo distante de uma antena é definido como:

$$d_{ff} = \frac{2D^2}{\lambda}, \quad (2.3)$$

Onde:

D : é a maior dimensão linear da antena.

λ : comprimento de onda do sinal transmitido.

A distância d_{ff} deve satisfazer as condições de $d_{ff} \gg D$ e $d_{ff} \gg \lambda$ de modo a garantir a condição de campo distante.

Sabe-se que na realidade o nível do sinal recebido cai com um fator maior do que atenuação do espaço livre. É necessário considerar os fatores de urbanização, vegetação, relevo e reflexões na análise para um resultado mais preciso.

2.2 MODELO OKUMURA (HATA): *OPEN*, *SUBURBAN* E *URBAN*

O método de Okumura (OKUMURA *et al.*, 1968) foi desenvolvido usando dados de medição obtidos em área urbana e suburbana de Tóquio. Trata-se de uma formulação matemática por base gráfica empírica. A seleção desse método é, portanto, mais apropriada para áreas urbanizadas onde a distância de estudo é relativamente curta (menos de 30 km), a antena de transmissão possui altura menor que 200 metros, a altura antena de recepção a menos de 10 metros, e o terreno relativamente plano. Usar este método para outras circunstâncias ou a distâncias maiores pode ser inadequado. Contudo, o modelo Okumura (Hata), pode determinar os tipos de área: Aberto(*Open*), Suburbano(*Suburban*) e Urbano(*Urban*) e ter o fatores de correção de Hata apropriados a serem aplicados dependendo da região.

Este modelo é relevante, pois devido a suas várias adaptações, pode ser aplicado em diversas situações, como por exemplo, cidades grandes, médias e pequenas, áreas urbanas, suburbanas e rurais.

As equações de Hata são as seguintes:

Atenuação para áreas urbanas:

$$L_u = 69.55 + 26.16 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b - a_{hm} + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d \quad (dB), \quad (2.4)$$

Onde:

f = frequência de operação em MHz.

h_b = altura da antena transmissora em metros.

a_{hm} = fator de correção de altura da antena móvel (veja abaixo).

d = distância do transmissor ao receptor em quilômetros.

Para uma cidade média ou pequena: (*SUBURBAN*):

$$a_{hm} = (1.1 \log_{10} f - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f - 0.8). \quad (2.5)$$

Para uma cidade grande: (*URBAN*):

$$a_{hm} = 8.29 (\log_{10}(1.54 h_m))^2 - 1.1 \quad \text{para } (f \leq 200 \text{ MHz}). \quad (2.6)$$

$$a_{hm} = 3.20 (\log_{10}(11.75 h_m))^2 - 4.97 \quad \text{para } (f > 400 \text{ MHz}). \quad (2.7)$$

Onde:

h_m = altura da antena receptora (em metros).

Para as áreas suburbanas, a equação é modificada para:

$$L_{su} = L_u - 2 \left(\log_{10} \left(\frac{f}{28} \right) \right)^2 - 5.4 \quad (dB). \quad (2.8)$$

Para as áreas rurais, áreas abertas, a equação é modificada para:

$$L_{ro} = L_u - 4.78 (\log_{10} f)^2 + 18.33 \log_{10} f - 40.94 \quad (dB). \quad (2.9)$$

2.3 MODELO HATA-EXTENDED/EPSTEIN-PETERSON DIFFRACTION: *OPEN, SUBURBAN E URBAN*

Este é um modelo especial, baseado no modelo Hata descrito na Seção 2.2. A fim de estender tanto a faixa de frequência, distância e faixa de altura da antena de transmissão, são usados métodos gráficos para extrapolar as curvas para frequências de 30 a 1500 MHz, distâncias de até 300 km e alturas da antena de transmissão entre 30 a 1000 metros. Começando com a atenuação de propagação encontrada usando o modelo Hata as seguintes equações (comumente conhecido como extensão “Davidson”) são usadas para ajustar a atenuação de propagação:

Se $d > 20$ km,

$$L_{E1} = 0.5 + 0.15 \log_{10}(h_b/121.92)(d - 20)(0.621), \quad (2.10)$$

Se $d > 64.38$ km,

$$L_{E2} = 0.174(d - 64.38)(0.621), \quad (2.11)$$

Se $h_b > 300$ metros,

$$L_{E3} = 4.7 \left| \log_{10} \left(\frac{9.8}{d} \right) \right| \left(\frac{h_b - 300}{600} \right). \quad (2.12)$$

Correções de frequência,

$$L_{E4} = \left(\frac{f}{250} \right) \log_{10} \left(\frac{1500}{f} \right). \quad (2.13)$$

Se $d > 40.2$ km,

$$L_{E5} = 0.18 \log_{10} \left(\frac{1500}{f} \right) (d - 40.2)(0.621), \quad (2.14)$$

Finalmente,

$$L_{H-E} = L_{HATA} + L_{E1} - L_{E2} - L_{E3} - L_{E4} - L_{E5}. \quad (2.15)$$

Onde:

L_{HATA} = Atenuação em dB calculada usando o método Hata na Seção 2.2.

L_{H-E} = Atenuação em dB incluindo a extensão para o método Hata.

f_d = frequência em MHz.

d = distância entre transmissor e receptor em km.

h_b = altura da antena transmissora em metros.

Além das correções, este modelo inclui opcionalmente atenuação adicional devido a reflexões e perda de difração de obstáculos do terreno. O método utilizado é o obstáculo múltiplo de Epstein-Peterson, método de perda de difração que é semelhante ao método descrito na Seção 2.4.

2.4 ATENUAÇÃO POR PROPAGAÇÃO - RMD

A sigla RMD significa "reflexão mais perda múltipla de difração". A parcela do RMD no cálculo de atenuação usa a técnica de perda por difração de obstáculos arredondada, encontrada na Nota Técnica NBS 101 (RICE; LONGLEY A.G; BARSIS, 1967).

Na região "linha de visada", conforme ilustra a figura 1, onde nenhum obstáculo do terreno bloqueia o raio direto do transmissor para o receptor, a perda de trajetória é determinada considerando a contribuição de uma única reflexão ao raio diretamente recebido.

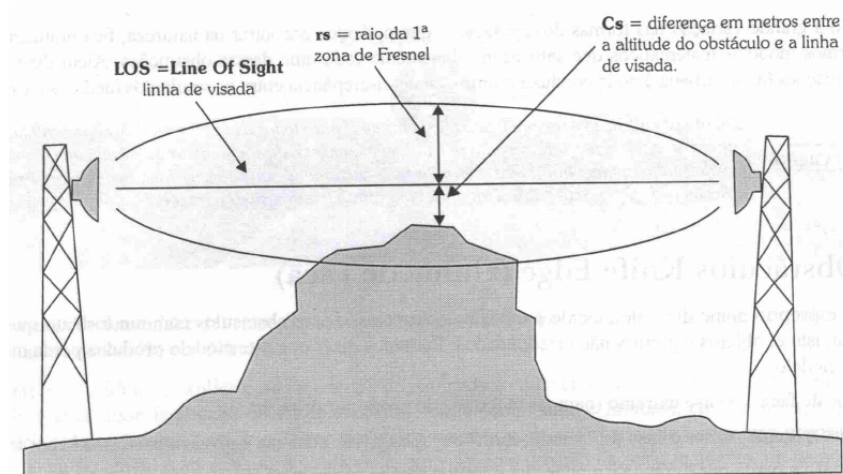


Figura 1 – Geometria para o cálculo enlace ponto a ponto: Zona de Fresnel, linha de visada, diferença entre o obstáculo e a linha de visada

Fonte: Projeto de Sistemas de Rádio (MIYOSHI; SANCHES, 2002)- p.212

Para caminhos onde um obstáculo no terreno é alto o suficiente para que a Zona de Fresnel seja parcialmente obstruída, o método de RMD inclui uma perda adicional que varia de 0 a 6 dB dependendo da extensão em que a Zona de Fresnel está obstruída (a perda é de 6 dB quando o raio direto encosta no obstáculo).

Na região "over-the-horizon" ou obstruída pelo terreno, a perda de trajetória é calculada usando a combinação das perdas de difração em até dez obstáculos sucessivos no terreno. Cada obstáculo é tratado separadamente, com o obstáculo anterior (ou transmissor para o primeiro obstáculo) como transmissor e o obstáculo seguinte (ou receptor para o último obstáculo) como receptor.

As técnicas e equações específicas para calcular contribuições de reflexão e perda de

difração são citadas nas duas próximas subseções. 2.4.1 e 2.4.2.

2.4.1 Cálculo do Coeficiente de Reflexão

A reflexão é usada no modelo RMD quando o transmissor e o receptor estão na linha de visada. Às vezes, nenhum ponto de reflexão é encontrado, nesse caso, nenhuma contribuição de reflexão de raio é adicionada ao receptor. Quando um ponto de reflexão é encontrado, conforme ilustrado na figura 2, o cálculo do coeficiente de reflexão para polarização vertical ou polarização horizontal é calculado utilizando as equações 2.16 e 2.17:

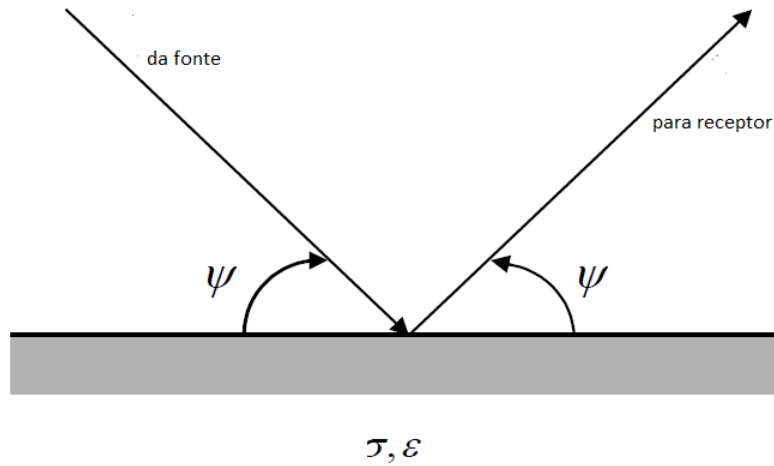


Figura 2 – Ângulo de reflexão

Fonte: Autoria própria.

$$R_{S\perp} = \frac{\sin\psi - \sqrt{\epsilon - \cos^2\psi}}{\sin\psi + \sqrt{\epsilon - \cos^2\psi}}. \quad (2.16)$$

$$R_{S\parallel} = \frac{\epsilon\sin\psi - \sqrt{\epsilon - \cos^2\psi}}{\epsilon\sin\psi + \sqrt{\epsilon - \cos^2\psi}}. \quad (2.17)$$

Os ângulos indicam os coeficientes de reflexão ao plano de incidência. No caso das reflexões terrestres tratadas aqui, perpendicular corresponde à polarização horizontal e paralela corresponde à polarização vertical. Os coeficientes de reflexão dados acima são para uma superfície plana. A permissividade ϵ é dada de:

$$\epsilon = \epsilon_r - j\sigma\lambda, \quad (2.18)$$

Onde:

ϵ_r = constante dielétrica relativa a superfície de reflexão.

σ = condutividade de reflexão na superfície. (Siemens/m)

λ = comprimento de onda da radiação incidente.

O coeficiente de reflexão da superfície plana pode ser modificado para levar em consideração a superfície irregular usando o fator de atenuação da rugosidade dado por:

$$\rho = e^{-2\delta}, \quad (2.19)$$

$$\delta = \frac{4\pi\Delta h}{\lambda} \sin\psi. \quad (2.20)$$

Onde:

Δh = é o desvio padrão da distribuição normal da rugosidade da superfície.

No algoritmo do modelo RMD, o coeficiente de reflexão da superfície plana para polarização horizontal e vertical é calculado como descrito acima para encontrar a magnitude e a fase do raio refletido. Este raio refletido é então adicionado vetorialmente ao raio diretamente recebido para produzir a potência recebida no local em estudo.

2.4.2 Cálculo de Atenuação da Difração do Terreno

A perda de difração de terreno no algoritmo RMD é calculada assumindo que obstáculos individuais no caminho podem ser modelados como obstáculos arredondados isolados.

A perda sobre um obstáculo individual arredondado é calculada usando as fórmulas indicadas abaixo. A principal função do parâmetro ν está relacionada ao espaço sobre o obstáculo. A perda devido à difração total, $A(\nu, \rho)$, em dB, é a soma de três partes: $A(\nu, 0)$, $A(0, \rho)$ e $U(\nu, \rho)$. As equações para calcular cada parte são descritas abaixo:

$$A(\nu, \rho) = A(\nu, 0) + A(0, \rho) + U(\nu, \rho), \quad (2.21)$$

$$A(\nu, 0) = 6.02 + 9.0\nu + 1.65\nu^2 \quad \text{para } (-0.8 \leq \nu \leq 0), \quad (2.22)$$

$$A(\nu, 0) = 6.02 + 9.11\nu - 1.27\nu^2 \quad \text{para } (0 < \nu \leq 2.4), \quad (2.23)$$

$$A(\nu, 0) = 12.953 + 20\log_{10}(\nu) \quad \text{para } (\nu > 2.4), \quad (2.24)$$

$$A(0, \rho) = 6.02 + 5.556\rho + 3.418\rho^2 + 0.256\rho^3, \quad (2.25)$$

$$U(\nu, \rho) = 11.45\nu\rho + 2.19(\nu\rho)^2 - 0.206(\nu\rho)^3 - 6.02 \quad \text{para}(\nu\rho \leq 3), \quad (2.26)$$

$$U(\nu, \rho) = 13.47\nu\rho + 1.058(\nu\rho)^2 - 0.048(\nu\rho)^3 - 6.02 \quad \text{para}(3 < \nu\rho \leq 5), \quad (2.27)$$

$$U(\nu, \rho) = 20\nu\rho - 18.2 \quad \text{para}(\nu\rho > 5). \quad (2.28)$$

Onde o fator de curvatura é:

$$\rho = 0.676R^{0.333} f^{-0.16667} \sqrt{\frac{d}{d_1 d_2}}. \quad (2.29)$$

O raio do obstáculo R é definido em quilômetros e a frequência f em MHz. O termo de distância d é o comprimento do caminho do transmissor (ou obstáculo anterior) até receptor (ou próximo obstáculo), d_1 é a distância do transmissor (ou obstáculo anterior) até o obstáculo e d_2 é a distância do obstáculo ao receptor (ou próximo obstáculo). Quando o raio é zero, o obstáculo é um gume de faca e $A(\nu, \rho) = A(\nu, 0)$. Normalmente, algoritmo RMD considera obstáculos como obstáculos de gume de faca.

O parâmetro ν nas equações acima leva em consideração a geometria do caminho e pode ser considerado como o ângulo deflexão do percurso sobre o obstáculo, conforme mostrado na figura 3.

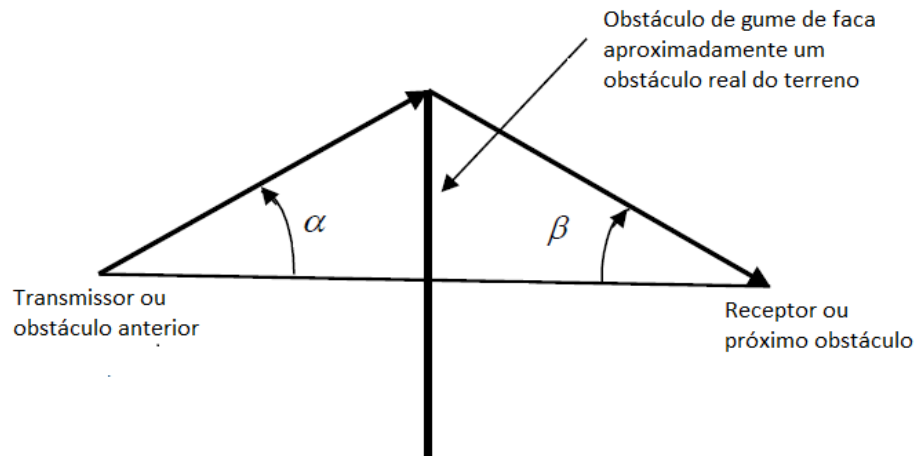


Figura 3 – Esquemático - obstáculos

Fonte: Autoria própria.

É calculado conforme equação:

$$\nu = \sqrt{\frac{2 d \tan\alpha \tan\beta}{\lambda}}, \quad (2.30)$$

Onde:

d = comprimento do caminho do transmissor (ou obstáculo anterior) até o receptor (ou próximo obstáculo).

α = ângulo em relação a uma linha do transmissor (ou obstáculo anterior) para o receptor (ou próximo obstáculo).

β = o ângulo relativo a uma linha do receptor (ou próximo obstáculo) ao transmissor (ou obstáculo anterior).

Para o caso de múltiplos obstáculos, estes são tratados sucessivamente como transmissor-obstáculo-receptor para construir a geometria do caminho e ângulo deflexão ν sobre cada obstáculo. O valor de ν é então usado para calcular a perda de difração sobre cada obstáculo. As perdas de obstáculos resultantes são somadas até chegar à perda total de difração de obstáculos para o caminho. Esse método de calcular a perda de caminhos ao longo de vários obstáculos é o método de Epstein-Peterson.

2.5 MODELO FCC + RMD

No método FCC (*Federal Communications Commission*)+ RMD, o fator de atenuação excedente será determinado da mesma maneira que o método de propagação em Espaço Livre + RMD, exceto que a perda de caminho será aumentada (nível de sinal diminuído) por um valor em dB igual a diferença entre o valor de intensidade de campo lido das curvas de propagação da FCC (FCC, 2018), e a atenuação de espaço livre na distância equivalente. Esse método, inclui atenuação com base nas informações encontradas nas curvas da FCC. Uma vez que as curvas do FCC são empiricamente derivadas de dados medidos em uma ampla variedade de caminhos (alguns incluindo obstruções e perda por tipos de local), o FCC + RMD pode até certo ponto representar uma "contagem dupla" de alguns efeitos do terreno. Este método pode ser considerado como conservador subestimando as potências de campo reais ou os níveis de potência recebidos. Ao usar este método, a altura da antena acima do terreno médio será automaticamente limitada entre 30,4 metros e 1523 metros, conforme restringido pelos arquivos da FCC que descrevem as curvas de propagação (FCC, 2018).

2.6 MODELO TIREM-EDX

TIREM, *Terrain Integrated Rough Earth Model* é um dos vários modelos de propagação em um pacote de propagação desenvolvido pela Administração Nacional de Telecomunicações e Informação (NTIA) em conjunto com várias filiais do departamento de defesa dos EUA (EPPINK; KUEBLER, 1994). Este modelo é amplamente utilizado no governo americano e organizações militares, bem como por empresas privadas. O modelo é um dos mais complexos atualmente utilizados; a descrição abaixo é apenas um breve resumo. Informações mais detalhadas podem ser encontradas (EPPINK; KUEBLER, 1994).

Basicamente, o TIREM considera cada caminho e toma uma decisão inicial sobre se é linha de visada "*line-of-sight*" (LOS) ou se está obstruído. Com base nessa decisão, ele usa uma das duas abordagens para encontrar a atenuação por propagação. No modo LOS, é calculado o grau de obstrução da Zona de Fresnel e para isto ajusta proporcionalmente a quantidade de perda de caminho adicional (sobre a perda de caminho de espaço livre) que resulta de um dos dois modelos de perda de propagação. Para frequências acima de 200 MHz, o modelo Longley-Reasoner é usado. Para frequências abaixo de 150 MHz, o modelo Longley-Rice é usado. Nas frequências entre 150 e 200 MHz, as perdas calculadas são proporcionalmente médias a partir dos dois métodos. A atenuação calculada pelos métodos é ajustada pelo espaço do caminho sobre o terreno. Se o espaço do caminho for menor que 0,5 do raio da Zona de Fresnel, 100 % da atenuação será usada. Se o espaço é maior do que 1,5 do raio da Zona de Fresnel em todos os pontos, nenhuma atenuação adicional é aplicada, apenas a perda básica de espaço livre. Em folgas entre 0,5 e 1,5 dos raios da Zona de Fresnel, a perda de trajetória adicional é uma proporção linear entre 0 e 100 por cento.

No modo LOS, o TIREM calcula também qual parte do caminho está sobre a superfície plana e qual a parte está sobre a superfície irregular. Se parte do caminho for sobre superfície plana, a perda de trajetória (em todo o caminho) é calculada usando o método de perda de trajetória de superfície plana de Bullington. A perda para superfície plana e superfície irregular (Longley-Rice ou Longley-Reasoner) é combinada proporcionalmente com base na porcentagem do caminho que é plana e a porcentagem que é irregular.

Quando o caminho é obstruído, o TIREM usa uma rotina de perda de difração de gume de faca múltipla como a descrita em RMD na Seção 2.4. No entanto, para caminhos em que a perda média por obstáculo é inferior a 10 dB, o TIREM calculará uma pequena perda de trajetória terrestre (usando o algoritmo de superfície plana Bullington mencionado acima) e combinará proporcionalmente com a perda encontrada do cálculo com múltiplos gumes de faca.

No caso da trajetória obstruída, o TIREM também modifica a perda de trajetória com uma função de "ganho de altura" que se baseia no pressuposto de que o perfil de terreno acidentado pode ser substituído por quatro arcos circulares (raios terrestres). Esta é uma suposição tênue para a maioria dos casos.

2.7 MODELO FCC-EDX

Este método é o mesmo que o modelo FCC + RMD explicado na Seção 2.5, exceto que a atenuação adicional é baseada somente nas curvas de propagação do FCC, nenhuma consideração de difração e reflexão (RMD) é incluída. Como tal, este método fornece cálculos de intensidade de campo que seguem exatamente as curvas de propagação da FCC (FCC, 2018). Os pontos de dados são retirados das curvas e é aplicado um algoritmo de interpolação para encontrar valores entre esses pontos de dados. Este modelo utiliza as curvas R-6602 (também conhecidas como "Curvas *Carey*") para as frequências 54 a 88, 88 a 108, 174 a 230 e 470 a 806 MHz. Portanto, para garantir que o método desejado esteja sendo usado, é importante definir a frequência do transmissor dentro da faixa de frequência de interesse.

2.8 MODELO FCC-FCC

Este método é idêntico ao método FCC-EDX, exceto que os pontos de dados que descrevem as curvas de propagação e o algoritmo de interpolação para encontrar valores entre os pontos são obtidos diretamente do código da FCC. Como tal, pode haver pequenas diferenças nas distâncias de contorno ao usar os métodos FCC-EDX e FCC-FCC. Observe-se que esse método se aplica somente às frequências de transmissão dos EUA. Os ganhos de antena precisam ser inseridos como unidades "dBd" (ganho em relação a um dipolo).

2.9 MODELO ITUR 370-7

O Modelo de propagação ITUR 370-7 (ITU, 1995) descreve os procedimentos a serem adotados para a previsão da intensidade de campo para o serviço de radiodifusão para a faixa de frequência de 30 a 1.000 MHz e para a distância de até 1.000 km. O documento da recomendação apresenta curvas, indicado nos seus Anexos 1 e 2. As intensidades de campo são ajustadas para corresponder a uma potência de 1 kW irradiada a partir de um dipolo de meia onda.

As curvas de propagação representam valores de intensidade de campo nas bandas VHF e UHF como uma função de vários parâmetros; algumas curvas referem-se a serviços terrestres, outras referem-se a serviços marítimos. As curvas dos serviços terrestres foram preparadas a partir de dados obtidos principalmente de climas temperados encontrados na Europa e na América do Norte. As curvas dos serviços marítimos foram preparadas a partir de dados obtidos principalmente nas regiões do Mediterrâneo e do Mar do Norte.

A Figura 4 mostra um exemplo de curvas para UHF, em percurso terrestre para a

condição da intensidade de campo excedida em 50% das localidades para 50% do tempo.

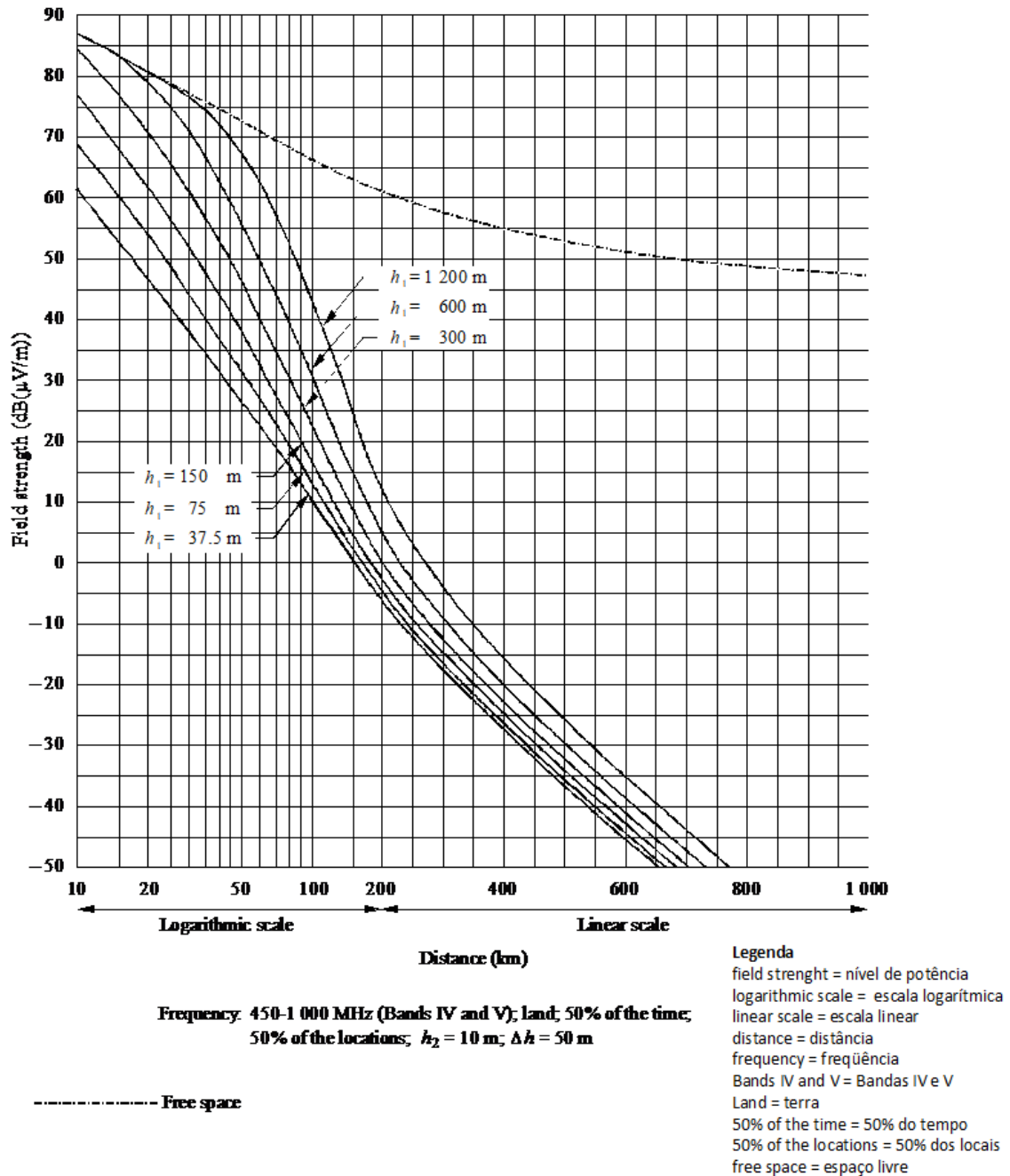


Figura 4 – ITUR 370-7: Curva de predição de campo elétrico para 600 MHz, percurso terrestre - 50 % das localidades para 50 % do tempo

Fonte: ITU-International Telecommunication Union - (ITU, 1995).

2.10 MODELO ITUR-370 + RMD

O modelo de propagação ITUR 370 (ITU, 1995) descreve o método de estimativa de propagação com curvas de propagação de VHF e UHF para a faixa de frequência de 30 MHz a

1.000 MHz.

O método ITUR-370 + RMD é semelhante ao método FCC + RMD, exceto que o fator de atenuação da curva de propagação é derivado das curvas de propagação da ITU-R no ITU-R Rec. 370 (ITU, 1995) em vez das curvas de propagação do FCC. As faixas de distância efetiva aplicáveis para as curvas FCC e ITU-R também são diferentes. As curvas do FCC podem ser usadas efetivamente para distâncias que variam de 1 a 200 ou 300 km. As curvas da ITU-R começam em 10 km e se estendem até 500 km. Ao usar este método, a altura da antena acima do terreno médio será automaticamente limitada a valores entre 37,5 e 1200 metros, conforme restringido pelos dados nas curvas da ITU-R.

A Rec. ITU-R. 370-6 fornece três conjuntos de curvas: serviços de radiodifusão, móvel terrestre e móvel marítimo. São implementadas também neste modelo as correções de altura da antena fora do intervalo, as correções do delta H (rugosidade do terreno) e as correções de ganho de altura da antena para os tipos de interferência da área local conforme estabelecido em 370-6.

2.11 MODELO ITUR 1546

O Modelo de propagação ITUR 1546 (ITU, 2003b) descreve os procedimentos a serem adotados para a previsão ponto-a-ponto da intensidade de campo para os serviços de radiodifusão, móvel terrestre, móvel marítimo e determinados serviços fixos (por exemplo, os que utilizam sistemas ponto-a-multiponto) na gama de frequências de 30 MHz a 3.000 MHz e para a distância de 1 km a 1.000 km.

A predição de campo é obtida através da interpolação das curvas presentes na recomendação. As curvas, obtidas empiricamente, apresentam os valores de intensidade de campo para uma potência irradiada efetiva de 1KW (ERP) nas frequências nominais de 100, 600 e 2.000 MHz, respectivamente, em função da altura da antena transmissora, distância de separação entre o transmissor e o receptor, condições de terreno e variabilidade temporal por estimativa.

As curvas representam os valores de intensidade de campo excedidos em 50 %, 10 % e 1 % do tempo e 50 % das localidades, dentro de qualquer área de tipicamente 200 m por 200 m.

A Figura 5 mostra um exemplo de curvas para UHF, em percurso terrestre para a condição da intensidade de campo excedida em 50 % das localidades para 50 % do tempo.

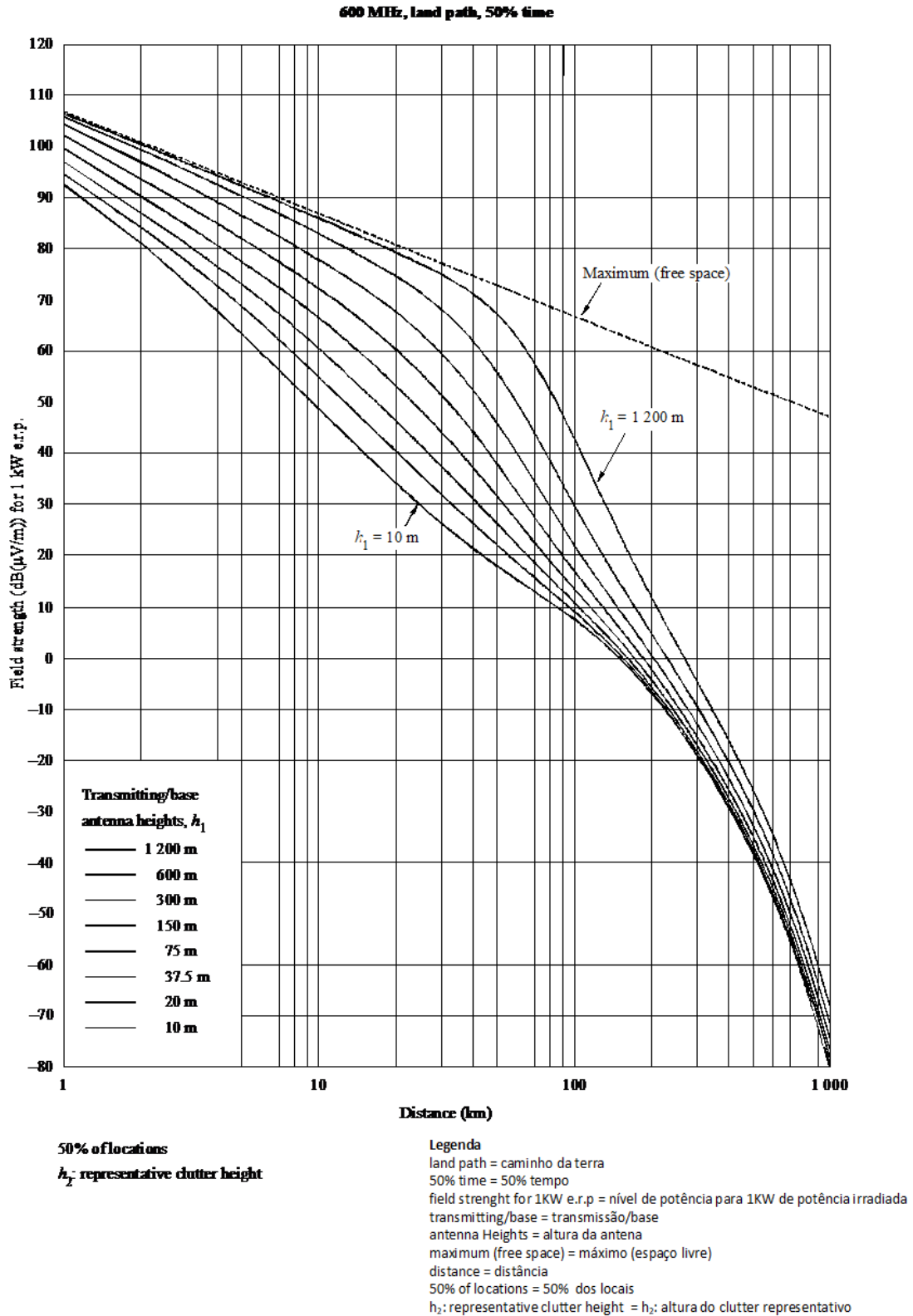


Figura 5 – ITUR-1546- Curva de predição de campo elétrico para 600 MHz, percurso terrestre - 50 % das localidades para 50 % do tempo

Fonte: ITU-International Telecommunication Union - (ITU, 2003b).

O método da recomendação ITU-R P.1546, na versão 1, é usado na estimativa de

propagação para os projetos de radiodifusão, conforme definido no anexo II da resolução da Anatel 398 de 7 de abril de 2005 (ANATEL, 2005) que aprovou as alterações do regulamento técnico para emissoras de radiodifusão sonora em frequência modulada, e do regulamento técnico para a prestação do serviço de radiodifusão de sons e imagens e do serviço de retransmissão de televisão.

Este modelo ITUR 1546 é uma expansão do modelo ITU-R.P370. A atenuação básica é derivada de uma família de curvas, como no ITU-R.P370, mas uma série de outros fatores de correção são adicionados. A distância efetiva aplicável começa em 1 km e se estende a 1.000 km. Ao utilizar este método, os resultados das alturas das antenas acima do terreno médio superior a 3.000 metros são indefinidos.

Conforme anexo 7 (ITU, 2003b), a recomendação produz resultados semelhantes ao método de Okumura-Hata para distâncias de até 10 km.

2.11.1 Interpolação da Intensidade de Campo em Função da Distância

As curvas da recomendação mostram a intensidade de campo plotada em relação à distância, d , a faixa de 1 km a 1.000 km. Nenhuma interpolação para distância é necessária se a predição de campo forem lidas diretamente desses gráficos. Para maior precisão, a menos que d coincida com uma das distâncias de tabulação dadas nas tabelas indicadas pela recomendação, a intensidade de campo, $E_{dB}(\mu V/m)$, deve ser linearmente interpolada para o logaritmo da distância usando:

$$E = E_{inf} + \frac{(E_{sup} - E_{inf}) \log \left(\frac{d}{d_{inf}} \right)}{\log \left(\frac{d_{sup}}{d_{inf}} \right)} \quad (dB(\mu V/m)), \quad (2.31)$$

Onde:

d = distância para a qual a previsão é desejada.

d_{inf} = distância de tabulação imediatamente inferior a d .

d_{sup} = distância de tabulação imediatamente superior a d .

E_{inf} = valor de intensidade de campo para d_{inf} .

E_{sup} = valor de intensidade de campo para d_{sup} .

Esta recomendação não é válida para valores de d inferiores a 1km ou superiores a 1.000km.

2.11.2 Interpolação da Intensidade de Campo em Função Frequência

Os valores de intensidade de campo para uma determinada frequência devem ser obtidos interpolando os valores ou extrapolando os valores de frequência nominal das curvas de 100, 600 e 2.000 MHz. No caso de frequências inferiores a 100 MHz ou superiores a 2.000 MHz, a interpolação deve ser substituída por uma extrapolação dos dois valores de frequência nominal mais próximos. Para a maioria dos caminhos, a interpolação ou extrapolação para log (frequência) pode ser usada, mas para alguns caminhos marítimos quando a frequência requerida é menor que 100 MHz, é necessário usar um método alternativo. Para caminhos terrestres e para caminhos marítimos onde a frequência requerida é maior que 100 MHz, a intensidade de campo requerida (E) deve ser calculada usando:

$$E = E_{inf} + \frac{(E_{sup} - E_{inf}) \log \left(\frac{F}{F_{inf}} \right)}{\log \left(\frac{F_{sup}}{F_{inf}} \right)} \quad (dB(\mu V/m)), \quad (2.32)$$

Onde:

F = frequência para a qual a previsão é desejada (MHz).

F_{inf} = frequência nominal inferior (100 MHz se $F > 600$ MHz, 600 MHz caso contrário).

F_{sup} = frequência nominal superior (600 MHz se $F < 600$ MHz, 2000 MHz caso contrário).

E_{inf} = valor de intensidade de campo para F_{inf} .

E_{sup} = valor de intensidade de campo para F_{sup} .

A norma considera a altura efetiva da antena transmissora em relação à altura média do terreno, calculada entre a distâncias dados de altura da transmissora h_1 de 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 e 1.200 m.

2.11.3 Interpolação da Intensidade de Campo em Função do Tempo Percentual

Os valores de intensidade de campo para uma determinada porcentagem de tempo entre 1 % e 50 % do tempo devem ser calculados por interpolação entre os valores nominais de 1 % e 10 % ou entre os valores nominais de 10 % e 50 % de tempo usando:

$$E = E_{sup} \frac{(Q_{inf} - Q_t)}{(Q_{inf} - Q_{inf})} + E_{sup} \frac{(Q_t - Q_{sup})}{(Q_{inf} - Q_{sup})} \quad (dB(\mu V/m)), \quad (2.33)$$

Onde:

t = porcentagem de tempo para o qual a predição é necessária.

t_{inf} = tempo de porcentagem nominal inferior.

t_{sup} = tempo de porcentagem nominal superior.

$Q_t = Q_i(t/100)$.

$Q_{inf} = Q_{inf}(t/100)$.

$Q_{sup} = Q_{sup}(t/100)$.

E_{inf} = valor de intensidade de campo para o percentual de tempo t_{inf} .

E_{sup} = valor de intensidade de campo para o percentual de tempo t_{sup} .

Onde $Q_i(x)$ é a função de distribuição normal cumulativa inversa complementar.

Esta recomendação é válida para predição de campo excedida por porcentagem de tempo no intervalo de 1% a 50 % apenas. A extrapolação fora do intervalo de 1 % a 50 % do tempo não é válida. Um método para o cálculo de $Q_i(x)$ é dado no Anexo 5, § 13 da Recomendação (ITU, 2003b).

2.11.4 Interpolação da Intensidade de Campo em Função da Antena Transmissora

O valor da altura da antena de transmissão de h_1 determina as curvas que serão utilizadas para se obter o valor de intensidade de campo e a interpolação necessária.

Para valores da altura de transmissão entre 10 m e 3.000 m, caso seja semelhante com uma das oito alturas para as quais as curvas são indicadas, a intensidade de campo necessária pode ser obtida diretamente das curvas plotadas ou das tabulações associadas. Caso contrário, a intensidade de campo necessária deve ser interpolada ou extrapolada das intensidades de campo obtidas a partir das duas curvas usando:

$$E = E_{inf} + \frac{(E_{sup} - E_{inf}) \log \left(\frac{h_1}{h_{inf}} \right)}{\log \left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}} \right)} \quad (dB(\mu V/m)), \quad (2.34)$$

Onde:

$h_{inf} = 600\text{m}$ se $h_1 > 1200\text{m}$, caso contrário, a altura nominal efetiva logo abaixo de h_1 .

$F_{sup} = 1200\text{m}$ se $h_1 > 1200\text{m}$, caso contrário, a altura nominal efetiva logo abaixo de h_1 .

E_{inf} = valor de intensidade de campo para h_{inf} na distância definida.

E_{sup} = valor de intensidade de campo para F_{sup} na distância definida.

Com relação ao valor de h_1 na faixa de 0 a 10 m, o procedimento para a extrapolação

da intensidade de campo, na distância definida de d Km é baseada em distâncias do horizonte para superfície plana (Km), escritas como:

$$d_H(h) = 4,1\sqrt{h}, \quad (2.35)$$

Onde:

h = é o valor desejado para a altura da antena transmissora h_1 (m).

Para $d < d_H(h)$ a intensidade de campo é dada pela curva de altura 10 m, na sua distância do horizonte, adicionando-se ΔE , onde ΔE é a diferença das intensidades de campo, de h_1 .

Para $d \geq d_H(h)$ a intensidade de campo é dada pela curva de altura 10 m, na distância Δd além de sua distância de horizonte, onde Δd é a diferença entre d e a distância de horizonte de h_1 .

Isto pode ser expresso conforme as equações 2.36 e 2.37, onde $E_{10}(d)$ é a intensidade de campo $dB(\mu V/m)$ tomada da curva de altura 10m para uma distância $d(km)$.

$$E = E_{10}(d_H(10)) + E_{10}(d) - E_{10}(d_H(h_1)) \quad \text{para } d < d_H(h_1) \quad (dB(\mu V/m)). \quad (2.36)$$

$$E = E_{10}(d_H(10)) + d - d_H(h_1) \quad \text{para } d \geq d_H(h_1) \quad (dB(\mu V/m)). \quad (2.37)$$

Para percursos terrestres, é possível que as alturas efetivas das antenas transmissoras/base, h_1 , assumam valores negativos, uma vez que a h_{eff} está baseada na altura média do terreno a distâncias de 3 a 15 km. Assim, h_1 pode ser negativo.

O procedimento para os valores negativos de h_1 é obter a intensidade de campo para $h_1 = 0$, como descrito anteriormente, e calcular a correção baseada no ângulo de desobstrução do terreno. O ângulo de desobstrução é calculado como se segue.

No caso de disponibilidade de dados de terreno, deve ser calculado o ângulo de desobstrução do terreno a partir da antena transmissora, como sendo o ângulo de elevação de uma linha que libere todas as obstruções do terreno até 15 km da antena transmissora na direção da antena receptora, conforme visto a figura 6.

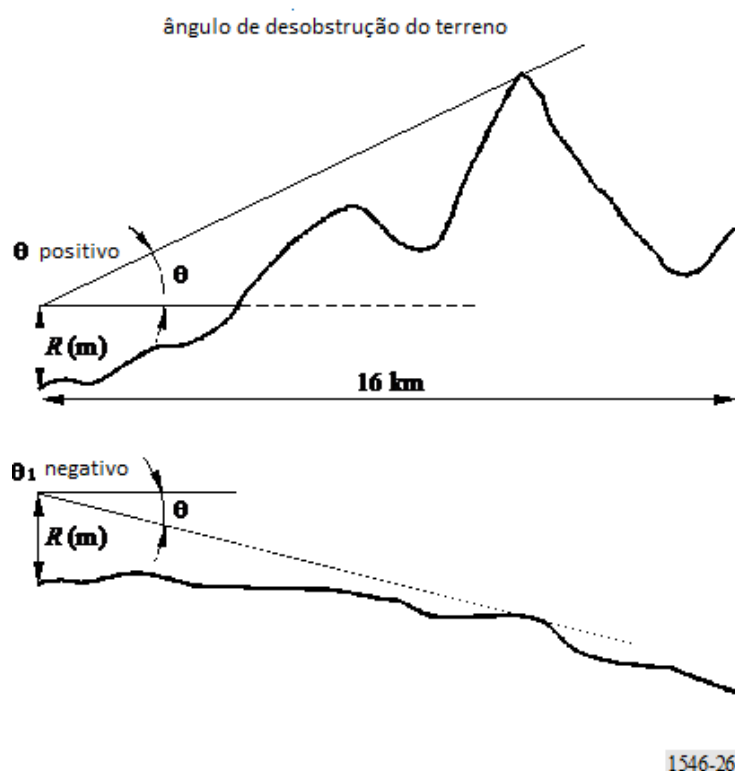


Figura 6 – Ângulo de desobstrução do terreno

Fonte: ITU- International Telecommunication Union - (ITU, 2003b). Palavras adaptadas para português.

A correção que deve ser adicionada à intensidade de campo correspondente a $h_1 = 0$ é calculada usando:

$$\text{Correcao}(dB) = j(\nu') - J(\nu) \quad (dB), \quad (2.38)$$

Onde $J(\nu)$ é dado por:

$$J(\nu) = 6.9 + 20 \log \left((\sqrt{\nu - 0.1})^2 + 1 + \nu - 0.1 \right), \quad (2.39)$$

E:

$$\nu' = 0.036 \sqrt{f}. \quad (2.40)$$

$$\nu = 0.065 \theta \sqrt{f}, \quad (2.41)$$

Onde:

θ = ângulo de desobstrução do terreno (graus),

f = frequência (MHz).

Nota-se que as curvas de intensidade do campo terrestre levam em consideração as perdas devido à blindagem típica da antena receptora / móvel, movendo suavemente o terreno. Assim, as correções do ângulo de afastamento do terreno são zero em um pequeno ângulo positivo típico das posições das antenas receptoras / móveis. A Figura 7 ilustra a correção do ângulo de desobstrução do terreno para as frequências nominais.

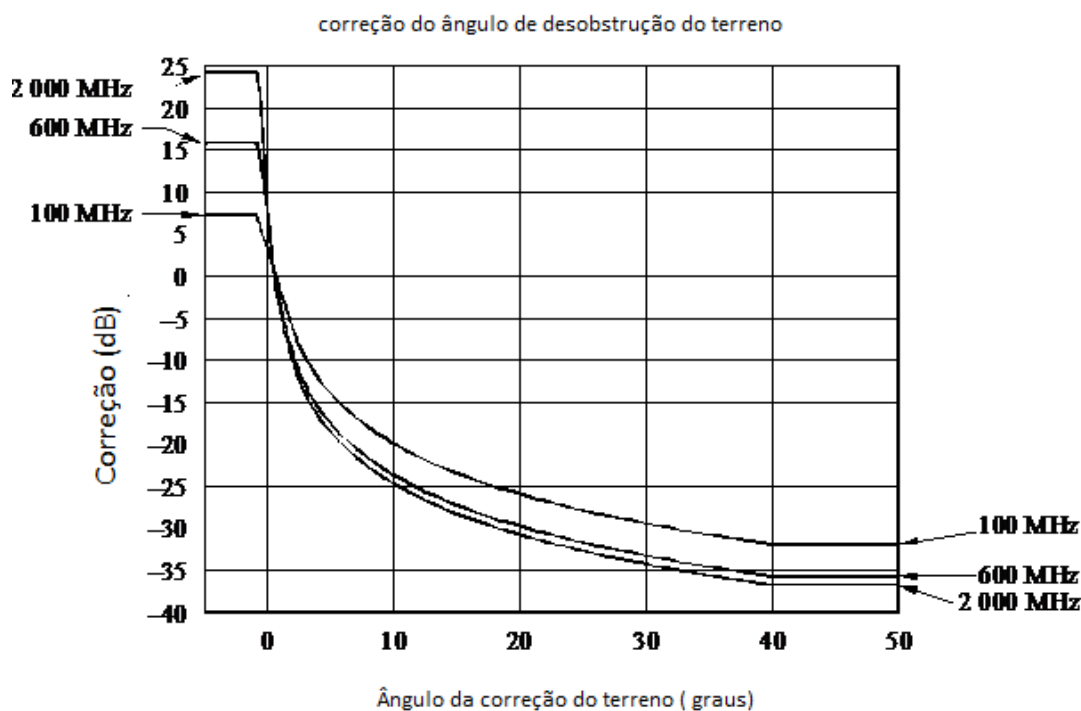


Figura 7 – Correção do ângulo de desobstrução do terreno

Fonte: ITU- International Telecommunication Union - (ITU, 2003b). Palavras adaptadas para português.

2.12 MODELO CRC-PREDICT

CRC-PREDICT (ITU, 2003a) é um modelo de propagação desenvolvido pelo governo canadense *Canadian Research Center* (CRC). Ele calcula a atenuação de propagação tanto na faixa de VHF *Very High Frequency* e na faixa de UHF *Ultra High Frequency* ao longo da trajetória. Baseia-se em óptica física e teoria de Fresnel-Kirchhoff. O principal cálculo é a difração sobre um perfil do transmissor ao receptor. O CRC-Predict considera uma atenuação adicional devido a reflexões no terreno. Para tanto, além do perfil da região sob análise, é preciso dispor do *clutter* desta área. O *clutter* é um conjunto de polígonos com a classificação da região quanto à urbanização e a vegetação. A intensidade da urbanização e o tipo da vegetação estão associados a uma tabela de atenuação adicional devido às reflexões nestes meios. A perda total no enlace é então uma soma das perdas por difração sobre o terreno e uma estimativa da atenuação adicional relacionada ao *clutter*.

Ele é eficiente quando a antena de recepção está sobre o *clutter* local e sobre áreas onde o terreno pode ser considerado como aberto, vegetação, urbano, água, em vez de edifícios. Apesar dos edifícios serem levados em consideração, o resultado dos cálculos não será preciso em áreas urbanas. Árvores e edifícios que não estão perto das antenas de transmissão ou recepção simplesmente são adicionados à altura do terreno. Assume-se que as antenas estão sempre em uma área aberta. Uma distância de 200 metros é usada indicando que não há obstruções perto das antenas.

As elevações do perfil são ajustadas pela curvatura da terra e cada altitude é unida por linhas retas para produzir um desenho com o relevo da região em estudo, conforme mostrado na figura 8.

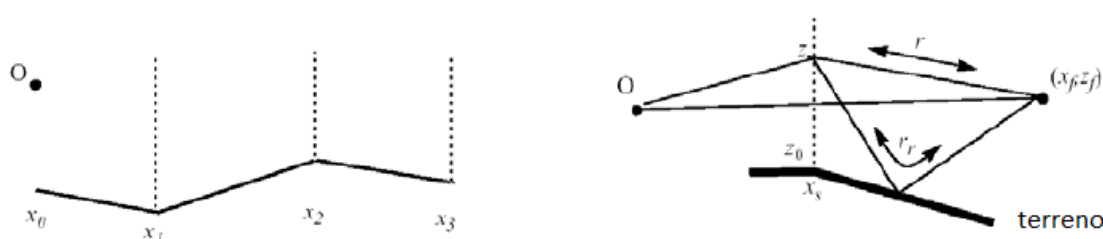


Figura 8 – Integração em z para encontrar o campo

Fonte: ITU-International Telecommunication Union - (ITU, 2003a). Palavras adaptadas para português.

2.12.1 Cálculo

O campo é encontrado pela primeira vez, por um cálculo elementar, em função da altura em x_1 . Ou seja, o campo é a soma dos campos devido a uma onda direta (espaço livre) e devido à onda refletida em superfície plana. Em seguida, o campo é encontrado em função da altura em x_2 usando o princípio de Huygens. Calcular o campo em cada local a uma distância de x_2 requer duas integrações (um para uma onda de espaço livre e outro para uma onda refletida em x_1 desde o solo até o infinito). O cálculo continua para x_3 assim por diante. Uma única etapa no cálculo é ilustrada na Figura 8. No entanto, isso seria muito demorado para um caminho longo sobre um terreno definido por muitos x_i . Assim, o campo é encontrado apenas em função da altitude sobre o terreno mais alto, como ilustrado na Figura 9. O procedimento para seleção dos locais exatos é traçar uma onda normal do transmissor para o ponto mais distante e encontrar o perfil em seções do terreno sobre o qual este caminho tem 100 % de desobstrução de Zona de Fresnel. Isso introduz o problema de como realizar o cálculo sobre o terreno restante, que em geral não é plano, em particular, como calcular o campo devido à onda refletida.

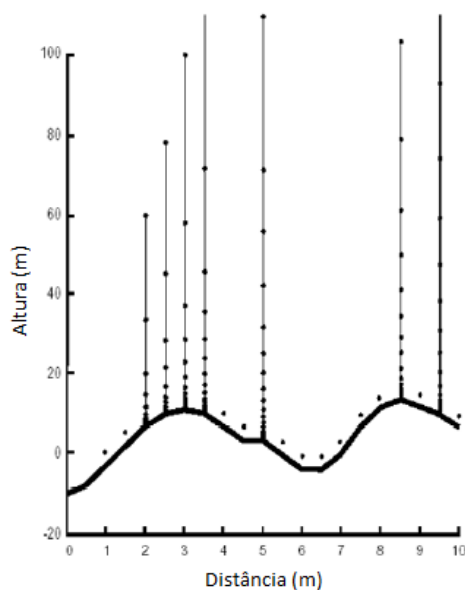


Figura 9 – Pontos em que o campo é encontrado ao longo de uma radial. O Campo é mostrado em pontos na vertical

Fonte: ITU-International Telecommunication Union - (ITU, 2003a). Palavras adaptadas para português.

Uma maneira de visualizar a difração, como na Figura 10, é plotar linhas de fase constante, aproximadamente vertical, e a onda normal perpendicular (mais ou menos horizontal) que indica a direção local de propagação. As ondas parecem fluir em torno dos obstáculos, como ondas do mar em torno de um quebra-mar. Acima de cada obstáculo (gume de faca), existe um padrão interferência devido a onda espalhada que interage com a onda direta.

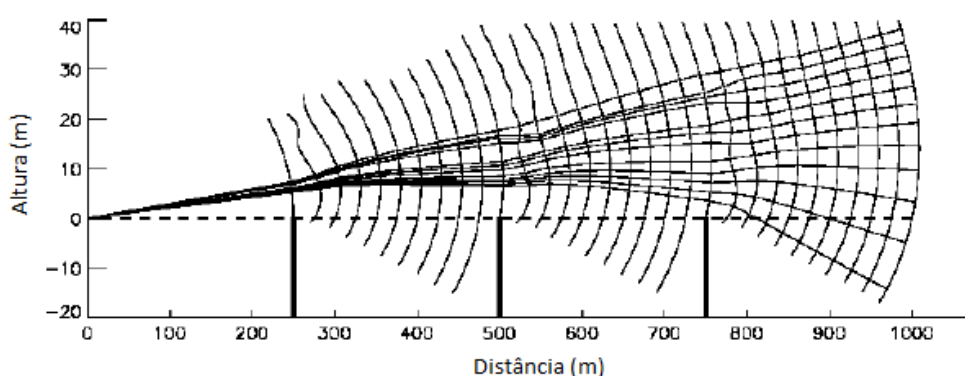


Figura 10 – Frentes de onda a 50 MHz para 3 obstáculos do tipo gume de faca na mesma altura que o transmissor

Fonte: ITU-International Telecommunication Union - (ITU, 2003a). Palavras adaptadas para português.

No entanto, se os obstáculos forem maiores, como da Figura 11, ondas normais traçadas na direção do transmissor, têm uma tendência de convergir para as extremidades dos obstáculos. Esta tendência aumenta com a frequência e com a altura dos obstáculos. Esta situação

especial permite o uso da teoria geométrica da difração, na qual as ondas, ou raios, vão de obstáculo para obstáculo, como uma corda esticada, e o cálculo é muito mais rápido do que através de integração numérica sobre superfícies.

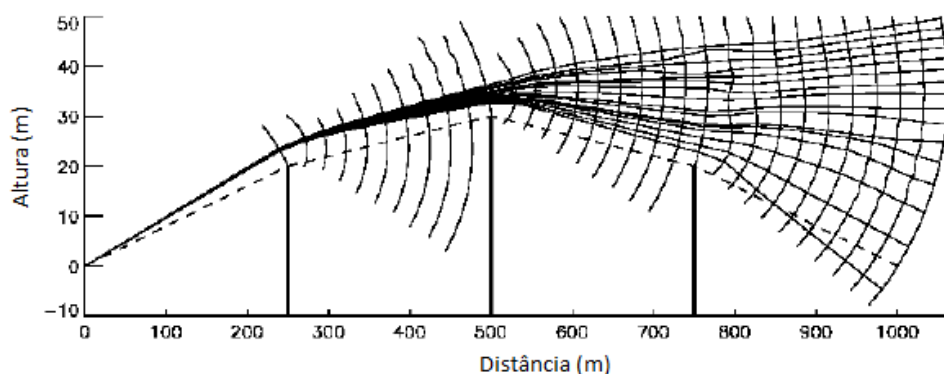


Figura 11 – Frentes de onda a 50 MHz para 3 obstáculos elevados

Fonte: ITU-International Telecommunication Union - (ITU, 2003a). Palavras adaptadas para português.

2.12.2 Reflexões na Terra

Para reduzir o tempo de cálculo, terrenos baixos são modelados como refletores. Para evitar efeitos de foco, improváveis de acontecer em um ambiente natural, superfícies de reflexão podem ser planas ou convexas, mas não côncavas. Dois refletores são usados se o terreno parecer dois pontos distintos especulares. Estima-se um coeficiente de reflexão, incluindo um fator de divergência e de rugosidade. Para propagação sobre mecanismos conhecidos, os coeficientes de reflexão podem ser obtidos de fórmulas padrão. Sete categorias de terreno são definidas: terreno aberto, florestas, água doce, água do mar, gramados, urbano, suburbano.

2.12.3 Espelhamento Troposférico

Perda devido à dispersão troposférica é calculada juntamente com o cálculo de difração, usando métodos padronizados (LONGLEY; RICE; BARSIS, 1968). Este modo de propagação é geralmente importante somente em caminhos muito longos, entre 50 ou 100 km, em que os campos difratados são muito pequenos.

2.12.4 Variabilidade das Localidades

Para uma antena de recepção, a intensidade do sinal varia em distâncias curtas, apesar dos modelos baseados em terrenos conhecidos não incluírem tal variação. O erro em prever a intensidade mediana do sinal, para uma determinada área pequena, tem uma distribuição log-normal. A estimativa da variabilidade de localidades é baseada na rugosidade do terreno, na frequência e nas proximidades de árvores e edifícios.

2.12.5 Disponibilidade Temporal

A variação temporal devido a efeitos atmosféricos torna-se significativa para caminhos superiores a 50 km. Para este efeito, as curvas empíricas da nota técnica 101 de NTIS (LONGLEY; RICE; BARSIS, 1968) podem ser usadas para cada região climática. Esse recurso é geralmente de interesse nas estimativas de interferência de fontes muito distantes.

2.13 MODELO LONGLEY-RICE

Entre diferentes modelos de propagação, o modelo Longley-Rice foi um dos pioneiros e, nos anos 50, orientava a instalação de redes de rádio e televisão nos Estados Unidos. Este modelo ainda é utilizado e considera parâmetros de atenuação que dependem de variáveis relacionadas com o clima, relevo, entre outras características que somadas apresentam sua contribuição para atenuar o sinal recebido em um ponto ou uma área.

O modelo Longley-Rice foi proposto para frequências entre 20 MHz a 20 GHz em ambientes diferenciados, para distintas alturas de antenas transmissoras e receptoras. O modelo utiliza recursos estatísticos para compensar a caracterização do canal, que depende das variáveis de cada cenário e ambiente.

Segundo Longley-Rice (LONGLEY; RICE; BARSIS, 1968), o sinal recebido por uma estação móvel é obtido pela diferença do nível de sinal transmitido atenuado no espaço livre W_0 e o somatório da atenuação formada pelas variáveis aleatórias que apresentam-se como uma atenuação de referência W_{ref} , em dB, para o modelo:

$$W_{ref} = W_0 + \delta_s Y_s + \delta_t Y_T + \delta_L Y_L. \quad (2.42)$$

Longley-Rice apresentaram este modelo baseado em um programa computacional capaz de calcular o somatório das atenuações dessas variáveis, juntamente com a contribuição da irregularidade do terreno. A descrição matemática de cada uma dessas variáveis é bastante complexa e está disposta no trabalho de (HUFFORD, 1982).

Para a atenuação no espaço livre é considerada a distância entre as duas estações (d) e o comprimento de onda (λ). No modelo proposto por esses autores, inicialmente é calculada a atenuação de espaço livre W_0 , em dB, definida por:

$$W_0 = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right). \quad (2.43)$$

Em seguida, o modelo Longley-Rice, calcula a distância entre as estações onde ocorrem três regiões de atenuação ao longo do caminho de propagação do sinal de rádio: linha-de-visada (A_{los}); difração (A_{dif}) e espalhamento (A_{es}). Nestas três faixas de atenuação também ocorrem os efeitos aleatórios de situação Y_S , localização Y_L e tempo Y_T .

A região de linha-de-visada é definida como a região onde a superfície da terra não interrompe a propagação das ondas de rádio. Em outras palavras, esta região se estende até a distância do horizonte de rádio. Nesta região, a atenuação (A_{los}) é calculada como uma função direta da distância entre as estações. A região de difração é onde ocorre o aumento bastante rápido e linear da atenuação (A_{dif}). Na região de espalhamento (ou dispersão), esse fenômeno de atenuação (A_{es}) é mais lento.

Para o cálculo da atenuação de referência (W_{ref}), em dB, são utilizados os modos de predição em uma área ou ponto-a-ponto. No modo área é considerada a variabilidade de localização das estações em uma área. No modo ponto-a-ponto, o cálculo da atenuação de referência considera as distâncias conhecidas entre as estações transmissora e receptora, além das distâncias onde se iniciam os fenômenos da difração e espalhamento.

$$W_{ref} = W_0 + A_{los} + (Y_L + Y_S + Y_T) \quad \text{para}(d < d_{Lb}), \quad (2.44)$$

$$W_{ref} = W_0 + A_{dif} + (Y_L + Y_S + Y_T) \quad \text{para}(d_{Lb} \leq d \leq d_{Lm}), \quad (2.45)$$

$$W_{ref} = W_0 + A_{es} + (Y_L + Y_S + Y_T) \quad \text{para}(d_{Lm} < d). \quad (2.46)$$

Estas faixas de atenuação são obtidas a partir da análise da geometria do enlace observada na Figura 12.

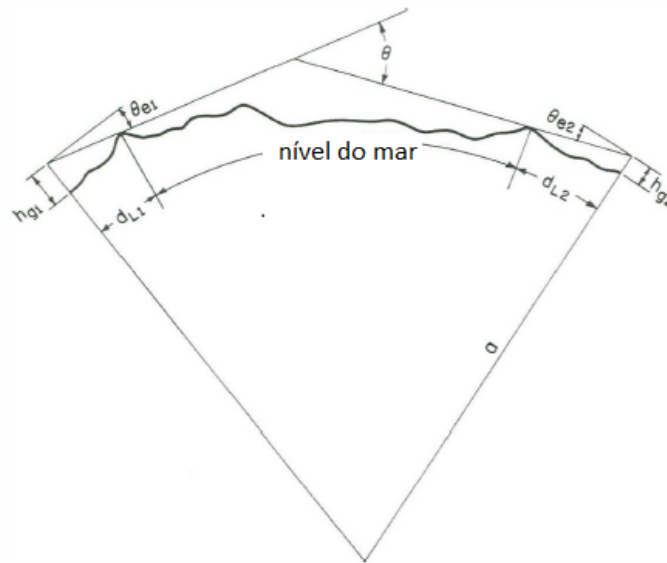


Figura 12 – Geometria do enlace no modelo Longle-Rice

Fonte: NTIA - Report ERL65- ITS67 - (LONGLY; RICE; BARSIS, 1968). Palavras adaptadas para português.

As distâncias do horizonte da antena transmissora d_{Lb} e d_{Lm} do horizonte da antena receptora, em quilômetros, podem ser estimadas estatisticamente em função da irregularidade do terreno (Δ_h) e das alturas efetivas (h_{eb}) e (h_{em}):

$$d_{Lb} = \sqrt{17h_{eb}} \exp \left(-0.07 \left(\sqrt{\frac{\Delta_h}{h_{eb}}} \right) \right), \quad (2.47)$$

$$d_{Lm} = \sqrt{17h_{em}} \exp \left(-0.07 \left(\sqrt{\frac{\Delta_h}{h_{em}}} \right) \right). \quad (2.48)$$

Os ângulos de elevação, em radianos podem ser obtidos a partir dos seguintes cálculos:

$$\theta_{eb} = \frac{0.0005}{\sqrt{17h_{eb}}} \left(1.3 \left(\frac{\sqrt{17h_{eb}}}{D_{Lb}} \right) \Delta_h - 4h_{eb} \right), \quad (2.49)$$

$$\theta_{em} = \frac{0.0005}{\sqrt{17h_{em}}} \left(1.3 \left(\frac{\sqrt{17h_{em}}}{D_{Lm}} \right) \Delta_h - 4h_{em} \right), \quad (2.50)$$

$$\theta_e = \max \left(\theta_{eb} + \theta_{em} \left(-\frac{d_{Lb} + d_{Lm}}{8495} \right) \right). \quad (2.51)$$

Onde,

h_b = altura da antena transmissora.

h_m = altura da antena receptora.

h_{eb} = altura efetiva (estrutura + elevação do perfil) da antena transmissora.

h_{em} = altura efetiva (estrutura + elevação do perfil) da antena receptora.

d = distância entre as estações.

d_{Lb} = distância do horizonte de rádio da antena transmissora.

d_{Lm} = distância do horizonte de rádio da antena receptora.

θ_{eb} = ângulos de elevação do horizonte de rádio da antena transmissora.

θ_{em} = ângulos de elevação do horizonte de rádio da antena receptora.

θ_e = cruzamento dos horizontes de rádio das antenas transmissora e receptora.

Δh = irregularidade do terreno, detalhamento do cálculo está em (LONGLEY; RICE; BARSIS, 1968).

Estes parâmetros do enlace de comunicação são necessários para o cálculo dos coeficientes de atenuação. Os coeficientes de atenuação A_{los} , A_{dif} e A_{es} , em dB, podem ser determinados a partir das formulações a seguir:

$$A_{los} = 20 \log \left(1 + \frac{(d_{Lb} + d_{Lm}) \Delta h}{h_{eb} h_{em}} \right), \quad (2.52)$$

$$A_{dif} = \left(1 + 0.045 \left(\frac{\Delta h}{\lambda} \right)^{1/2} \left(\frac{a \theta_e + (d_{Lb} + d_{Lm})}{1} \right)^{1/2} \right)^{-1}, \quad (2.53)$$

$$A_{es} = H_0 + 10(f \theta_e^4) - 0.1(N_s - 301) \exp\left(\frac{-\theta_e d}{40}\right), \quad (2.54)$$

Onde,

$$a = \frac{6370}{(1 - 0.04665 \exp(0,005577 N_s))}, \quad (2.55)$$

E,

$$H_0 = \frac{(h_{eb}^{-1} + h_{em}^{-1})}{\theta_e f \|0.007 - 0.058 \theta_e\|}. \quad (2.56)$$

Onde:

f = frequência em MHz.

λ = comprimento de onda em metros.

N_s = refração da superfície, detalhamento do cálculo está em (LONGLEY; RICE; BARSIS, 1968).

2.14 MODELO ANDERSON 2D V1.00

O modelo Anderson 2D é um modelo físico que usa técnicas de raios para calcular a perda de trajetória. Como a maioria dos modelos, para um determinado par transmissor-receptor, ele primeiro determina se o caminho é linha de visada (LOS) ou sem linha de visada (NLOS). Com base nessa determinação, um dos dois ramos de cálculo é usado conforme descrito abaixo.

2.14.1 Caminho Linha de Visada

Para caminhos de linha de visão, incluindo aqueles que atingem apenas um ponto de obstrução, a perda de trajetória é determinada usando as equações de perda de trajetória de espaço livre com dois fatores de perda adicionais. Primeiro, o caminho é avaliado para determinar se algum recurso de terreno do sub-caminho colide com a primeira Zona de Fresnel. Se houver, o que mais obstrui a Zona de Fresnel é considerado como causador de perda de caminho adicional. A perda de trajetória adicional varia de 0 a 6 dB como uma função linear com base na extensão da primeira Zona de Fresnel que está obstruída. Uma perda de 6 dB é assim introduzida, o que proporciona uma transição de atenuação suave para os caminhos que estão apenas ligeiramente obstruídos.

Para casos de linha de visada (LOS), uma consideração de reflexão sobre o solo também está incluída. O ponto de reflexão do solo é encontrado avaliando o ângulo de incidência do transmissor e receptor para cada ponto no perfil do terreno interveniente. Onde os ângulos são iguais, ou nos dois pontos perfil adjacentes onde o ângulo para o transmissor e receptor se cruzam (o primeiro se torna menor que o último), a seção do perfil onde o ponto de reflexão existe é determinada. A interpolação linear baseada nos ângulos de incidência é então usada para estabelecer exatamente a localização do ponto de reflexão neste segmento de perfil. Uma vez estabelecidos, os coeficientes de reflexão são calculados e a amplitude e a fase na reflexão do solo são adicionadas ao raio direto. A contribuição da reflexão pode fazer com que o sinal no receptor seja maior ou menor que o nível do sinal de espaço livre. Os limites práticos da mudança de perda de trajetória devido à reflexão são definidos em 25 dB (perda adicional devido ao cancelamento de fase) e -6 dB (menos perda devido à adição em fase da reflexão). A consideração da reflexão deste modo para caminhos planos é bastante precisa. Observa-se que, dependendo da geometria do caminho, uma contribuição de reflexão pode não existir necessariamente (na realidade) ou

ser encontrada pelo modelo.

2.14.2 Caminho Obstruído

Para caminhos obstruídos, a atenuação de difração é calculada usando a abordagem de Epstein-Peterson, citada na seção 2.4, estendida a múltiplos gumes de faca, onde os obstáculos são basicamente estabelecidos nos pontos onde uma “corda esticada” entre o transmissor e o receptor tocaria o perfil do terreno. Isso é modificado um pouco para lidar com anomalias de “falsos obstáculos” no banco de dados do terreno. Quando a geometria encontra obstáculos em pontos sucessivos ao longo de um perfil de terreno, o modelo substitui a sequência sucessiva de obstáculos por dois obstáculos de gume de faca, um no início e outro no final da sucessão. As alturas desses gumes de faca são fixadas nas alturas do primeiro e do último pontos da sucessão, respectivamente, que são frequentemente as mesmas para a falsa anomalia do terreno. Esta construção de gume de faca dupla também será invocada para terrenos reais de outras seções planas e lisas do perfil se elas representarem um obstáculo ao longo do caminho entre o transmissor e o receptor.

Além da perda de difração, o perfil do terreno entre o transmissor e o primeiro obstáculo e o último obstáculo e receptor são avaliados para determinar se há algum obstáculo sub-caminho que colide com a primeira Zona de Fresnel para qualquer segmento de trajetória. Se tais obstáculos existirem, uma perda adicional de 0 a 6 dB será incluída em cada caso usando a mesma abordagem descrita para a seção 2.14.1 acima.

2.15 RESUMO MODELOS DE PROPAGAÇÃO

A Tabela 1 faz um resumo dos modelos de propagação citados, bem como os parâmetros considerados nos cálculos.

Tabela 1 – Resumo modelos de propagação

Modelos de Propagação	Descrição	Parâmetros considerado nos cálculos
Espaço Livre	Cálculo linha de visada sem obstrução.	Potência transmissor, ganho de antena transmissão e recepção, comprimento de onda, distância.
Okumura (HATA)	Medições obtida em áreas urbanas e suburbana de Tóquio. Distância até 30Km, altura de transmissão até 200m e recepção a menos de 10 m. Adaptações: Open, Suburban, Urban.	Frequência, altura transmissora, fato de correção altura antena móvel, distância.
Hata-extended/Epstein-Peterson Diffraction	Baseado no modelo Hata - estendendo frequências de 30 a 1500 MHz, distâncias de até 300 km e alturas da antena de transmissão entre 30 a 1000 m. Adaptações: Open, Suburban, Urban.	Atenuação calculada usando o método Hata, frequência, distância, altura transmissora, atenuação adicional devido a reflexões e perda de difração de obstáculos do terreno (RMD).
TIREM-EDX	Desenvolvido pela Administração Nacional de Telecomunicações e Informação (NTIA), utilizado no governo americano e organizações militares. Análise de cada caminho: linha de visada ou obstruído.	Linha de visada: espaço livre + modelo Longley-Reasoner (frequência acima 200MHz), espaço livre + Longley-Rice (abaixo de 150 MHz). Entre 150 e 200 MHz médias dos dois métodos. Atenuação ajustada pelo espaço do caminho sobre o terreno. Se o espaço < que 0,5 do raio da Zona de Fresnel, usa 100% atenuação. Se o espaço é > do que 1,5 do raio da Zona de Fresnel, atenuação não aplicada, só Espaço livre. Em folgas entre 0,5 e 1,5 dos raios da Zona de Fresnel, a perda é proporção linear. A perda também envolve a superfície plana e irregular é combinada proporcionalmente com a base do caminho plana ou irregular. Caminho obstruído , perda de difração (RMD), sendo inferior a 10dB combinará perda de múltiplo gumes de faca.
FCC-EDX	FCC (<i>Federal Communications Commission</i>) + RMD. Método conservador. Altura da antena acima do terreno médio será automaticamente limitada entre 30,4 m e 1523 m.	Fator de atenuação igual espaço livre + RMD, exceto que a perda será aumentada por um valor em dB igual a diferença entre o valor de intensidade de campo lido das curvas de propagação da FCC e a atenuação de espaço livre na distância equivalente.
FCC-FCC	Previsão de intensidade de campo partindo de curvas FCC.	A recomendação descreve as curvas e o método de interpolação para encontrar os valores.
ITU-R 370	Previsão da intensidade de campo para o serviço de radiodifusão para a faixa de frequência de 30 a 1.000 MHz e para a distância de até 1.000 km.	A recomendação descreve as curvas e o método de interpolação para encontrar os valores.
ITU-R 370+RMD	O método ITUR-370 + RMD é semelhante ao método FCC + RMD. As curvas da ITU-R começam em 10 km e se estendem até 500 km. A altura da antena acima do terreno médio será automaticamente limitada a valores entre 37,5 e 1200 m.	Fator de atenuação da curva de propagação é derivado das curvas de propagação da ITU-R + cálculo RMD.
ITU-R 1546	Previsão da intensidade de campo para os serviços de radiodifusão, móvel terrestre, móvel marítimo e determinados serviços fixos, de 30 MHz a 3.000 MHz e para a distância de 1 km a 1.000 km. Anatel definiu este método para os projetos de radiodifusão no Brasil.	Modelo expansão do modelo ITU-R.P370. A atenuação é derivada de uma família de curvas, como no ITU-R.P370, com uma série de outros fatores de correção adicionados. Interpolação em função da distância, frequência, tempo percentual, antena transmissora.
CRC-Predict	Desenvolvido pelo governo canadense (CRC). Baseia-se em óptica física e teoria de Fresnel-Kirchhoff. A perda total no enlace é a soma das perdas por difração sobre o terreno e uma estimativa da atenuação adicional relacionada ao clutter.	Soma dos campos devido a uma onda direta (espaço livre) e devido à onda refletida em superfície plana, em todo o trajeto. Norma aborda ainda reflexões da Terra, espelhamento troposférico, variabilidade das localidades, disponibilidade temporal.
Longley-Rice	Método pioneiro nos anos 50, orientava a instalação de redes de rádio e televisão nos Estados Unidos. Parâmetros de atenuação que dependem de variáveis relacionadas com o clima, relevo e outros fatores.	Atenuação espaço livre, efeitos aleatórios de situação, localização e tempo e atenuação ao longo do caminho de propagação do sinal de rádio: linha-de-visada, difração e espalhamento.
Anderson 2D	Técnicas de raios para calcular a perda de trajetória. Análise caminho:linha de visada ou obstruído.	Linha de visada: perda de trajetória de espaço livre com dois fatores de perda adicionais. Terreno colida com a primeira Zona de Fresnel (0 a 6 dB) e reflexão sobre o solo (ângulo de incidência). Caminho obstruído: atenuação de difração (RMD) com múltiplos gumes de faca e avaliação se algum obstáculo colide com a primeira Zona de Fresnel (0 a 6 dB).

Fonte: Autoria Própria.

3 ENSAIOS DE CAMPO

Este capítulo descreve a estrutura de ensaio realizado em Maringá, tanto na transmissão quanto nas medidas realizadas na recepção. O Sistema brasileiro de TV digital terrestre (BEDICKS; YAMADA, 2008) é composto pelos blocos funcionais mostrados na figura 13:

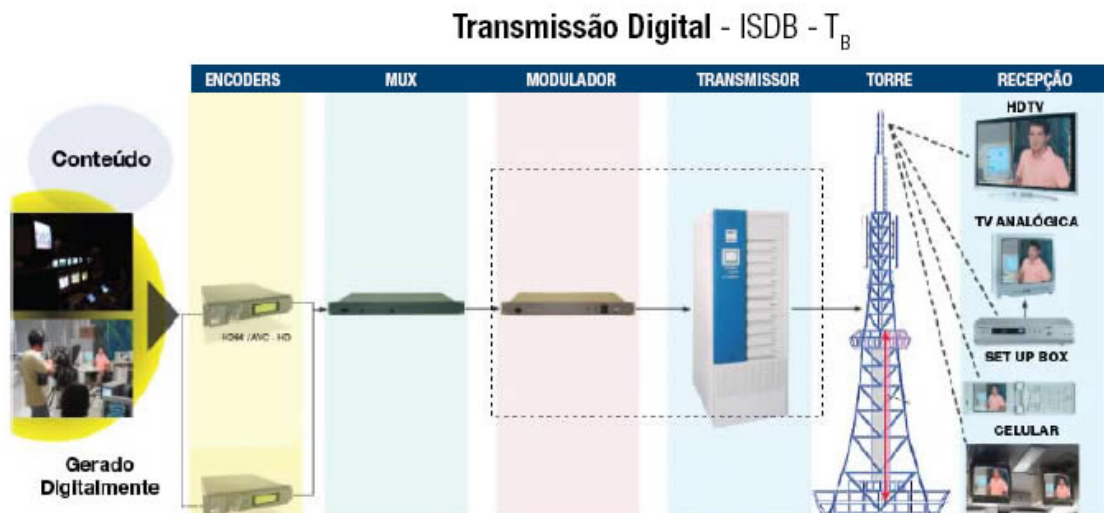


Figura 1 - Bloco funcional do sistema

Figura 13 – Bloco funcional do sistema brasileiro de TV Digital

Fonte: Revista da SET - Sociedade de Engenharia de Televisão - (BEDICKS; YAMADA, 2008).

A configuração de testes realizados em Maringá é composta pelos blocos funcionais acima citados. Na estrutura de transmissão: codificador, multiplexador, modulador, transmissor, linha de transmissão, antenas de transmissão. Meio de transmissão: propagação em UHF. E sistema de recepção: antena e receptor fixo, móvel e portátil.

Os dados coletados em campo foram utilizados para comparação dos modelos teóricos de propagação, objetivo deste trabalho.

3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA

A estação transmissora digital, conforme ilustra a imagem de satélite do *Google Earth* na figura 14, está localizada na rua Santa Joaquina de Vedruna, 625, Zona 05, cidade de Maringá, Estado do Paraná, nas seguintes coordenadas geográficas: 23°25' 29,3" S e 51°57' 13,7" W.

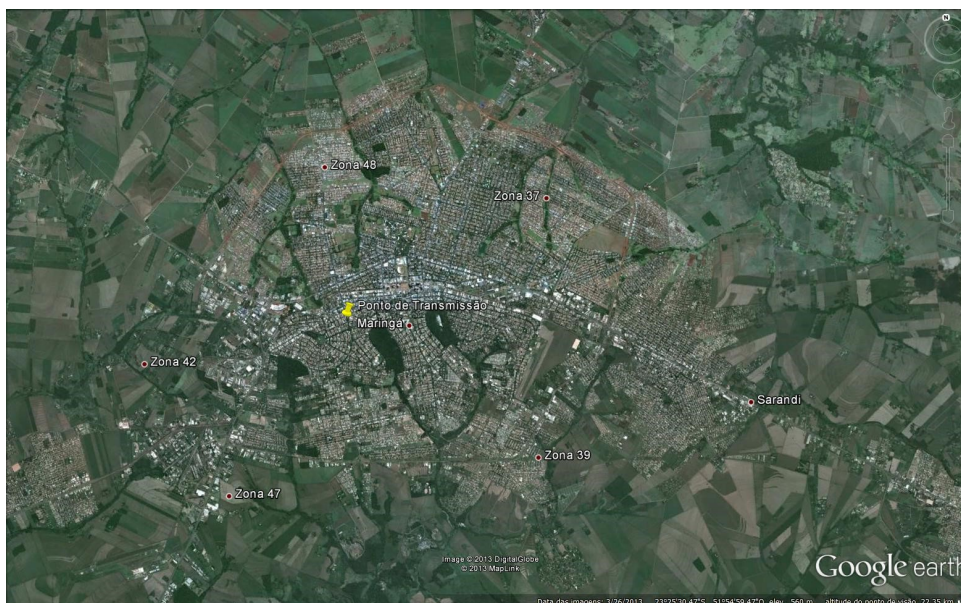


Figura 14 – Imagem google earth - localização do ponto de transmissão
 Fonte: Google Earth.

Foi instalado o codificador que divide o sinal em HD *High Definition* e em LD *Low Definition*. O sinal HD ocupa doze segmentos da banda, e nos testes aqui escritos foram recebidos nas antenas fixas num padrão de compressão H.264. E outro em LD, ou *baseline*, ocupa um segmento e foi utilizado para receber os sinais na recepção portátil. O codificador utilizado foi do fabricante NEC Corporation, modelo: VC7301 (HD) e VC7010 (LD) (NEC, 2018).

A combinação em um mesmo feixe de dados dos diferentes *transport streams* enviados pelos codificadores é feito no multiplexador. O multiplexador tem duas camadas, para ensaios de TV HD e portátil. Vários parâmetros do sistema de transmissão podem ser configurados no multiplexador, tal como o modo de transmissão, FEC *Forward Error Correction*, intervalo de guarda, entre outros parâmetros. O Multiplexador utilizado foi do fabricante NEC Corporation, modelo: MX -1500 (NEC, 2018).

Já o modulador foi utilizado para fazer a codificação de canal. O Modulador utilizado foi do fabricante Linear, modelo: IS8001 (LINEAR, 2018). O modulador recebe o BTS - *Broadcast Transport Stream* e faz a codificação, com objetivo de corrigir os erros produzidos na transmissão e executa a modulação - OFDM *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* que consiste em enviar a informação modulando em QAM ou em PSK um conjunto de portadoras de diferentes frequências, com taxa até 23 Mbps. A modulação OFDM é muito robusta frente ao multitrajeto, que é habitual nos canais de radiodifusão, frente aos desvanecimentos seletivos em frequência e frente às interferências de RF.

O transmissor converte o sinal de FI gerado pelo bloco de modulação para a frequência do canal de transmissão e amplifica o sinal até a potência desejada. O fabricante e modelo do transmissor não serão informados devido à confidencialidade dos testes e para manter a imparcialidade, visto que não é o objeto do trabalho; a potência do transmissor é de 3,6 kW.

Para conduzir energia elétrica do transmissor até a antena foi utilizada uma linha de transmissão, elemento de circuito capaz de conduzir energia elétrica de um ponto ao outro. A linha de transmissão usada para alimentar o transmissor à antena é do tipo coaxial 50 Ohms, diâmetro de 1 5/8” e comprimento de 64 metros. O fabricante é a empresa *Radio Frequency Systems* (RFS), modelo HCA-158-50J, com atenuação de 1,69 dB a cada 100 metros, figuras 63 e 64 do apêndice, com uma eficiência comprimento e bitola em torno de 0,93. (RFS, 2018b).

Foram utilizados nos testes dois tipos de antena de transmissão, uma apenas com polarização horizontal e outra com polarização elíptica. Antena de transmissão é um dos principais elementos do sistema de transmissão. Uma antena é definida como um "dispositivo para a radiação ou a recepção de ondas de rádio. Em outras palavras, uma antena é uma estrutura intermediária entre o espaço livre e o dispositivo de guiamento".(BALANIS, 1997).

Vários tipos de antenas podem ser empregados para transmissão dos sinais de TV. Sua principal função é a transferência de potência entre o transmissor e o receptor. A definição do tipo da antena utilizada varia de acordo com a região a ser atendida. Se o ponto de transmissão estiver no centro da área urbana do município, uma das antenas mais adequadas será uma antena que irradia para todas as direções. Se o ponto de transmissão estiver em um lado extremo do município, uma antena diretiva será mais adequada.

Entre os tipos de antenas podemos destacar algumas de acordo com seu diagrama de irradiação, podendo ser omnidirecional (irradia o sinal em todas as direções) ou diretiva (irradia o sinal com maior potência em uma direção ou em um conjunto de ângulos). Analisando as antenas transmissoras para TV Digital UHF pode-se citar diferentes tipos de antenas, como painel, *slot*, *supertunstile*, entre outras, ilustradas na figura 15.



Figura 15 – Tipos de antenas usadas nas transmissões de televisão

Fonte: Site: Transtel - (CONTI, 2013).

O tipo das Antenas de transmissão (polarização horizontal e polarização elíptica) utilizadas nos testes em campo, foram do tipo Slot. Antenas Slot são constituídas basicamente por uma cavidade de RF com geometria e dimensões adequadas à ressonância e conformação de diagramas de radiação especificados. A alimentação da cavidade é, via de regra, desbalanceada e o acoplamento de energia entre a linha de transmissão e as fendas (aberturas da cavidade) se dá por elementos de acoplamento. Externamente à cavidade são ainda incorporados elementos parasitas para conformação dos diagramas de radiação especificados. (CONTI, 2017a)

Segundo (RIBEIRO, 2012) uma antena pode ter a função de transmissora ou receptora.

"Funcionamento da antena transmissora: considera-se um condutor com uma corrente elétrica variável no tempo. Essa corrente produz um campo eletromagnético no tempo, fenômeno descrito pela lei de Ampere. O campo magnético, por sua vez, dá origem a um campo elétrico variável no tempo, propriedade quantificada a partir da lei de Faraday. Os trabalhos de Maxwell e Hertz comprovaram que o campo elétrico variável no tempo causa um campo magnético variável no tempo. A situação retorna ao ponto anterior, onde o campo magnético induzirá o campo elétrico. O ciclo de acontecimentos repete-se, em uma sucessão de campos elétricos e magnéticos mutuamente induzidos que se deslocam de sua zona de formação para o espaço, formando a onda eletromagnética."

"Funcionamento da antena receptora: na extremidade oposta ao transmissor, completando um enlace radioelétrico, a antena receptora atua ao inverso da transmissora. Isto é, a presença do campo eletromagnético em sua região de influência será responsável pela indução de uma corrente e de uma diferença de

potencial em seus terminais. Portanto, parte da energia do campo eletromagnético do espaço será transferida para a entrada do receptor, através da linha de transmissão, com a mesma variação no tempo da onda incidente. A corrente induzida também produzirá uma irradiação a partir da antena receptora, consistindo em parte da energia reenviada para o espaço.

As principais características técnicas de uma antena são o diagrama de irradiação, o ganho e a polarização.

Diagrama de radiação de uma antena é definido como:

"Uma função matemática ou representação gráfica das propriedades de radiação da antena em função das coordenadas espaciais. Na maioria dos casos, o diagrama de radiação é determinado na região de campo distante e é representado como uma função das coordenadas direcionais. As propriedades de radiação incluem densidade de fluxo de potência, intensidade de radiação, intensidade de campo, diretividade, fase ou polarização". (BALANIS, 1997, p.15)

Já o **ganho de uma antena** é definido como a relação entre a intensidade de radiação numa dada direção comparativamente àquela produzida por uma antena de referência com a mesma potência de entrada.(CONTI, 2017a). O ganho é definido em função de uma antena isotrópica (uma antena hipotética sem perdas, com radiação igual em todas as direções) e determina a diretividade de uma antena, ou a energia em uma determinada direção.

A **polarização da antena** pode ser linear ou elíptica. Uma onda harmonicamente variante no tempo é linearmente polarizada em um ponto no espaço se o vetor de campo elétrico, ou campo magnético for, neste ponto, sempre orientado na mesma linha reta em qualquer instante de tempo. Já na polarização elíptica, uma onda harmonicamente variante no tempo é elipticamente polarizada se a extremidade do vetor de campo elétrico ou campo magnético traçar uma elipse no espaço, em função do tempo. A onda será elipticamente polarizada à direita (ou no sentido horário) se a rotação do vetor de campo for no sentido horário; será elipticamente polarizada à esquerda (ou no sentido anti-horário) se a rotação do vetor de campo for no sentido anti-horário.(BALANIS, 1997)

Uma das antenas de transmissão usada nos ensaios foi a antena com polarização apenas horizontal. O fabricante e modelo da antena não serão informados devido à confidencialidade dos testes e imparcialidade dos resultados. Foi utilizada uma antena slot com um ganho de 7,32 dBd ou 5,39 vezes, com uma altura do centro irradiante de 54,05 m e orientação do seu diagrama de irradiação em 0°Norte Verdadeiro (NV). Para os testes denominada como antena de polarização horizontal. O diagrama horizontal e corte de elevação, diagrama vertical, são ilustrados na Figura 16.

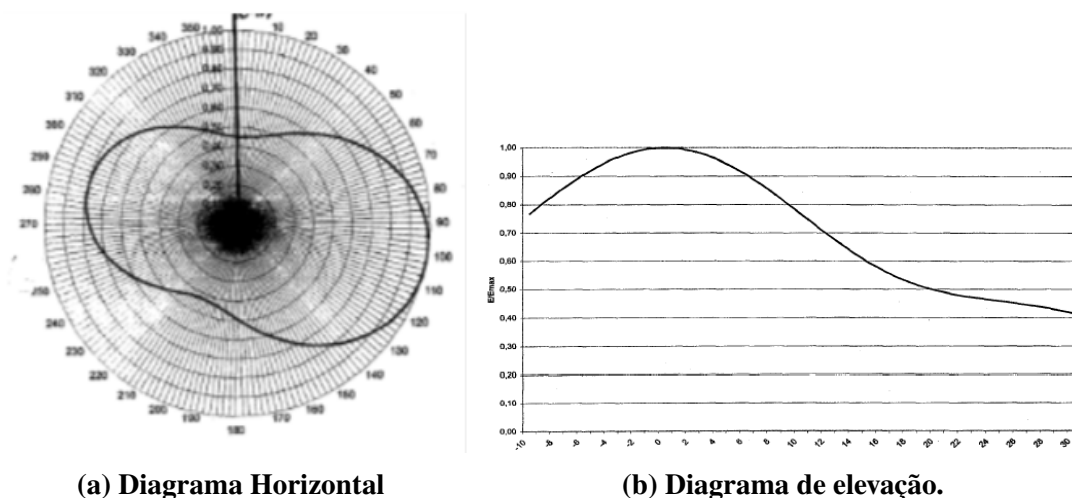


Figura 16 – Diagrama horizontal e diagrama vertical da antena de transmissão polarização horizontal

Fonte: Catálogo do fabricante.

A segunda antena de transmissão utilizada foi a antena de polarização elíptica, sendo que o fabricante e modelo da antena também não serão informados. Para os testes será denominada como antena de transmissão de polarização elíptica. A Antena é do tipo slot, com um ganho de 6,44 dBd ou 4,41 vezes, na horizontal e ganho de 3,8 dBd ou 2,4 vezes na vertical. A divisão de potência da antena é assimétrica, 70% da potência para a polarização horizontal e 30% para a polarização vertical. Altura do centro irradiante é de 54,00 m e orientação do seu diagrama de irradiação em 0° Norte Verdadeiro. O diagrama horizontal e diagrama vertical, corte de elevação são demonstrados na Figura 17 .

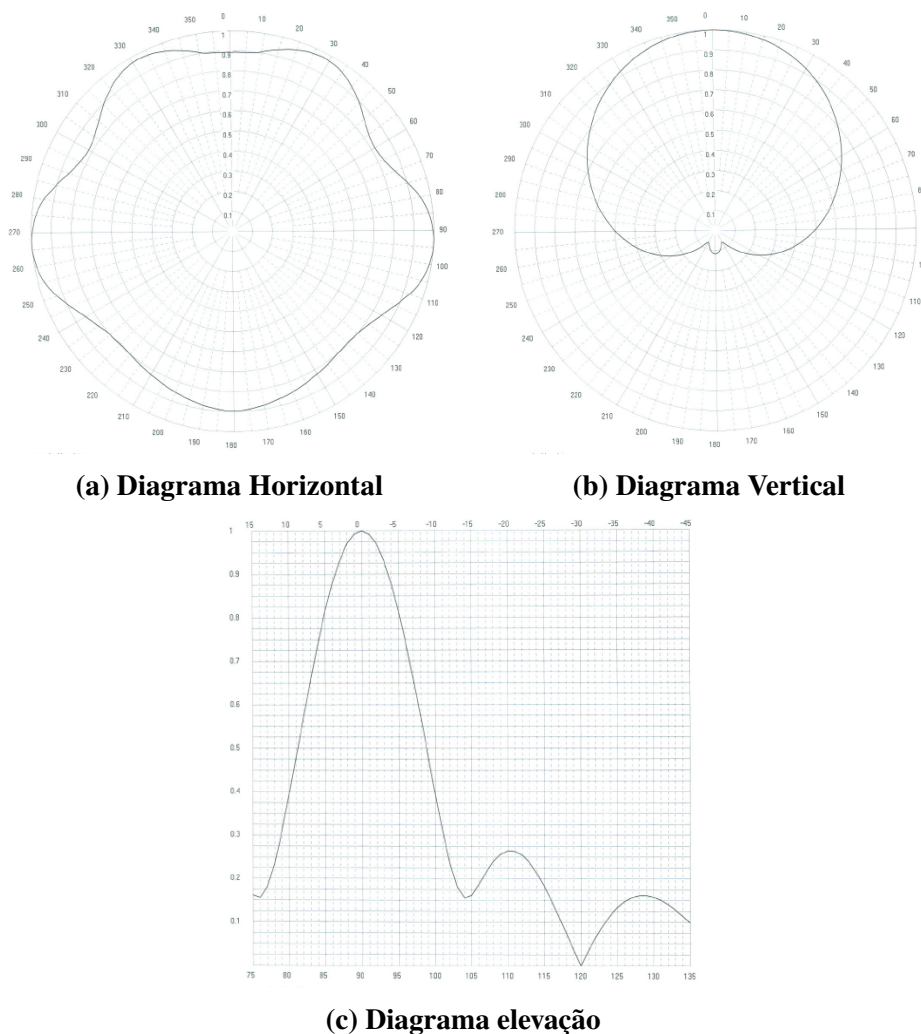


Figura 17 – Diagrama horizontal, diagrama vertical e corte de elevação da antena de transmissão polarização elíptica

Fonte: Catálogo do fabricante.

O transmissor foi instalado em sala adequada, com temperatura controlada e sistema de aterramento. O sistema de transmissão foi configurado para trabalhar com dois codificadores: um para codificação de baixa resolução (LD), fornecendo sinal para o segmento correspondente à transmissão para recepção portátil, e outro para alta resolução (HD), que ocupa doze segmentos, correspondendo à transmissão para recepção fixa em alta definição. A combinação dos dois sinais foi feita no multiplexador de duas camadas.

Para a transmissão do sinal foram instaladas duas antenas na torre. Uma delas apenas com a transmissão na polarização horizontal e a outra com a polarização elíptica. As antenas de transmissão foram instaladas a aproximadamente 54 metros, conforme apresentado na figura 18, uma em cada lado/montante da torre de transmissão. As duas antenas transmitiram o sinal com a mesma potência irradiada.

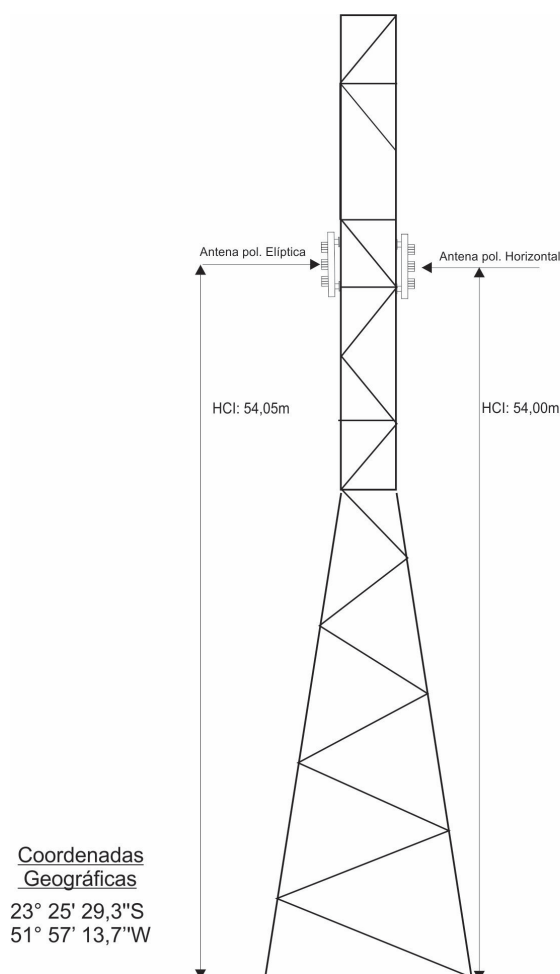


Figura 18 – Esquemático da torre de transmissão com a instalação das duas antenas na torre e seu posicionamento

Fonte: Autorial Própria.

Como as antenas para os testes foram de fabricantes diferentes, mesmo sendo do mesmo tipo (slot), algumas características técnicas são diferentes, entre elas, o ganho. Nos ensaios foi necessário ajustar a potência do transmissor para que a potência irradiada fosse a mesma, deixando apenas o parâmetro polarização ser considerado nos testes.

Para a caracterização da mesma potência irradiada para as duas antenas foi feito o ajuste da potência do transmissor, uma vez que o ganho de cada antena é fixo bem como a eficiência da linha de transmissão. Dados do sistema retirados no catálogo do cabo e das antenas:

- Eficiência do cabo (igual para duas antenas) = 0,93. Cálculo de eficiência do cabo, conforme (ANATEL, 2001).
- Antena de polarização horizontal: 7,32 dBd = 5,39 vezes
- Antena de polarização elíptica: 6,44 dBd = 4,41 vezes

Observação: informações dos ganhos estão disponíveis no catálogo dos fabricantes, porém não inseridas neste trabalho para manter o sigilo dos nomes dos fabricantes.

A fórmula do ERP máxima é dada da seguinte forma:

$$ERP_{max} = PT * GT_{max} * EF. \quad (3.1)$$

PT : Potência de saída do transmissor, em kW.

GT_{MAX} : Ganho máximo do sistema irradiante, em vezes

EF : Eficiência da linha de transmissão

Cálculo (potência máxima irradiada) para antena de polarização elíptica

Utilizando a equação 3.1 e aplicando os dados da antena na polarização elíptica:

$ERP_{max} = 3,6\text{KW} \times 4,41 \text{ vezes} \times 0,93$, o resultado da ERP_{max} é de 14,76 KW, ou seja, a potência máxima irradiada é de: 14,76KW.

Cálculo (potência do transmissor) para antena a polarização horizontal

Como a antena de polarização horizontal tem maior ganho e para que a potência máxima irradiada das duas antenas permaneça a mesma, foi aplicado novamente a fórmula 3.1.

$$ERP_{max} = P_T \times GT_{max} \times EF$$

$$14,76 \text{ K} = P_T \times 5,39 \text{ vezes} \times 0,93$$

$$P_T = 2,94 \text{ KW}$$

Contudo, ao serem feitas as medidas de campo da antena com polarização horizontal foi ajustada a potência do transmissor para 2,94 kW e quando foram feitas as medidas da antena com polarização elíptica foi configurada a potência nominal do transmissor para 3,6 kW, com isso, as duas antenas estavam com a mesma potência máxima irradiada.

A Tabela 2 faz um resumo das características técnicas da estação transmissora.

Tabela 2 – Características técnicas - estação transmissora

Características	Descrição
Endereço - site transmissão	Rua Santa Joaquina de Vedruna, 625, Zona 05, Maringá, PR
Coordenadas - site transmissão	23°25' 29,3" S e 51°57' 13,7"W
Codificador (fabricante / modelo)	NEC / VC 7301(HD) e VC7010 (LD)
Multiplexador (fabricante / modelo)	NEC / MX- 1500
Modulador (fabricante / modelo)	Linear / IS8001
Transmissor (potência)	3,6 KW (antena de polarização elíptica)
Transmissor (potência)	2.94 KW (antena de polarização horizontal)
Cabo (tipo)	Coaxial - 50 Ohms
Cabo (diâmetro)	1 5/8"
Cabo (fabricante)	RFS - <i>Radio Frequency Systems</i>
Cabo (modelo)	HCA-158-50J
Cabo (atenuação)	1,69 dB a cada 100 metros
Antena PH (tipo)	Slot
Antena PH (polarização)	Horizontal
Antena PH (ganho)	7,32 dBd ou 5,39 vezes
Antena PH (instalação)	54,05 metros
Antena PE (tipo)	Slot
Antena PE (polarização)	Elíptica - 70% H e 30% V
Antena PE (ganho)	6,44 dBd ou 4,41 vezes
Antena PE (instalação)	54,0 metros

Fonte: Autoria Própria.

3.2 MEIO DE TRANSMISSÃO UTILIZADO

Na saída da seção de modulação, o sinal de FI de 44 MHz é convertido para a frequência do canal de transmissão. Canal de televisão é uma faixa do espectro de radiofrequência com largura definida a ser utilizado para difusão de sinais de sons e imagens que são captados por televisores. O Brasil definiu para os sinais digitais os canais na faixa de VHF *Very High Frequency* alto (7 a 13) e na faixa de UHF *Ultra High Frequency* (14 a 51). A frequência utilizada para as medições é de 632 a 638 MHz, canal 41, com uma banda de 6 MHz.

3.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA RECEPÇÃO

Para a monitoração dos pontos de recepção, tanto fixos quanto móveis, foi utilizado um carro de levantamento de campo. O sistema é composto por antenas domésticas, medidores de campo adequados para tais medidas, GPS para localização dos pontos, monitores de TV, conversor para recepção do sinal digital, cabos coaxiais, divisores e mastro com altura de 8 m onde são fixadas as antenas e câmera.

Foram utilizadas duas antenas iguais para a recepção fixa do sinal digital, uma delas, instalada no mastro do carro como normalmente um telespectador instalaria em sua residência, na posição horizontal, e outra instalada na vertical, conforme figura 19. O fabricante das antenas é Proeletronic, modelo banda total, frequência de 470 a 890 MHz, canal 14 ao 83, 8 elementos, ganho 11 dBi. O objetivo foi mensurar a composição do sinal de recepção nas duas polarizações lineares.



Figura 19 – Foto da antena receptora instalada na vertical e horizontal

Fonte: Autoria Própria.

Para a recepção móvel foi utilizada antena omnidirecional, monopolo, fabricante Aquário, modelo: DTV-150, mostrado na figura 20. Foi instalada na parte superior do carro de medidas.



Figura 20 – Antena receptora omnidirecional

Fonte: Autoria própria.

Os cabos utilizados para as conexões das antenas e medidores foram cabo coaxial RG 06, com 10 m de comprimento, ligados das antenas de recepção fixas ao analisador de espectro e

monitor, cabo de rede com conexão padrão Ethernet e energia para alimentar câmera no topo do mastro e cabo coaxial RG 06, com 2 m de comprimento, ligado diretamente na antena monopolo para medidas em movimento.

Foi utilizado um divisor com uma entrada e duas saídas, dividindo o sinal para o medidor de campo e a TV, para monitoração ao mesmo tempo do sinal e da imagem.

Para medidas quantitativas foi utilizado um analisador de espectro, fabricante Agilent, modelo 64405B. Para as medidas qualitativas um televisor, fabricante Samsung 20", modelo T20C310LB, com conversor externo, fabricante Aiko, modelo HD-1018, sistema HD e LD.



(a) Analisador de espectro- Agilent



(b) Equipamentos de monitoração e medidas dentro do carro

Figura 21 – Equipamentos de monitoração dentro do veículo de medidas

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 3 faz um resumo das características técnicas da recepção do sinal.

Tabela 3 – Características técnicas de recepção

Características	Descrição
GPS (fabricante / modelo)	Garmin / 3Plus
Monitor (fabricante / modelo)	Samsung 20"/ T20C310LB
Conversor/demodulador (fabricante / modelo)	Aiko / HD-1018
Analisor de espectro (fabricante / modelo)	Agilent / 64405B
Divisor (fabricante / modelo)	Greatek /1:2 5-2400MHz
Antena Recepção Fixa (tipo)	Log periódica
Antena Recepção Fixa (fabricante)	Proeletronic
Antena Recepção Fixa (modelo)	Banda Total
Antena Recepção Fixa (faixa de frequência)	470 a 890 MHz
Antena Recepção Fixa (quant.elementos)	8 elementos
Antena Recepção Fixa (ganho)	11 dBi
Antena Recepção Móvel (tipo)	monopolo
Antena Recepção Móvel (fabricante)	Aquário
Antena Recepção Móvel (modelo)	DTV-150
Antena Recepção Móvel (faixa de frequência)	30 a 890 MHz
Antena Recepção Móvel (diagrama)	omnidirecional
Antena Recepção Móvel (ganho)	3 dBi
Cabo (tipo)	Coaxial / Ethernet e alimentação
Cabo (comprimento)	10 m(antena fixa) e 2 m (monopolo)

Fonte: Autoria Própria.

3.4 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIDA

Para avaliação do sinal digital com antenas de transmissão com polarizações horizontal e com a polarização elíptica foram escolhidos 48 pontos fixos, 30 pontos dentro de Maringá e outros 18 pontos em outros 10 municípios próximos a Maringá, tais como Marialva, Ângulo, Paiçandu, Sarandi, Astorga, Mandaguaçu, Floresta, Itambé, Bom Sucesso e Mandaguari. Também foram medido aproximadamente 2700 pontos capturados em movimento.

Primeiramente foi transmitido o sinal utilizando a antena de polarização horizontal medindo os pontos fixos e móveis. Após finalizadas estas medidas, foi trocada a antena de transmissão para a antena de polarização elíptica repetindo as medidas os mesmos pontos fixo e na mesma região dos pontos em movimento.

Conforme mostrado na figura 22, os 30 pontos fixos foram distribuídos em Maringá. O ponto em vermelho indica o posicionamento da estação transmissora. A figura 23 mostra todos os pontos medidos em Maringá e nos municípios próximos.

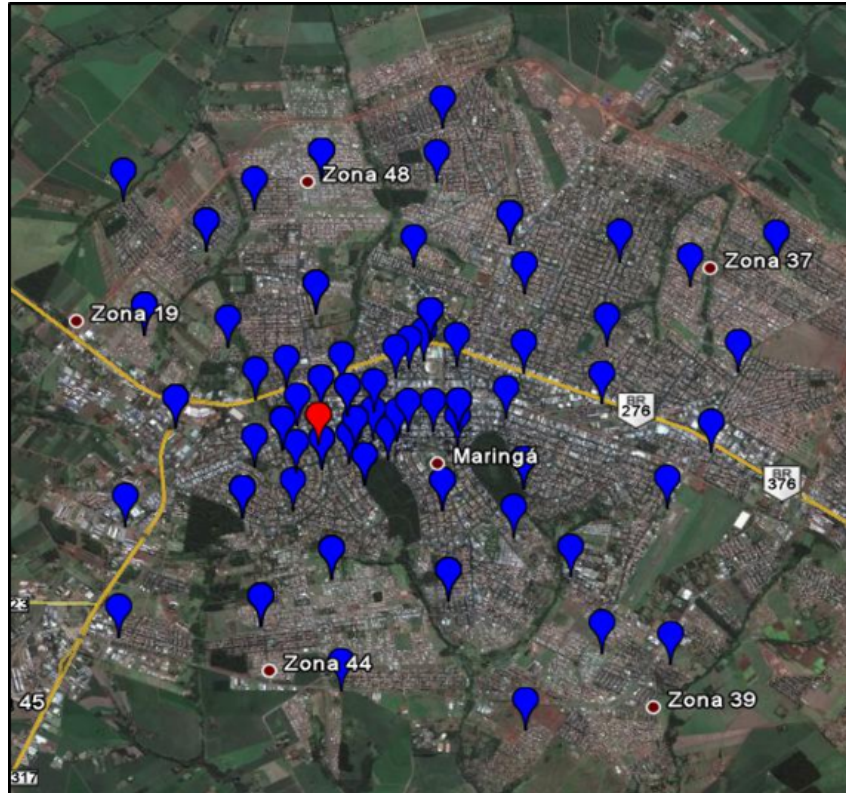


Figura 22 – Imagem de satélite google earth - pontos fixos em Maringá

Fonte: Google Earth.

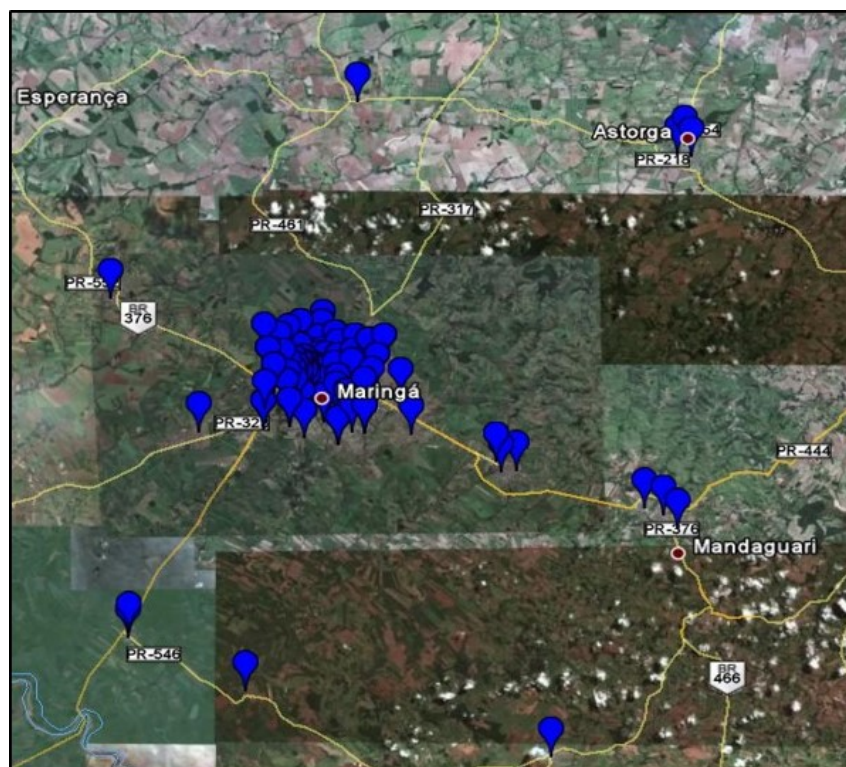


Figura 23 – Imagem de satélite google earth - pontos fixos Maringá e região

Fonte: Google Earth.

As medidas móveis foram realizadas em 4 trajetos distintos: pontos medidos nas

ruas no centro de Maringá, próximo aos prédios, onde há maior incidência de multipercurso. Pontos medidos ao longo da avenida Colombo, em Maringá, pontos medidos na rodovia que liga Maringá a Marialva, pontos medidos na rodovia que liga Maringá a Mandaguaçu, totalizando em torno de 2700 pontos móveis.

A figura 24 mostra a região onde foram realizadas as medidas dos pontos móveis no centro de Maringá, próximo aos prédios, região indicada em vermelho. Região próxima à catedral de Maringá.

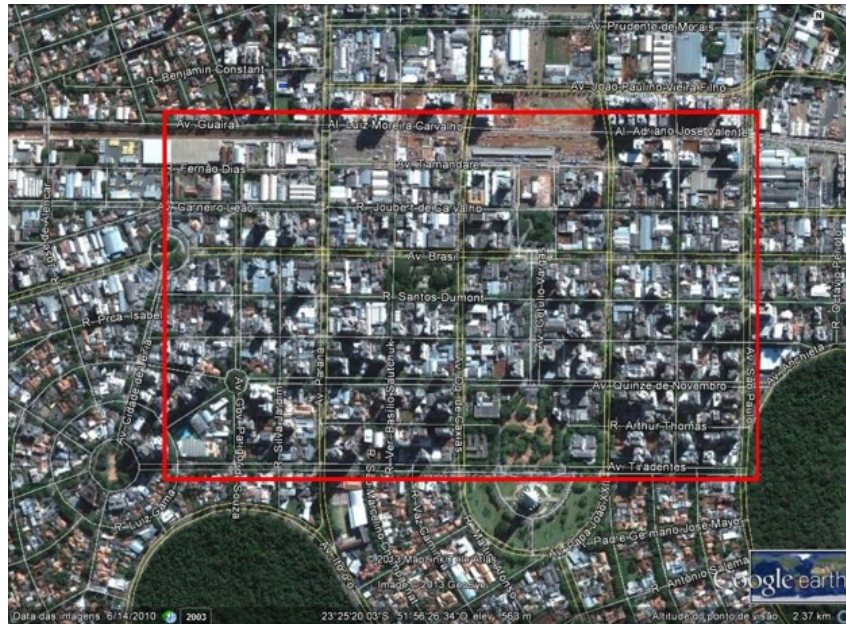


Figura 24 – Imagem de satélite Google Earth com a indicação em vermelho da região de medições em movimento, Centro de Maringá

Fonte: Google Earth.

A Figura 25 indica o trajeto feito com as medidas em movimento ao longo da Avenida Colombo, em Maringá.

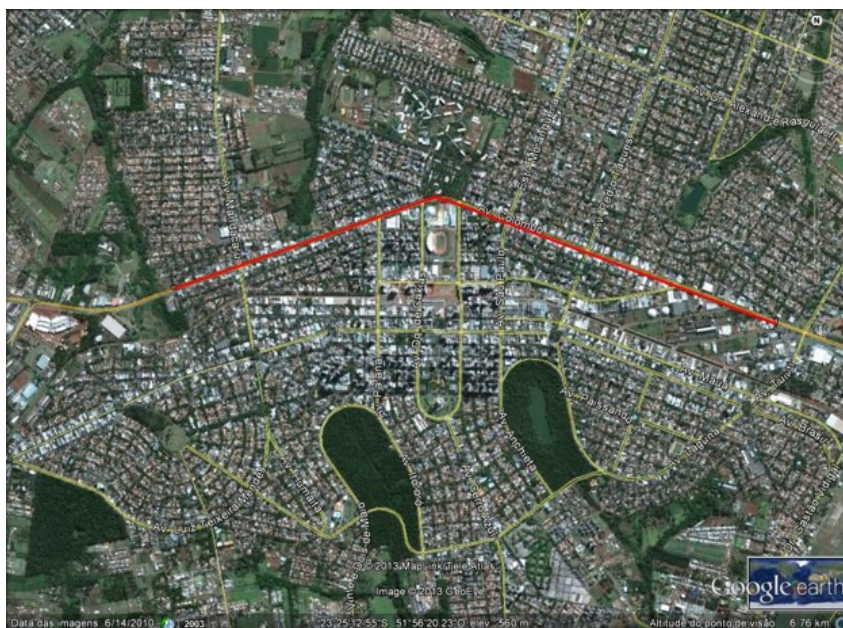


Figura 25 – Imagem de satélite google earth com a indicação em vermelho das medidas em movimento, avenida Colombo em Maringá

Fonte: Google Earth.

A figura 26 mostra o trajeto dos pontos medidos na rodovia que liga Maringá a Marialva.

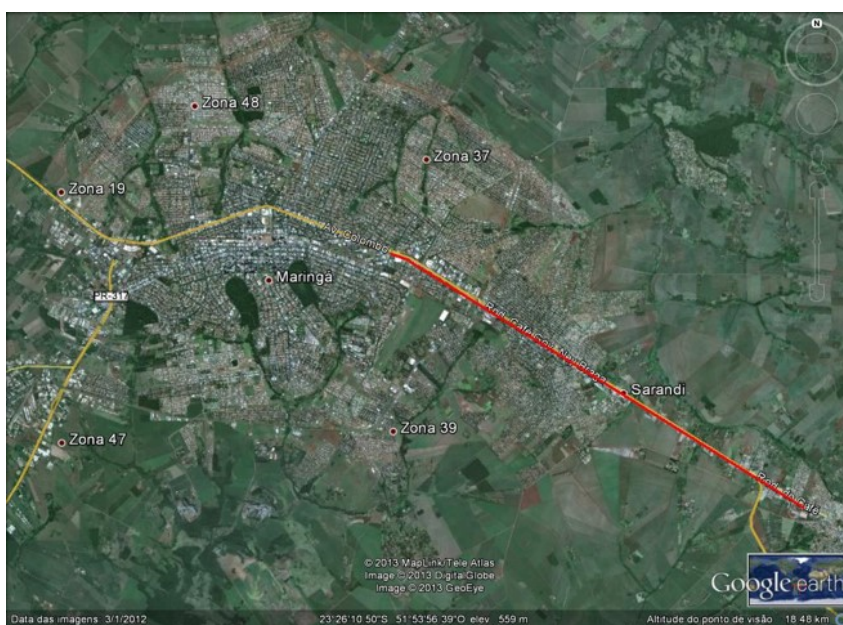


Figura 26 – Imagem de satélite google earth com a indicação em vermelho das medidas em movimento, rodovia Maringá - Marialva

Fonte: Google Earth.

A figura 27 mostra o trajeto dos pontos medidos na rodovia que liga Maringá a Mandaguau, região indicada em vermelho.



Figura 27 – Imagem de satélite google earth com a indicação em vermelho das medidas em movimento, rodovia Maringá - Mandaguçu

Fonte: Google Earth.

3.5 PROCEDIMENTO DE MEDIDAS DO SINAL DIGITAL

Em cada ponto fixo foi necessário um tempo de aproximadamente nove minutos para o ensaio: dois minutos para subida e descida do mastro telescópico, um minuto para observação do sinal no monitor HD, um minuto no monitor portátil, três minutos para tomada de medidas com uso do analisador de espectro, um minuto para fotografar a região ao redor, um minuto para reconhecimento da área.

Os procedimentos para cada ponto avaliado e para cada uma das antenas (polarização horizontal e polarização elíptica) foram:

- Localização do ponto por endereço e coordenadas geográficas;
- Reconhecimento visual do ponto;
- Fotografia da área de medição;
- Fotografia do apontamento da antena;
- Preparação dos equipamentos de captura e medição;
- Medida de potência recebida (dBm);
- Verificação e captura da formatação do espectro (máscara);
- Medida relação C/N (dB), ruídos presentes no local;

- Medida da Taxa de Erro de Símbolo (MER – *Modulation Error Rate*).
- Verificação de ocorrência de artefatos no vídeo ou áudio, tanto do sistema HD, avaliado em um monitor LCD 22 polegadas, e no sistema móvel, aparelho portátil, observado por um período de 1 (um) minuto, em escala de graduação OK, ÑOK e SI, conforme descrição abaixo:
 - OK – Imagem e áudio em perfeito estado.
 - ÑOK – Imagem apresentou algum tipo de artefato (bloqueio, mosquito noise, slice, congelamento, black ou problemas de áudio).
 - SI – Quando o sistema não consegue abrir a imagem, por motivo de sinal fraco, interferência ou ausência de sinal.
- Desmontagem dos equipamentos de captura e medição.

Para a captação das medidas em movimento foi instalada no carro de medidas uma antena monopolo, um GPS, um analisador de espectro e um notebook com um software que foi desenvolvido pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que consegue captar e combinar todas estas leituras, medindo o sistema *oneseg* (LD). Com estas medidas foi possível fazer uma análise do comportamento do sinal digital em movimento praticamente a cada 10 ou 15 metros dentro de uma região. As medidas são captadas a cada 6 segundos com informações de coordenadas geográficas, nível de potência recebida e taxa de erro de símbolo (MER) de cada ponto. Posteriormente é possível registrar numa planilha e processar os resultados.

Os procedimentos para as medidas de movimento:

- Conectar o GPS e analisador de espectro no computador;
- Conectar a recepção monopolo, fixada ao carro;
- Com o carro em movimento em torno de 20 Km/h fazer o percurso determinado coletando as informações.
- Desmontagem dos equipamentos de captura e medição.

4 SIMULAÇÃO E RESULTADOS

4.1 SIMULAÇÃO

O objetivo principal desta dissertação é a comparação entre as medidas de campo e os valores calculados a partir de modelos de propagação. O capítulo anterior tratou dos procedimentos para a coleta das medidas em campo, mostrando os procedimentos que foram realizados para a captura dos dados medidos.

Foram utilizados dois softwares para a predição de cobertura, utilizando arquivos de relevo digitalizados e informações de tipos de obstáculos em cada ponto, conhecidos como *clutters*. Um dos softwares utilizados é *Signal EDX* (EDX, 2007) e outro software *CRC-COVLAB* (CRC, 2010).

Com os parâmetros de transmissão e recepção anteriormente descritos, foi feito o modelamento teórico para todos os pontos medidos, levando em consideração as informações necessárias para o cálculo. Foi estabelecido a frequência a ser utilizada (canal 41), potência do transmissor, comprimento e atenuação dos cabos de transmissão e recepção, ganho e altura da antena de transmissão e recepção, tipo de modelo de propagação a ser analisado, relevo digitalizado e tipos de obstáculos em cada ponto (*clutters*).

Os diagramas das antenas foram inseridos na predição de cobertura teórico. Foi utilizado o valor de $E/E_{máx}$ do seu diagrama, em cada plano, em seguida, combinando os vários ganhos nos azimutes e elevações apropriados para fornecer o ganho relativo em cada direção e ângulo e assim inseri-los nas equações dos modelos de propagação. O modelamento do diagrama considerando a antena com a polarização horizontal foi inserido seu diagrama de irradiação horizontal. Já modelamento considerando a antena com a polarização elíptica foi inserido seu diagrama de irradiação horizontal e vertical e o modelamento computacional gerou valor resultante das duas componentes.

Com as medidas realizadas, os valores teóricos calculados, foram aplicadas métricas estatísticas para avaliar os modelos de propagação.

4.1.1 Modelos de Propagação Utilizados

Foram selecionados os modelos de propagação aplicáveis a faixa de frequência do canal medido, 470 a 692 MHz, em UHF.

- Hata-extended/ Epstein-Peterson Diffraction : *OPEN*, *SUBURBAN* e *URBAN*
- Longley-Rice

- Okumura (Hata) : *OPEN*, *SUBURBAN* e *URBAN*
- TIREM-EDX
- FCC-EDX
- FCC-FCC
- Anderson 2D v1.00
- ITU-R 370
- ITU-R 370 + RMD
- ITU-R 1546
- CRC-Predict

4.1.2 Cálculo do Erro

Uma das principais métricas para avaliar os modelos de propagação é o cálculo do erro entre os valores de campo calculados e os medidos. O erro foi calculado de três maneiras diferentes. O erro médio, erro médio em valores absolutos e erro RMS. Embora o erro médio tenha baixa representatividade ele foi usado para uma análise inicial dos modelos. As fórmulas para as três formas de erro estão apresentadas abaixo:

$$e_i = Ep_i - Em_i, \quad (4.1)$$

$$E_i = |Ep_i - Em_i|. \quad (4.2)$$

Onde:

Ep_i : nível de potência recebida calculado segundo um determinado modelo (dBmW).

Em_i : nível de potência recebida medido em cada ponto (dBmW).

O erro médio e o erro absoluto são cálculos a partir das fórmulas expressões:

$$\langle e \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i, \quad (4.3)$$

$$\langle E \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i. \quad (4.4)$$

Onde N é o número de pontos. O desvio padrão absoluto é calculado a partir do erro absoluto e do erro médio absoluto por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N E_i^2 - N \langle E \rangle^2 \right)}. \quad (4.5)$$

O erro RMS é uma associação dos dois parâmetros anteriores, Assim 4.3 e 4.5, tem-se:

$$E_{RMS} = \sqrt{\langle E \rangle^2 + \sigma^2}. \quad (4.6)$$

4.1.3 Taxa de Acerto

Além das métricas citadas acima, foi aplicado, através do erro entre os valores medidos e valores calculados individualmente, uma nota de 0 a 5, para definir a taxa de acerto de cada modelo. Para cada ponto, quando o valor de nível de potência recebido medido e o valor calculado com uma diferença entre 0 e 2 dB foi aplicado uma nota igual a 5. Quando a diferença estava entre 2,01 a 4 dB foi atribuído uma nota igual a 4, de 4,01 a 6 dB a nota foi 3, de 6,01 a 8 a nota igual a 2, de 8,01 dB a 10 dB a nota foi 1 e acima de 10dB a nota foi 0.

Assim, quanto maior a nota, maiores foram os pontos dentro da margem de erro e consequentemente mais preciso é o modelo de propagação.

4.2 RESULTADOS

4.2.1 Pontos Fixos

Foram analisados 48 pontos fixos, 30 pontos dentro de Maringá e outros 18 pontos em outros 10 municípios próximos a Maringá: Marialva, Ângulo, Paiçandu, Sarandi, Astorga, Mandaguaçu, Floresta, Itambé, Bom Sucesso e Mandaguari.

Aplicando as equações descritas nas sessões 4.1.2 e 4.1.3 em cada modelo de propagação, foi gerada uma série de resultados que estão apresentados nas figuras 28, 29, 30 e 31.

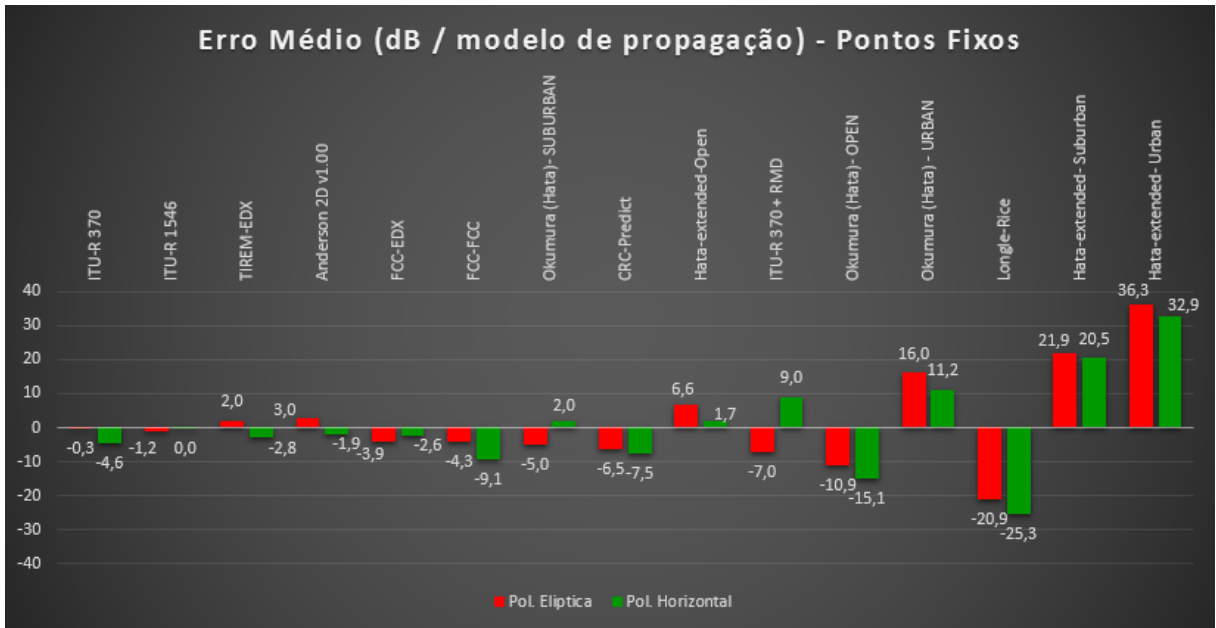


Figura 28 – Erro médio em dB para cada modelo de propagação - pontos fixos
 Fonte: Autoria Própria.

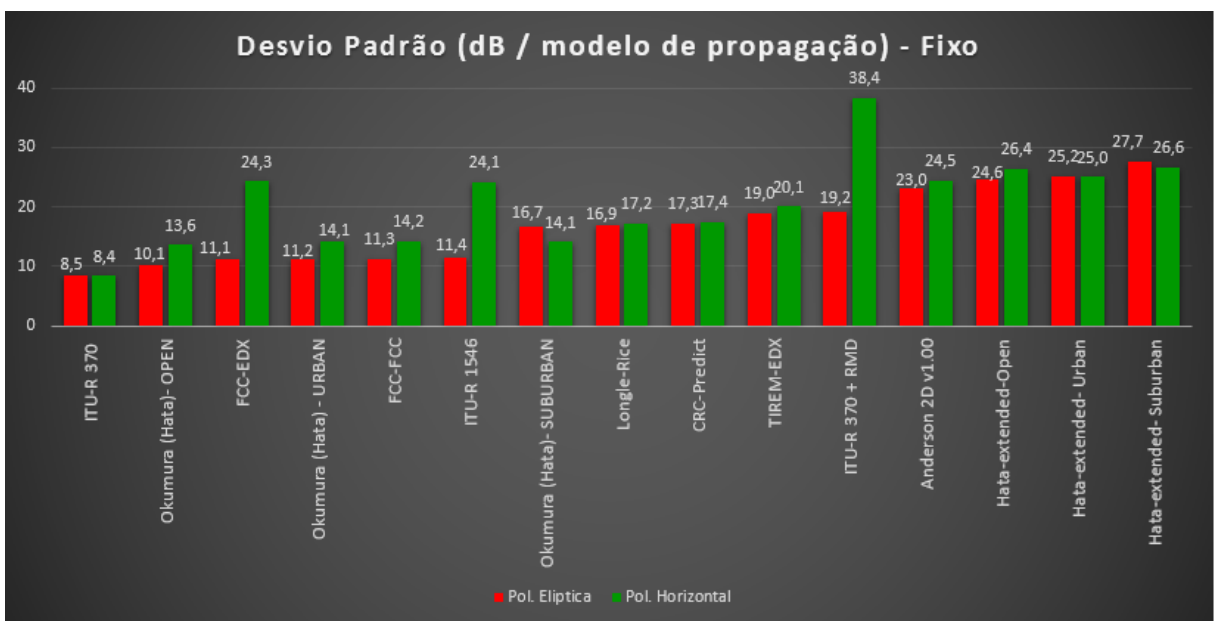


Figura 29 – Desvio padrão em dB para cada modelo de propagação - pontos fixos
 Fonte: Autoria Própria.

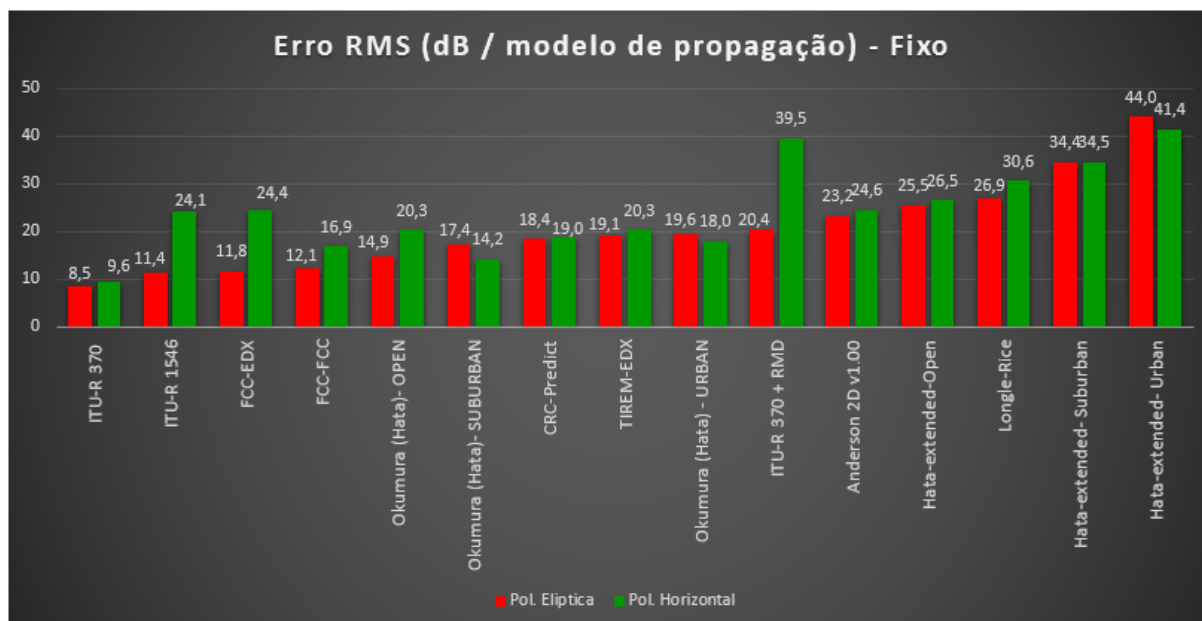


Figura 30 – Erro RMS em dB para cada modelo de propagação - pontos fixos
 Fonte: Autoria Própria.

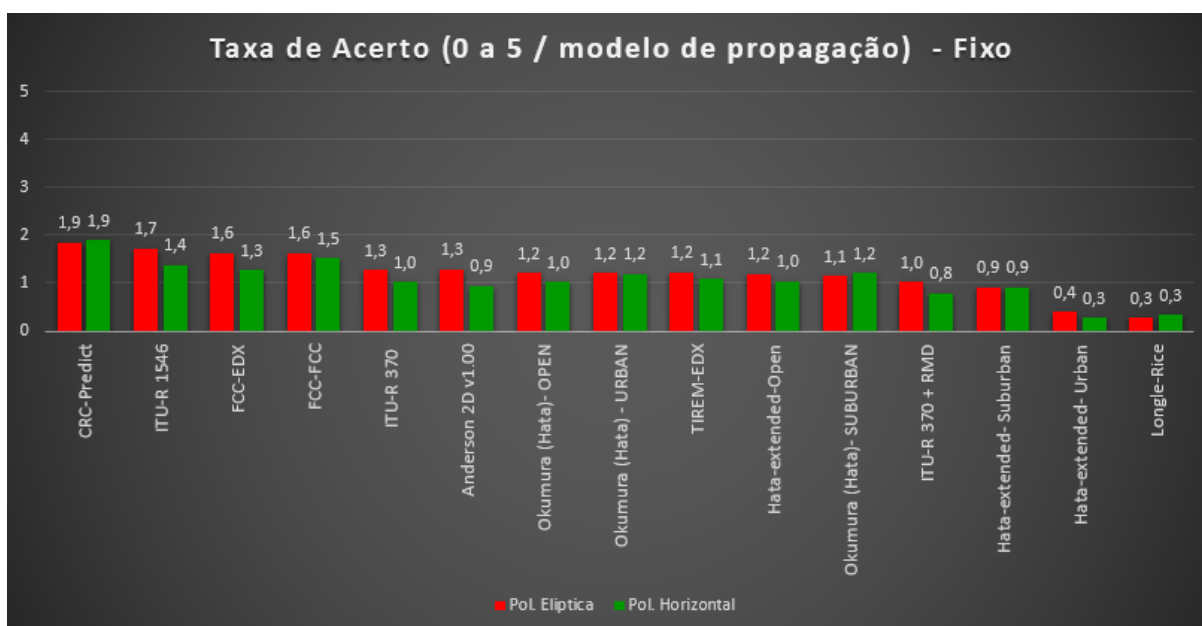


Figura 31 – Taxa de acerto média (0 a 5) para cada modelo de propagação - pontos fixos
 Fonte: Autoria Própria.

Na figura 28 são apresentados o erro médio dos 48 pontos fixos em dB, considerando cada modelo de propagação. Observa-se que tanto nos pontos medidos e calculados com a antena de transmissão na polarização elíptica, quanto os pontos medidos e calculados com a antena na polarização horizontal, os modelos que obtiveram o melhor resultado foram o modelo ITU-R 370, ITU-R 1546, TIREM-EDX, Anderson 2D v1.0 e FCC- EDX. O modelo **ITU-R370**

apresentou um erro médio nos pontos medidos e calculados para a antena de transmissão na polarização elíptica (-0,3 dB) e a antena de transmissão com a polarização horizontal (-4,6 dB). E o modelo **ITU-R 1546** obteve com um erro médio nos pontos medidos e calculados para a antena de transmissão na polarização elíptica (-1,2 dB) e a antena de transmissão com a polarização horizontal (-0,04 dB). O modelo **TIREM-EDX** apresentou um erro médio nos pontos medidos e calculados para a antena de transmissão na polarização elíptica (2 dB) e a antena de transmissão com a polarização horizontal (-2,8 dB). O modelo **Anderson 2D v1.0** obteve um erro médio nos pontos medidos e calculados para a antena de transmissão na polarização elíptica (3 dB) e a antena de transmissão com a polarização horizontal (-1,9 dB). O modelo **FCC-EDX** apresentou um erro médio nos pontos medidos e calculados para a antena de transmissão na polarização elíptica (-3,9 dB) e a antena de transmissão com a polarização horizontal (-2,6 dB).

Embora o erro médio para estes modelos tiveram um bom resultado, observa-se nas figuras 29 e 30 que os modelos apresentam o desvio padrão e o Erro RMS alto. Os melhores valores de desvio padrão foram verificados no modelo **ITU-R370** que obteve com um desvio padrão médio nos pontos medidos e calculados para a antena de transmissão na polarização elíptica (8,5 dB) e a antena de transmissão com a polarização horizontal (8,4 dB), e o erro RMS para polarização elíptica (8,5 dB) e (9,6 dB) para a polarização horizontal.

Considerando a Taxa de acerto, o modelo **CRC-Predict** apresentou a melhor taxa de acerto média. Nos pontos medidos e calculados para a antena de transmissão na polarização elíptica e na polarização horizontal de o valor foi de 1,9. Analisando com mais detalhes este modelo, observa-se que aproximadamente 10 % dos pontos tiveram uma taxa de acerto com nota 5, ou seja, tiveram um erro entre 0 e 2 dB, 12,5 % dos pontos tiveram uma taxa de acerto com nota 4, ou seja, tiveram um erro entre 2,01 a 4 dB, 37,5 % dos pontos tiveram notas 3, 2 e 1, variando de 4,01 dB a 10 dB e 39 % dos pontos tiveram uma nota 0, com erros de mais de 10 dB.

A maior parte dos pontos do modelo **CRC Predict**, 73 %, apresentaram um erro acima de 10 dB estão na região urbana de Maringá. O principal cálculo deste modelo é a difração sobre um perfil do transmissor ao receptor. O CRC-Predict considera uma atenuação adicional devido a reflexões no terreno e edificações. Para tanto, além do perfil da região sob análise, é preciso dispor do *clutter* desta área. Relembrando que o *clutter* é um conjunto de polígonos com a classificação da região quanto à urbanização e a vegetação. Foi aplicado o *clutter* desta área, porém não a base de prédios, visto a indisponibilidade desta base de forma pública. Com esta base seria possível considerar as reflexões nas edificações para adicionar ou subtrair contribuições ao campo e conseqüentemente ser mais eficaz nos resultados.

Para os melhores resultados do cálculo dos erros e taxas de acerto, modelos **ITU-R370** e **CRC Predict**, foi plotado o nível de potência recebida em (dBm) versus a distância do ponto em (Km) do site de transmissão. As figuras 32 e 34 mostram os resultados da antena de transmissão na polarização horizontal e as figuras 32 e 34 mostram os resultados da antena de transmissão na polarização elíptica.

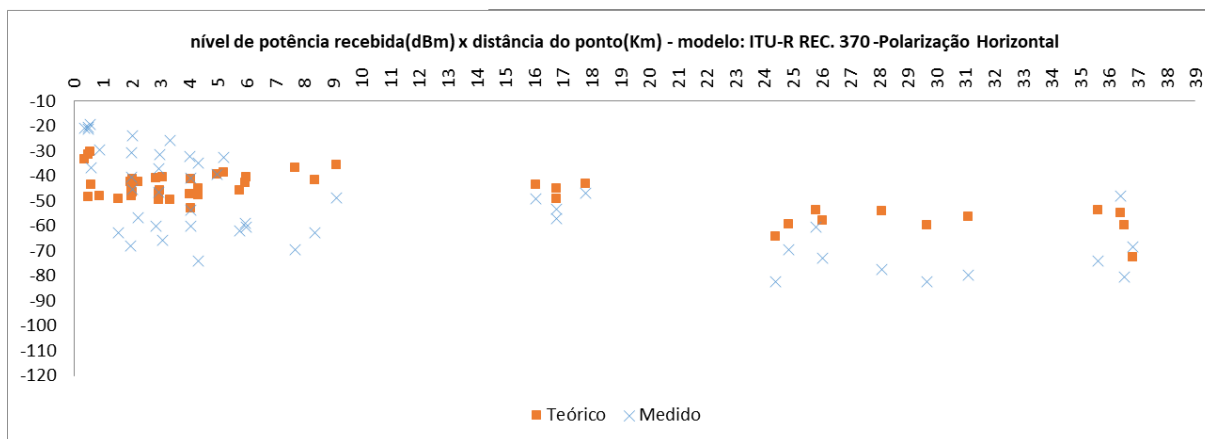


Figura 32 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: ITU-R REC. 370 - polarização horizontal - pontos fixos
 Fonte: Autoria Própria.

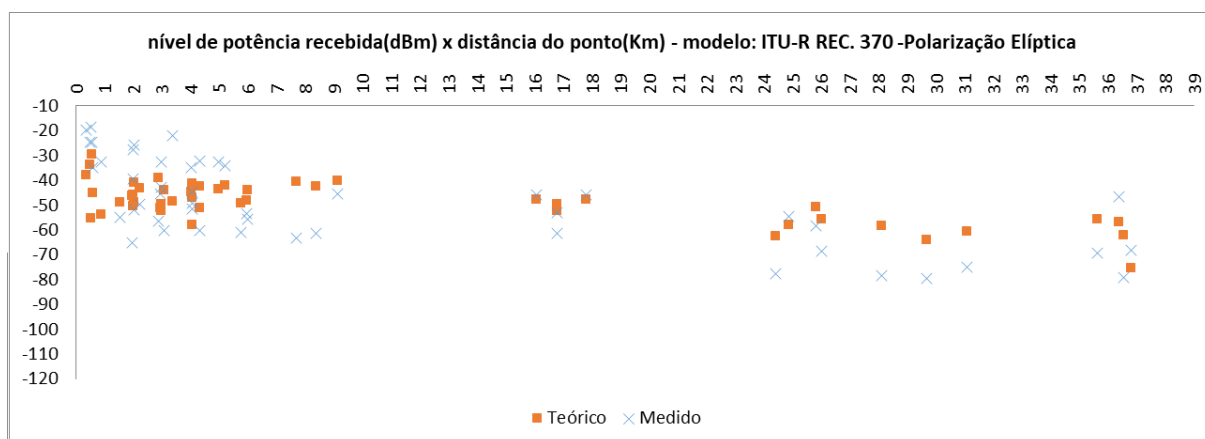


Figura 33 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: ITU-R REC. 370 - polarização elíptica - pontos fixos
 Fonte: Autoria Própria.

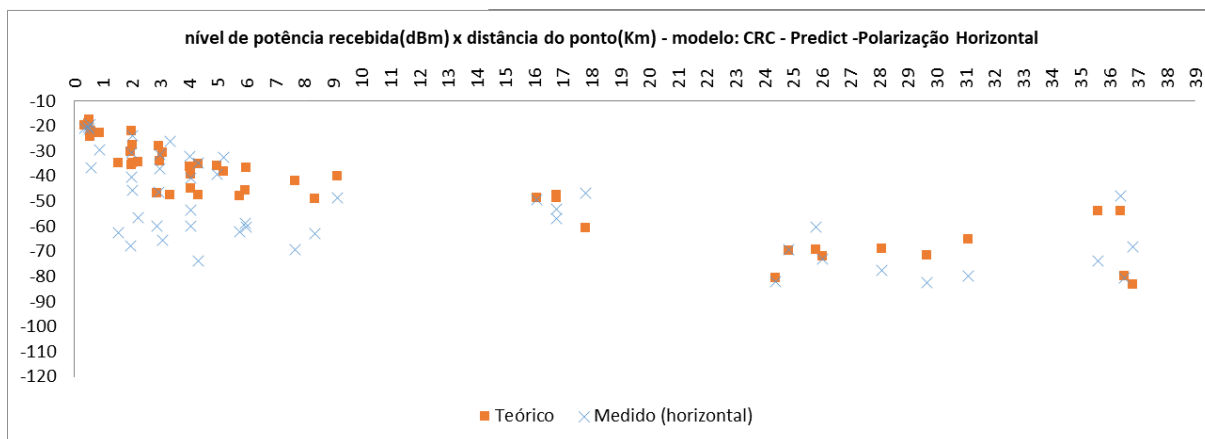


Figura 34 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: CRC Predict - polarização horizontal - pontos fixos
 Fonte: Autoria Própria.

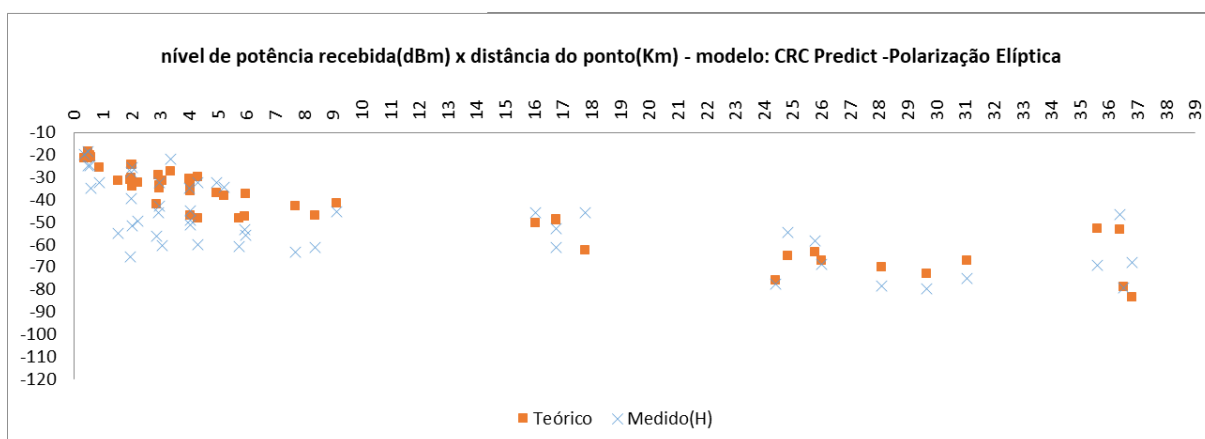


Figura 35 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: CRC Predict - polarização elíptica - pontos fixos
 Fonte: Autoria Própria.

4.2.2 Pontos em movimento - Região Central de Maringá

As medidas de campo foram realizadas nas ruas no Centro de Maringá, próximo aos prédios, onde há maior incidência de multipercurso. Foram medidos aproximadamente 1270 pontos na transmissão do sinal digital com a antena de transmissão na polarização horizontal e também na antena de transmissão na polarização elíptica.

Semelhante a análise dos pontos fixos foram aplicadas as equações 4.1.2 e 4.1.3 em cada modelo de propagação, foi gerado uma série de resultados que estão apresentados nas figuras 36, 37, 38 e 39.

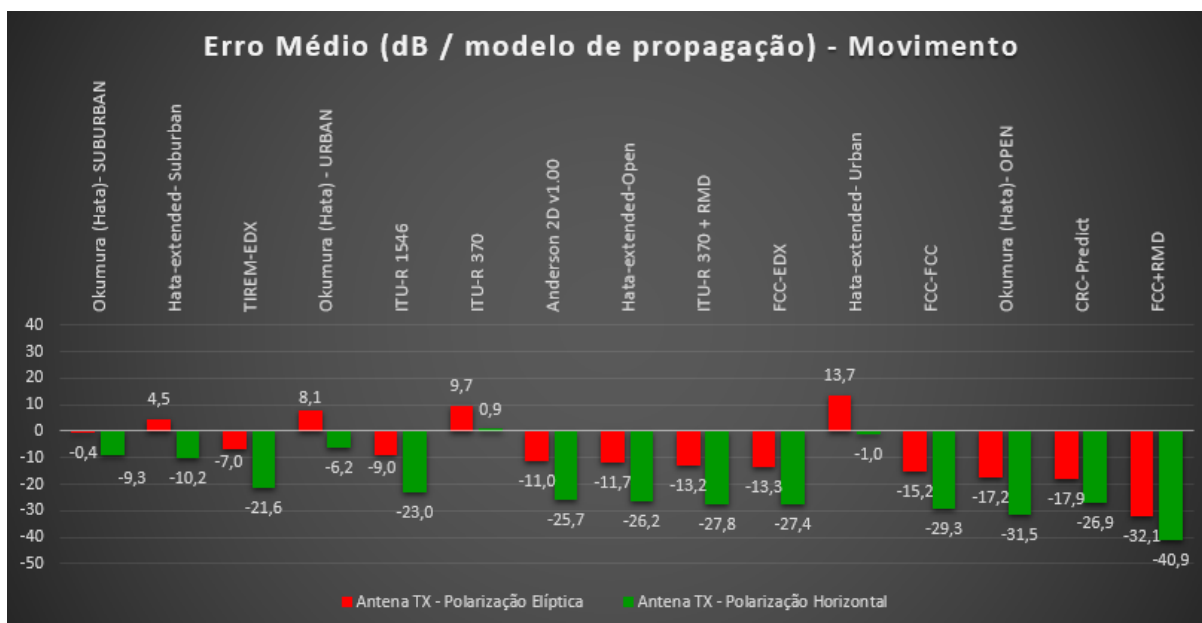


Figura 36 – Erro médio em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: centro de Maringá

Fonte: Autoria Própria.

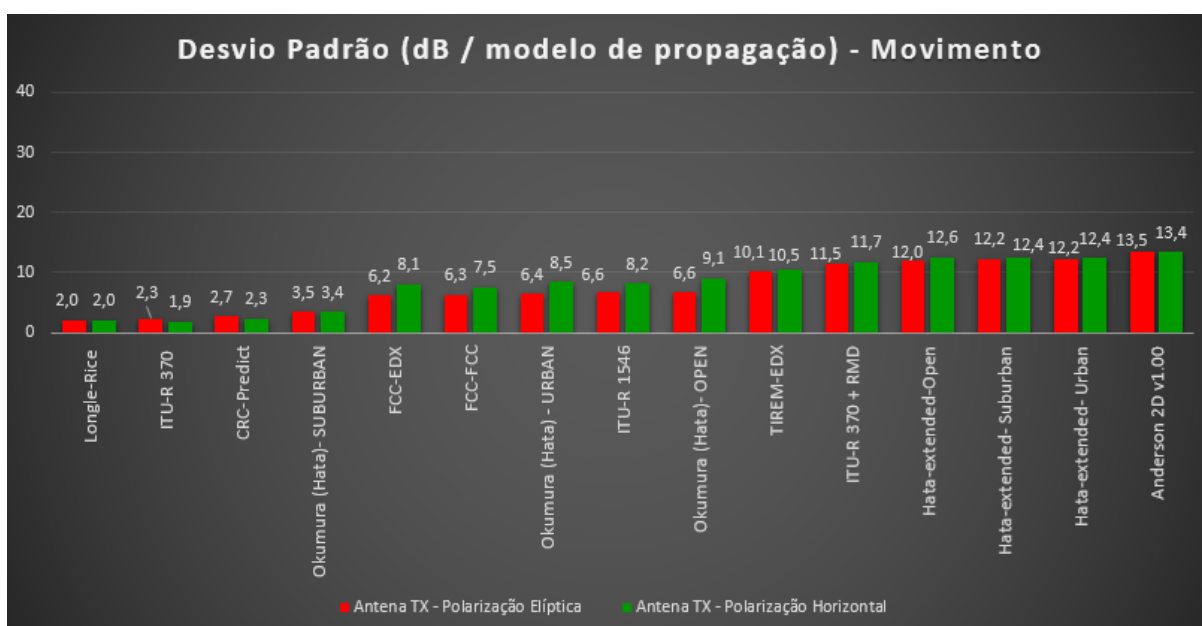


Figura 37 – Desvio padrão em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: centro de Maringá

Fonte: Autoria Própria.

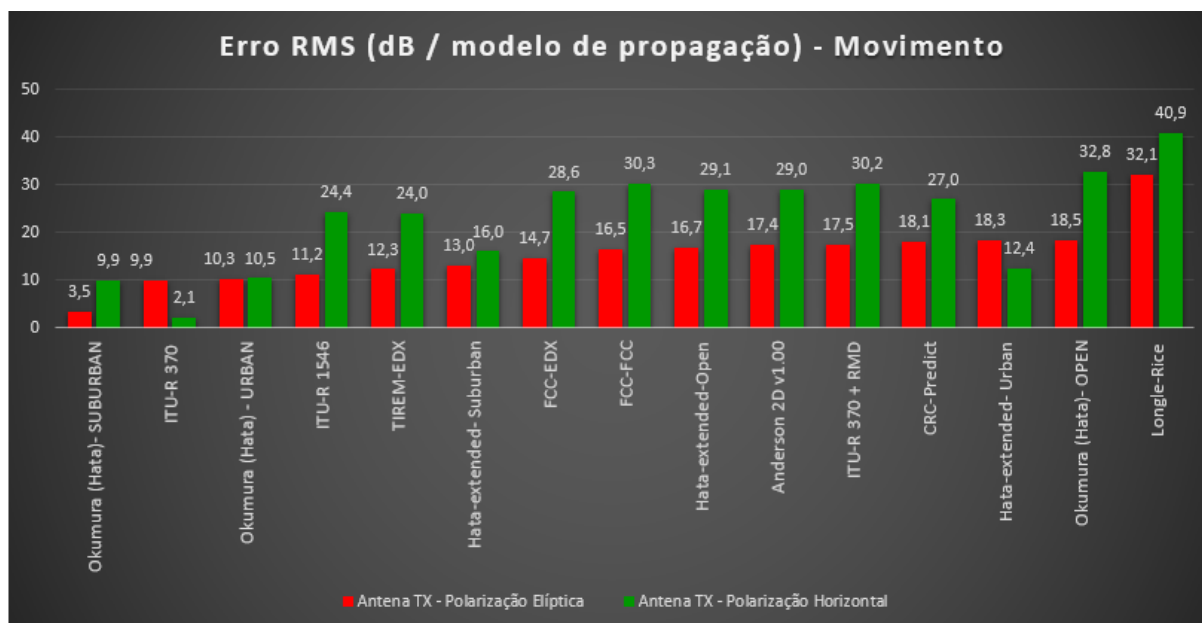


Figura 38 – Erro RMS em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: centro de Maringá

Fonte: Autoria Própria.

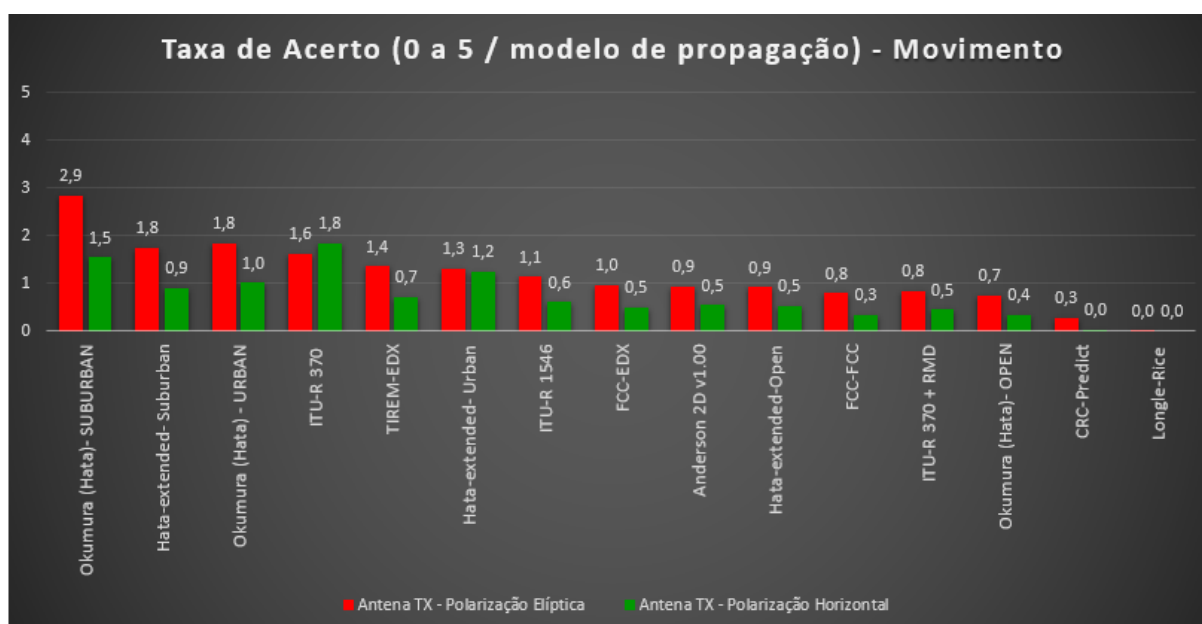


Figura 39 – Taxa de acerto média (0 a 5) para cada modelo de propagação - pontos movimento: centro de Maringá

Fonte: Autoria Própria.

Observa-se que nos pontos medidos e calculados com a antena de transmissão na polarização elíptica, figura 36, os modelos que obtiveram o melhor resultado foram Okumura(Hata) - Suburban (-0,4 dB) e Hata-Extend-Suburban (4,5 dB). Já pontos medidos e calculados com a antena de transmissão na polarização horizontal os modelos que obtiveram o melhor resultado

foram o modelo ITU-R 370 (0,9 dB) e Hata-Extend- Urban (-1,0 dB). Considerando os resultados do desvio padrão tanto para a polarização horizontal quanto para a polarização elíptica os melhores resultados foram os modelos Longley-Rice e ITU-R 370. Já os resultados para o erro RMS na polarização horizontal e na polarização elíptica foram Okumura(Hata) - Suburban e ITU-R 370.

Em relação a taxa de acerto, o modelo Okumura(Hata) - Suburban apresentou a melhor taxa de acerto média, principalmente para a polarização elíptica (nota média 2,9). Foi constatado que aproximadamente 42 % dos pontos tiveram uma taxa de acerto com nota 5 ou 4, ou seja, tiveram um erro entre 0 e 4 dB. Considerando um universo de mais de 1200 pontos analisados, é um bom resultado medido versus calculado.

Considerando os valores apresentados, conclui-se que para a região central de Maringá o melhor modelo de propagação a ser utilizado é o modelo **Okumura(Hata) - Suburban**. Embora uma região bastante edificada e com vários prédios próximos, os fatores de correção indicados no modelo Okumura (Hata) para um modelo *Suburban* foram mais efetivos que os modelos *Urban*, ou seja, para o uso do modelo *Urban* do Hata, precisa ter uma densidade de obstáculos bem maior. Os modelos de propagação que levam em consideração as reflexões, como é o caso dos modelos Hata-extended/Epstein-Peterson Diffraction: *OPEN*, *SUBURBAN* e *URBAN*, tiveram um resultado inferior do **Okumura(Hata) - Suburban**. Inserindo os valores de base de edificações, estes modelos seriam mais eficientes e talvez melhores que o modelo do Okumura (Hata).

Para o modelo de propagação com os melhores resultados dos cálculos dos erros e taxas de acerto, foi plotado o nível de potência recebida em (dBm) versus a distância do ponto em (Km). Com os níveis medidos e calculados foi feita a análise da antena de transmissão na polarização horizontal, figura 40, e análise da antena de transmissão na polarização elíptica, figura 41. Nesta região de análise, a distância dos pontos medidos e o site de transmissão variaram de 800 m a 2,2 km.

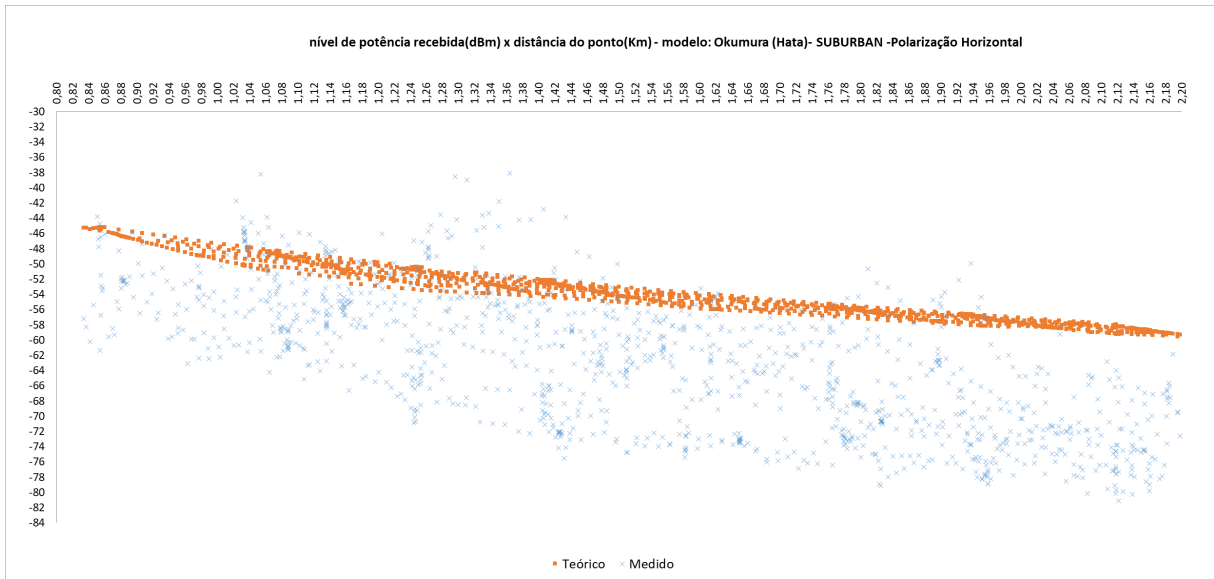


Figura 40 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Suburban - polarização horizontal - pontos em movimento: centro de Maringá

Fonte: Autoria Própria.

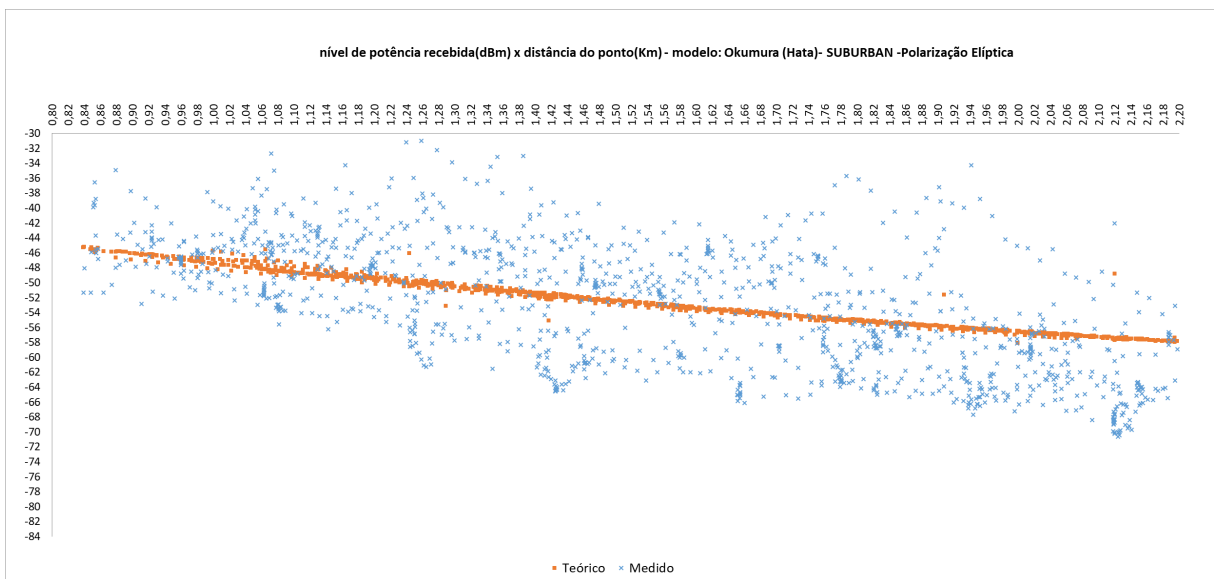


Figura 41 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Suburban - polarização elíptica - pontos em movimento: centro de Maringá

Fonte: Autoria Própria.

Observa-se que a curva de tendência teórica da antena polarização elíptica foi mais assertiva em relação a curva de tendência teórica da antena na polarização horizontal. Na figura 40 e também na figura 41 em vários pontos os valores medidos tiveram um nível de potência recebido inferior ou superior ao teórico, tendo um descolamento entre os valores. Embora o

modelo de propagação **Okumura(Hata) - Suburban** teve um melhor resultado, considerando os valores de erro médio, desvio padrão, erro RMS e taxas de acerto, é um modelo que não leva em consideração as reflexões dos obstáculos. Como a região central de Maringá é uma região densa de prédios, a necessidade de considerar reflexões nas edificações para adicionar ou subtrair contribuições ao campo se mostrou relevante conforme gráficos apresentados. Não foi possível fazer a inserção desta base de dados, visto a indisponibilidade destas informações de forma pública. A aplicação da base de dados com edificações nos modelos de propagação, principalmente nesta região, poderia ser mais assertivo no resultado dos modelos.

4.2.3 Pontos em movimento - Avenida Colombo em Maringá

Nesta região foram medidos aproximadamente 850 pontos em movimento, na transmissão do sinal digital com a antena de transmissão na polarização horizontal e na antena de transmissão na polarização elíptica.

Fazendo as análises similares as outras regiões, chegamos aos seguintes resultados apresentados nas figuras a seguir 42, 43, 44 e 45:

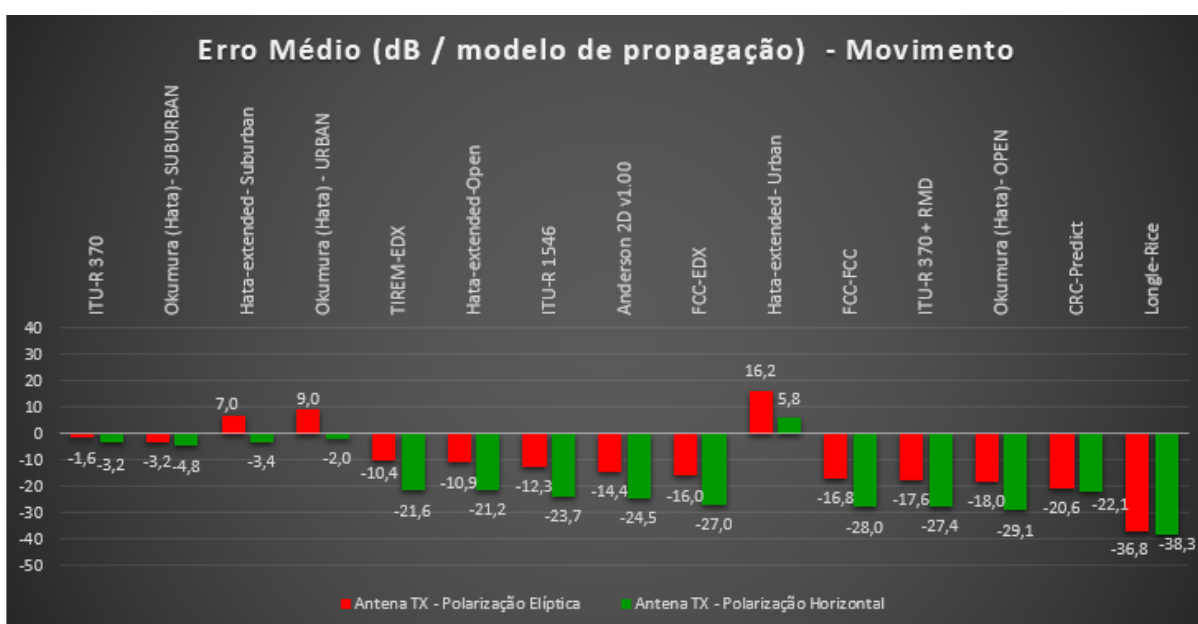


Figura 42 – Erro Médio em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: avenida Colombo em Maringá

Fonte: Autoria Própria.

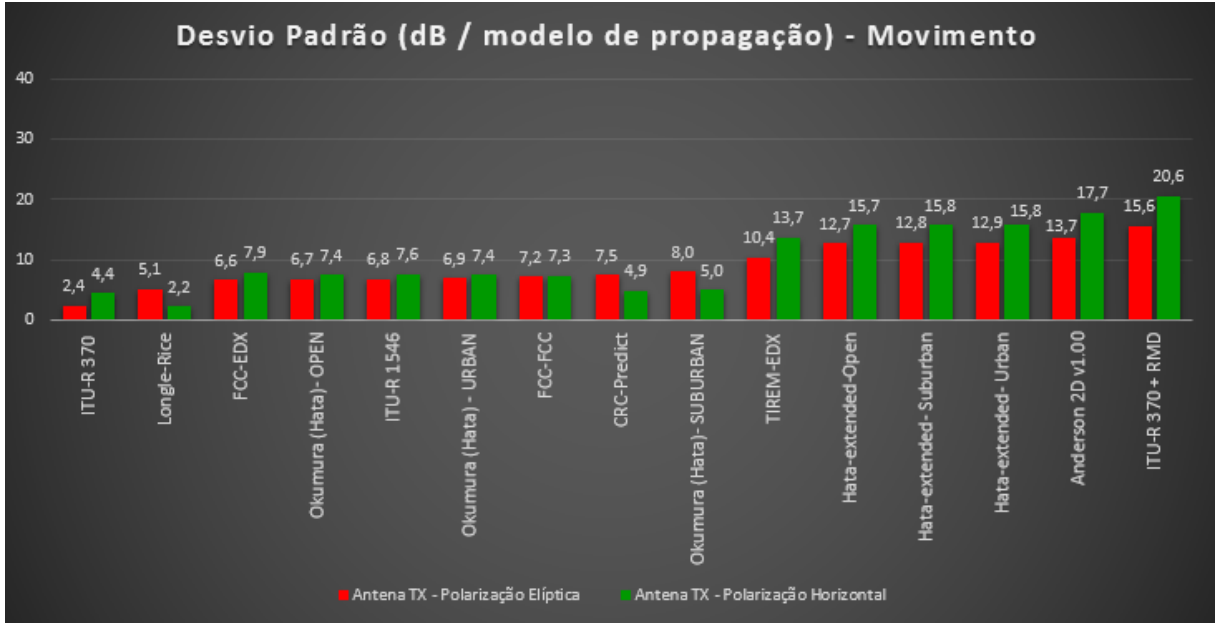


Figura 43 – Desvio padrão em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: avenida Colombo em Maringá

Fonte: Autoria Própria.

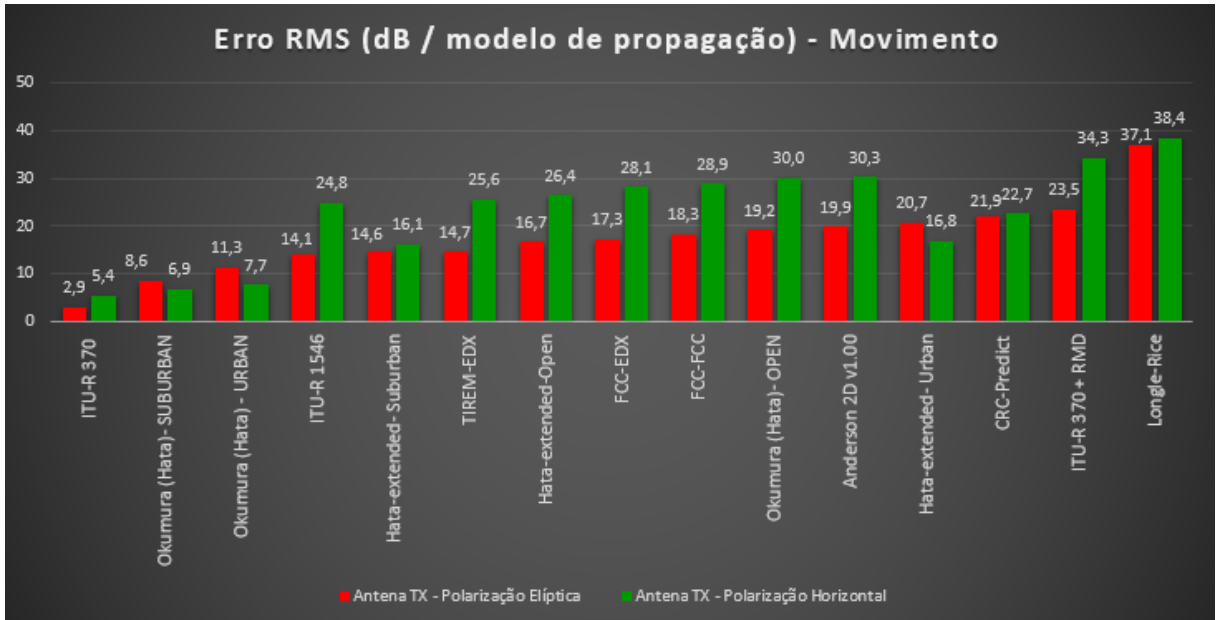


Figura 44 – Erro RMS em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: avenida Colombo em Maringá

Fonte: Autoria Própria.

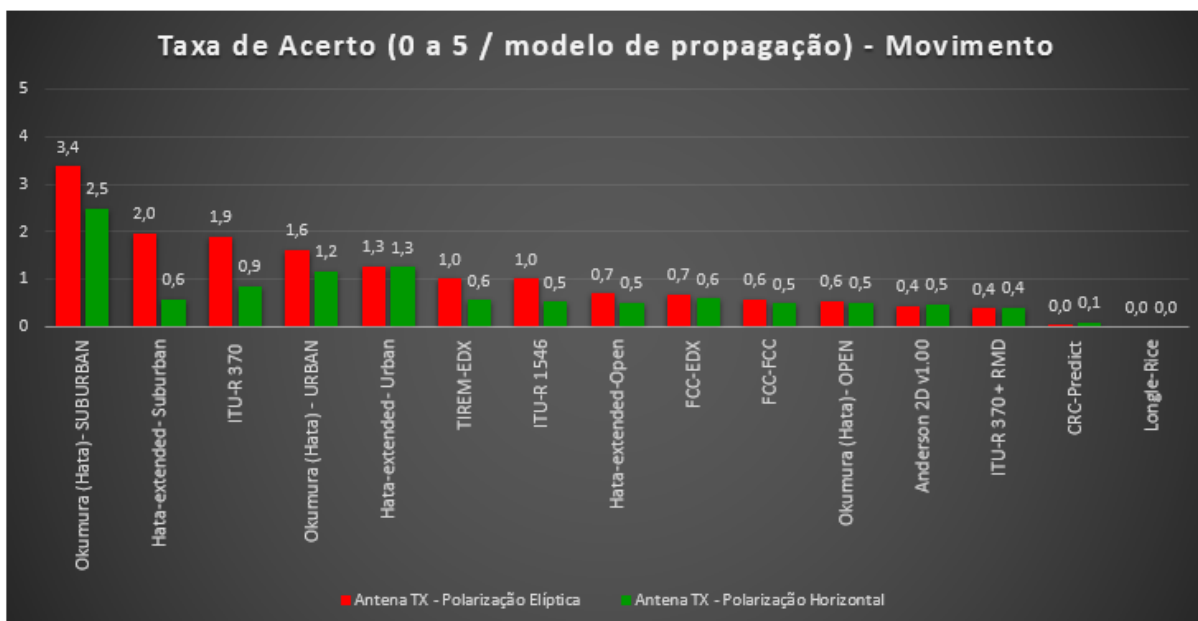


Figura 45 – Taxa de acerto média (0 a 5) para cada modelo de propagação - pontos movimento: avenida Colombo Maringá

Fonte: Autoria Própria.

Os modelos que apresentaram os melhores resultados foram:

- Erro Médio para a antena de transmissão na polarização horizontal: Hata-extended/ Epstein-Peterson Diffraction *SUBURBAN* (3,4 dB), Okumura (Hata) *URBAN* (-2 dB) e ITU-R 370 (-3,2 dB).
- Erro Médio para a antena de transmissão na polarização elíptica, ITU-R 370 (1,6 dB) e Okumura (Hata) *SURBAN* (-3,2 dB).
- Desvio padrão para a antena de transmissão tanto na polarização horizontal quanto da vertical foram: ITUR-370 (4,4 dB polarização horizontal e 2,4 dB para polarização elíptica) e Longley-Rice (2,2 dB polarização horizontal e 5,1 dB para polarização elíptica).
- Erro RMS para a antena de transmissão tanto na polarização horizontal quanto na vertical foram: ITUR-370 (5,4 dB polarização horizontal e 2,9 dB para polarização elíptica), Okumura (Hata) *SUBURBAN* (6,9 dB polarização horizontal e 8,6 dB para polarização elíptica).
- Taxa de Acerto para a antena de transmissão tanto na polarização horizontal quanto da vertical foram: Okumura (Hata) *SUBURBAN* (2,5 polarização horizontal e 3,4 para polarização elíptica). Considerando este índice, mais de 50 % dos pontos (polarização elíptica) e 35 % dos pontos (polarização horizontal) tiveram uma taxa de acerto com nota 5 ou 4, ou seja, tiveram um erro entre 0 e 4 dB.

Considerando todos os valores apresentados, conclui-se que para a região da Avenida Colombo de Maringá o melhor modelo de propagação a ser utilizado é o modelo **Okumura(Hata) - Suburban**, assim como foi a região Central de Maringá.

Para o modelo de propagação com os melhores resultados dos cálculos dos erros e taxas de acerto, foi plotado o nível de potência recebida em (dBm) versus a distância do ponto em (Km). Com os níveis medidos e calculados foi apresentado a análise da antena de transmissão na polarização horizontal, figura 46, e a análise da antena de transmissão na polarização elíptica, figura 47. Nesta região de análise, a distância dos pontos medidos e o site de transmissão variaram de 1,05 km a 4,3 km.

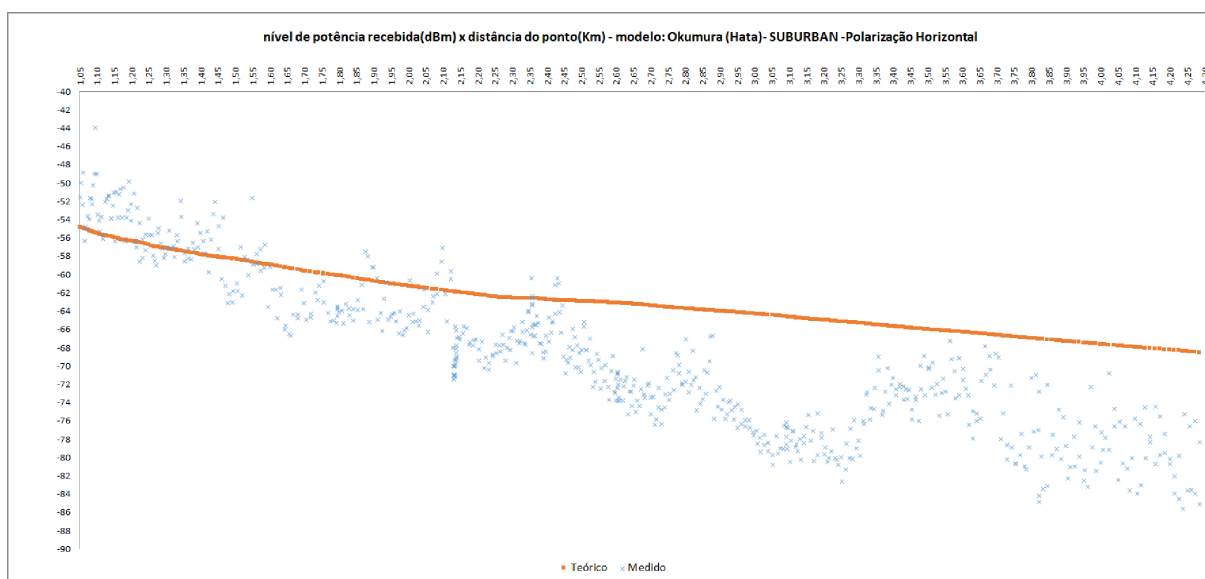


Figura 46 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Suburban - polarização horizontal - pontos em movimento: avenida Colombo Maringá

Fonte: Autoria Própria.

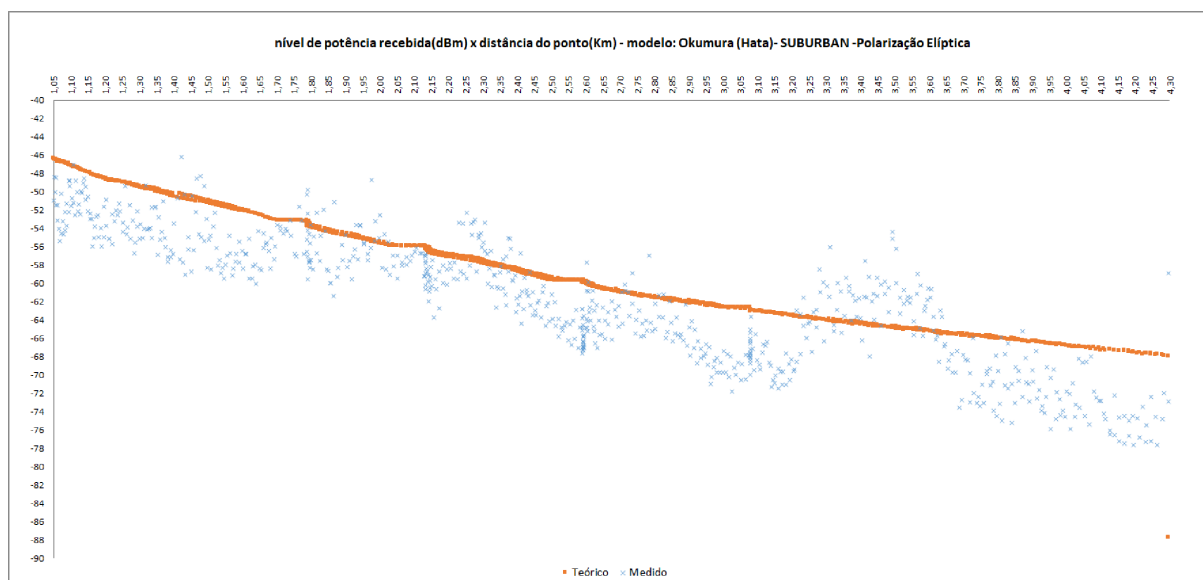


Figura 47 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Suburban - polarização elíptica - pontos em movimento: avenida Colombo Maringá

Fonte: Autoria Própria.

4.2.4 Pontos em movimento - Rodovia Maringá - Marialva

Nesta região foram medidos aproximadamente 225 pontos em movimento, na transmissão do sinal digital com a antena de transmissão na polarização horizontal e na antena de transmissão na polarização elíptica.

Fazendo as análises similares as outras regiões, chega-se aos seguintes resultados apresentados nas figuras a seguir 48, 49, 50 e 51:

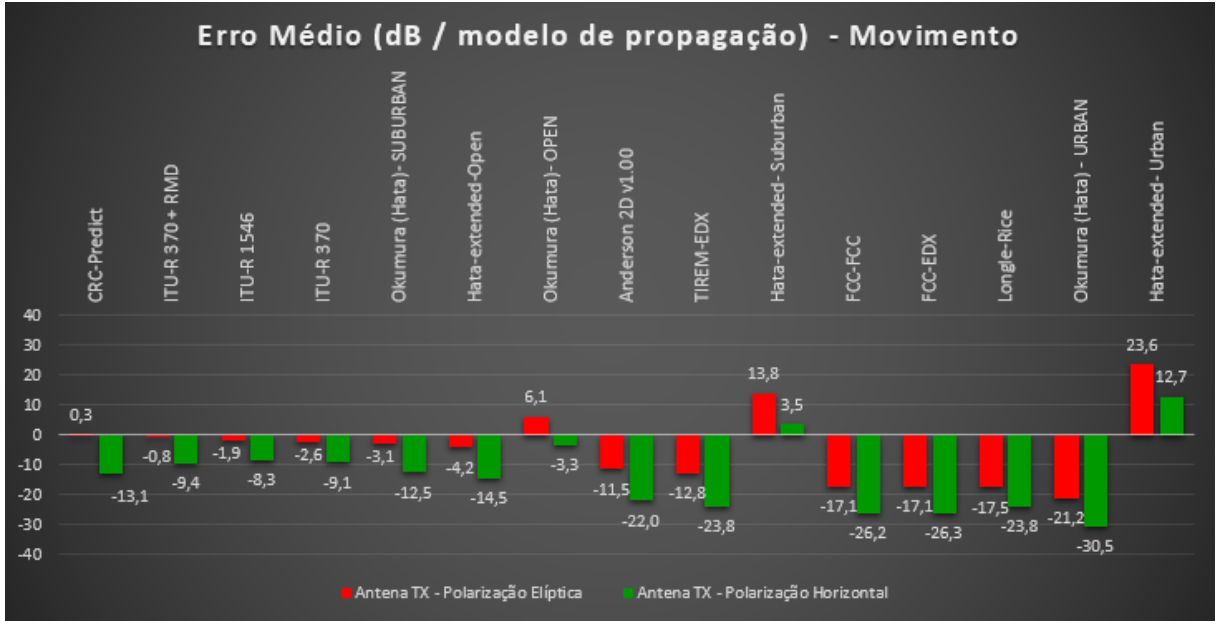


Figura 48 – Erro médio em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Marialva

Fonte: Autoria Própria.

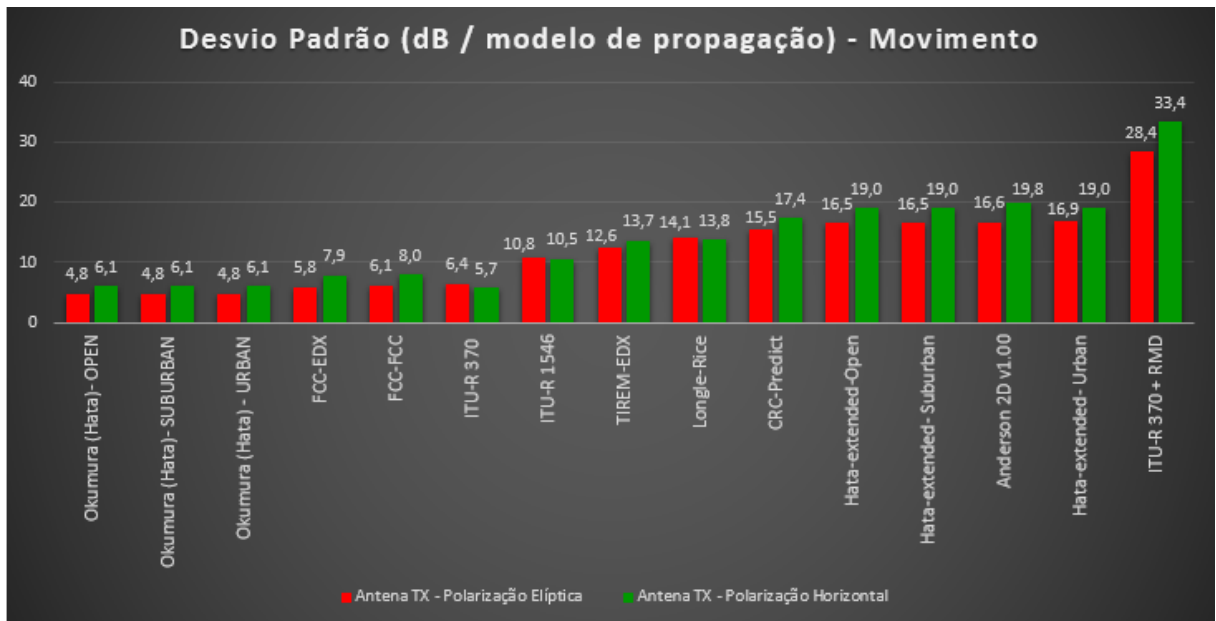


Figura 49 – Desvio padrão em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Marialva

Fonte: Autoria Própria.

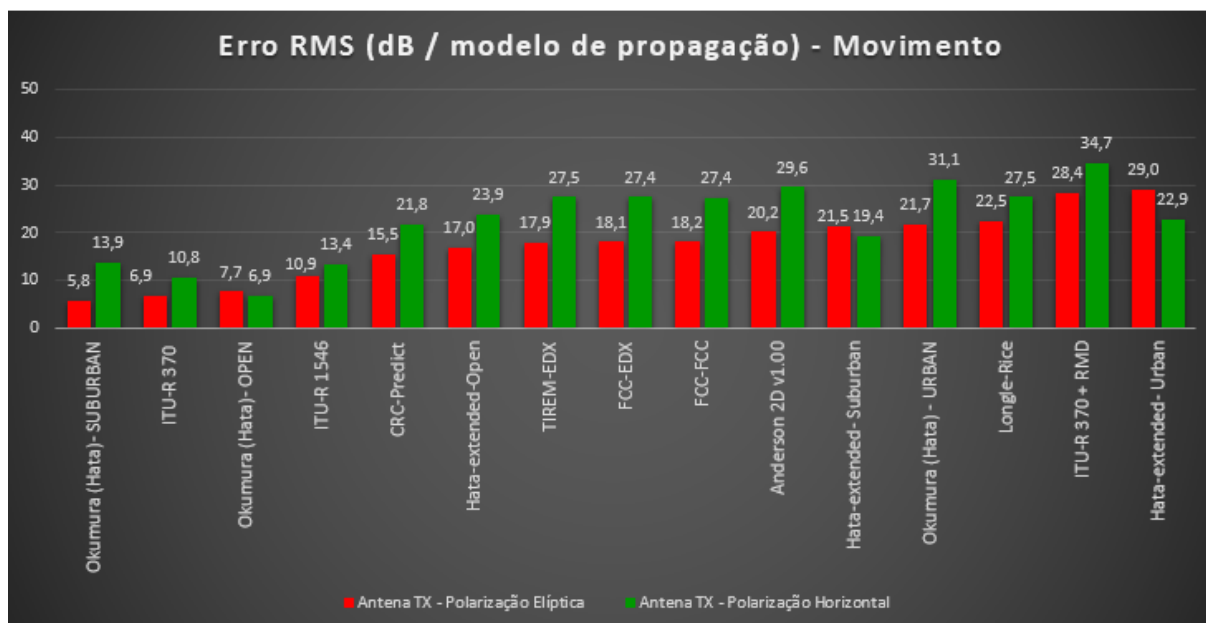


Figura 50 – Erro RMS em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Marialva

Fonte: Autoria Própria.

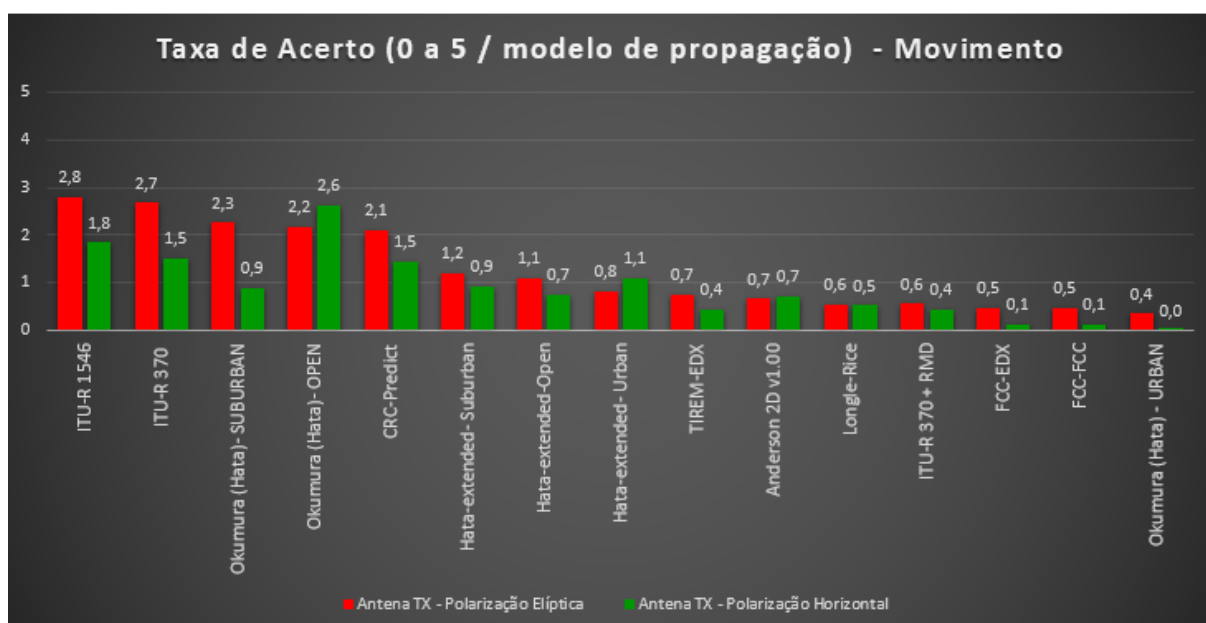


Figura 51 – Taxa de acerto média (0 a 5) para cada modelo de propagação -pontos movimento: rodovia Maringá a Marialva

Fonte: Autoria Própria.

Os modelos que apresentaram os melhores resultados foram:

- Erro Médio para a antena de transmissão na polarização horizontal: Hata-extended/ Epstein-Peterson Diffraction *SUBURBAN* (3,5dB) e Okumura (Hata) *OPEN* (-3,3dB).

- Erro Médio para a antena de transmissão na polarização elíptica, CRC-Predict (0,3 dB), ITUR - 370 + RMD (-0,8 dB), ITUR - 1546 (-1,9 dB) e ITU-R 370 (-2,6 dB).
- Desvio padrão para a antena de transmissão tanto na polarização horizontal quanto na vertical foram: Okumura (Hata) *OPEN*, *SUBURBAN* e *URBAN* (4,8 dB polarização horizontal e (6,1 dB) para polarização elíptica).
- Erro RMS para a antena de transmissão na polarização horizontal foram: Okumura (Hata) *OPEN* (6,9 dB) e ITUR-370 (10,8 dB). Já para a antena na polarização elíptica foram: Okumura (Hata) *SUBURBAN* (5,8 dB) e ITUR-370 (6,9 dB).
- Taxa de Acerto para a antena de transmissão na polarização horizontal foi o modelo Okumura (Hata) *OPEN* com uma nota média de 2,6 e para a antena de polarização elíptica foi o modelo ITUR - 1546, com a nota em 2,8. Considerando estes valores, 43 % dos pontos (polarização horizontal) e 49 % pontos (polarização elíptica) tiveram uma taxa de acerto com nota 5 ou 4, ou seja, tiveram um erro entre 0 e 4 dB.

Note que nesta região, diferentemente das demais já estudadas, todos os valores e resultados para a antena de transmissão na polarização elíptica foram melhores que a antena só com a polarização horizontal. Para esta região, o resultado dos modelos apresentaram comportamentos distintos; considerando os valores representados, pode-se concluir que para a região da Rodovia Maringá - Marialva o melhor modelo de propagação a ser utilizado para a antena de transmissão na polarização horizontal é o modelo **Okumura(Hata) - Open** e a antena para a polarização elíptica o modelo **ITUR-1456**.

Para o modelo de propagação com os melhores resultados dos cálculos dos erros e taxas de acerto, foi plotado o nível de potência recebida em (dBm) versus a distância do ponto em (Km). Com os níveis medidos e calculados quando foi apresentado a análise da antena de transmissão na polarização horizontal, figura 52, e a análise da antena de transmissão na polarização elíptica, figura 53. Nesta região de análise, a distância dos pontos medidos e o site de transmissão variaram de 4,7 km a 15,9 km. Nota-se que na figura 53 os pontos em Maringá, o modelo ITUR 1546 não foi tão efetivo, porém nos pontos mais distantes, a partir de 9 km do site de transmissão, o modelo e os pontos medidos são mais próximos.

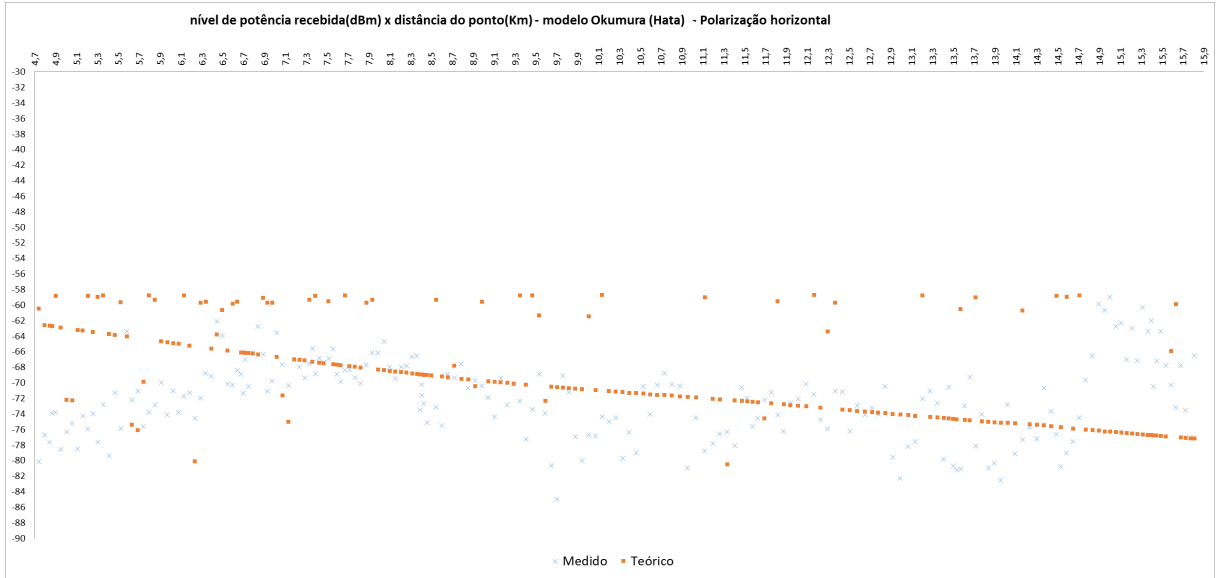


Figura 52 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Open - Polarização Horizontal - pontos em movimento: rodovia Maringá a Marialva
 Fonte: Autoria Própria.

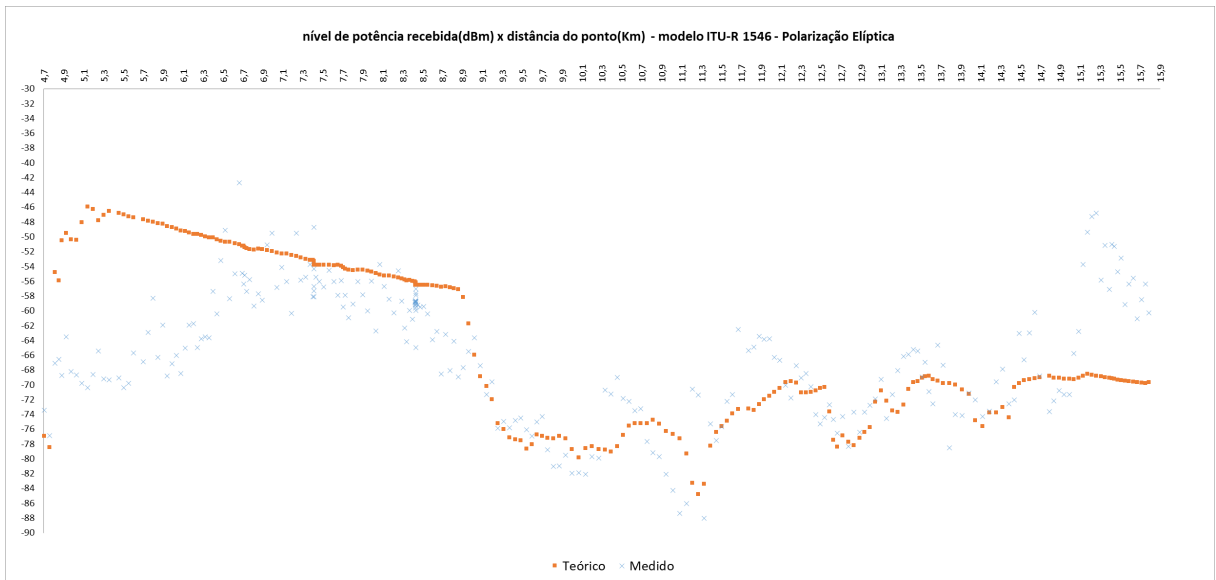


Figura 53 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: ITUR 1546 - Polarização Elíptica - pontos em movimento: rodovia Maringá a Marialva
 Fonte: Autoria Própria.

4.2.5 Pontos em movimento - Rodovia Maringá - Mandaguaçu

Nesta região foram medidos aproximadamente 240 pontos em movimento, na transmissão do sinal digital com a antena de transmissão na polarização horizontal e a antena de transmissão na polarização elíptica.

Fazendo as análises similares as outras regiões, chegamos aos seguintes resultados apresentados nas figuras 54, 55, 56 e 57:

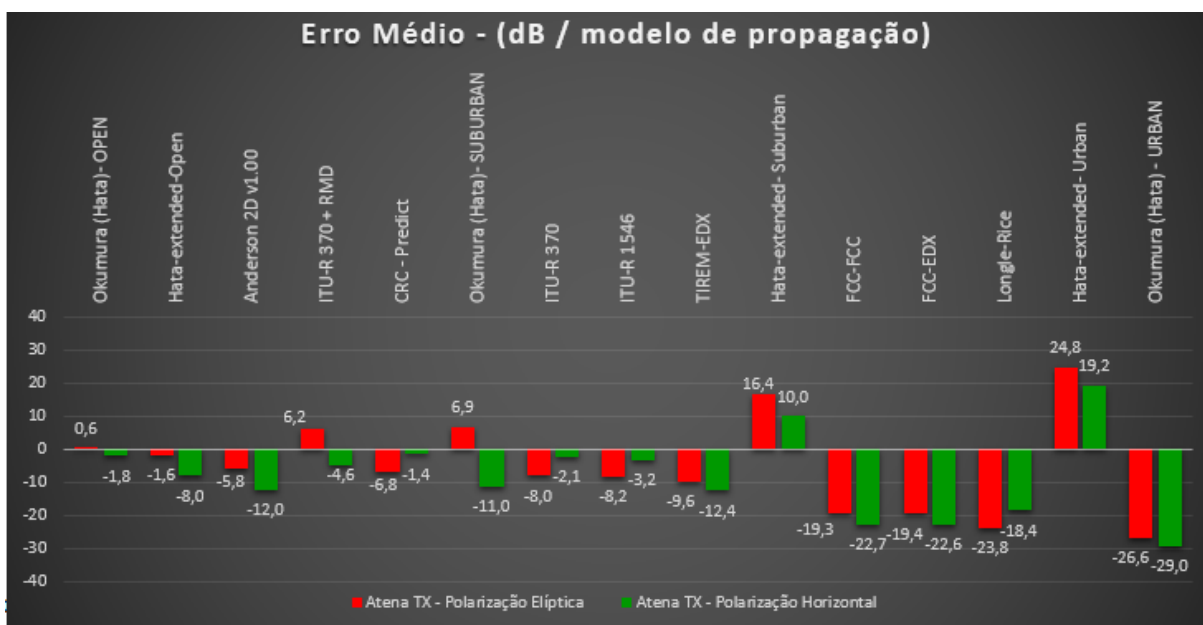


Figura 54 – Erro médio em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu

Fonte: Autoria Própria.

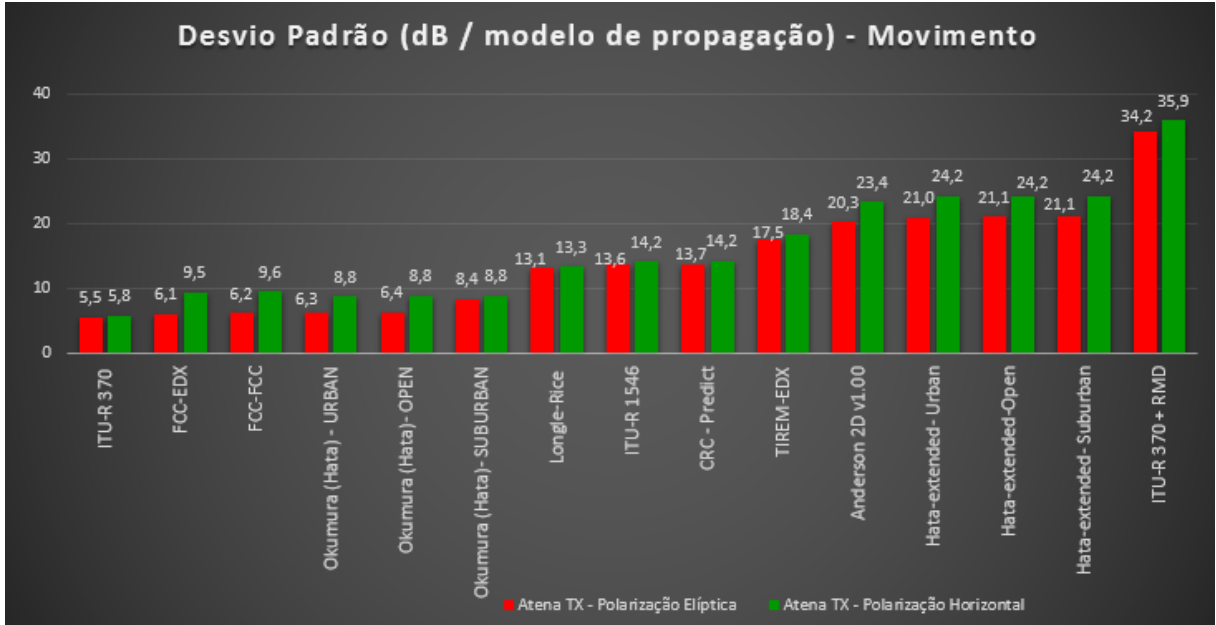


Figura 55 – Desvio padrão em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu

Fonte: Autoria Própria.

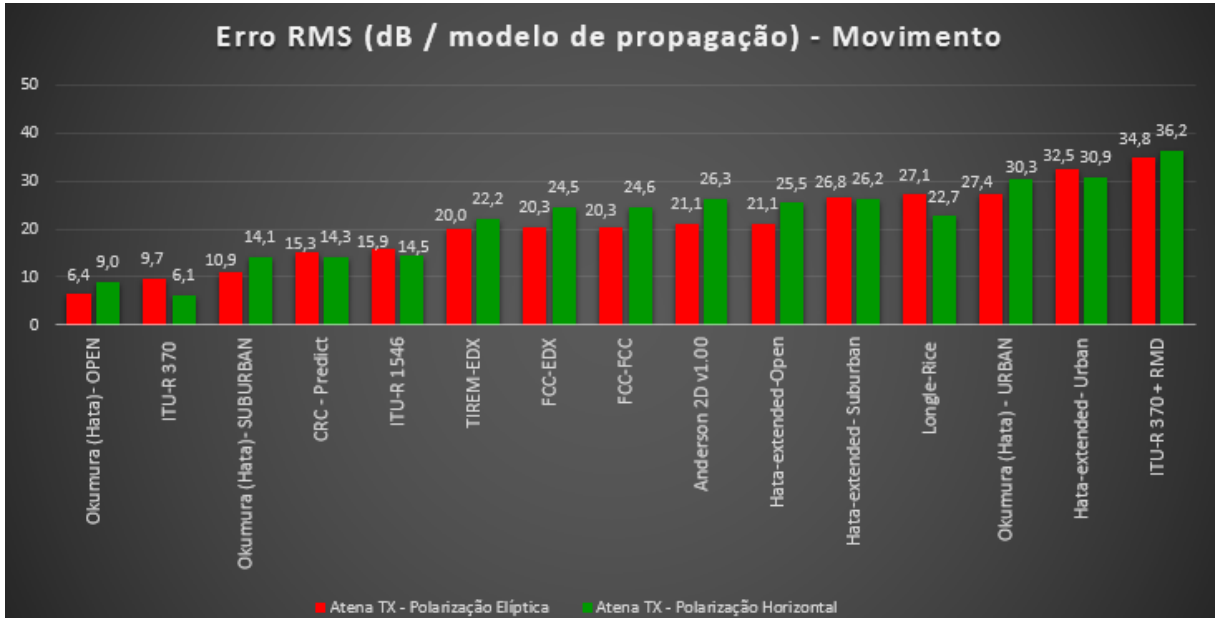


Figura 56 – Erro RMS em dB para cada modelo de propagação - pontos movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu

Fonte: Autoria Própria.

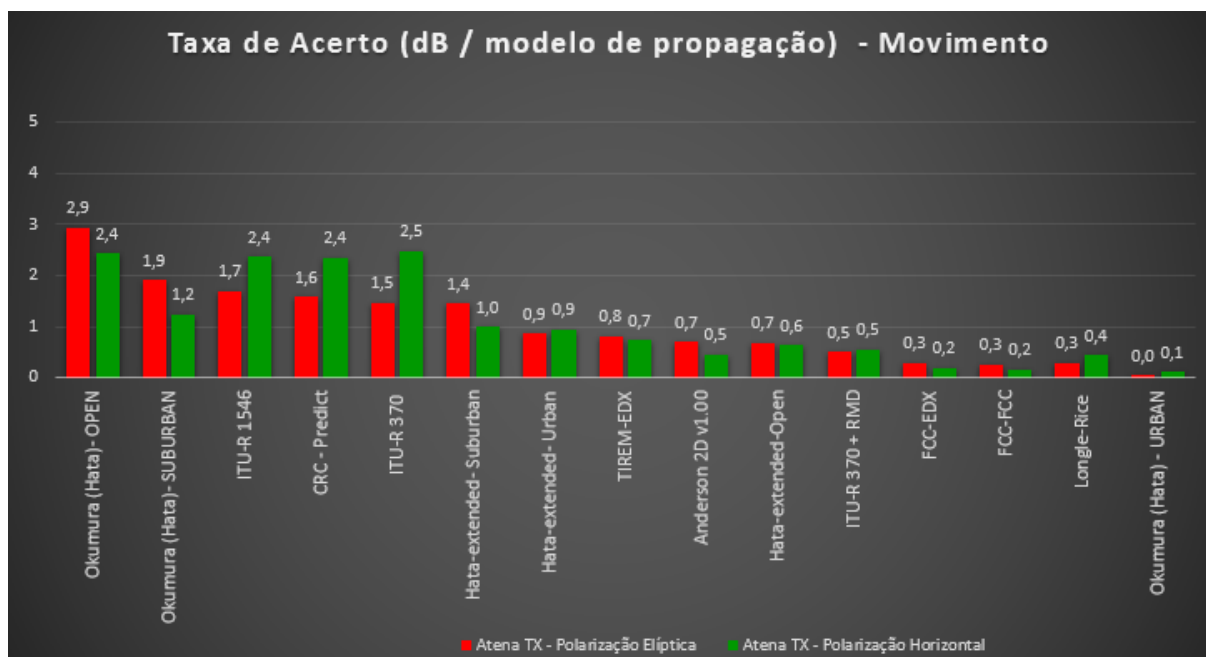


Figura 57 – Taxa de acerto média (0 a 5) para cada modelo de propagação -pontos movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu

Fonte: Autoria Própria.

Os modelos que apresentaram os melhores resultados foram:

- Erro Médio para a antena de transmissão na polarização horizontal: Okumura (Hata) *OPEN* (-1,8 dB), CRC- Predict (-1,4 dB) e ITUR-370 (-2,1 dB).
- Erro Médio para a antena de transmissão na polarização elíptica: Okumura (Hata) *OPEN* (0,6 dB) e Hata-extended/ Epstein-Peterson Diffraction *OPEN* (-1,6 dB).
- Desvio padrão para a antena de transmissão tanto na polarização horizontal quanto na vertical foram: ITUR-370 (5,8 dB para a polarização horizontal e 5,5 dB para a polarização elíptica), FCC EDX (9,5 dB para a polarização horizontal e 6,1 dB para a polarização elíptica), FCC FCC (9,6 dB para a polarização horizontal e 6,2 dB para a polarização elíptica) Okumura (Hata) *OPEN* (8,8 dB para a polarização horizontal e 6,3 dB para a polarização elíptica).
- Erro RMS para a antena de transmissão tanto na polarização horizontal quanto na vertical foram: Okumura (Hata) *OPEN* (9,0 dB para a polarização horizontal e 6,4 dB para a polarização elíptica), e ITUR-370 (6,1 dB para a polarização horizontal e 9,7 dB para a polarização elíptica).
- Taxa de Acerto para a antena de transmissão na polarização horizontal foi o modelo Okumura (Hata) *OPEN* com uma nota de 2,4 e ITUR -370 com uma nota de 2,5. Já para a antena de polarização elíptica foi o Okumura (Hata) *OPEN* com uma nota de 2,9. Considerando este índice, 47 % dos pontos desta região apresentaram na polarização elíptica uma taxa de acerto com nota 5 ou 4, ou seja, tiveram um erro entre 0 e 4 dB.

Considerando os valores representados, pode-se concluir que para a região da Rodovia Maringá a Mandaguaçu o melhor modelo de propagação a ser utilizado para a antena de transmissão na polarização horizontal e para a antena de transmissão da polarização elíptica é o modelo **Okumura(Hata) - Open**.

Para o modelo de propagação com os melhores resultados dos cálculos dos erros e taxas de acerto, foi plotado o nível de potência recebida em (dBm) versus a distância do ponto em (Km). Com os níveis medidos e calculados foi feita a análise da antena de transmissão na polarização horizontal, figura 58, e a análise da antena de transmissão na polarização elíptica, figura 59. Nesta região de análise, a distância dos pontos medidos e o site de transmissão variaram de 3 km a 16,2 km.

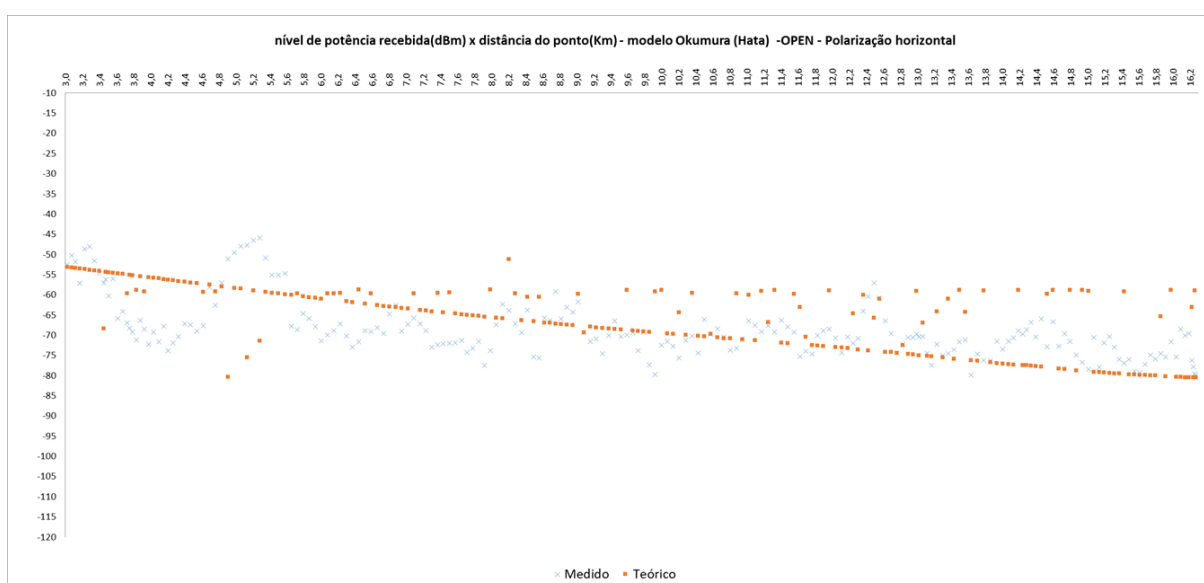


Figura 58 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Open - polarização horizontal - pontos em movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu

Fonte: Autoria Própria.

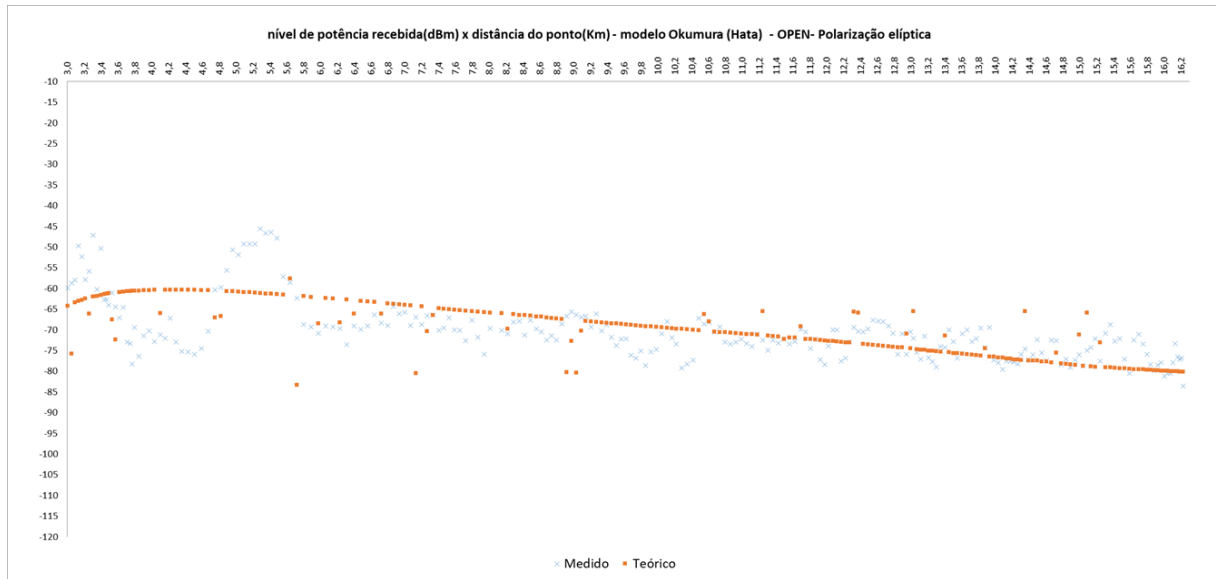


Figura 59 – Nível de potência recebida(dBm) x distância do ponto(Km) - modelo: Okumura(Hata) Open - polarização elíptica - pontos em movimento: rodovia Maringá a Mandaguaçu

Fonte: Autoria Própria.

5 CONCLUSÃO

Estudos de modelos de propagação são muito importantes e relevantes para a decisão do projetista de radiodifusão sobre qual deles utilizar. A estimativa de atenuação por propagação é complexa devido a grande quantidade de variáveis envolvidas, como as condições do terreno ao longo do caminho da propagação, condições ambientais, obstáculos introduzidos pelo homem, como casas, prédios, até mesmo grandes concentrações de pessoas próximas ao receptor podem interferir no resultado da propagação.

Além disso, este trabalho foi motivado pela oportunidade de aprofundar os estudos acerca dos fenômenos da propagação dos sinais radioelétricos, de maneira que essa discussão possa ser útil no meio acadêmico e profissional, no âmbito do dimensionamento de redes de comunicações comerciais. A discussão acerca do fator de atenuação também pode auxiliar no emprego do modelo de predição mais adequado para cada localidade, em especial, aferindo com maior eficiência e eficácia os cálculos analíticos de predição de cobertura.

Com os resultados apresentados neste trabalho é possível contribuir com o uso de boas práticas para a definição dos projetos de radiodifusão. Um parâmetro importante a ser considerado é que no modelamento computacional para a análise de predição de cobertura leve em consideração os valores do diagrama horizontal, vertical e elevação. É necessário modelar matematicamente cada plano para o valor máximo inserido de seu diagrama, em seguida, combinando os vários ganhos relativos nos azimutes e elevações apropriados para fornecer o ganho relativo para cada direção e distância.

Outro ponto a se destacar, baseando-se na grande quantidade de dados obtido pelas medidas de campo do sinal digital de Maringá em várias regiões diferentes, desde área urbanas (centro de Maringá), com muitos prédios e muitas reflexões, até regiões com muita pouca densidade, áreas abertas, foi possível verificar que para cada uma destas regiões modelos de propagação diferentes tiveram um melhor resultado estatístico. Contudo, o trabalho de definição de modelos de propagação é complexo sendo necessário um estudo aprofundado sobre as diversas condições destas regiões para aplicação do modelo mais adequado.

Para os pontos fixos os melhores resultados, considerando-se os menores valores dos erros médio, desvio padrão e taxa RMS além dos melhores valores para a taxas de acerto, foram os modelos **ITU-R370** e **CRC Predict**, tanto para a antena de transmissão utilizando a polarização horizontal quanto a antena de transmissão utilizando a polarização elíptica. Para a região central de Maringá e para a região da Avenida Colombo o melhor modelo de propagação utilizado foi o modelo **Okumura(Hata) - Suburban**. Para a região Rodovia Maringá a Marialva o melhor modelo de propagação utilizado para a antena de transmissão na polarização horizontal foi o modelo **Okumura(Hata) - Open** e a antena para a polarização elíptica o modelo **ITUR-1456**. Para região Rodovia Maringá a Mandaguaçu o melhor modelo de propagação utilizado para a antena de transmissão na polarização horizontal e para a antena de transmissão da pola-

rização elíptica foi o modelo **Okumura(Hata) - Open**. Um resumo com os melhores modelos de cada região está representado conforme tabela 4.

Tabela 4 – Melhor modelo de propagação por região

Região	Pontos	Melhor modelo - PH	Melhor modelo - PE
Fixo	48	ITUR 370	ITUR 370
Fixo	48	CRC Predict	CRD Predict
Mov-Centro	1270	Okumura(Hata)-Suburban	Okumura(Hata)-Suburban
Mov-Av.Colombo	850	Okumura(Hata)-Suburban	Okumura(Hata)-Suburban
Mov-Rod.Marialva	225	Okumura(Hata)-Open	ITUR 1546
Mov-Rod.Mandaguaçu	240	Okumura(Hata)-Open	Okumura (Hata)-Open

Fonte: Autoria Própria.

Os métodos estatísticos são usados hoje em quase todos os campos de investigação científica, já que eles capacitam a responder a um vasto número de questões. A estatística tornou-se uma ferramenta cotidiana para todos os tipos de profissionais que entram em contato com dados quantitativos ou tiram conclusões a partir destes. Neste trabalho foi utilizado alguns destes métodos para gerar conclusões a respeito dos melhores modelos de propagação para cada região, tais como erro médio, desvio padrão, taxa RMS além de taxas de acerto. A função de distribuição cumulativa (CDF) de uma variável aleatória do valor medido, ou apenas a função de distribuição, é a probabilidade de um valor teórico ter um valor menor ou igual ao valor medido. Para os futuros trabalhos sugere-se a aplicação deste método CDF para complementar as estatísticas e confirmação dos melhores modelos de propagação.

Um outro ponto relevante, em ambientes urbanos, como é o caso da região central de Maringá, a necessidade de considerar reflexões nas edificações para adicionar ou subtrair contribuições ao campo se mostrou relevante ao estudo. Para os próximos trabalhos a aplicação de modelos de propagação a base de dados com edificações poderia ser útil e eficaz para a comparação de resultados. Outra proposta seria a alteração dos parâmetros dos modelos de forma a otimização e melhoria dos resultados apresentados. Ainda, a aplicação desta gama de testes em outras regiões com as mesmas características das regiões exploradas neste trabalho para comparação dos resultados e também a aplicabilidade dos modelos nas mesmas condições. Por fim, desenvolver um modelo empírico, com base nos dados medidos em campo e com a composição de modelos de propagação conforme regiões estudadas.

Para cada região onde será implantada a TV Digital, deve haver uma discussão e análise profunda de qual melhor alternativa a respeito da polarização da sua antena de transmissão em função da topografia, tipo de modelo de propagação a ser usado, ocupação do solo, localização do site de transmissão em relação ao núcleo urbano e o que se deseja atingir, tanto para o serviço em alta definição como na recepção portátil. Conforme apêndice 6.2 há vantagens do uso da antena da polarização elíptica na recepção móvel e portátil do sinal digital. Cabe ao projetista de radiodifusão definir quais são os parâmetros necessários para uma otimização de predição de cobertura.

Os resultados deste trabalho poderão ser utilizados por profissionais de radiodifusão que pretendem implantar ou aprimorar suas coberturas digitais na região, assim como pesquisadores de sistemas sem fio, na faixa de UHF, que buscam um modelamento mais preciso para caracterizar um canal de radiofrequência em regiões semelhantes às regiões estudadas.

REFERÊNCIAS

ABERT. Relatório enviado as emissoras de rádio e televisão, **Raio X da Radiodifusão Brasileira**. 2017.

ANATEL. Aprova o regulamento técnico para a prestação do serviço de radiodifusão de sons e imagens e do serviço de retransmissão de televisão. In: ANATEL. **Resolução nº 284, de 7 de dezembro de 2001**. 2001. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2001/270-resolucao-284>>.

_____. Recomendação itu-r p.1546-1 método de previsões ponto-área para serviços terrestres na faixa de frequências de 30 a 3000 mhz. In: ANATEL. **Anexo II - Resolução 398 de 07 de abril de 2005**. Diário Oficial da União 19 abr.2005, 2005. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2005/288-resolucao-398>>.

_____. **Mosaico - Canais de Radiodifusão**. 2018. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/srd.php>>.

BALANIS, C. A. **Antenna Theory Analysis and Design**. [S.l.]: New York: John Wiley & Sons, Inc- 2 ed., 1997.

BEDICKS, G. Apresentação no Congresso, **Sem Transmissão não há recepção**. 2018. Disponível em: <<http://www.set.org.br/events/setexpo/set-expo-2018-programacao#FuturodaCobertura>>.

BEDICKS, G.; YAMADA, F. artigo, **Esquema de Modulação do sistema Brasileiro de TV Digital**. 2008. Disponível em: <<http://www.set.org.br/revista-da-set/forum-do-sistema-brasileiro-de-tv-digital-terrestre>>.

BRASIL. Institui o sistema brasileiro de televisão digital – sbtvd. In: **Decreto nº 4.901, de 26 de novembro de 2003**. Diário Oficial da União, 2003. Seção 1, p. 7. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/decretos/349-decreto-4901>>.

_____. Dispõe sobre a implantação do sbtvd-t, estabelece diretrizes para a transição do sistema de transmissão analógica para o sistema de transmissão digital do serviço de radiodifusão de sons e imagens e do serviço de retransmissão de televisão, e dá outras providências. In: **Decreto nº 5.820, de 29 de junho de 2006**. Diário Oficial da União, 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5820.htm>.

CONTI, D. 2013. Disponível em: <www.transtelconti.com.br/produto/indice/type/digitais>.

_____. Manual do curso ministrado para Rede Globo, **Antenas de TX para Radiodifusão**. 2017.

_____. **Contribuição à seleção estruturada de antenas para transmissão de TV Digital**. 2017. Disponível em: <<http://www.transtelconti.com.br/pdf/SEATX.pdf>>.

CRC. **CRC - COVLAB software**. 2010. Disponível em: <<http://www.crc.gc.ca/covlab>>.

DIBEG. **Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial (ISDB-T)**. 1997. Disponível em: <<https://www.dibeg.org/index.html>>.

DONZELLI, V. **Influência no desempenho de cobertura da TV Digital**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Mackenzie, 2011. Disponível em: <<http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/2748>>.

DONZELLI, V.; YAMADA, F. Elliptical polarization: Influences on the performance of digital tv coverage. In: IMT. **Proceedings of the international workshop on telecommunications**. [S.l.], 2011. p. 245.

EDX. **EDX Signal**. 2007. Disponível em: <<http://edx.com/products/edx-signalpro/>>.

EPPINK, D.; KUEBLER, W. Electromagnetic compatibility analysis center annapolis md. In: NTIA. **TIREM/SEM Handbook**. DTIC, 1994. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a296913.pdf>>.

FCC. **FM and TV Propagation Curves**. 2018. Disponível em: <<https://www.fcc.gov/media/radio/fm-and-tv-propagation-curves>>.

HUFFORD, A. Guide to the use of the its irregular terrain model in the area prediction mode. In: NTIA. **REPORT 82-100**. 1982. Disponível em: <<https://www.ntia.doc.gov/report/1982/guide-use-its-irregular-terrain-model-area-prediction-mode>>.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios-PNAD**. [S.l.], 2015. Disponível em: <<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/habitacao/bens-duraveis.html>>.

ISDB-TB. **GINGA**. 2007. Disponível em: <<http://www.ginga.org.br/pt-br>>.

ISO/IEC. **MPEG-4**. 1998. Disponível em: <<https://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-4>>.

ITU. **Recommendation ITU-R p.370-7- VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1 000 MHz. Broadcasting services**. 1995. Disponível em: <<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.370-7-199510-W/en>>.

_____. Description of crc-predict a vhf and uhf propagation model. In: ITU. **Contribution ITU-R R03-WP6E-C-0017**. 2003. Disponível em: <<https://www.itu.int/md/R03-WP6E-C-0017/en>>.

_____. **Recommendation ITU-R P15461 - Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3.000 MHz**. 2003. Disponível em: <<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1546-1-200304-S/en>>.

LINEAR. **Hitachi Kokusai Linear- Produtos e Sistemas Broadcast**. 2018. Disponível em: <http://www.hitachi-linear.com.br/products/type_product.html>.

LONGLEY, A.; RICE, P.; BARSIS, A. Prediction of tropospheric radio transmission loss over irregular terrain a computer method. In: NTIA. **Report ERL65- ITS67**. 1968. Disponível em: <<https://www.its.blrdoc.gov/publications/download/ERL%2079-ITS%2067.pdf>>.

MC. aprovação da norma 01/2010 – norma técnica para execução dos serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão com utilização da tecnologia digital. In: MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. **Portaria 276 , de 29 de março de 2010**. Diário Oficial da União 05 março 2010, 2010. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/comunicacao/rede-legislativa-radio-tv/arquivos/legislacao-arquivos/portarias-ministerio/Portarian27629MAR2010ExecuodosserviosdeTVdigital.pdf>>.

MIYOSHI, E.; SANCHES, C. **PROJETOS DE SISTEMAS DE RÁDIO**. third. São Paulo - SP: Editora Érica, 2002. v. 1.

NEC. **NEC Corporation-Broadcast Products**. 2018. Disponível em: <<https://www.nec.com/en/global/prod/nw/broadcast/index.html>>.

OKUMURA, Y. *et al.* **Field strength and variability in UHF and UHF land-mobile radio service**. [S.l.]: Rev.Elec.Commun.Lab, 1968. v. 16. P. 825-873.

RAPPAPORT, T. **Wireless Communications - Principles & Praticce**. [S.l.]: Prentice Hall, 1999.

REHME, J. Eficiência energética e cuidados com a infraestrutura. **Revista de SET**, Ano XXII – Nº 127/128, p. 29, 2012.

RFS. **datasheets - Cabo de Transmissão**. 2018. Disponível em: <www.rfsworld.com/WebSearchECat/datasheets/pdf/?q=LCF158-50JA-A7>.

_____. **Datasheets - HCA158-50J - Air-Dielectric Coaxial Cable**. 2018. Disponível em: <<http://www.rfsworld.com/WebSearchECat/datasheets/pdf/?q=LCF158-50JA-A7>>.

RIBEIRO, J. J. **Engenharia de Antenas – Fundamentos, Projetos e Aplicações**. first. [S.l.]: Érica, 2012.

RICE, P.; LONGLEY A.G, N. K.; BARSIS, A. Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits. In: NTIA. **NBS Technical Note 101**. 1967. Disponível em: <<https://www.its.bldrdoc.gov/publications/download/TechNote101v1.pdf>>.

SCHADLER, J. Benefits of circular polarization for mobile services. **NAB - Broadcast Engineering Conference**, 2012.

_____. Atsc 3.0 – boosting the signal strength - miso. **NAB - Broadcast Engineering Conference**, 2017.

STORI, N. M.; REHME, J. F. Influência da mer vs. Área de cobertura. **Set Expo Proceedings - SETEP**, 2015. Disponível em: <<http://set.org.br/setep/pdfs/artigo14.pdf>>.

6 APÊNDICE

6.1 UNIDADES DE MEDIDAS

Algumas medidas citadas ao longo do trabalho são apresentadas abaixo:

6.1.1 *dBmW*

É uma abreviação para a taxa de potência em decibéis [dB] em relação a 1 mW. A conversão de mW para dBm se dá pela seguinte fórmula:

$$x_{dBmW} = 10\log_{10}(1000 P). \quad (6.1)$$

P : potência em Watts (W).

6.1.2 MER

É a abreviação para *Modulation Error Rate* e é a medida usada para quantificar o desempenho de um transmissor de sinal digital e do canal ou meio de propagação. Tal medida quantifica a diferença de posição dos pontos da constelação do sinal quando recebido e compara com a posição ideal da constelação. A MER de um sinal pode ser obtida pela seguinte fórmula:

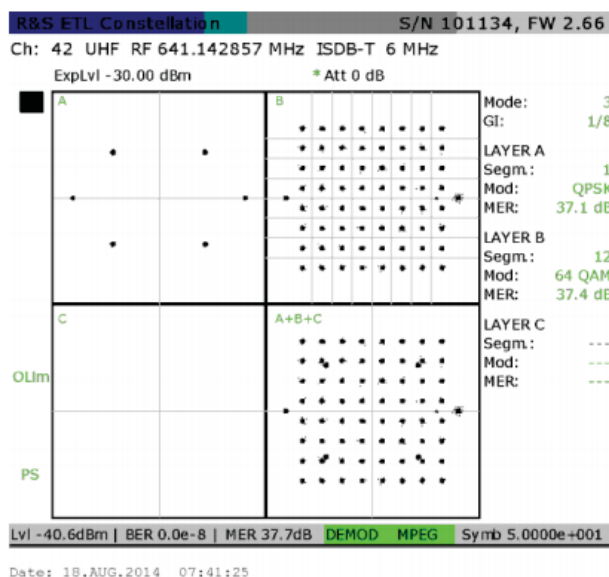
$$MER_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{P_{sinal}}{P_{erro}}\right). \quad (6.2)$$

P_{sinal} : valor RMS da potência do sinal ideal.

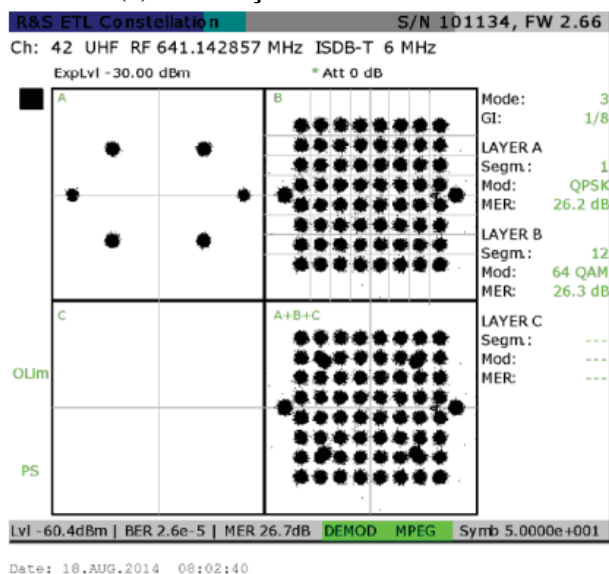
P_{erro} : valor RMS da potência do vetor erro (gerado pelo plano de diferença entre o ponto de constelação ideal e o ponto recebido).

Para ilustrar a diferença de posição dos pontos da constelação do sinal quando recebido, segue abaixo as figuras 60a e 60b observada no analisador de espectro ETL. Um fluxo grande de bits gera uma constelação que repete os mesmos símbolos várias vezes na tela do instrumento. Os mesmos símbolos devem ser sobrepostos em um ponto exato e fino. A condição real são pontos espalhados em torno da posição central. O ponto, idealmente sem dimensões, torna-se uma mancha, e quanto maior for o seu diâmetro, menor será a MER percebida. A figura 60a mostra a constelação num canal de televisão em UHF, canal 42, no *Layer A*, modelação

QPSK e no *Layer B*, modelação 64QAM, com uma MER de 37.4 dB. A figura 60b mostra a constelação deste mesmo canal, no *Layer A*, modelação QPSK e no *Layer B*, modelação 64QAM, com uma MER de 26.3 dB.



(a) Costelação: MER = 37.4 dB



(b) Costelação: MER = 26.3 dB

Figura 60 – Diagrama de constelação Layer A e B medido do instrumento ETL
 Fonte: Set Expo Proceedings - SETEP - (STORI; REHME, 2015)

6.1.3 $dB\mu V/m$

Analisadores de espectro e medidas de campo têm como saída, potência recebida em dBm. Já os estudos de propagação são normalmente apresentados em campo elétrico, em unidade de $dB\mu V/m$. É importante evidenciar a forma de conversão de potência recebida para

campo elétrico. Por definição, campo elétrico é dado por:

$$E_{ef}[dB\mu V/m] = 10\log |E_{ef}|^2 = 20\log |E_{ef}|. \quad (6.3)$$

Para converter potência em campo, será usado duas equações do eletromagnetismo:

$$\text{VetordePoynting} : \vec{S} = \text{Re}[\vec{E}x\vec{H}^*], \quad (6.4)$$

Onde E e H são campos elétricos e magnéticos, respectivamente, na forma harmônica.

Área efetiva de recepção é dado por:

$$A_{ef} = G_R \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (m^2), \quad (6.5)$$

Onde G_R representa o ganho da antena de recepção.

A potência recebida pode ser escrita por:

$$P_R = SA_{ef}. \quad (6.6)$$

$$P_R = SG_R \frac{\lambda^2}{4\pi}. \quad (6.7)$$

Considerando recebendo ondas planas e uniformes:

$$\vec{E} = \frac{1}{Z_0} \vec{H}. \quad (6.8)$$

Onde,

$$Z_0(\Omega) = 120\pi. \quad (6.9)$$

Então,

$$\vec{S} = \text{Re} \left[\vec{E} \frac{\vec{E}^*}{Z_0} \right] = \frac{|E^2|}{Z_0} \vec{a}_s, \quad (6.10)$$

$$P_R = \frac{|E^2|}{Z_0} G_R \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (W). \quad (6.11)$$

Escrevendo a equação em unidades logarítmicas:

$$E(dB\mu V/m) = 77.2 - G_R(dB) + 20\log(f(MHz)) + P_R(dBm). \quad (6.12)$$

Esta equação relaciona campo elétrico e potência recebida. Aplicando ao cenário de medidas, G_R será a soma do ganho da antena de recepção, as perdas dos cabos e divisores.

6.2 VANTAGENS DA ANTENA DE POLARIZAÇÃO ELÍPTICA PARA RECEPTORES MÓVEIS

Estudos descrevem as vantagens da implantação das antenas de polarização elíptica para a recepção em antenas fixas nas residências ou nos receptores portáteis de forma quantitativa. De acordo com (CONTI, 2017a) a polarização elíptica na TV Digital traz benefícios de cobertura devido principalmente:

1. Às limitações do terminal móvel, que possui baixa eficiência de antena, diagrama similar a um dipolo,
2. Ao multipercurso de pequena escala "*indoor*", resultante dos múltiplos sinais "espalhados" por superfícies ou objetos próximos, incidindo sobre o receptor,
3. Ao efeito de despolarização, perda provocada pela posição arbitrária do terminal móvel, ou posição da antena interna.

Segundo Donzelli, (DONZELLI; YAMADA, 2011), através de estudos e levantamento de campo em São Paulo, canal 60, foi analisada a influência do tipo de sistema irradiante em função da cobertura de TV digital desejada com a recepção fixa interna, externa, portátil e móvel. Foram medidos em campo vários tipos de configuração, polarização horizontal, vertical e elíptica.

Configuração	Potência na Polarização Horizontal	Potência na Polarização Vertical
ST	100%	0%
PH	100%	0%
PV	0%	100%
PE 7030	70%	30%
PE 8020	80%	20%
PE 9010	90%	10%

ST *Superturstyle*
 PH Polarização Horizontal
 PV Polarização Vertical
 PE Polarização Elíptica X%PH Y%PV

Figura 61 – Configurações do sistema irradiante

Fonte: Dissertação - Influência no desempenho de cobertura da TV Digital (DONZELLI, 2011)

Considerando dados de campo, os resultados alcançados no trabalho da Donzelli, (DONZELLI, 2011) mostraram que a antena de polarização elíptica configurada 90 % na polarização horizontal e 10 % na polarização vertical (9010) e 70 % na polarização horizontal e 30

% na polarização vertical (7030) apresentaram melhores respostas que as antenas de polarização horizontal e vertical, individualmente. Para a recepção externa, o desempenho das antenas foi equivalente. Já para a recepção interna, as antenas de polarização elíptica 9010 e 7030 apresentaram melhor resultado que as de polarizações horizontal e vertical, individualmente. Para a recepção dentro do veículo, a polarização elíptica 7030 e a polarização horizontal apresentaram melhor resultado que as polarizações elípticas 9010 e 8020 e vertical, porém a variação é menor que 10 %.

Schadler (SCHADLER, 2012) apresentou o resultado de vários testes para quantificar os benefícios da transmissão de polarização circular (CP) para um dispositivo móvel linearmente polarizado. Os parágrafos a seguir descrevem cronologicamente estes resultados.

Em 2007, para quantificar os benefícios da polarização circular (CP) nos dispositivos móveis, Schadler fez teste em um ambiente controlado (câmara anecóica) com uma transmissão da polarização circular UHF para um receptor linearmente polarizado em movimento. Os resultados mostraram que em uma transmissão da polarização circular UHF para um receptor linearmente polarizado em movimento, proporciona em média 5 dB de margem sobre a transmissão linear, quantificando os benefícios do CP. Neste artigo, Schadler afirma que nestes testes houve uma redução da variabilidade da intensidade do sinal em relação à localização e orientação do receptor, melhorando a margem de recepção de sinal.

Em 2008, testes em câmara anecóica, demonstraram que polarização elíptica com a proporção do sinal 66 % na componente horizontal e 33 % na componente vertical proporcionou melhores margens em ambientes despolarizados de desvanecimento em comparação com polarização circular. Mesmo em outras relações 50 % / 50 % e 80 % / 20 % todos proporcionam mais de 4 dB de incremento de margem (MI).

Em 2009 foram realizados testes de campo em vários locais internos e externos diferentes e confirmaram os resultados já conseguidos em 2008 em câmara anecóica. Os resultados mostram que a transmissão de polarização circular para um receptor linearmente polarizado em movimento forneceu, em média, 5 dB de incremento de margem sobre a transmissão de polarização horizontal.

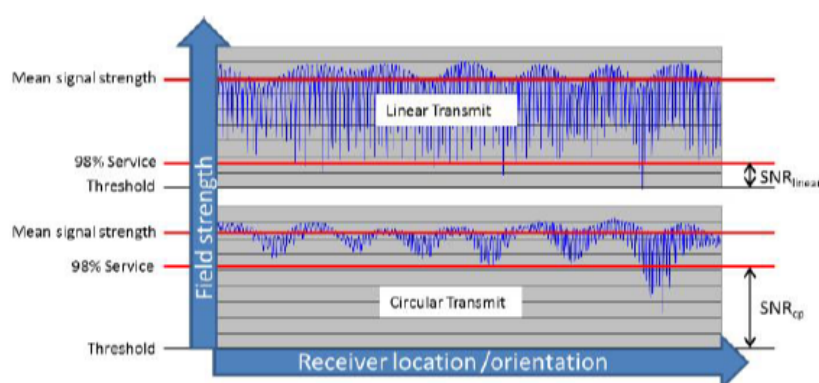
Em 2010, os mesmos experimentos foram realizados em VHF. O teste de campo mostrou que a transmissão de VHF a polarização circular para um dispositivo móvel forneceu, em média, 3,5 dB de incremento de margem na transmissão em relação a polarização horizontal.

Em março de 2011, em um trabalho conjunto com o West Central Florida Group, Schadler conseguiu realizar medições com base em BER - *Bit Error Rate*. Uma antena circularmente polarizada foi instalada ao lado de uma antena polarizada verticalmente no nível de 800 pés, 243,84 metros, na torre de transmissão ATC em Riverview, Florida. Um dipolo motorizado foi usado para medir em modo paralelo como se o usuário estivesse segurando o dispositivo na mão na posição vertical e modo perpendicular como se o usuário estivesse segurando a mão na horizontal.

A antena circularmente polarizada foi projetada para fornecer cobertura semelhante no feixe principal como a antena verticalmente polarizada. Os dados foram coletados em três ambientes diferentes: externo, interno e veículo em movimento. A melhoria média da margem da polarização circular para todos os testes externos foi de 8 dB no modo paralelo e 7,9 dB no modo perpendicular. A polarização circular é composta por duas polarizações ortogonais, o tempo deslocado em 90 graus. As chances de ambas as polarizações interferirem de forma destrutiva ao mesmo tempo e a mesma localização é muito inferior a uma única polarização. Para os casos internos, a melhoria média da margem da polarização circular foi de 6,8dB no modo paralelo e de 8,3 dB no modo perpendicular.

As conclusões do estudo de John Schadler, nos testes realizados nos últimos anos, confirmaram que a polarização circular na transmissão, para dispositivos móveis, pode fornecer 5 a 7 dB de margem necessária, o que será imperativo para o sucesso da próxima geração de serviços móveis.

Schadler, em seu artigo (SCHADLER, 2017) esclarece-se que a polarização circular ajuda a mitigar os efeitos da desvanecimento em pequena escala, presente tanto interna quanto externamente. A polarização circular é feita com as duas polarizações ortogonais, deslocando-se as componentes do campo elétrico em 90 graus. Quando o receptor está em movimento, a probabilidade estatística de ambas as polarizações interferindo destrutivamente ao mesmo tempo, na mesma localização e a mesma orientação é muito inferior a uma única polarização. A figura 62 abaixo apresenta a diferença entre a relação sinal/ruído numa transmissão linear e numa transmissão circular. Nota-se a melhoria de margem, quando há uma transmissão circular.



Legenda

mean signal strenght = potência média do sinal

98% service = 98% de serviço

Threshold = limite

field strenght = nível de potência

linear transmit = transmissão linear

circular transmit = transmissão circular

Receiver location / orientation = Localização / orientação do receptor

SNR linear = Relação sinal-ruído linear

SNR cp = Relação sinal-ruído polarização circular


Figura 62 – Definindo melhoria de margem -Defining margin improvement.

Fonte: Proceedings 2017- NAB Broadcast Engineering Conference (SCHADLER, 2017)

6.3 CATÁLOGO CABO DE TRANSMISSÃO USADO NOS ENSAIO DE CAMPO

PRODUCT DATASHEET
HCA158-50J

RADIO FREQUENCY SYSTEMS
The Clear Choice®




1-5/8" HELIFLEX® Air-Dielectric Coaxial Cable

HELIFLEX® 1-5/8" low loss air dielectric cable

FEATURES / BENEFITS

- ➔ **Low Attenuation**
The low attenuation of HELIFLEX® coaxial cable results in highly efficient signal transfer in your RF system.
- ➔ **Complete Shielding**
The solid outer conductor of HELIFLEX® coaxial cable creates a continuous RF/EMI shield that minimizes system interference.
- ➔ **Low VSWR**
Special low VSWR versions of HELIFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- ➔ **Outstanding Intermodulation Performance**
HELIFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- ➔ **High Power Rating**
Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, HELIFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- ➔ **Wide Range of Application**
Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.



1-5/8" HELIFLEX® Air Dielectric Coaxial Cable

Technical Features

APPLICATIONS

Applications		UHF, VHF, Broadcast; intended for outdoor usage
--------------	--	-------------------------------------------------

STRUCTURE

Cable Type		Air-Dielectric, Corrugated
Size		1-5/8"
Jacket Option		Black
Inner Conductor	mm (in)	18.6 (0.73) Corrugated Copper Tube
Dielectric	mm (in)	39.8 (1.56) Helical Polyethylene Spacer
Outer Conductor	mm (in)	46.6 (1.83) Corrugated Copper
Jacket	mm (in)	50.4 (1.984) Polyethylene, PE

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Impedance	Ω	50 +/- 0.5
Maximum Frequency	GHz	3.0
Velocity	%	95.0
Capacitance	pF/m (pF/ft)	70 (21.3)
Inductance	μH/m (μH/ft)	0.175 (0.053)
Peak Power Rating	kW	270.0
RF Peak Voltage	Volts	5200.0
Jacket Spark	Volt RMS	8000.0
Inner Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	1.06 (0.33)
Outer Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	0.39 (0.13)
Return Loss (VSWR) Performance		Standard
Maximum Return Loss	dB (VSWR)	Typical 20.8dB (1.2 VSWR) or better within the operation bands of most global frequency ranges. Premium also available. Contact factory for options in your specific frequency band.
Phase Stabilized		Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.
Temperature & Power		Standard

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Cable Weight, Nominal	kg/m (lb/ft)	1.3 (0.89)
Minimum Bending Radius, Single Bend	mm (in)	180 (7)
Minimum Bending Radius, Repeated Bends	mm (in)	550 (22)
Bending Moment	Nm (lb*ft)	42
Tensile Strength	N (lb)	1500 (337)
Recommended / Maximum Clamp Spacing	m (ft)	0.8 / 1.2 (2.75 / 4)

Figura 63 – Características técnicas e mecânicas cabo RFS modelo HCA-158-50J

Fonte: site RFS - *datasheets* - (RFS, 2018a)

PRODUCT DATASHEET
HCA158-50J

RADIO FREQUENCY SYSTEMS
The Clear Choice®



1-5/8" HELIFLEX® Air-Dielectric Coaxial Cable

ATTENUATION AND POWER RATING

Frequency MHz	Attenuation		Power kW
	dB/100m	dB/100ft	
0.5	0.04	0.013	270.00
1	0.06	0.019	196.00
1.5	0.08	0.023	160.00
2	0.09	0.027	138.00
10	0.20	0.06	61.40
20	0.28	0.085	43.40
30	0.34	0.104	35.40
50	0.44	0.135	27.30
88	0.59	0.18	20.50
100	0.63	0.193	19.20
108	0.66	0.20	18.40
150	0.78	0.237	15.60
174	0.84	0.256	14.40
200	0.90	0.275	13.50
300	1.11	0.339	11.00
400	1.29	0.394	9.44
450	1.38	0.419	8.83
500	1.45	0.443	8.41
512	1.47	0.449	8.30
600	1.60	0.488	7.64
700	1.74	0.529	7.03
800	1.86	0.568	6.59
824	1.89	0.577	6.49
894	1.98	0.603	6.20
900	1.98	0.605	6.20
925	2.01	0.614	6.11
960	2.05	0.626	6.00
1000	2.10	0.64	5.86
1250	2.37	0.722	5.21
1500	2.61	0.797	4.75
1700	2.80	0.853	4.44
1800	2.89	0.88	4.31
2000	3.06	0.932	4.08
2200	3.22	0.982	3.89
2300	3.30	1.01	3.81
3000	3.83	1.17	3.32

Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature;
tolerance +/- 5% max.; Mean power rating at
40°C (104°F) ambient temperature

TESTING AND ENVIRONMENTAL

Fire Performance	Halogene Free
Flame Retardant Jacket Specifications	Meets the requirements according to: IEC60754-1, IEC60754-2
Installation Temperature	-40 to 60 (-40 to 140) °C(°F)
Storage Temperature	-70 to 85 (-94 to 185) °C(°F)
Operation Temperature	-50 to 85 (-58 to 185) °C(°F)

External Document Links

Notes

Figura 64 – Atenuação e potência para cada faixa de frequência cabo RFS modelo HCA-158-50J

Fonte: site RFS - *datasheets* - (RFS, 2018a)

6.4 DADOS MEDIDOS E CALCULADOS - PONTOS FIXOS - POLARIZAÇÃO HORIZONTAL

Pontos	Pontos Fixos - polarização horizontal										ITA-R 370			ITA-R 370 + RMD			ITU-R 1546			CRC-Predict										
	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Altitude(é)	Distância(Km)	Nível Medido (dBm)	OPEN (dBm)	Hta-extendido SUBURBAN (dBm)	URBAN (dBm)	Longite-Rice (dBm)	OPEN (dBm)	SubURBAN (dBm)	URBAN (Hata) (dBm)	TIREM-EDX (dBm)	FCC-EDX (dBm)	FCC-FCC (dBm)	Anderson 2D (dBm)	Nível teórico (dBm)	ITA-R 370 (dBm)	Nível teórico (dBm)	ITA-R 370 + RMD (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	ITU-R 1546 (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	ITU-R 1546 (dBm)	Nível teórico (dBm)			
1	-23,419722	-51,953528	3	0,566	-19,50	-33,63	-45,34	-54,54	-7,24	-33,63	-45,34	-54,54	-35,22	-34,86	-33,62	-33,63	-30,43	-30,43	-33,63	-33,63	-30,43	-33,63	-33,63	-30,43	-33,63	-30,43	-33,63	-24,39		
2	-23,420861	-51,949861	43	0,595	-96,60	-30,26	-42,19	-51,38	-5,06	-30,26	-42,19	-51,38	-30,26	-31,53	-30,24	-30,26	-30,26	-43,46	-43,46	-30,26	-30,26	-30,26	-30,26	-30,26	-43,46	-30,26	-30,26	-22,11		
3	-23,425306	-51,948778	96	0,516	-21,40	-27,83	-39,15	-48,34	-0,47	-27,83	-39,15	-48,34	-27,83	-28,50	-27,82	-27,83	-48,32	-48,32	-27,83	-27,83	-48,32	-27,83	-27,83	-48,32	-27,83	-48,32	-27,83	-17,54		
4	-23,428205	-51,953389	173	0,364	-20,80	-41,25	-51,04	-60,23	-2,70	-41,25	-51,04	-60,23	-41,25	-41,40	-41,24	-41,25	-60,23	-60,23	-41,25	-41,25	-60,23	-41,25	-41,25	-60,23	-41,25	-60,23	-41,25	-19,80		
5	-23,425389	-51,958750	263	0,509	-20,60	-65,74	-76,99	-86,19	-2,02	-65,74	-76,99	-86,19	-65,74	-31,81	-30,73	-65,74	-31,30	-31,30	-65,74	-65,74	-30,73	-65,74	-30,73	-65,74	-30,73	-65,74	-30,73	-19,04		
6	-23,430306	-51,947528	134	0,885	-29,50	-30,18	-43,85	-53,04	-5,58	-30,18	-43,85	-53,04	-30,18	-32,10	-30,17	-30,18	-47,95	-47,95	-30,18	-30,18	-47,95	-30,18	-30,18	-47,95	-30,18	-47,95	-30,18	-22,62		
7	-23,406778	-51,954222	359	2,005	-40,60	-60,22	-77,45	-86,65	-17,78	-60,22	-77,45	-86,65	-60,22	-32,64	-32,42	-61,72	-49,47	-49,47	-61,72	-49,47	-61,72	-49,47	-61,72	-49,47	-61,72	-49,47	-37,23	-35,68		
8	-23,410500	-51,938472	45	2,231	-56,70	-58,83	-76,53	-85,72	-15,53	-58,83	-76,53	-85,72	-58,83	-30,13	-29,95	-58,83	-42,52	-42,52	-58,83	-42,52	-58,83	-42,52	-58,83	-42,52	-58,83	-42,52	-34,61	-34,61		
9	-23,422861	-51,934683	84	1,973	-68,00	-21,06	-38,23	-47,42	-11,06	-21,06	-38,23	-47,42	-21,06	-26,79	-26,57	-21,06	-42,42	-42,42	-21,06	-21,06	-42,42	-21,06	-21,06	-42,42	-21,06	-42,42	-21,06	-30,20		
10	-23,433750	-51,936806	120	1,999	-80,60	-20,87	-38,10	-47,29	-10,52	-20,87	-38,10	-47,29	-20,87	-25,50	-25,27	-20,87	-45,41	-45,41	-20,87	-20,87	-45,41	-20,87	-20,87	-45,41	-20,87	-45,41	-20,87	-22,12		
11	-23,443083	-51,952056	175	2,040	-32,90	-44,90	-62,21	-90,61	-16,60	-44,90	-62,21	-90,61	-44,90	-31,84	-31,62	-44,90	-41,26	-41,26	-31,62	-31,62	-44,90	-41,26	-31,62	-44,90	-41,26	-31,62	-41,26	-36,48	-27,77	
12	-23,434778	-51,964278	224	1,540	-62,80	-73,73	-89,82	-92,65	-14,81	-73,73	-89,82	-92,65	-73,73	-37,01	-30,25	-77,80	-46,65	-46,65	-77,80	-46,65	-77,80	-46,65	-77,80	-46,65	-77,80	-46,65	-77,80	-46,65	-34,67	
13	-23,422417	-51,974472	278	2,024	-45,60	-71,36	-88,64	-91,87	-14,59	-71,36	-88,64	-91,87	-71,36	-29,71	-29,36	-77,79	-46,65	-46,65	-77,79	-46,65	-77,79	-46,65	-77,79	-46,65	-77,79	-46,65	-77,79	-46,65	-34,11	
14	-23,430833	-51,925639	103	2,950	-46,60	-28,21	-46,25	-94,72	-14,09	-20,77	-38,81	-48,00	-27,35	-27,45	-27,47	-27,35	-47,05	-47,05	-27,35	-27,35	-47,05	-27,35	-27,35	-47,05	-27,35	-47,05	-27,35	-31,38	-28,01	
15	-23,440833	-51,935972	142	2,984	-31,40	-22,82	-40,86	-96,85	-16,23	-22,82	-40,86	-96,85	-22,82	-28,89	-28,29	-21,91	-45,63	-45,63	-21,91	-21,91	-45,63	-21,91	-21,91	-45,63	-21,91	-45,63	-21,91	-32,34	-33,94	
16	-23,449556	-51,961806	197	2,870	-67,00	-42,63	-60,67	-101,70	-22,93	-42,63	-60,67	-101,70	-42,63	-36,60	-36,63	-41,09	-38,88	-38,88	-41,09	-38,88	-41,09	-38,88	-41,09	-38,88	-41,09	-38,88	-41,09	-38,88	-40,15	-46,90
17	-23,409750	-51,972861	304	2,971	-87,00	-23,44	-41,48	-97,44	-16,82	-23,44	-41,48	-97,44	-23,44	-39,29	-39,20	-30,13	-49,77	-49,77	-39,29	-39,29	-49,77	-39,29	-39,29	-49,77	-39,29	-49,77	-39,29	-33,91	-45,07	
18	-23,398167	-51,969361	332	3,360	-26,00	-26,55	-44,59	-101,25	-20,16	-26,55	-44,59	-101,25	-26,55	-31,85	-31,74	-23,16	-49,48	-49,48	-23,16	-23,16	-49,48	-23,16	-23,16	-49,48	-23,16	-49,48	-23,16	-35,42	-47,48	
19	-23,388556	-51,953444	1	4,030	-82,20	-27,84	-45,88	-105,33	-23,73	-27,84	-45,88	-105,33	-27,84	-35,70	-35,64	-28,05	-47,18	-47,18	-28,05	-28,05	-47,18	-28,05	-28,05	-47,18	-28,05	-47,18	-28,05	-39,77	-36,15	
20	-23,397250	-51,927528	41	4,071	-41,00	-27,84	-45,88	-105,33	-21,11	-27,84	-45,88	-105,33	-27,84	-35,46	-35,49	-25,43	-41,27	-41,27	-25,43	-25,43	-41,27	-25,43	-25,43	-41,27	-25,43	-41,27	-25,43	-38,40	-39,19	
21	-23,442889	-51,919111	120	4,070	-53,70	-35,95	-53,99	-57,71	-36,48	-35,95	-53,99	-57,71	-36,48	-30,70	-30,67	-37,08	-52,99	-52,99	-37,08	-37,08	-52,99	-37,08	-37,08	-52,99	-37,08	-52,99	-37,08	-33,91	-45,07	
22	-23,451028	-51,981389	224	4,052	-60,10	-41,62	-59,66	-105,41	-23,16	-41,62	-59,66	-105,41	-41,62	-39,20	-38,86	-38,86	-47,57	-47,57	-38,86	-38,86	-47,57	-38,86	-38,86	-47,57	-38,86	-47,57	-38,86	-41,34	-36,19	
23	-23,433417	-51,905889	101	4,981	-39,50	-25,83	-43,87	-93,06	-18,56	-25,83	-43,87	-93,06	-25,83	-33,79	-33,66	-22,35	-39,52	-39,52	-22,35	-22,35	-39,52	-22,35	-22,35	-39,52	-22,35	-39,52	-22,35	-36,37	-35,96	
24	-23,463806	-51,925361	146	5,217	-32,60	-63,40	-84,04	-90,63	-21,39	-63,40	-84,04	-90,63	-21,39	-28,40	-28,40	-34,24	-60,06	-60,06	-34,24	-34,24	-60,06	-60,06	-60,06	-60,06	-60,06	-60,06	-60,06	-60,06	-38,06	
25	-23,44886	-51,906111	79	5,988	-60,40	-28,97	-47,00	-56,20	-20,82	-28,97	-47,00	-56,20	-28,97	-35,52	-38,18	-38,19	-24,26	-24,26	-38,18	-38,18	-24,26	-24,26	-38,18	-38,18	-24,26	-24,26	-38,18	-40,28	-36,83	
26	-23,454778	-51,905417	124	5,955	-59,00	-47,01	-65,04	-74,24	-27,50	-47,01	-65,04	-74,24	-27,50	-36,16	-36,06	-42,98	-42,98	-36,16	-36,16	-42,98	-36,16	-36,16	-42,98	-36,16	-42,98	-36,16	-42,98	-38,53	-45,57	
27	-23,403028	-51,902611	65	5,757	-62,20	-22,80	-40,84	-90,03	-15,76	-22,80	-40,84	-90,03	-22,80	-37,47	-37,38	-53,34	-45,80	-45,80	-37,38	-37,38	-45,80	-37,38	-37,38	-45,80	-37,38	-45,80	-37,38	-34,03	-30,67	
28	-23,449444	-51,925611	69	3,078	-65,70	-48,90	-68,75	-81,86	-23,92	-48,90	-68,75	-81,86	-48,90	-35,13	-30,42	-21,36	-40,40	-40,40	-21,36	-21,36	-40,40	-21,36	-21,36	-40,40	-21,36	-40,40	-21,36	-34,03	-30,67	
29	-23,438806	-51,937556	23	4,332	-84,90	-30,27	-48,31	-57,50	-23,57	-30,27	-48,31	-57,50	-30,27	-35,83	-35,81	-27,65	-44,91	-44,91	-27,65	-27,65	-44,91	-27,65	-27,65	-44,91	-27,65	-44,91	-27,65	-38,90	-35,35	
30	-23,411278	-51,914167	70	4,315	-74,00	-71,81	-89,85	-99,04	-20,31	-71,81	-89,85	-99,04	-20,31	-25,75	-25,75	-43,79	-52,98	-52,98	-43,79	-43,79	-52,98	-43,79	-43,79	-52,98	-43,79	-52,98	-43,79	-68,88	-47,61	
31	-23,476750	-51,806639	111	16,083	-49,40	-55,06	-73,10	-82,29	-29,83	-47,18	-65,22	-74,41	-39,43	-39,43	-53,98	-43,46	-43,46	-53,98	-43,46	-43,46	-53,98	-43,46	-43,46	-53,98	-43,46	-43,46	-53,98	-43,46	-48,84	
32	-23,484972	-51,802917	113	16,780	-53,40	-48,49	-105,01	-75,72	-29,23	-48,46	-66,50	-75,69	-42,05	-42,05	-55,10	-32,00	-45,01	-45,01	-32,00	-32,00	-45,01	-32,00	-32,00	-45,01	-32,00	-45,01	-32,00	-117,09	-47,61	
33	-23,483667	-51,791417	112	17,808	-46,90	-83,73	-108,29	-110,96	-29,68	-83,73	-108,29	-110,96	-29,68	-67,40	-67,40	-115,70	-55,55	-55,55	-67,40	-67,40	-115,70	-55,55	-55,55	-67,40	-55,55	-67,40	-55,55	-70,42	-54,12	
34	-23,196111	-51,910583	10	25,806	-60,50	-105,18	-123,22	-132,41	-60,11	-105,18	-123,22	-132,41	-60,11	-81,91	-81,91	-92,86	-61,90	-61,90	-92,86	-61,90	-92,86	-61,90	-61,90	-92,86	-61,90	-92,86	-61,90	-135,54	-68,84	
35	-23,453167	-52,029972	248	8,385	-62,90	-44,04	-69,08	-71,27	-27,07	-62,90	-44,04	-69,08	-71,27	-36,87	-36,87	-54,91	-64,11	-64,11	-36,87	-36,87	-54,91	-64,11	-64,11	-54,91	-64,11	-54,91	-64,11	-80,73	-59,60	
36	-23,428667	-51,878278	92	7,708	-69,50	-74,81	-92,85	-102,04	-23,27	-74,81	-92,85	-102,04	-23,27	-32,84	-32,84	-50,88	-60,07	-60,07	-32,84	-32,84	-50,88	-60,07	-60,07	-50,88	-60,07	-50,88	-60,07	-64,43	-42,10	
37	-23,455167	-51,870444	112	9,149	-48,90	-69,75	-91,02	-96,98	-23,92	-69,75	-91,02	-96,98	-23,92	-34,75	-34,75	-52,79	-61,91	-61,91	-34,75	-34,75	-52,79	-61,91	-61,91	-52,79	-61,91	-52,79	-61,91	-104,40	-40,24	
38	-23,430000	-51,665472	54	36,545	-80,50	-115,33	-133,37	-142,56	-58,37	-60,63	-78,67	-87,86	-61,91	-61,91	-66,70	-47,41	-47,41	-66,70	-66,70	-47,41	-47,41	-66,70	-47,41	-47,41	-66,70	-47,41	-66,70	-79,96	-79,96	
39	-23,423111	-51,670972	54	35,625	-74,00	-84,14	-102,18	-111,37	-39,25	-59,96	-78,00	-87,19	-65,04	-65,04	-66,86	-66,70	-66													

6.5 DADOS MEDIDOS E CALCULADOS - PONTOS FIXOS- POLARIZAÇÃO ELÍPTICA

Pontos Fixos - polarização elíptica

Pontos	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Azimute(°)	Distância(Km)	Nível Medido (dBm)	Hata-extendida		Longle-Rice		Okumura (Hata)		TIREM-EDX		FCC-EDX		Anderson 2D		ITU-R 370		ITU-R 370 + RMD		ITU-R 1546		CRC-Predict			
						OPEN	SUBURBAN	URBAN	URBAN	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	OPEN	SUBURBAN	URBAN	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)	Nível teórico (dBm)
1	-23,419722	-51,952528	3	0,566	-24,60	-39,22	-58,22	-6,31	-37,31	-49,03	-58,22	-38,53	-38,55	-37,20	-37,21	-29,40	-37,31	-37,31	-37,31	-37,31	-37,31	-37,31	-37,31	-20,35	-20,35		
2	-23,420861	-51,949861	43	0,955	-35,00	-39,65	-58,67	-6,85	-37,34	-12,43	-58,67	-37,74	-38,81	-37,53	-37,54	-45,26	-37,54	-37,54	-37,54	-45,26	-37,54	-37,54	-45,26	-45,26	-21,50	-21,50	
3	-23,423006	-51,948778	96	0,516	-18,40	-37,07	-56,03	-7,43	-35,52	-46,84	-56,03	-35,52	-36,19	-35,51	-35,52	-55,28	-35,51	-35,52	-55,28	-35,52	-35,52	-10,42	-35,52	-10,42	-35,52	-21,50	
4	-23,423389	-51,953859	173	0,364	-19,60	-33,69	-52,52	-7,38	-33,53	-43,32	-52,52	-33,53	-33,68	-33,52	-33,53	-38,00	-33,53	-33,53	-38,00	-33,53	-33,53	-33,53	-33,53	-33,53	-21,48	-21,48	
5	-23,425389	-51,959750	263	0,509	-24,80	-37,91	-90,87	-4,24	-35,43	-46,68	-55,87	-35,43	-36,49	-35,41	-70,43	-33,62	-70,43	-33,62	-70,43	-33,62	-70,43	-33,62	-70,43	-33,62	-18,36	-18,36	
6	-23,433006	-51,947528	134	0,885	-32,50	-32,10	-35,80	-11,41	-32,10	-45,77	-54,97	-32,10	-34,03	-32,09	-32,10	-53,78	-32,10	-53,78	-32,10	-53,78	-32,10	-32,10	-53,78	-53,78	-25,45	-25,45	
7	-23,430678	-51,954222	359	2,005	-39,50	-72,53	-99,43	-16,25	-37,53	-24,04	-64,43	-16,25	-37,53	-36,68	-36,46	-65,76	-43,25	-65,76	-43,25	-65,76	-43,25	-65,76	-43,25	-65,76	-30,28	-30,28	
8	-23,410500	-51,938472	45	2,231	-49,70	-72,53	-99,43	-16,25	-37,53	-24,04	-64,43	-16,25	-37,53	-43,85	-43,66	-72,53	-43,25	-72,53	-43,25	-72,53	-43,25	-72,53	-43,25	-72,53	-32,25	-32,25	
9	-23,432861	-51,934583	84	1,973	-65,30	-37,01	-56,49	-14,73	-30,13	-22,21	-56,49	-37,72	-35,86	-35,64	-30,13	-46,09	-30,13	-46,09	-30,13	-46,09	-30,13	-46,09	-30,13	-46,09	-31,02	-31,02	
10	-23,433750	-51,936806	120	1,999	-27,60	-31,82	-38,76	-16,24	-16,23	-23,61	-38,76	-31,82	-36,46	-36,23	-31,82	-50,53	-31,82	-50,53	-31,82	-50,53	-31,82	-50,53	-31,82	-50,53	-24,23	-24,23	
11	-23,443083	-51,952556	175	2,040	-25,70	-51,01	-58,02	-16,20	-32,18	-49,50	-58,02	-16,20	-37,95	-37,74	-51,01	-40,77	-37,74	-51,01	-40,77	-37,74	-51,01	-40,77	-37,74	-51,01	-40,77	-24,28	
12	-23,434778	-51,964278	224	1,540	-54,90	-77,98	-97,37	-14,50	-28,60	-44,69	-53,88	-14,50	-35,37	-28,59	-76,17	-48,92	-76,17	-48,92	-76,17	-48,92	-76,17	-48,92	-76,17	-48,92	-31,39	-31,39	
13	-23,422417	-51,972472	278	2,024	-51,80	-80,04	-106,51	-16,91	-31,16	-22,58	-57,63	-16,91	-38,38	-38,04	-84,48	-84,48	-84,48	-84,48	-84,48	-84,48	-84,48	-84,48	-84,48	-84,48	-34,05	-34,05	
14	-23,430833	-51,926369	103	2,950	-45,60	-40,53	-48,15	-67,77	-18,25	-33,09	-25,74	-60,32	-39,67	-39,77	-39,79	-51,22	-25,74	-51,22	-25,74	-51,22	-25,74	-43,70	-43,70	-29,17	-29,17		
15	-23,4346083	-51,935972	142	2,984	-32,50	-34,41	-42,03	-20,25	-33,09	-27,54	-61,64	-20,25	-39,96	-39,88	-33,50	-49,65	-33,50	-49,65	-33,50	-49,65	-33,50	-49,65	-33,50	-49,65	-34,96	-34,96	
16	-23,449556	-51,961806	197	2,870	-52,40	-49,98	-57,61	-27,21	-20,95	-35,28	-26,59	-62,51	-49,24	-43,95	-43,98	-54,89	-43,98	-54,89	-43,98	-54,89	-43,98	-54,89	-43,98	-54,89	-41,85	-41,85	
17	-23,409750	-51,971861	304	2,971	-46,80	-41,95	-63,36	-19,18	-19,37	-34,34	-27,37	-61,57	-41,03	-41,05	-41,03	-53,33	-41,03	-53,33	-41,03	-53,33	-41,03	-53,33	-41,03	-53,33	-33,68	-33,68	
18	-23,398167	-51,965361	332	3,360	-21,90	-29,99	-49,31	-19,15	-28,60	-26,89	-57,22	-28,60	-35,29	-35,19	-28,60	-48,47	-28,60	-48,47	-28,60	-48,47	-28,60	-48,47	-28,60	-48,47	-27,49	-27,49	
19	-23,388556	-51,953444	1	4,030	-35,00	-29,40	-45,30	-21,20	-29,99	-29,26	-56,63	-21,20	-35,81	-35,74	-44,65	-29,26	-35,81	-35,74	-44,65	-29,26	-35,81	-35,74	-44,65	-29,26	-36,87	-36,87	
20	-23,397250	-51,927528	41	4,071	-44,80	-29,21	-52,05	-20,98	-29,21	-29,06	-56,44	-20,98	-36,83	-36,86	-26,80	-41,14	-26,80	-41,14	-26,80	-41,14	-26,80	-41,14	-26,80	-41,14	-36,12	-36,12	
21	-23,442889	-51,919111	120	4,070	-51,40	-41,95	-63,36	-19,18	-19,37	-34,34	-27,37	-61,57	-41,03	-41,05	-41,03	-53,33	-41,03	-53,33	-41,03	-53,33	-41,03	-53,33	-41,03	-53,33	-33,68	-33,68	
22	-23,451028	-51,981389	224	4,052	-49,30	-42,22	-65,65	-19,35	-29,04	-30,54	-57,07	-19,35	-39,46	-39,55	-48,17	-46,95	-39,55	-48,17	-46,95	-39,55	-48,17	-46,95	-39,55	-48,17	-41,94	-41,94	
23	-23,433417	-51,905889	101	4,981	-32,50	-29,04	-52,14	-22,55	-29,04	-30,29	-56,27	-22,55	-37,00	-36,87	-25,56	-43,52	-30,29	-43,52	-30,29	-43,52	-30,29	-43,52	-30,29	-43,52	-39,58	-39,58	
24	-23,463806	-51,925361	146	5,217	-34,30	-65,58	-85,84	-92,81	-30,58	-32,29	-57,81	-62,23	-36,46	-36,39	-62,24	-42,03	-62,24	-42,03	-62,24	-42,03	-62,24	-42,03	-62,24	-42,03	-38,39	-38,39	
25	-23,44886	-51,906111	79	5,988	-55,80	-30,89	-54,82	-58,12	-24,51	-30,89	-48,93	-58,12	-37,45	-40,10	-40,11	-26,18	-40,10	-26,18	-40,11	-26,18	-40,11	-26,18	-40,11	-26,18	-42,21	-42,21	
26	-23,454778	-51,925417	124	5,955	-53,50	-50,17	-72,12	-77,40	-32,50	-31,71	-49,75	-58,94	-45,81	-39,32	-39,22	-50,78	-47,97	-50,78	-47,97	-50,78	-47,97	-50,78	-47,97	-50,78	-47,97	-47,57	-47,57
27	-23,403028	-51,902611	65	5,757	-60,90	-33,79	-75,72	-81,02	-39,80	-31,41	-49,45	-58,64	-49,38	-39,64	-39,55	-55,51	-49,38	-55,51	-49,38	-55,51	-49,38	-55,51	-49,38	-55,51	-48,26	-48,26	
28	-23,414944	-51,925611	69	3,078	-60,30	-33,33	-54,89	-60,57	-19,37	-33,33	-28,82	-60,57	-45,66	-40,96	-41,02	-31,90	-41,02	-31,90	-41,02	-31,90	-41,02	-31,90	-41,02	-31,90	-44,57	-44,57	
29	-23,388806	-51,937556	23	4,332	-32,20	-28,66	-48,88	-21,20	-28,66	-29,17	-55,89	-21,20	-28,66	-26,04	-34,22	-34,20	-26,04	-34,22	-34,20	-26,04	-34,22	-34,20	-26,04	-34,22	-29,98	-29,98	
30	-23,411278	-51,914167	70	4,315	-60,20	-76,12	-97,90	-23,91	-23,91	-48,09	-57,28	-23,91	-38,47	-38,54	-78,11	-51,31	-78,11	-51,31	-78,11	-51,31	-78,11	-51,31	-78,11	-51,31	-41,27	-41,27	
31	-23,476750	-51,906639	111	16,083	-45,80	-55,98	-74,02	-83,21	-34,39	-48,11	-66,14	-75,34	-40,35	-54,82	-54,90	-43,38	-47,94	-43,38	-47,94	-43,38	-47,94	-43,38	-47,94	-43,38	-50,37	-50,37	
32	-23,484972	-51,902917	113	16,780	-53,10	-49,53	-67,57	-76,76	-33,93	-49,50	-67,54	-76,76	-41,28	-56,20	-56,14	-33,03	-49,59	-49,83	-58,22	-49,21	-49,83	-58,22	-49,21	-49,83	-50,37	-50,37	
33	-23,483672	-51,914117	112	17,808	-45,80	-84,64	-102,68	-111,87	-34,16	-49,64	-67,68	-76,87	-68,31	-56,70	-56,46	-68,37	-47,73	-50,42	-58,71	-62,39	-50,42	-58,71	-62,39	-50,42	-58,71	-62,39	-62,39
34	-23,196111	-51,910583	10	25,806	-58,30	-99,22	-117,26	-126,45	-57,34	-48,72	-66,76	-75,95	-86,90	-55,95	-55,52	-100,21	-50,83	-49,77	-57,91	-63,44	-49,77	-57,91	-63,44	-49,77	-63,44	-63,44	
35	-23,453167	-52,029972	248	8,385	-61,30	-42,00	-60,04	-69,23	-27,98	-34,83	-52,87	-62,07	-35,15	-44,49	-44,54	-42,75	-44,54	-44,54	-42,75	-44,54	-44,54	-42,75	-44,54	-44,54	-47,16	-47,16	
36	-23,426667	-51,878278	92	7,708	-63,20	-75,95	-91,99	-103,18	-26,94	-33,98	-29,84	-61,21	-68,69	-43,89	-44,01	-73,78	-40,57	-73,78	-40,57	-73,78	-40,57	-73,78	-40,57	-73,78	-47,76	-47,76	
37	-23,455167	-51,870444	112	9,149	-45,50	-89,34	-98,53	-28,42	-36,30	-40,59	-63,53	-63,46	-44,77	-44,82	-66,33	-40,25	-66,33	-40,25	-66,33	-40,25	-66,33	-40,25	-66,33	-40,25	-41,74	-41,74	
38	-23,423000	-51,965472	54	36,545	-79,30	-114,04	-132,08	-141,27	-60,45	-59,34	-65,05	-86,58	-94,54	-66,31	-66,12	-97,15	-61,99	-62,37	-69,39	-79,04	-62,37	-69,39	-79,04	-62,37	-69,39	-79,04	-79,04
39	-23,423111	-51,670972	54	35,625	-69,20	-82,94	-100,98	-110,18	-41,47	-58,77	-64,46	-86,39	-65,67	-65,51	-86,39	-55,82	-61,73	-68,78	-53,03	-53,03	-61,73	-68,78	-53,03	-61,73	-68,78	-68,78	
40	-23,438778	-51,660389	55	36,400	-46,80	-77,66	-86,85	-42,11	-59,39	-65,10	-86,62	-44,01	-66,40	-66,21	-40,14	-57,03	-62,41	-69,43	-53,43	-53,43	-62,41	-69,43	-53,43	-62,41	-69,43	-69,43	
41	-23,449778	-52,096111	300	16,774	-61,30	-50,50	-68,54	-77,74	-34,70	-50,48	-68,52	-77,71	-44,33	-56,85	-56,79	-33,83	-52,24	-50,84	-59,21	-48,71	-50,84	-59,21	-48,71	-50,84	-59,21	-48,71	-48,71
42	-23,409583	-52,083139	213	24,410	-77,70	-49,00	-67,04	-66,28	-66,28	-48,91	-66,95	-76,14	-37,25	-56,18	-56,68	-36,94	-63,68	-49,86	-58,20	-49,86	-58,20	-49,86	-58,20	-49,86	-76,16	-76,16	
43	-23,641339	-52,086111																									