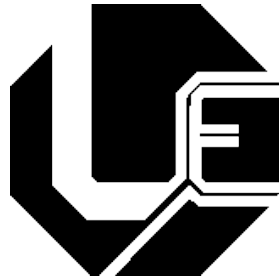


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**ANÁLISE DA QUALIDADE DA PROPAGAÇÃO DO SINAL UHF NA CIDADE
DE UBERLÂNDIA, UTILIZANDO OS MODELOS DE PROPAGAÇÃO ITU-R
P.1546, OKUMURA-HATA E LOG DISTÂNCIA.**

TIAGO NUNES SANTOS

UBERLÂNDIA

2016

TIAGO NUNES SANTOS

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA PROPAGAÇÃO DO SINAL UHF NA CIDADE
DE UBERLÂNDIA, UTILIZANDO OS MODELOS DE PROPAGAÇÃO ITU-R
P.1546, OKUMURA-HATA E LOG DISTÂNCIA.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia.

Área de concentração: Processamento Digital de Sinais.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Arantes Carrijo

UBERLÂNDIA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- S237a
2016 Santos, Tiago Nunes, 1987-
Análise da qualidade da propagação do sinal UHF na cidade de Uberlândia, utilizando os modelos de propagação ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log Distância / Tiago Nunes Santos. - 2016.
144 f. : il.
- Orientador: Gilberto Arantes Carrijo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.
1. Engenharia Elétrica - Teses. 2. Telecomunicação - Uberlândia (MG) - Teses. 3. Televisão digital - Teses. 4. Transmissão de imagem - Modelos - Teses. I. Carrijo, Gilberto Arantes, 1948-. II. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

TIAGO NUNES SANTOS

ANÁLISE DA QUALIDADE DA PROPAGAÇÃO DO SINAL UHF NA CIDADE DE UBERLÂNDIA, UTILIZANDO OS MODELOS DE PROPAGAÇÃO ITU-R P.1546, OKUMURA-HATA E LOG DISTÂNCIA.

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia.

Área de concentração: Processamento Digital de Sinais.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Arantes Carrijo

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gilberto Arantes Carrijo – UFU - Orientador

Prof. Dr. Alexandre Coutinho Mateus - UFU

Prof. Dr. Antônio Carlos Vilanova – IFMT

Uberlândia, 21 de março de 2016

*Dedico esse trabalho aos meus pais
por sempre estarem do meu lado
me apoiando.*

Agradecimentos

Primeiramente, devo agradecer a Deus que sempre me deu força, inteligência, competência e ânimo para conseguir completar todas as minhas jornadas.

Aos meus queridos afilhados, Andressa, Renan e Luis Felipe, pela compressão quando as vezes que não pude estar junto com vocês.

Aos meus familiares, pelo exemplo, força e incentivo constantes para a conquista do meu objetivo e, especialmente, pela compreensão nos momentos de ausência;

Ao Nélio Ladico, Luiz Gonzaga (muranga) e Eliseu muito obrigado por terem me ensinado muito nesses 4 anos que trabalhamos juntos. E você monte, sempre vou lembra de você ter me incentivado a fazer o mestrado.

Ao Roni, por disponibilizar de seu tempo para poder me ajudar nas coletas e emprestar o analisador de espectro.

Ao Leonardo, William, Rodrigo, Elisa que me ajudaram para a realização desse trabalho, muito obrigado.

Aos meus amigos do laboratório Rafa, Camila, Lorenço, pela amizade, pelos conselhos ao longo desse caminho, pelo conhecimento trocado e por terem me ajudado durante o desenvolvimento deste trabalho.

Especialmente, ao professor Carrijo pela orientação, apoio e a amizade.

A Cinara, por sempre está disposta a ajudar. Muito obrigado Cici.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Santos, Tiago Nunes; Gilberto Carrijo (orientador). **Análise da qualidade da propagação do sinal UHF na cidade de Uberlândia, utilizando os modelos de propagação ITU-R P.1546, OkumuraHata e Log Distância.** Uberlândia, 2016. 144p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia.

Com o advento de novas tecnologias, a TV aprimorou os processos de transmissão, passando do sinal analógico ao digital, trazendo grandes benefícios para os telespectadores desde a qualidade da imagem, do áudio 5.1, a interatividade, a existência de canais adjacentes, a múltipla programação e os dispositivos móveis. Todos estes benefícios são possíveis devido ao melhor aproveitamento do espectro e da tecnologia digital. No entanto, as emissoras de televisão no Brasil irão enfrentar muitos desafios para a implantação do sistema digital: terão que manter a abrangência do sinal analógico com a tecnologia digital; conservar a qualidade do sinal em diferentes pontos da cidade; ter uma boa recepção do sinal em ambientes fechados onde não se tem antena UHF externa, e uma recepção móvel com alta qualidade. Ademais, com o crescimento do setor de construção civil no Brasil ampliou-se a quantidade de obstáculos entre o transmissor e receptor. Assim, surgiram outras formas de interferência na propagação como reflexão, refração e espalhamento, ocasionadas principalmente pelo perfil do terreno, edificações e por outros obstáculos presentes no percurso. Nesse sentido, as emissoras têm de realizar levantamentos constantes da propagação do sinal para encontrar possíveis regiões de sombra na cidade, a fim de implantar repetidores de sinais na região. Outra análise que pode ser feita é a utilização de softwares de propagação capazes de plotar as manchas do sinal UHF e VHF com o intuito de escolher o melhor método de propagação a ser adotado para chegar a um modelo mais real/preciso. Com a transição da tecnologia analógica para digital e o desligamento do sinal analógico previsto para 2018 em Uberlândia será

necessário um estudo da qualidade do sinal da TV digital nesta cidade, com medições da intensidade do sinal digital em vários pontos do município e uma análise do projeto técnico com o valor medido em campo. Nesse sentido, esta dissertação tem como objetivo coletar dados de campo elétrico e potência elétrica do sinal de televisão digital terrestre em regiões urbanas de Uberlândia-MG, e, assim, realizar comparações dos valores medidos com os teóricos dos modelos de propagação ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância das emissoras de TV operante o sinal digital na cidade.

Palavras-chave: Propagação em UHF; TV digital; ITU-R P.1546; OkumuraHata; Log Distância;

Abstract

Santos, Tiago Nunes; Gilberto Carrijo (orientador). **Analysis of UHF signal propagation quality in the city of Uberlândia, using the propagation models ITU-R P.1546, OkumuraHata and Log Distância.** Uberlândia, 2016. 144p. Masters dissertation – Faculty of Electrical Engineering, Federal University of Uberlândia.

With the advent of new technologies, the TV had enhanced transmission processes, from analog signal to digital, bring great benefits to the viewers from the image quality, audio 5.1, interactivity, the presence of adjacent channels, multiple programming and mobile devices. All these benefits are possible due to better spectrum utilization and digital technology. However, television stations in Brazil will face many challenges in the implementation of digital system: will have to keep the scope of the analog signal with digital technology; keep signal quality at different points of the city; good signal reception indoors where there is no external antenna UHF, and mobile reception with high quality. Moreover, with the growth of the civil construction sector in Brazil has expanded the number of obstacles between the transmitter and receiver. Thus, there were other forms of interference in the spread as reflection, refraction and scattering, caused mainly by the terrain profile, buildings and other obstacles present on the route. Accordingly, the stations must make constant the signal propagation survey for possible shadow regions in the city, in order to implement signal repeaters in the region. Another analysis that can be done is to use spread software capable of plotting the spots of the UHF and VHF signal in order to choose the best propagation method to be adopted to reach a more realistic / accurate model. With the transition from analog to digital technology and the shutdown of the analog signal provided for 2018 in Uberlândia a study of the quality of the digital TV signal will be needed in this city, with measurements of the intensity of the digital signal in various city points and an analysis of the project technician with the measured value in the field. In this sense, this work aims to collect electric

field data and electrical power digital terrestrial television signal in urban areas of Uberlândia, Minas Gerais, and thus make comparisons of the measured values with the theoretical of propagation models ITU-R P .1546, Okumura-Hata and Log-Distância of operating TV stations the digital signal in the city.

Keywords: UHF Propagation; Digital TV; ITU-R P.1546; Okumura-Hata; Log Distância

Sumário

1 Introdução	22
2 Propagação de ondas	27
2.1 Introdução	27
2.2 Meios de Comunicações.....	28
2.3 Tipos de Propagação.....	29
2.3.1 Ondas de superfície.....	29
2.3.2 Ondas Ionosféricas.....	30
2.3.3 Ondas diretas ou de visada diretas.....	30
2.3.4 Ondas difratadas.....	31
2.3.5 Ondas espalhadas.....	31
2.4 Considerações finais deste Capítulo	32
3 Modelos de Propagação	33
3.1 ITU-R P.1546.....	33
3.1.1 Métodos de cálculo para a interpolação	37
3.1.1.1 Valor máximo da intensidade de campo.....	37
3.1.1.2 Interpolação da intensidade de campo em função da altura da antena transmissora.....	37
3.1.1.3 A interpolação de intensidade de campo como uma função da distância.....	38
3.1.1.4 Interpolações de intensidade de campo como em função da frequência.....	39
3.1.1.5 A interpolação de intensidade de campo como uma função do tempo percentagem	40
3.1.2 Procedimentos para a aplicação da ITU-R P.1546.....	41
3.2 Okumura-Hata.....	46
3.3 Log-Distância.....	52
3.4 Considerações finais deste Capítulo	53
4 Metodologia	54
4.1 Introdução	54
4.2 Definição dos pontos.....	54
4.3 Descrição do sistema de medição	57
4.4 Procedimentos de medição	60
4.5 Característica das estações.....	63
4.5.1 Emissora A – Canal 17 UHF.....	63

4.5.2 Emissora B – Canal 28 UHF	66
4.5.3 Emissora C – Canal 30 UHF	69
4.5.4 Emissora D – Canal 32 UHF	72
4.6 Resultados das medições	76
4.6.1 Emissora A	76
4.6.2 Emissora B	78
4.6.3 Emissora C	80
4.6.4 Emissora D	82
4.7 Análise dos dados	84
4.8 Considerações finais deste Capítulo	85
5 RESULTADOS	86
5.1 Intensidade e Potência do Sinal	86
5.2 Modelo ITU-R P.1546	91
5.2.1 Canal 17	92
5.2.2 Canal 28	93
5.2.3 Canal 30	94
5.2.4 Canal 32	95
5.3 OKUMURA-HATA	96
5.3.1 Canal 17	97
5.3.2 Canal 28	98
5.3.3 Canal 30	99
5.3.4 Canal 32	101
5.4 Log-Distância	103
5.4.1 Emissora A	103
5.4.2 Emissora B	109
5.4.3 Emissora C	118
5.4.4 Emissora D	127
5.5 Considerações finais deste capítulo	136
6 CONCLUSÃO	139
6.1 Considerações finais	139
6.2 Trabalhos futuros	140
7 Referências Bibliográficas	141
8 Apêndices	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sinal analógico. Fonte: [4].	23
Figura 2: Sinal digital. Fonte: [4].	24
Figura 3: Onda de superfície ou onda de solo (abaixo 2 MHz). Fonte: [7].	29
Figura 4: Ondas com reflexão ionosférica. Fonte: [7].	30
Figura 5: Onda em visada direta (acima de 30 MHz). Fonte: [7].	30
Figura 6: Propagação por difração (obstáculo gume de faca). Fonte: [7].	31
Figura 7: Propagação por espalhamento. Fonte: [7].	31
Figura 8: Curvas de 100 MHz. Fonte [12].	34
Figura 9: Curvas de 600 MHz. Fonte [12].	35
Figura 10: Curvas de 2000 MHz. Fonte [12].	36
Figura 11: Curvas para atenuação adicional média para áreas urbanas. Fonte [11].	47
Figura 12: Curvas para correção em função da frequência para áreas morfologia suburbana. Fonte [11].	47
Figura 13: Curva para encontrar o fator de ganho da antena. Fonte [11].	48
Figura 14: Curva para encontrar o fator de ganho de altura. Fonte [11].	48
Figura 15: Torres de transmissão das emissoras.	55
Figura 16: Ponto fixo.	55
Figura 17: Radiais de 15°.	56
Figura 18: Raios de 3km.	56
Figura 19: Pontos alocados.	57
Figura 20: Diagrama de transmissão.	58
Figura 21: Diagrama de recepção.	59
Figura 22: Telas do analisador de espectro.	60
Figura 23: Captura do ponto 63.	62
Figura 24: Diagrama de azimute da emissora A.	64
Figura 25: Diagrama de elevação da emissora A.	64
Figura 26: Foto da estação transmissora da emissora A.	65
Figura 27: Foto do transmissor da emissora A.	65
Figura 28: Diagrama de azimute horizontal da emissora B.	67
Figura 29: Diagrama de elevação da emissora B.	67
Figura 30: Torre da emissora B.	68
Figura 31: Transmissor emissora B.	68
Figura 32: Diagrama de azimute horizontal da emissora C.	70
Figura 33: Diagrama de azimute vertical da emissora C.	70
Figura 34: Diagrama de elevação da emissora C.	71
Figura 35: Torre da emissora C.	71
Figura 36: Transmissor emissora C.	72
Figura 37: Diagrama de azimute horizontal emissora D.	73
Figura 38: Diagrama de azimute vertical emissora D.	74
Figura 39: Diagrama de elevação emissora D.	74

Figura 40: Torre da emissora D	75
Figura 41: Transmissor emissora D	75
Figura 42: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 - Canal 17	92
Figura 43: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 em relação à distância - Emissora A.....	92
Figura 44: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 - Canal 28	93
Figura 45: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 em relação à distância - Emissora B.....	93
Figura 46: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 - Canal 30	94
Figura 47: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 em relação à distância - Emissora C.....	94
Figura 48: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 - Canal 32	95
Figura 49: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 em relação à distância - Emissora D.....	95
Figura 50: Comparação do campo medido com o modelo Okumura-Hata - Canal 17	97
Figura 51: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata em relação à distância - Emissora A.....	97
Figura 52: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata - Canal 28	98
Figura 53: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata em relação à distância - Emissora B.....	99
Figura 54: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata - Canal 30	99
Figura 55: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata em relação à distância - Emissora C.....	100
Figura 56: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata - Canal 32	101
Figura 57: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata em relação à distância - Emissora D.....	101
Figura 58: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2$ - Canal 17	103
Figura 59: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,25$ - Canal 17	104
Figura 60: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,5$ - Canal 17	104
Figura 61: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,75$ - Canal 17	105
Figura 62: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3$ - Canal 17	106
Figura 63: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,25$ - Canal 17	106
Figura 64: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,5$ - Canal 17	107
Figura 65: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,75$ - Canal 17	108

Figura 66: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=4$ - Canal 17	108
Figura 67: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2$ - Canal 28	109
Figura 68: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,25$ - Canal 28	110
Figura 69: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,5$ - Canal 28	111
Figura 70: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,75$ - Canal 28	112
Figura 71: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3$ - Canal 28	113
Figura 72: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,25$ - Canal 28	114
Figura 73: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,5$ - Canal 28	115
Figura 74: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,75$ - Canal 28	116
Figura 75: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=4$ - Canal 28	117
Figura 76: Comparação potência medida e o modelo Log-Distância $n=2$ - Canal 30	118
Figura 77: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,25$ - Canal 30	119
Figura 78: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,5$ - Canal 30	120
Figura 79: Comparação da potência medida com Log-Distância $n=2,75$ - Canal 30	121
Figura 80: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3$ - Canal 30	122
Figura 81: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,25$ - Canal 30	123
Figura 82: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,5$ - Canal 30	124
Figura 83: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,75$ - Canal 30	125
Figura 84: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=4$ - Canal 30	126
Figura 85: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2$ - Canal 32	127
Figura 86: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,25$ - Canal 32	128
Figura 87: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,5$ - Canal 32	129

Figura 88: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,75$ - Canal 32.....	130
Figura 89: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3$ - Canal 32.	131
Figura 90: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,25$ - Canal 32.....	132
Figura 91: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,5$ - Canal 32.....	133
Figura 92: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,75$ - Canal 32.....	134
Figura 93: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=4$ - Canal 32.	135

Lista de Tabelas

Tabela 1: Expoentes de perda de caminho para diferentes ambientes [11]	52
Tabela 2: Número de pontos medidos de cada emissora	76
Tabela 3: Lista de pontos medidos do canal 17	76
Tabela 4: Lista de pontos medidos do canal 28	78
Tabela 5: Lista de pontos medidos do canal 30	80
Tabela 6: Lista de pontos medidos do canal 32	82
Tabela 7: Comparativo das medidas de campo	86
Tabela 8: Medidas de campo da potência	88
Tabela 9: Comparação da média dos sinais	91
Tabela 10: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo ITU-R P.1546	92
Tabela 11: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo ITU-R P.1546	93
Tabela 12: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo ITU-R P.1546	94
Tabela 13: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo ITU-R P.1546	96
Tabela 14: Comparação entre os erros das emissoras modelo ITU-R P.1546	96
Tabela 15: Quantidade de pontos superior e abaixo do modelo ITU-R P.1546	96
Tabela 16: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Okumura-Hata	98
Tabela 17: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Okumura-Hata	99
Tabela 18: Erro e desvio padrão do canal 30, modelo Okumura-Hata	100
Tabela 19: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Okumura-Hata	102
Tabela 20: Comparação entre os erros e o desvio padrão para as emissoras modelo Okumura-Hata	102
Tabela 21: Quantidade de pontos superior e abaixo do modelo Okumura-Hata	102
Tabela 22: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância $n=2$	103
Tabela 23: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância $n=2,25$	104
Tabela 24: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância $n=2,5$	105
Tabela 25: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância $n=2,75$	105
Tabela 26: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância $n=3$	106
Tabela 27: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância $n=3,25$	107
Tabela 28: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância $n=3,5$	107
Tabela 29: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância $n=3,75$	108
Tabela 30: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância $n=4$	109
Tabela 31: Comparação dos erros e desvio padrão para o modelo Log-Distância – canal 17	109
Tabela 32: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=2$	110
Tabela 33: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=2,25$	110
Tabela 34: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=2,5$	111
Tabela 35: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=2,75$	112
Tabela 36: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=3$	113
Tabela 37: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=3,25$	114

Tabela 38: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=3,5$	115
Tabela 39: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=3,75$	116
Tabela 40: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=4$	117
Tabela 41: Comparação dos erros do modelo Log-Distância – Canal 28	117
Tabela 42: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=2$	118
Tabela 43: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=2,25$	119
Tabela 44: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=2,5$	120
Tabela 45: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=2,75$	121
Tabela 46: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=3$	122
Tabela 47: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=3,25$	123
Tabela 48: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=3,5$	124
Tabela 49: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=3,75$	125
Tabela 50: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=4$	126
Tabela 51: Comparação dos erros do modelo Log-Distância- canal 30	126
Tabela 52: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=2$	127
Tabela 53: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=2,25$	128
Tabela 54: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=2,5$	129
Tabela 55: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=2,75$	130
Tabela 56: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=3$	131
Tabela 57: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=3,25$	132
Tabela 58: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=3,5$	133
Tabela 59: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=3,75$	134
Tabela 60: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=4$	135
Tabela 61: Comparação dos erros do modelo Log-Distância para o canal 32	135
Tabela 62: Quantidade de pontos superior e abaixo do valor teórico - Log-Distância	136

Lista de Quadros

Quadro 1: Parâmetros de entrada do método passo-a-passo.....	41
Quadro 2: Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão A	63
Quadro 3: Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão B	66
Quadro 4: Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão C	69
Quadro 5: Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão D	73

Lista de Símbolos

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações
AO - Amplificadores Operacionais
BER - Bit Error Rate
CI - Circuitos Integrados
CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
DTV - Digital Television
ERP - Effective Radiated Power
FEC - Forward Error Correction
GPS - Global Positioning System
HCI - Altura do centro de irradiação da antena
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITU - International Telecommunications Union
ITU-R - International Telecommunications Union Radiocommunications
m - Metros
MC - Ministério das Comunicações
MER - Modulation Error Ratio
MHz - Megahertz
n - expoente de perda de Caminho
jpg - Joint Photographics Experts Group
Rx - Receptor
SBTVD - Sistema Brasileiro de TV Digital
TVD - Televisão Digital
TX - Transmissor
Rx - Receptor
UHF - Ultra High Frequency

UIT - União Internacional de Telecomunicações

VHF - Very High Frequency

1 Introdução

Em 3 de abril de 1950, na cidade de São Paulo, iniciou-se o processo de transmissão, no Brasil, do meio de comunicação que hoje está presente em 97% dos lares brasileiros: a televisão [1]. No início, as transmissões eram feitas em preto e branco, com imagens chuviscadas e áudio mono.

O advento de novas tecnologias aprimorou os processos de transmissão: houve a possibilidade de captura de imagens a cores, seja em estúdios, produções externas ou transmissões ao vivo. Além disso, a programação das emissoras e o conforto dos telespectadores também foram afetadas por tais melhorias, devido à qualidade das imagens geradas e ao áudio estéreo.

A primeira transmissão a cores no Brasil ocorreu na cidade de Porto Alegre, em 19 de fevereiro de 1972. Foi transmitida a Festa da Uva, na cidade de Caxias do Sul, pela TV Difusora [2].

O modelo analógico de transmissão de TV a cores e em preto e branco encontra diversos tipos de interferências, como desvanecimento e obstruções entre transmissor e receptor [3]. Esses fatores que impedem muitas vezes que o sinal resulte em uma boa qualidade de som e imagem.

Quando surgiu a TV em preto e branco no Brasil, já existia aparelhos a cores em outros países e suas respectivas transmissões eram compatíveis [2]. Dessa forma, entre 1950 a 1972, mesmo se o telespectador brasileiro possuísse um televisor a cores, ele só conseguia receber o sinal em preto e branco, pois essa era a tecnologia utilizada pelas emissoras da época. Já os donos de aparelhos em preto e branco poderiam continuar assistindo desse modo, mesmo após a tecnologia de transmissão ter passado a ser a cores.

Com a evolução da eletrônica e com os circuitos integrados (CI) e os amplificadores operacionais (AO), permitiu-se o surgimento da tecnologia digital. Pesquisadores dos Estados Unidos, Europa e Japão, começaram a desenvolver

pesquisas com CI e AO, incorporando-os aos aparelhos de televisão, possibilitou um novo cenário na TV – a TV Digital.

Nesse sentido, no dia 2 de dezembro de 2007, na cidade de São Paulo, foi iniciada a transmissão do sinal de TV digital no Brasil. Essa tecnologia veio substituir a analógica, com grandes diferenciais e desafios a serem enfrentados. Um desses diferenciais é a melhoria da qualidade da imagem e do som e a interatividade com o telespectador.

Dentre as diferenças entre as tecnologias analógica e digital, pode-se citar as seguintes: (a) a TV digital possui um sinal mais estável que a analógica, sem chuviscos na tela, ruído fantasma, interferências externas, chiados e cores borradas que aparecem no sinal analógico, como pode-se observar na Figura 1; (b) a qualidade do áudio 5.1 é superior ao estéreo; (c) possibilidade de a emissora enviar dados para os telespectadores (interatividade); (d) existência de canais adjacentes; (e) múltipla programação; (f) dispositivos móveis.



Figura 1: Sinal analógico. Fonte: [4].

Todas essas diferenças listadas para o sinal digital são possíveis devido ao melhor aproveitamento do espectro. A superioridade do sinal digital ao analógico é comprovada tendo em vista que possuem a mesma largura de faixa (6 MHz).

Desse modo, para que o telespectador possa utilizar dessas vantagens da TV digital, é necessário ter uma antena UHF externa de boa qualidade, que proporcione uma imagem nítida e clara na TV, conforme a Figura 2.



Figura 2: Sinal digital. Fonte: [4].

Pode-se antecipar que as emissoras de televisão no Brasil irão enfrentar muitos desafios para a implantação do sistema digital: terão que manter a abrangência do sinal analógico com a tecnologia digital; manter a qualidade do sinal em diferentes pontos da cidade; ter uma boa recepção do sinal em ambientes fechados onde não se tem antena UHF externa, e uma recepção móvel com alta qualidade.

No sinal digital a transmissão é feita através de envios de pacotes. Ao se enviar os pacotes de dados, pode ocorrer alguma interferência e a informação não chegar completa ao receptor. Caso isso aconteça, o receptor não consegue decodificar a informação e o telespectador não terá a imagem no seu aparelho televisivo e/ou a imagem permanecerá estática. Assim, o receptor irá solicitar o reenvio dos pacotes ao transmissor, que, por sua vez, reenviará os pacotes ao receptor para realização da decodificação da informação [5].

Nesse contexto, as emissoras passarão por transformações mais evidentes, buscando sempre manter a qualidade do sinal e a cobertura da região urbana.

Quando as emissoras de TV e rádio analógicas encontravam problemas de desvanecimento e obstruções, na maioria dos casos, esses podiam ser resolvidos com melhor posicionamento da antena transmissora e intensificação da potência irradiada. Hoje, no entanto, alterar a potência de transmissão não resolve o problema,

pois pode ocorrer aumento da intensidade dos sinais refletidos (multipercurso) em prédios, pontes e viadutos, causando um resultado pior [3].

Outras formas de interferência da propagação são: reflexão, refração e espalhamento, ocasionadas principalmente pelo perfil do terreno, edificações e por outros obstáculos presentes no percurso, fazendo com que o sinal seja redirecionado várias vezes, o que resulta no fenômeno conhecido como desvanecimento de multipercurso [6].

O crescimento do setor de construção civil no Brasil ampliou a quantidade de obstáculos e regiões de sombra entre transmissor e receptor. Desse modo, as emissoras de TV e Rádio têm de realizar levantamentos constantes da propagação do sinal para encontrar soluções que minimizem tais problemas, como a implantação de repetidores de sinal (*gap-fillers*). Esses repetidores são colocados onde há grande concentração de obstáculos e regiões de sombra, com o intuito replicar o sinal nessas áreas.

A necessidade de *gap-fillers* representa um custo extra, que poderia ser prevenido no momento do projeto, com a escolha de um transmissor com maior potência, a indicação de uma antena que apresente maior ganho, a utilização dos melhores cabos e conectores do mercado e o aumento da altura do centro de fase do sistema irradiante.

Uma ferramenta que auxilia o engenheiro projetista ao criar o projeto técnico, a fim de minimizar custos, é a utilização de softwares de propagação, capazes de plotar manchas do sinal UHF na região urbana.

Outra análise que pode ser feita com os softwares de propagação é a comparação das manchas dos sinais UHF e VHF, com o intuito de escolher o melhor método de propagação a ser adotado para chegar a um modelo mais real/preciso. Com isso, o engenheiro terá a capacidade de projetar a melhor solução do sistema de transmissão, de baixo custo e com maior qualidade do sistema de transmissão.

Após ser aprovado o projeto técnico no Ministério das Comunicações e implantado o sistema digital, é necessário realizar medições da intensidade do sinal digital em vários pontos da cidade e fazer uma análise do projeto técnico com o valor

medido em campo para, assim, identificar possíveis regiões de sombra e buscar soluções para essas regiões.

Com a modificação da tecnologia analógica para digital e o desligamento do sinal analógico previsto para 2018 em Uberlândia, será necessário um estudo da qualidade do sinal da TV digital de Uberlândia, sendo necessário realizar medições da intensidade do sinal digital em vários pontos da cidade e uma análise do projeto técnico com o valor medido em campo.

Esta dissertação tem como objetivo coletar dados de campo elétrico e potência elétrica do sinal de televisão digital terrestre em regiões urbanas na cidade de Uberlândia-MG, de acordo com as normas propostas na Resolução nº 67, de 12 de novembro de 1988 e, assim, realizar comparações dos valores medidos com os valores teóricos dos modelos de propagação ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância das emissoras de TV operante o sinal digital na cidade.

Em sequência a este capítulo introdutório, o segundo capítulo apresenta uma descrição resumida de propagação de onda; o capítulo três expõe brevemente a teoria dos modelos de propagação ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância utilizados nessa dissertação. No capítulo seguinte, serão apresentadas as quatro medições realizadas, a metodologia adotada para a definição dos pontos, a descrição do sistema de medição, as características técnicas das estações e os resultados encontrados do campo elétrico. No capítulo cinco, será exposto os resultados das simulações e uma análise estatística dos dados encontrados para cada emissora. O capítulo seis apresenta as conclusões da dissertação e traz os resultados finais com os modelos mais adequados para cada tipo de emissora e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 Propagação de ondas

2.1 Introdução

Ao se aplicar uma tensão nos terminais de uma antena, uma distribuição de tensões e correntes surge ao longo do fio da antena e uma quantidade de energia se propaga em torno do sistema irradiante. Essa energia se propaga através de ondas eletromagnéticas [7].

No espaço livre as ondas eletromagnéticas se propagam à velocidade da luz ($c=299.792,5 \text{ Km/s}$, aproximadamente $3 \times 10^8 \text{ m/s}$) [8].

Pode-se comparar a propagação de uma onda eletromagnética com uma propagação de uma onda determinada pela superfície de um lago. Há uma grande diferença no modo que a onda se propaga, de maneira longitudinal para uma onda na superfície do lago e transversalmente para a onda eletromagnética [7, 8].

Quando uma antena de transmissão está afastada de quaisquer obstruções, a onda eletromagnética transmitida pelo sistema de irradiação se propaga livremente e o meio de propagação é denominado espaço livre [9].

James Clerck Maxwell comprovou, em 1873, que toda antena irradia ou capta energia eletromagnética e as leis que governam tais propriedades são previstas por suas equações.

A maneira como os campos se orientam no espaço é conhecida por polarização. A polarização é definida em função do campo elétrico, ou seja, diz-se que a onda é horizontalmente polarizada quando o campo elétrico é paralelo à superfície da Terra e verticalmente polarizada quando o campo elétrico é perpendicular a esta. Outros tipos de polarização existentes são a polarização circular e elíptica [7, 8, 9,10].

A teoria de propagação de ondas eletromagnéticas tem como objetivo principal calcular a intensidade do campo eletromagnético emitido por uma antena

transmissora. A partir da realização do cálculo do campo elétrico pode-se estimar o valor da potência recebida pelo receptor [8].

As perdas sofridas pelas ondas no espaço livre ocorrem devido à dispersão da energia através do espaço. Existem outras causas de atenuação que podem afetar a comunicação por radiofrequência como chuva, neblina, nuvens, etc [7].

As ondas possuem um longo alcance quando se propagam no espaço com frequências mais baixas, pois quanto menor a frequência, maior é a facilidade de difração através de obstáculos. As ondas de baixa frequência possuem ainda outra vantagem: uma grande penetração nos meios condutores imperfeitos como a água e a terra [7].

Fatores como a presença de montanhas, prédios, íons, elétrons da ionosfera, gases que preenche a superfície da terra, arvore, viadutos entre outros podem influenciar na propagação de uma onda eletromagnética [8].

2.2 Meios de Comunicações

Existem diferentes meios de comunicação entre a transmissão e recepção em um sistema de comunicação. Os mais comuns são o espaço livre, troposfera, ionosfera, cabo coaxial, fibra óptica, par trançado, fita paralela. São utilizados para trafegar a informação ao receptor [10].

Será abordada nesta dissertação a comunicação no espaço, cujo meio utilizado é a atmosfera. Há no espaço três situações de propagação: no espaço livre, na troposfera e na ionosfera [7].

A troposfera é a camada adjacente à superfície terrestre e se estende até uma altitude de aproximadamente 11 Km. É composta por gases como oxigênio, nitrogênio e dióxido de carbono. O efeito causado na propagação de ondas de rádio é o da refração, o qual age na trajetória das ondas provocando o aumento da velocidade de propagação devido à elevação da altitude [8].

A ionosfera é a camada mais alta da atmosfera, se estendendo à altitude de 50 Km até 350 Km. É uma camada ionizada devido ao seu constante ataque por

partículas provenientes do Sol e de raios cósmicos. A composição da ionosfera varia com a hora, com a estação do ano e até mesmo com o nível de atividade solar. Durante o dia a incidência solar é maior, o que provoca o aumento da densidade eletrônica da ionosfera. Conseqüentemente durante à noite a densidade eletrônica da ionosfera é menor. Estas flutuações acontecem também devido à atividade solar, isto é, quanto maior for atividade solar maior será a densidade eletrônica [7, 8].

2.3 Tipos de Propagação

As ondas de rádio que se propagam na atmosfera podem ser classificadas de acordo com a frequência, alcance, atenuação, mas podemos classifica-las de acordo com a influência dos meios e obstáculos que estão ao longo da sua trajetória como ondas de superfície, ionosféricas, diretas, difratadas e espalhadas [8].

2.3.1 Ondas de superfície

As ondas de superfície aparecem em frequências mais baixas e se caracterizam por acompanhar a superfície da terra atingindo longas distâncias [7]. A Figura 3 ilustra como as ondas de superfície se propagam.

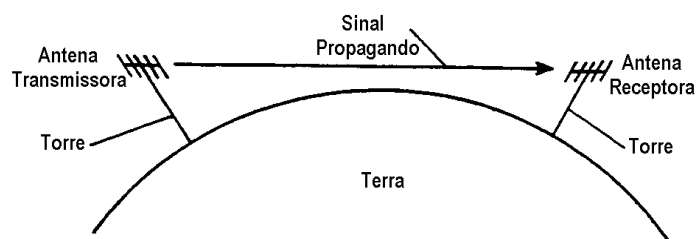


Figura 3: Onda de superfície ou onda de solo (abaixo 2 MHz). Fonte: [7].

2.3.2 Ondas Ionosféricas

Para frequências inferiores à 30 MHz as ondas de propagação serão refletidas e absorvidas pelas camadas D, E e F da ionosfera [4]. Já para as ondas superiores a 30 MHz, as ondas se propagam pela ionosfera [7]. A Figura 4 ilustra como as ondas ionosféricas se propagam.

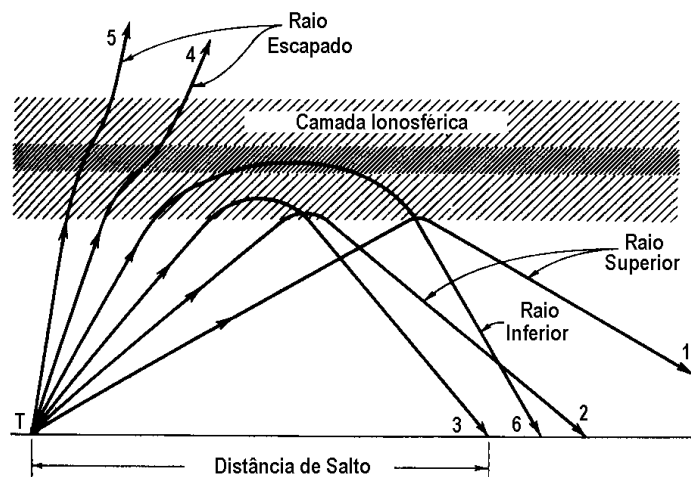


Figura 4: Ondas com reflexão ionosférica. Fonte: [7].

2.3.3 Ondas diretas ou de visada diretas

As ondas diretas se propagam em visada direta [7], como mostra a Figura 5.

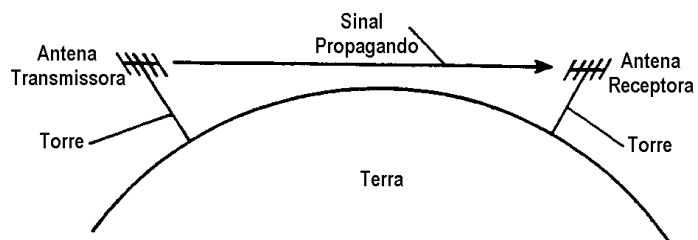


Figura 5: Onda em visada direta (acima de 30 MHz). Fonte: [7].

2.3.4 Ondas difratadas.

As ondas difratadas são aquelas que atingem antenas que não estão na visada direta e são explicadas pela teoria da difração de Fresnel [7]. A Figura 6 corresponde à propagação por difração.

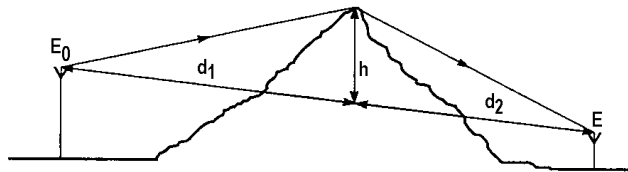


Figura 6: Propagação por difração (obstáculo gume de faca). Fonte: [7].

2.3.5 Ondas espalhadas

Na propagação por espalhamento as ondas eletromagnéticas atingem longas distâncias, efeito este que é explicado pelo espalhamento do sinal na ionosfera ou troposfera [7]. Na Figura 7 pode-se observar a propagação por espalhamento.

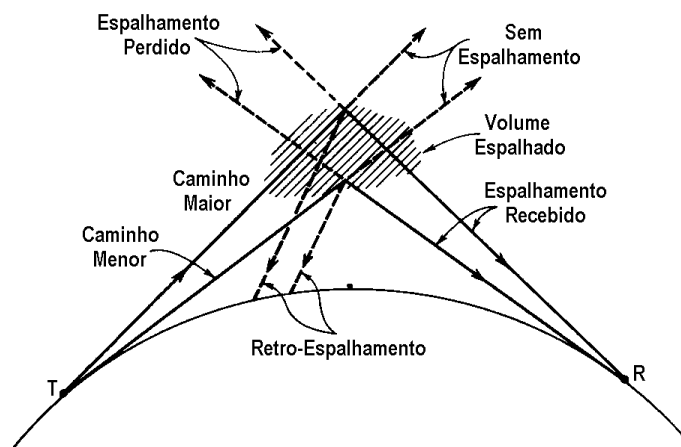


Figura 7: Propagação por espalhamento. Fonte: [7].

2.4 Considerações finais deste Capítulo

Neste capítulo foram abordadas as principais características de propagação de ondas, apresentando os conceitos fundamentais de ondas eletromagnéticas, a forma que a onda surge no sistema irradiante, a velocidade que a mesma se propaga e a maneira que o campo se orienta no espaço livre.

Na seção 2.2 foram definidos os meios de comunicações entre o transmissor e o receptor em um sistema de comunicação. Na seção 2.3 foram abordados os tipos de ondas de rádio que se propagam na atmosfera e a sua classificação.

3 Modelos de Propagação

3.1 ITU-R P.1546

A recomendação União Internacional de Telecomunicações (UTI/ITU) ITU-R P.1546 é o modelo de propagação que o ministério das comunicações (MC) e a Anatel utilizam como referência na confecção dos projetos de TV digital e analógica. O método também foi muito utilizado na confecção do plano básico de TV digital no Brasil, como o próprio relatório publicado pelo CPqD em 2003.

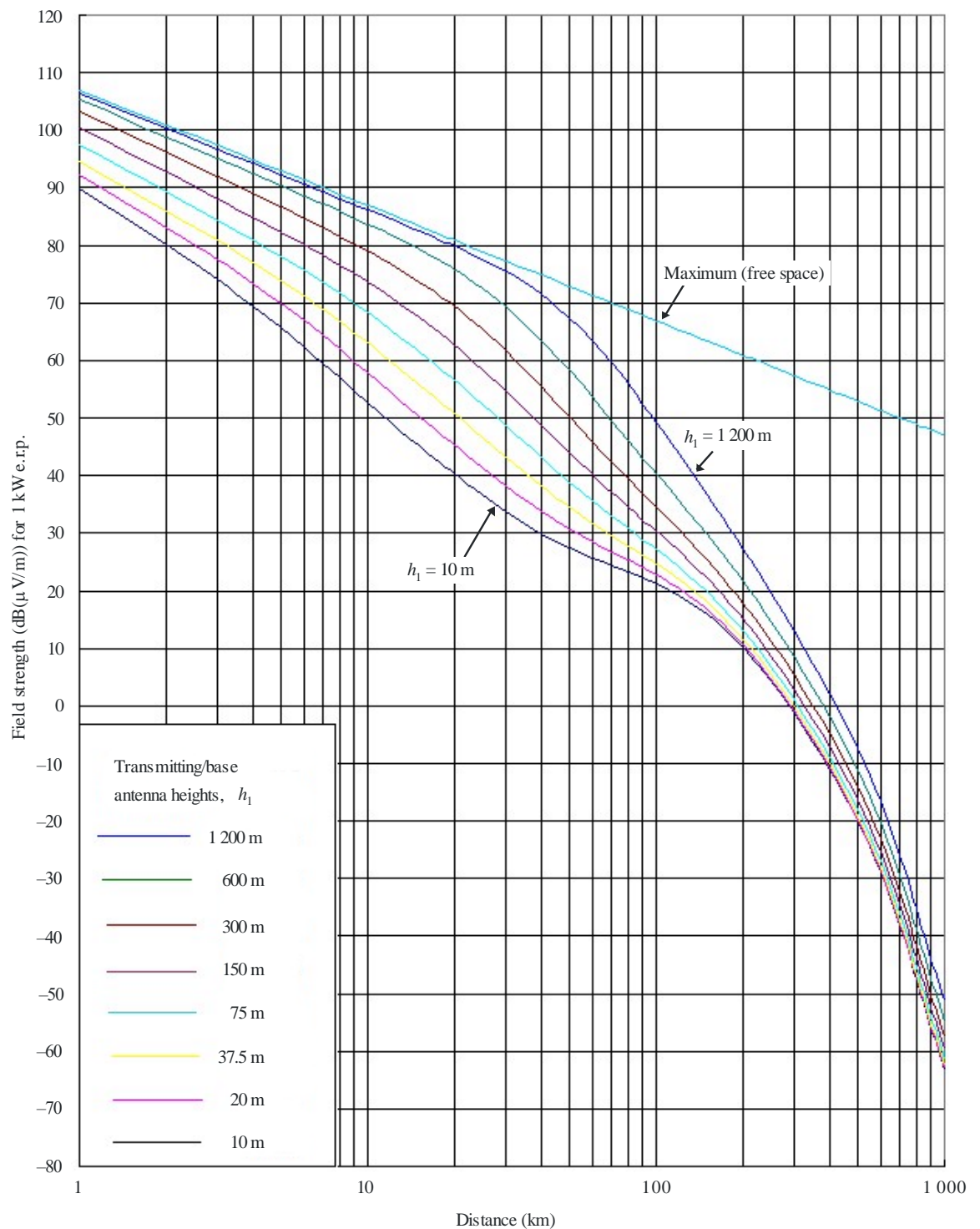
Esta recomendação é utilizada para predições ponto-área para os serviços terrestres na faixa de 30 MHz a 3000 MHz. A ITU-R P.1546 é usada para circuitos de rádio troposféricos sobre terra, mar ou caminhos mistos de até 1000 Km e para alturas de até 3000 m para a antena transmissora.

O método é baseado na interpolação/extrapolação a partir das curvas de intensidade de campo adquiridas empiricamente como funções de distância, altura da antena, frequência e tempo percentual. O procedimento de cálculo também inclui correções para os resultados obtidos a partir dos resultados da interpolação/extrapolação para explicar desobstrução do terreno e obstruções entorno da transmissão e da recepção.

A recomendação é composta por 8 anexos compostos de procedimentos para serem usados para a previsão de ponto-área da intensidade de campo para a transmissão na faixa de frequência de 30 a 3000 MHz e para distâncias de até 1000 Km. Os anexos estão divididos da seguinte maneira: o anexo 1 da recomendação apresenta uma explicação dos principais termos técnicos utilizados nos anexos seguintes. Os anexos 2, 3 e 4 refere-se as faixas de frequências de 30 a 300 MHz, 300 MHz a 1000 MHz, 1000 MHz a 3000 MHz.

Como podemos observar na Figura 8, Figura 9 e Figura 10, as curvas de intensidade de campo apresentam os valores para uma potência irradiada efetiva de

1 kW (e.r.p) nas frequências nominais de 100, 600 e 2000 MHz respectivamente, e com três porcentagens de tempo nominais 1, 10 e 50%.

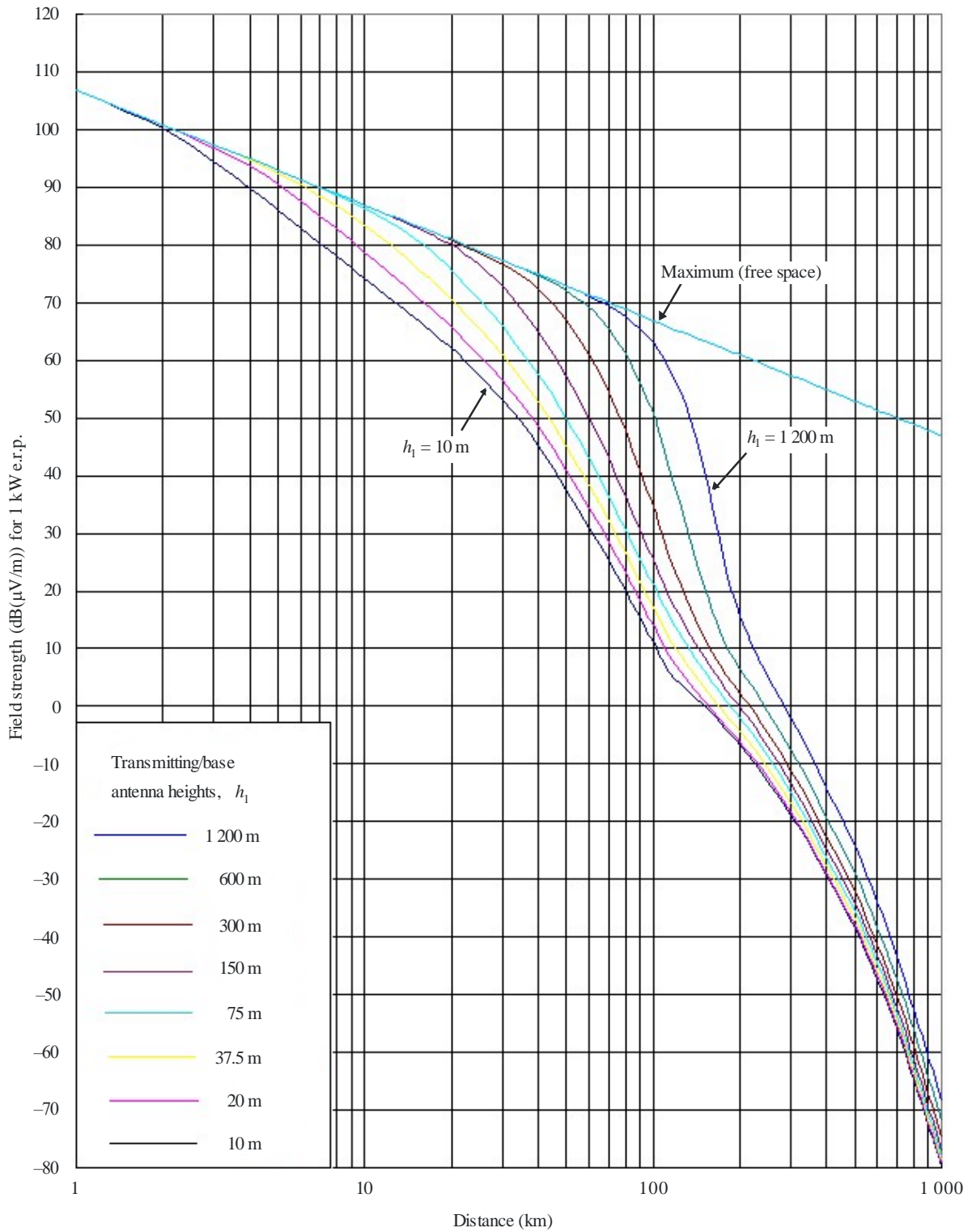


50% of locations

h_2 : representative clutter height

P.1546-02

Figura 8: Curvas de 100 MHz. Fonte [12].

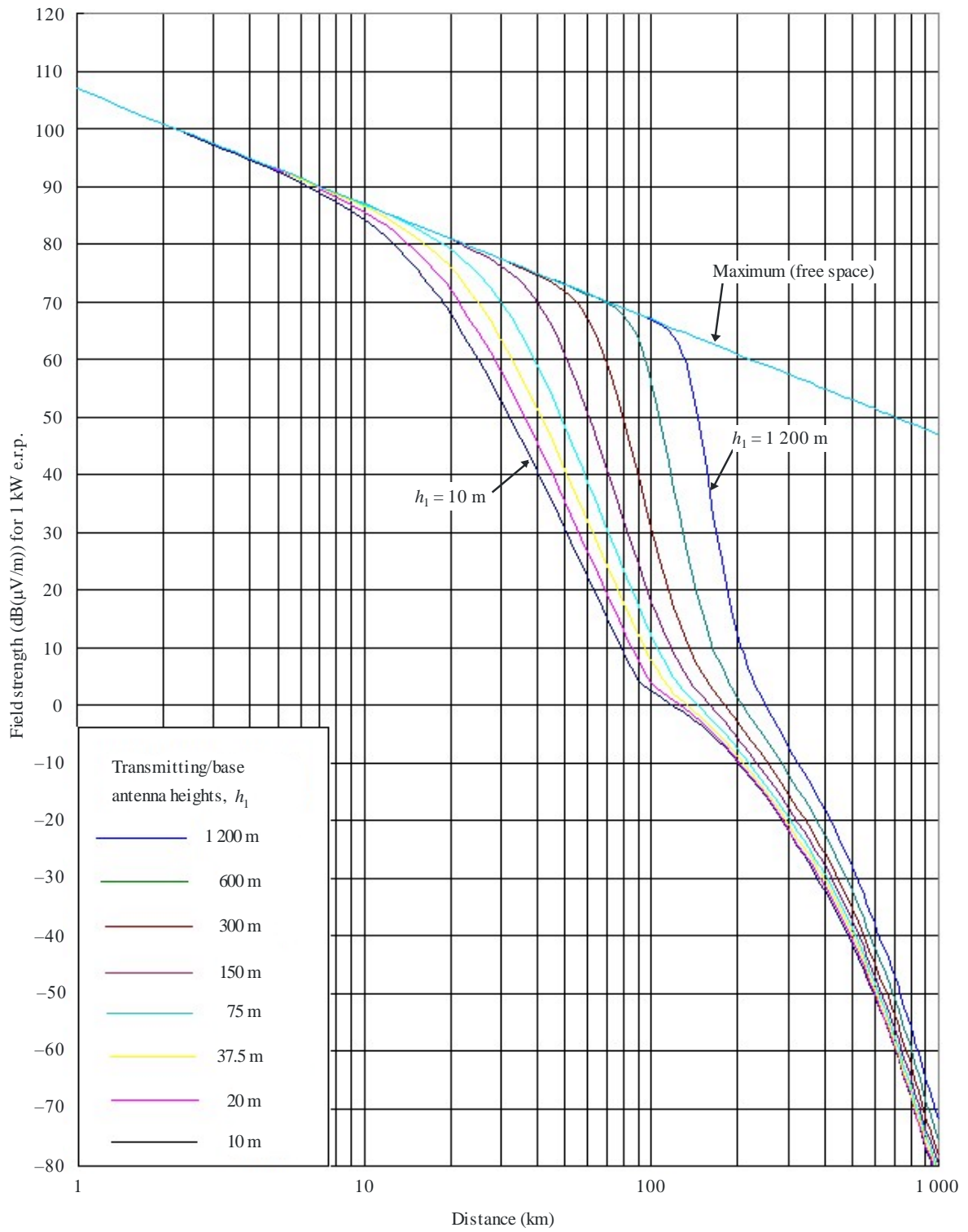


50% of locations

$h_2 = 10$ m

P.1546-12

Figura 9: Curvas de 600 MHz. Fonte [12].



50% of locations

$h_2 = 10 \text{ m}$

P.1546-20

Figura 10: Curvas de 2000 MHz. Fonte [12].

Além das curvas de intensidade de campo o site do ITU-R disponibiliza dados tabelados para download em planilhas digitais.

O anexo 5 da recomendação ITU-R P.1546 apresenta informações e métodos distintos para o cálculo, embora não necessariamente na ordem de cálculo. As seções 2 a 7 do referido anexo descrevem como a intensidade de campo são extraídos das curvas com interpolação para a distância, d , frequência e tempo percentual. Na seção 8 descreve como as forças do campo são combinados para um terreno misto (terra-mar). As seções 9 a 14 descrevem as correções adicionadas às previsões de intensidade de campo para a precisão adicional. Seção 15 descreve o método para caminhos mais curtos que 1 km. E nas seções 16 a 18 fornecem informações auxiliares.

O anexo 6 descreve passo a passo a implementação de uma maneira geral do método de previsão.

O anexo 7 proporciona ajuste para diferentes regiões climáticas e o anexo 8 apresenta uma comparação com o modelo de Okumura-Hata.

3.1.1 Métodos de cálculo para a interpolação

3.1.1.1 Valor máximo da intensidade de campo

Para encontrar o valor máximo E_{max} , a intensidade de campo não deve exceder o valor de $E_{fs} = E_{max}$, dado em (1).

$$E_{fs} = 106.9 - 20 \log(d) \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad \text{Equação 1}$$

3.1.1.2 Interpolação da intensidade de campo em função da altura da antena transmissora

Se o valor de $h1$ coincide com um valor de altura fornecido pelas curvas, isto é, 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 ou 1200 m, a intensidade de campo necessária pode ser obtida diretamente a partir das curvas traçadas ou das tabulações associadas.

Caso contrário, a intensidade de campo necessária deve ser interpolada ou extrapolada a partir das intensidades de campo obtidas a partir de duas curvas usando:

$$E = E_{inf} + \frac{(E_{sup}-E_{inf})\log\frac{h_1}{h_{inf}}}{\log\frac{h_{sup}}{h_{inf}}} \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

h_{inf} : 600 m se $h_1 > 1200$ m, caso contrário, a mais próxima altura nominal efetiva logo abaixo de h_1 ;

h_{sup} : 1200 m se $h_1 > 1200$ m, caso contrário, a mais próxima altura nominal efetiva logo acima de h_1 ;

E_{inf} : valor de intensidade de campo para h_{inf} , na distância necessária;

E_{sup} : valor de intensidade de campo para o campo-força para h_{sup} , na distância necessária.

A força do campo resultante da extrapolação para $h_1 > 1200$ m deve ser limitada, se necessário, de tal modo que não exceda o valor máximo definido no § 2.

Esta recomendação não é válida para $h_1 > 3000$ m.

3.1.1.3 A interpolação de intensidade de campo como uma função da distância

Não é necessário realizar interpolação com a distância se as intensidades de campo forem lidas diretamente a partir dos gráficos. Para melhor precisão e para uma implementação computacional, a intensidade de campo deve ser obtida a partir de valores tabelados. Neste caso, a menos que d coincida com uma das distâncias tabeladas, a intensidade de campo, E dB(μ V/m) deve ser linearmente interpolada para o logaritmo da distância usando se:

$$E = E_{inf} + \frac{(E_{sup}-E_{inf})\log\frac{d}{d_{inf}}}{\log\frac{d_{sup}}{d_{inf}}} \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

d : distância para a qual a previsão é desejada

d_{inf} : distância tabulação imediatamente inferior a d

d_{sup} : distância tabulação imediatamente superior a d

E_{inf} : valor da intensidade de campo para d_{inf}

E_{sup} : valor da intensidade de campo para d_{sup} .

Esta recomendação não é válida para valores de d maior que 1000 km.

3.1.1.4 Interpolações de intensidade de campo como em função da frequência

O valor da intensidade de campo para a frequência exigida deve ser obtido por interpolação entre os valores de frequência nominais de 100, 600 e 2000 MHz. Neste caso, para frequências abaixo de 100 MHz ou acima de 2000 MHz, a interpolação deve ser substituída por uma extrapolação a partir dos dois valores de frequência nominais mais próximos. Para a maioria dos percursos utiliza-se a interpolação ou extrapolação para o log (frequência).

Para percursos terrestres e marítimos onde a frequência exigida for maior do que 100 MHz, a intensidade de campo necessária (E) deve ser calculada usando:

$$E = E_{inf} + \frac{(E_{sup} - E_{inf}) \log \frac{f}{f_{inf}}}{\log \frac{f_{sup}}{f_{inf}}} \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

f : a frequência para a qual a previsão é exigida (MHz)

f_{inf} : menor frequência nominal (100 MHz se $f < 600$ MHz, 600 MHz de outra forma)

f_{sup} : maior frequência nominal (600 MHz se $f < 600$ MHz, 2 000 MHz em contrário)

E_{inf} : intensidade de campo para f_{inf}

E_{sup} : intensidade de campo para f_{sup}

3.1.1.5 A interpolação de intensidade de campo como uma função do tempo percentagem

Os valores da intensidade de campo para uma determinada porcentagem de tempo entre 1% e 50%, deve ser calculado por interpolação entre os valores nominais de 1% a 10% ou entre os valores nominais de 10% a 50% do tempo usando:

$$E = E_{sup} \frac{(Q_{inf}-Q_t)}{(Q_{inf}-Q_{sup})} + E_{inf} \frac{(Q_t-Q_{sup})}{(Q_{inf}-Q_{sup})} \text{ dB}(\mu V/m) \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

t : porcentagem de tempo para os quais é exigida a previsão

t_{inf} : menor tempo nominal percentual

t_{sup} : maior tempo nominal percentual

$$Q_t = Q_i \left(\frac{t}{100} \right)$$

$$Q_{inf} = Q_i \left(\frac{t_{inf}}{100} \right)$$

$$Q_{sup} = Q_i \left(\frac{t_{sup}}{100} \right)$$

E_{inf} : intensidade de campo para o tempo percentual t_{inf}

E_{sup} : intensidade de campo para o tempo percentual t_{sup}

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

Esta recomendação é válida para a intensidade de campo excedido, somente para tempos percentuais no intervalo de 1% a 50%. Extrapolação fora do intervalo de tempo de 1% a 50% não é válida.

Uma aproximação para funcionar $Q_i(x)$ é dada no § 16 da recomendação.

Os valores de distância utilizada nas tabelas de intensidade de campo da recomendação são 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, 375, 400, 425, 450, 475, 500, 525, 550, 575, 600, 625, 650, 675, 700, 725, 750, 775, 800, 825, 850, 875, 900, 925, 950, 975, 1000 km.

3.1.2 Procedimentos para a aplicação da ITU-R P.1546

O procedimento passo-a-passo que será apresentado a seguir destina-se a encontrar os valores da intensidade de campo ou das tabelas de distância disponíveis no ITU. O Quadro 1 contém uma lista de parâmetros de entrada mínima e seus limites.

Quadro 1: Parâmetros de entrada do método passo-a-passo.

Parâmetro	Unidades	Definição	Limites
f	MHz	Frequência de operação	30 - 3000 MHz
d	Km	Comprimento do percurso horizontal	< 1000 km
p	%	Porcentagem de tempo	1 - 50%
h1	M	Altura da antena transmissora / base.	Até 3000 m
ha	M	Altura da antena transmissora acima do solo.	> 1 m
hb	M	Altura da antena do transmissor sobre o nível médio do terreno medido entre 0,2d e d.	
h2	M	Altura da antena receptora	
R1	M	Altura da urbanização em torno do transmissor	
R2	M	Altura da urbanização em torno do receptor	
θ_{tca}	Graus	Ângulo de obstrução do terreno	
θ_{eff} θ_{eff1} θ_{eff2}	Graus	Ângulos de obstrução do terreno efetivos do transmissor/base	

Se a distância horizontal exigida for menor ou igual a 0,04 km, inicie no passo 17. Se a distância horizontal exigida for maior do que 0,04 km e menor que 1 km, os passos 1 ao 16 devem ser seguidas com d valendo 1 km, e os restantes passos devem

ser seguidos com d valendo a distância horizontal requerida inicialmente. Caso contrário, todos os passos devem ser seguidos com d valendo a distância requerida.

Passo 1: Determinar o tipo do percurso de propagação como: terra, mar frio ou mar quente. Se o percurso for misto, na ocasião, determinar dois tipos de caminho que serão considerados como primeiro e segundo tipos de propagação. Se o percurso pode ser representado por um único tipo, então, este é considerado como o primeiro tipo de propagação e o método para percursos mistos no Passo 11 não será necessário.

Passo 2: Para uma dada porcentagem de tempo (entre 1% a 50%) determinar duas porcentagens nominais de tempo da seguinte maneira:

$1 < p < 10$, as porcentagens de tempo nominais mais baixas e mais altas são 1 e 10, respectivamente;

$10 < p < 50$, as porcentagens de tempo nominais inferior e superior são 10 e 50, respectivamente;

Se a porcentagem de tempo exigida for igual a 1%, 10% ou 50%, este valor deve ser considerado como a porcentagem nominal inferior do processo e interpolação do Passo 10 não será necessário.

Passo 3: Para qualquer frequência desejada (na faixa de 30 a 3000 MHz), determinar duas frequências nominais como se segue:

Onde a frequência desejada < 600 MHz, as frequências nominais inferiores e superiores são 100 e 600 MHz, respectivamente;

Onde a frequência desejada > 600 MHz, as frequências nominais inferiores e superiores são 600 e 2000 MHz, respectivamente.

Se a frequência desejada for igual a 100, 600 ou 2000 MHz, este valor deve ser considerado como a frequência nominal inferior e o processo de interpolação/extrapolação do Passo 9 não é necessário.

Passo 4: Determinar as distâncias nominais inferiores e superiores da Quadro 1 mais próxima da distância requerida. Se a distância necessária coincide com um valor no Quadro 1, esta deve ser considerada como a distância nominal inferior e o processo de interpolação do Passo 8.1.5 não é necessária.

Passo 5: Para o primeiro tipo de propagação siga os passos de 6 a 11.

Passo 6: Para a porcentagem de tempo nominal inferior, siga os passos 7 a 10.

Passo 7: Para a frequência nominal inferior siga os passos 8 e 9.

Passo 8: Obter a intensidade de campo excedidos em 50% das localidades para uma antena receptora/móvel na altura R2, acima do solo para a distância requerida e para a altura da antena transmissora/base como segue:

Passo 8.1: Para uma altura de antena transmissora/base h_1 igual ou superior a 10 m, siga os passos 8.1.1 até 8.1.6:

Passo 8.1.1: Determinar os valores nominais superior e inferior de h_1 utilizando o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 4.1. Se h_1 coincide com um dos valores nominais de 10, 20, 37.5, 75, 150, 300, 600 ou 1200 m, esse valor deve ser considerado como o valor nominal inferior de h_1 e o processo de interpolação do Passo 8.1.6 não é necessário.

Passo 8.1.2: Para o valor nominal inferior de h_1 , siga para os passos 8.1.3 a 8.1.5.

Passo 8.1.3: Para o valor nominal inferior da distância siga o passo 8.1.4.

Passo 8.1.4: obter a intensidade de campo excedida em 50% das localidades para uma antena móvel de recepção na altura R2, para os valores requeridos de distância e altura da antena, h_1 .

Passo 8.1.5: Se a distância requerida não coincide com a distância nominal inferior, repita o Passo 8.1.4 para a distância nominal superior e interpolar as duas intensidades de campo para a distância utilizando o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 5.

Passo 8.1.6: Se a altura da antena transmissora/base, h_1 , não coincide com um dos valores nominais, repita os passos 8.1.3 a 8.1.5 e interpolar/extrapolar para h_1 , utilizando o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 4.1. Se for necessário limite o resultado ao máximo apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 2.

Passo 8.2: Para uma antena transmissora/base de altura h_1 menor ou igual a 10 m, determinar a intensidade de campo usando o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 4.2. Se h_1 é menor que zero, o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 4.3 também deve ser usado.

Passo 9: Se a frequência exigida não coincide com a frequência nominal inferior, repita o Passo 8 para a frequência nominal superior e interpolar/extrapolar as duas intensidades de campo, utilizando o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 6. Se necessário limitar o resultado à máxima intensidade de campo como apresentado no anexo 5 da recomendação, § 2.

Passo 10: Se a porcentagem de tempo exigida não coincide com a menor porcentagem de tempo nominal, repita os passos 7 a 9 para a porcentagem de tempo nominal superior e interpolar as duas intensidades de campo, utilizando o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 7.

Passo 11: Se a predição é para um caminho misto, siga o procedimento passo a passo apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 8. Isso requer o uso dos passos 6 até 10 para caminhos de cada tipo de propagação. Observe que, se diferentes partes do caminho forem classificadas como mar frio e quente, todas as partes do mar devem ser classificadas como mar quente.

Passo 12: Se houver informação sobre o ângulo de desobstrução do terreno na antena receptora/móvel adjacente a terra disponível, corrigir a intensidade de campo no receptor usando o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 11.

Passo 13: Calcule a força de campo estimada devido ao espalhamento troposférico usando o método apresentado no Anexo 5 da recomendação § 13, e tomar o valor máximo entre E e E_{ts} .

Passo 14: Corrija a intensidade de campo no receptor para uma altura da antena receptora/móvel h_2 usando o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 9.

Passo 15: Se houver urbanização ao redor do terminal transmissor, usar o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 10.

Passo 16: Aplique a correção de inclinação apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 14.

Passo 17: Anexo 5 da recomendação, § 15, dá mostra um método para caminhos menores que 1 km.

Passo 18: Se for necessária uma intensidade de campo excedida numa porcentagem de localidades diferente de 50%, corrigir a intensidade de campo para a porcentagem de localidades desejada utilizando o método apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 12.

Passo 19: Se necessário, limitar a intensidade de campo resultante ao valor máximo apresentado no Anexo 5 da recomendação, § 2. Se um cálculo caminho misto tem sido feito por um percentual de tempo inferior a 50%, será necessário calcular a intensidade de campo máxima por linear interpolação entre os valores da terra e do mar. Isto é dado por:

$$E_{max} = E_{fs} + d_s E_{se} / d_{total} \text{ dB } (\mu\text{V/m}) \text{ Equação 6}$$

Onde:

$$E_{fs}$$

$$d_{total}$$

Passo

3.2

Para

Na cidade de Tóquio no Japão em 1968, Okumura aferiu-se várias medições da intensidade do sinal UHF, resultando em um conjunto de resultados empíricos em ambientes urbanos, o qual transformou esses resultados em uma série de tabelas e gráficos de curvas nas bandas de 150 MHz e 1920 MHz, esses gráficos e tabelas simulam a intensidade do sinal recebido variando conforme a distância, como pode

ser visto na **Figura 11**, **Figura 12**, **Figura 13** e **Figura 14** . Os dados encontrados nos gráficos e tabelas do modelo de Okumura são valores mediano da intensidade do campo em dB. A forma que Okumura definiu o método foi na introdução de correções, obtidas graficamente sobre o valor da atenuação do espaço livre. A expressão matemática que pode expressar o modelo pode ser vista pela a $LdB = L_{bf} + A(f, d) - G_{area}(f, morf) - G_T(h_{Te}, d) - G_R(h_R, d)$ **Equação 7**.

$$L(dB) = L_{bf} + A(f, d) - G_{area}(f, morf) - G_T(h_{Te}, d) - G_R(h_R, d) \text{ **Equação 7**}$$

Para $1 \leq d \leq 100$ Km e $100 < f < 3000$ MHz

Onde:

$L(dB)$ é o valor mediano da perda no caminho de propagação

L_{bf} é a perda de propagação no espaço livre

$A(f, d)$ Atenuação adicional média para áreas urbanas, com alturas efetiva da antena transmissora de 200 m e a receptora de 3m

$G_{area}(f, morf)$ é uma correção em função da frequência para áreas morfologia suburbana

$G_T(h_{Te}, d)$ e $G_R(h_R, d)$ fatores de correções para antenas de transmissão e recepção com alturas diferentes das de referência do modelo

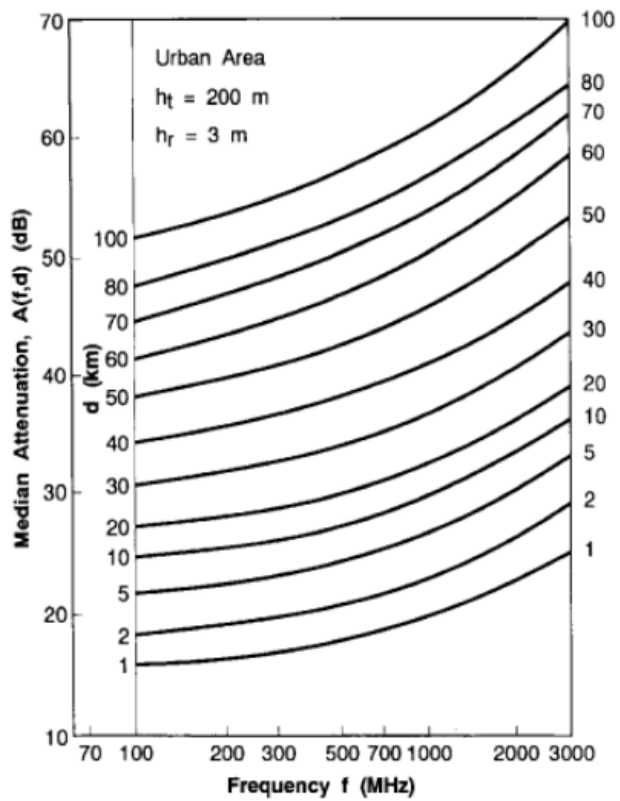


Figura 11: Curvas para atenuação adicional média para áreas urbanas. Fonte [11].

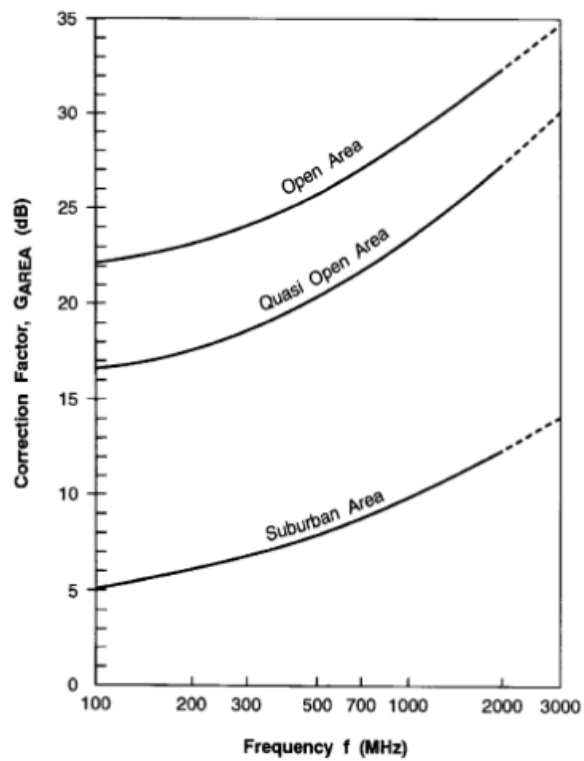
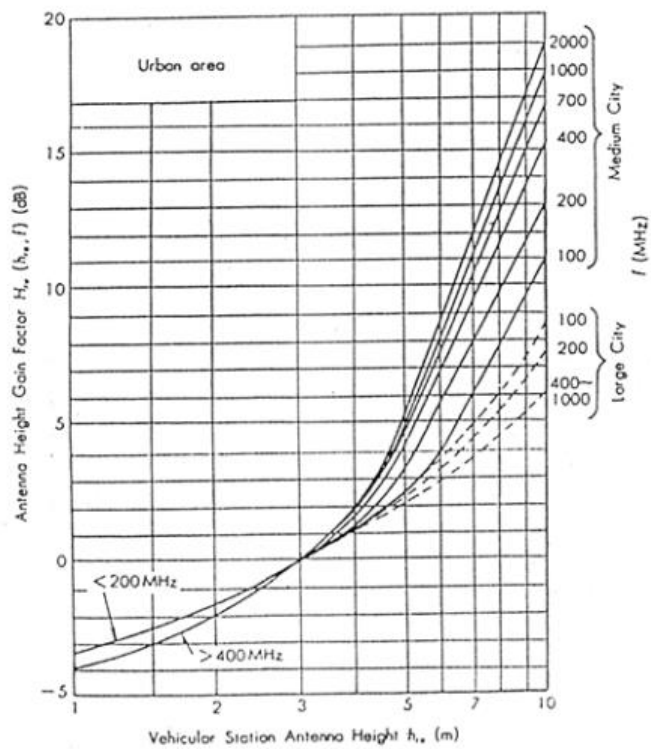
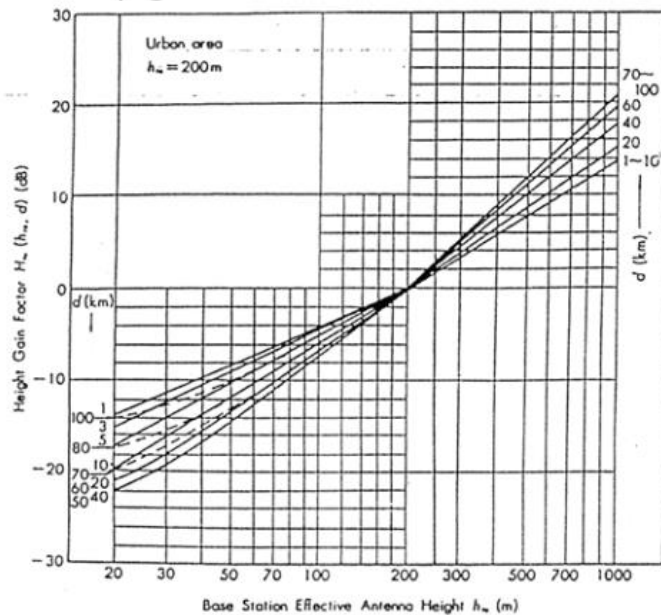


Figura 12: Curvas para correção em função da frequência para áreas morfologia suburbana. Fonte [11].



Prediction curves for vehicular antenna height gain factor in urban area.

Figura 13: Curva para encontrar o fator de ganho da antena. Fonte [11].



Prediction curves for base station antenna height gain factor referred to $h_{ue} = 200$ m, as a function of distance.

Figura 14: Curva para encontrar o fator de ganho de altura. Fonte [11].

Segundo Rappaport, 2009, os desvios padrão comuns entre os valores previsto e medido da perda no caminho estão em torno de 10 dB a 14 dB. Por ser muito complexo devido aos gráficos e tabelas, o modelo de okumura não e muito usado no dia a dia [11].

Em 1980 Hata aprimorou-se o modelo de okumura através de ferramentas computacionais traduzindo os gráficos e tabelas de okumura em expressões matemáticas. O modelo de Hata, foi criado para áreas urbanas em cidades grandes, pequenas e médias, como também para áreas suburbanas [11].

A forma estabelecida que Hata encontrou para apresentar a perda de propagação em área urbana foi definindo pela a $L(dB) = A + B \log(d)$ **Equação 8**. Como o modelo de Hata pode ser utilizado para outras áreas, definiu-se equações de correção para áreas suburbanas e rurais [11].

$$L(dB) = A + B \log(d) \text{ **Equação 8**}$$

$$A = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_M) \text{ **Equação 9**}$$

$$B = 44,9 - 6,55 \log(h_b) \text{ **Equação 10**}$$

$$a(h_M) = [1,1 \log(f) - 0,7] * h_M - [1,56 \log(f) - 0,8] \text{ **Equação 11**}$$

Onde:

f: é a frequência em MHz

h_b : altura da antena transmissora

h_M : altura da antena receptora

$a(h_M)$: representa o fator de correção dos ambientes

L = atenuação em dB

f = frequência em MHz ($150 \leq f \leq 1500$ MHz)

d = distância em Km ($1 \text{ km} \leq d \leq 20 \text{ Km}$)

ht = altura do transmissor em metros ($30 \text{ m} \leq ht \leq 200 \text{ m}$)

a(hr) = fator de correção em dB

hr = altura do receptor em metros ($1 \text{ m} \leq hr \leq 10 \text{ m}$)

O fator de correção para cidades pequenas e dado por:

$$a(h_r) = (1,1 \log f - 0,7) h_r - (1,56 \log f - 0,8) \text{ Equação 12}$$

O fator de correção para cidades grandes é dado por:

Para $f \leq 300$ MHz o fator e dado por:

$$a(h_r) = 8,29 (\log 1,54 * h_r)^2 - 1,1 \text{ Equação 13}$$

Para $f \geq 300$ MHz o fator e dado por:

$$a(h_r) = 3,2 (\log 11,75 * h_r)^2 - 4,97 \text{ Equação 14}$$

Já para suburbanas e rurais e necessário modificar-se a equação 8 para área urbana para obter a perda de propagação conforme as equações 15 e 16.

$$L_{suburbana} = L_{urbana} - 2 [\log(\frac{f}{29})]^2 - 5,4 \text{ Equação 15}$$

$$L_{rural} = L_{urbana} - 4,78 (\log f)^2 + 18,33 \log f - 40,94 \text{ Equação 16}$$

Em diferentes literaturas encontrar valores diferentes das equações do modelo de Hata devido a quantidade de casas decimais utilizados. Como o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) utiliza o modelo ITU-R P.1546 [12], a equação que será adotada para realização dos cálculos será a do anexo 8 da recomendação internacional, apresentada pela equação 17.

$$E = 69,82 - 6,16 \log f + 13,82 \log H_1 + a(H_2) - (44,9 - 6,55 \log H_1)(\log d)^b \text{ Equação 17}$$

Onde:

E: é a força campo (dB(μ V/m)) para 1 kW e.r.p

f: é a frequência (MHz)

H1: altura da antena transmissora acima do solo no intervalo de 30 a 200 m da estação base.

H2: altura da antena receptora acima do solo no intervalo de 1 a 10 m.

$$a(H_2) = (1,1 \log f - 0,7)H_2 - (1,56 \log f - 0,8) \text{ Equação 18}$$

$$b = 1 \text{ para } d \leq 20 \text{ km}$$

$$b = 1 + (0,14 + 0,000187f + 0,00107 H'_1)(\log[0,5d])^{0,8} \text{ para } d > 20 \text{ km}$$

$$H'_1 = \frac{H_1}{\sqrt{1+0,000007 H_1^2}}$$

3.3 Log-Distância

Segundo Rappaport, a potência média do sinal recebido diminui logaritmicamente com a distância, conforme comprovado pelos os modelos de propagação baseados em medições, os quais estão sendo muito utilizado na literatura.

A perda de caminho média em grande escala entre o transmissor e o receptor em um espaço qualquer é expressa como uma função da distância usando um expoente de perda de caminho, n. [11]

$$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \text{ Equação 19}$$

Onde:

n: é o expoente de perda de caminho que indica a velocidade com a qual essa perda aumenta com relação à distância;

d_0 : é a distância de referência próxima que é determinada pelas medições perto do transmissor

d: é a distância de separação do transmissor - receptor.

O valor de n depende do ambiente de propagação, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Expoentes de perda de caminho para diferentes ambientes [11]

Ambiente	Expoente de perda de caminho, n
Espaço livre	2
Rádio-celular em área urbana	2,7 a 3,5
Rádio-celular urbano sombreado	3 a 5
Na linha de visão do prédio	1,6 a 1,8
Obstruído no prédio	4 a 6
Obstruído em fábricas	2 a 3

3.4 Considerações finais deste Capítulo

Neste capítulo foram apresentados os modelos de propagação ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância. Na seção 3.1 foi descrita a recomendação ITU-R P.1546, detalhando os procedimentos de cálculo para a definição do valor da intensidade de campo para um determinado ponto/área. Na seção 3.2 foi exposto o modelo de Okumura-Hata e na seção 3.3 o modelo de propagação Log-Distância.

4 Metodologia

4.1 Introdução

Neste capítulo serão descritos os procedimentos para realização das coletas e a maneira utilizada para processamento dos dados adquiridos. Ressalte-se que foram considerados os resultados de 4 campanhas de medições.

4.2 Definição dos pontos

Durante os meses de maio a outubro de 2015, na cidade de Uberlândia, foram realizadas as medidas de campo elétrico e potência dos sinais de TV digital com o objetivo de verificar a qualidade do sinal digital em diversos pontos de recepção dentro da área de cobertura das principais emissoras operantes com este sistema.

Para realizar estas medidas foi necessário fazer um levantamento de quais emissoras de TV já estavam operando no sistema digital em Uberlândia. A partir desses dados foi constatado 6 emissoras que já transmitem o sinal UHF na cidade. Dessas, optou-se por 4 para realizar a análise, denominadas neste trabalho de A, B, C e D.

A Figura 15 mostra a região do bairro Umuarama e Alto Umuarama, localizada na zona leste da cidade de Uberlândia, onde se encontram as torres de transmissão das emissoras.

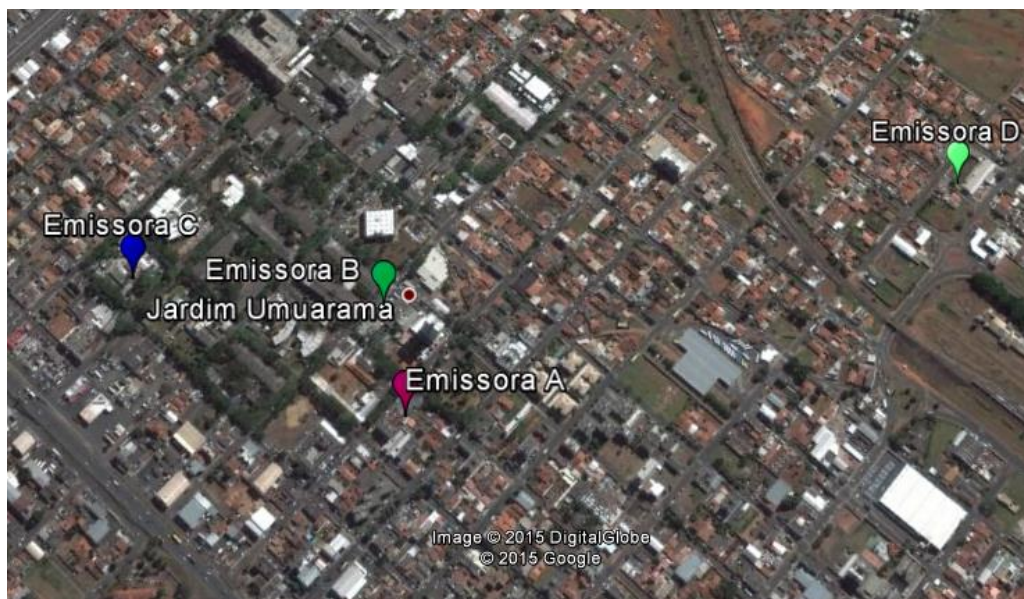


Figura 15: Torres de transmissão das emissoras.

Considerando as localizações das torres de transmissão, foi definido como ponto central a emissora C, a partir do qual foram traçadas radiais a cada 15 graus e realizadas coletas nos contornos de 3 km, 6 km, 9 km, 12 km, 15 km e 18 km. A Figura 16, bem como a Figura 17 e a Figura 18 podem ilustrar esse procedimento.

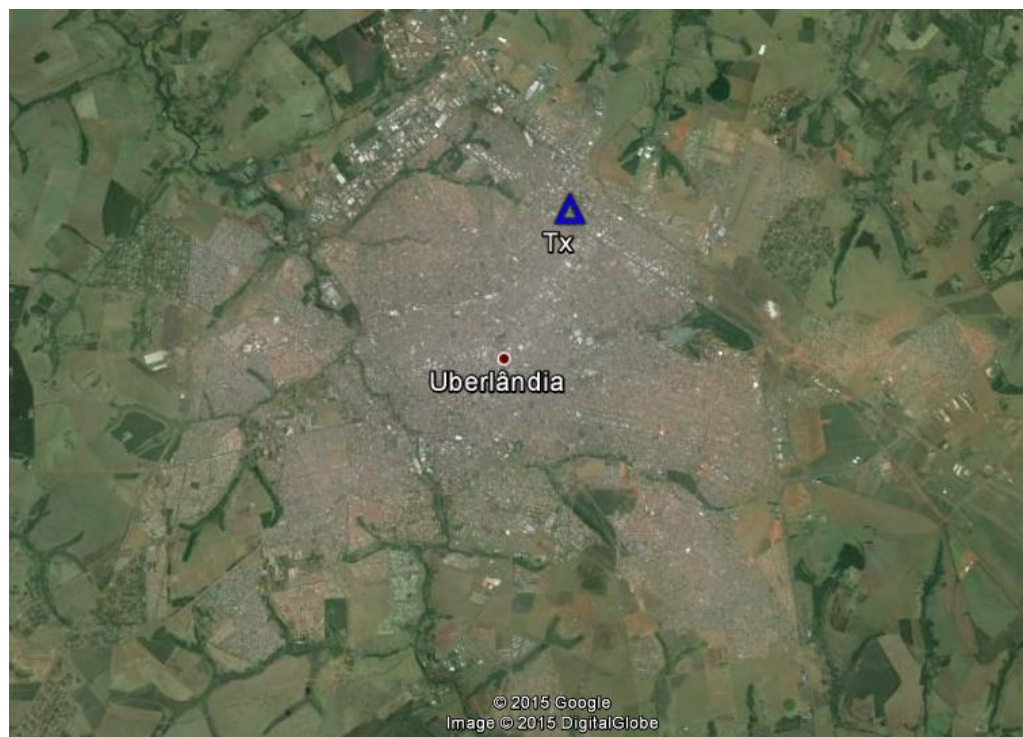


Figura 16: Ponto fixo

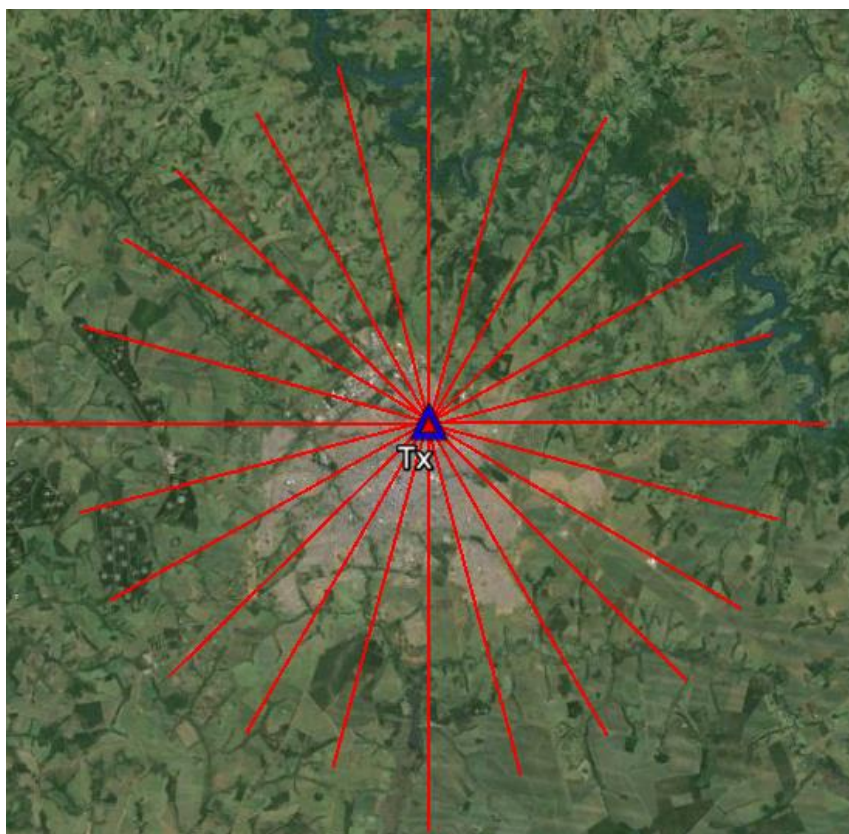


Figura 17: Radiais de 15°

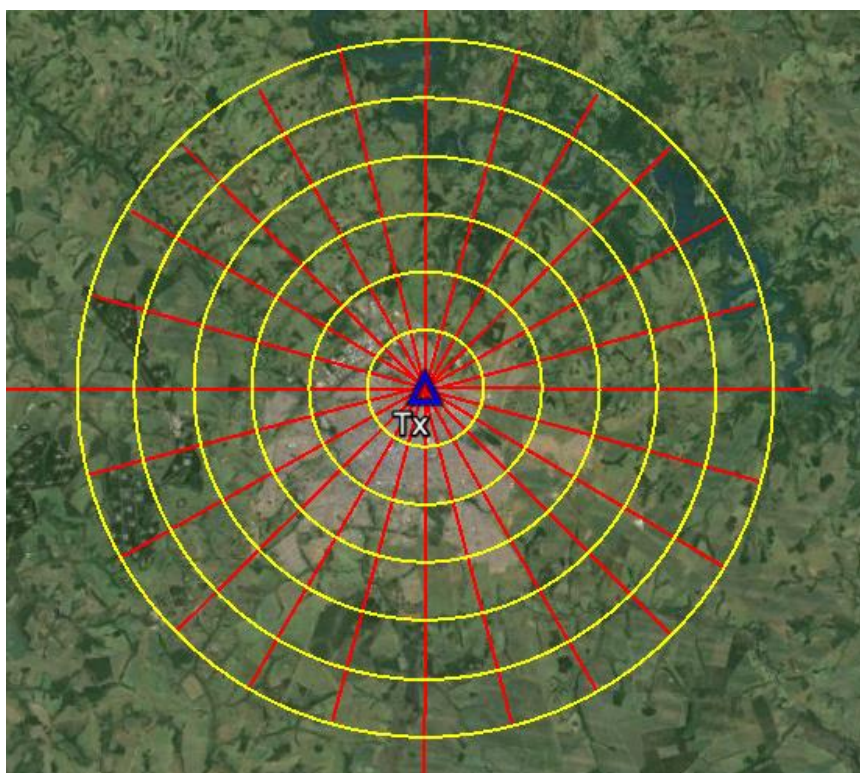


Figura 18: Raios de 3km

A intersecção das 24 retas e dos 6 círculos na Figura 18 informa a localização dos pontos dos quais os dados foram coletados. Pode-se observar que dos 144 pontos, a maioria está localizada na zona rural, em locais de difícil acesso. Dessa forma, para análise da área urbana, foram desprezados os pontos que se encontram na zona rural. Com isso, têm-se um total de 63 pontos a serem medidos para cada emissora como apresentado na Figura 19.

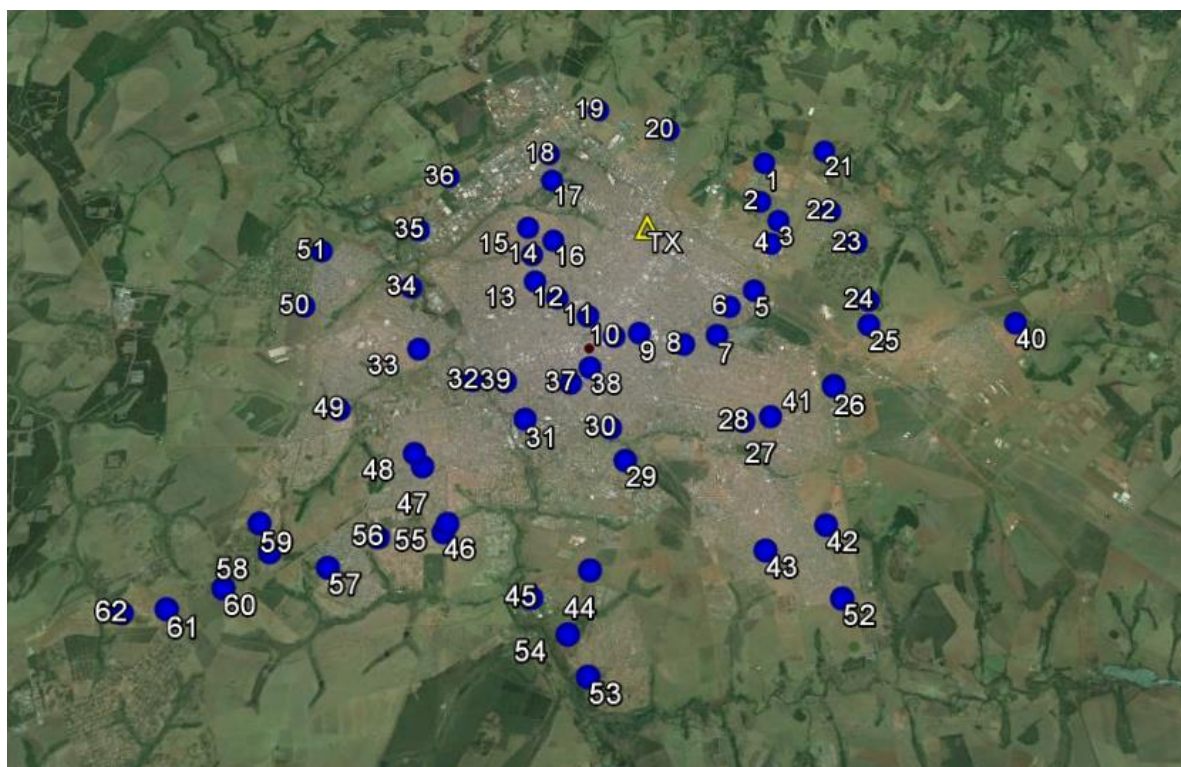


Figura 19: Pontos alocados

Observando a Figura 18 verifica-se que a disposição dos pontos não está de acordo com a Figura 19, pois a maioria deles não tinha fácil acesso de deslocamento, e por isso optou-se em coletar as informações em lugar mais próximo do ponto inicialmente definido.

4.3 Descrição do sistema de medição

Para a realização das leituras dos sinais foi considerado o setup de transmissão em UHF das estações transmissoras de TV Digital das emissoras A, B, C e D, que

estão localizadas na região Leste da cidade de Uberlândia, além de ser criado um *setup* para o sistema de recepção.

O *setup* de transmissão é composto por um sistema irradiante, uma linha de transmissão e um transmissor, o qual é responsável pela emissão do sinal eletromagnético pelas quatro estações transmissoras que operam na faixa de UHF, conforme Figura 20.

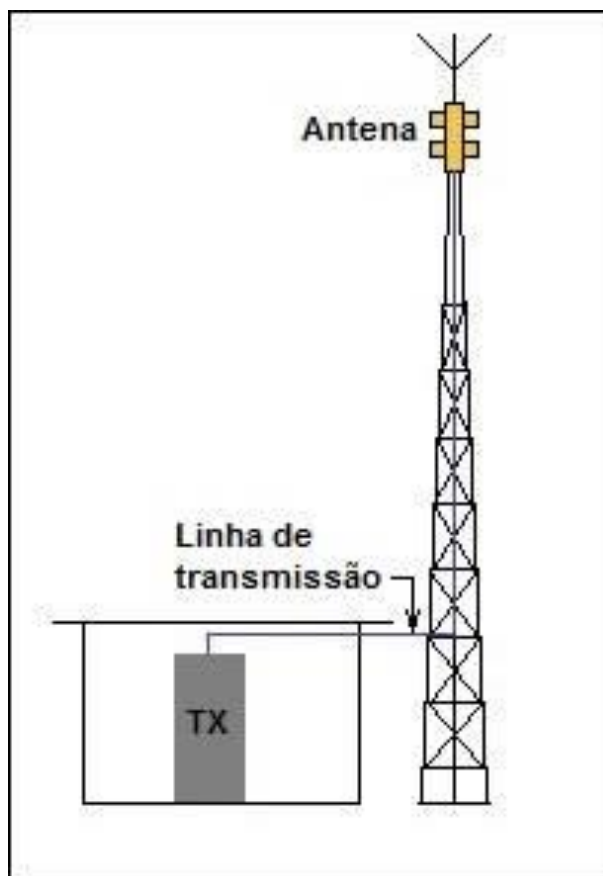


Figura 20: Diagrama de transmissão

O segundo *setup* é composto por um analisador espectral ANRITSU (modelo MT8212E), uma antena dipolo ANRITSU CORP (modelo MP651A) acoplada por meio de um cabo coaxial (modelo ANRITSU MP 534A) e a um aparelho de Global Positioning System (GPS), sendo que este determinou a localização exata da coleta, conforme a Figura 21.

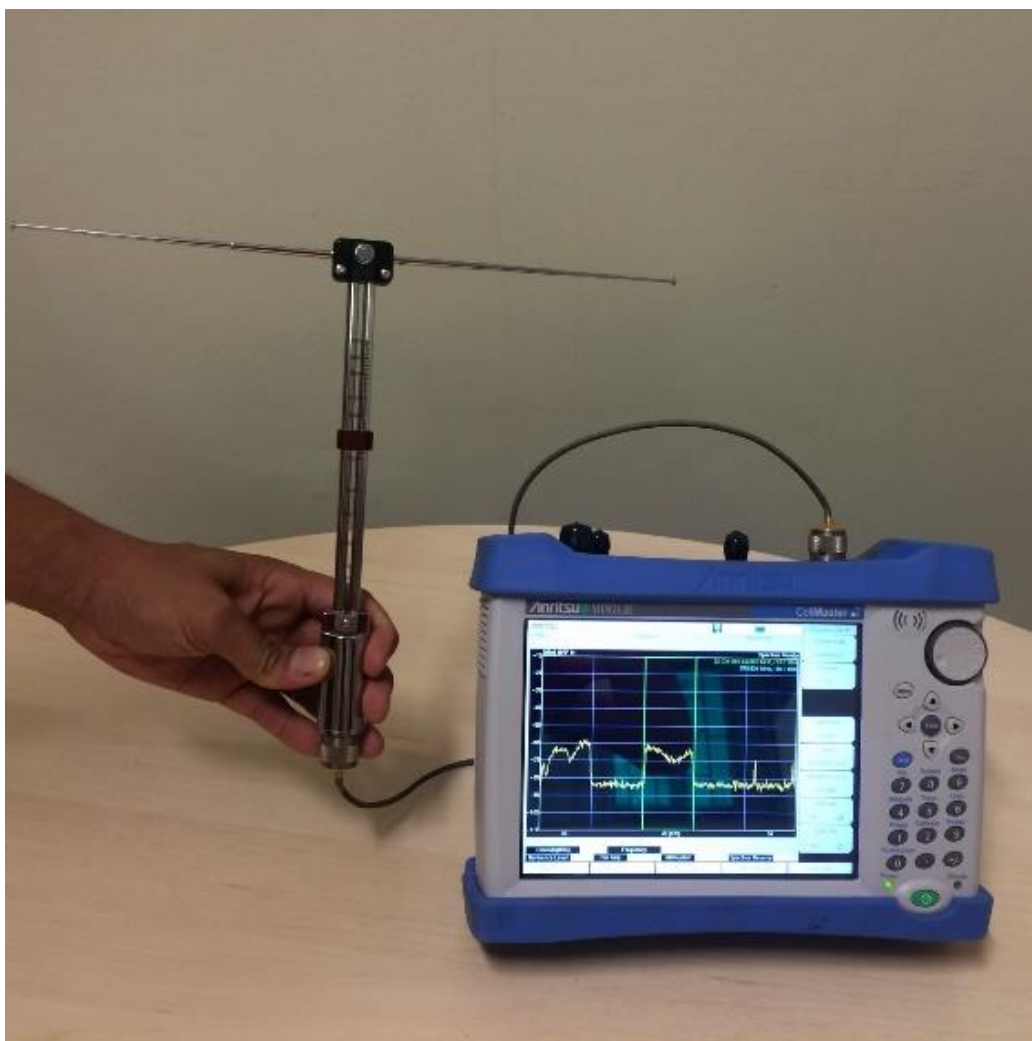


Figura 21: Diagrama de recepção

O segundo sistema é responsável por captar os sinais e fornecer os dados necessários para a análises de cada estação de TV. Com o setup de recepção é possível medir: a taxa de erro de modulação (MER) em cada camada de transmissão; a margem de recepção; a potência de recepção; a intensidade de campo eletromagnético; perfil de retardo; entre outras medidas. A **Figura 22** ilustra algumas possibilidades que o analisador de espectro possui.



Figura 22: Telas do analisador de espectro

Apenas as componentes de campo elétrico e potência foram interessantes ao estudo e, portanto, ambos foram capturados.

4.4 Procedimentos de medição

Com os pontos e o sistema de medição definidos, o próximo passo realizado foi o início das leituras das medições. Para isso, definiu-se um ponto para calibração

do sistema, próximo as torres de transmissão das emissoras, o qual é usado como referência para as medidas subsequentes.

Com o ponto definido para a calibração, os procedimentos seguintes foram colocar as antenas receptora e transmissora visadas e em seguida esperar o sinal estabilizar. Assim que o sinal estabilizava, anotava-se o valor para futuras comparações. Caso se verificasse que o valor coletado tinha uma diferença de 1dB, a antena era substituída por outra com as mesmas características técnicas, e realizava-se os mesmos procedimentos até que as leituras fossem iguais/aceitáveis.

Como não foi possível realizar todas as leituras no mesmo dia, fez-se necessário verificar a calibração a cada dia em que se fosse dar continuidade àquelas, antes de iniciar as coletas subsequentes.

Com o setup calibrado deu-se início as leituras de potência e campo elétrico das emissoras. O procedimento de medição começava estacionando-se o carro mais próximo do local definido da coleta de cada ponto, onde se fazia a leitura e anotava-se as informações dos pontos, desde as coordenadas geográficas até fatores que possam a vir interferir na medição.

O próximo passo, constituiu-se de colocar a antena receptora visada com a antena transmissora, e para isso, foram checados os valores de azimute de cada ponto em relação a sua antena de transmissão para dar continuidade as medições.

Com a calibração concluída e a antena visada diretamente para o transmissor, o próximo passo foi definir qual canal seria realizada as leituras. A primeira medida realizada foi para o canal 17 (491,142857 MHz), denominada emissora A. Para isso, definiu-se no analisador de espectro o canal 17. Assim que o analisador reconheceu a frequência a ser analisada, fez-se necessário esperar o sinal se manter estável. Adotou-se então um tempo padrão de 5 minutos e quando o sinal ficava estável, o valor da potência elétrica era coletado.

Esse procedimento descrito para o canal 17 foi realizado para os canais 28 (557,142857 MHz) denominado emissora B, 30 (581,142857 MHz), denominada emissora C e para o canal 32 (581,142857 MHz), denominada emissora D.

Ao termino da coleta da potência elétrica dos canais, a próxima leitura realizada foi do campo elétrico. Para isto foi necessário substituir a opção de potência elétrica

por campo eletromagnético no analisador de espectro. Feita as alterações, definiu-se qual canal a ser coletado. A partir da definição do canal, iniciou-se a coleta do campo eletromagnético com os mesmos procedimentos adotados na leitura da potência elétrica, qual seja de estabilização da frequência do canal. As medidas do campo elétrico foram realizadas para os canais 17, 28, 30 e 32.

O instrumento de medição, além de conseguir realizar várias leituras conforme descrito no item 4.1.2, tem a possibilidade de salvar a tela do analisador de espectro em imagens em formato *.jpg*. Ao final de cada leitura dos canais UHF estudados neste trabalho, foram anotados os valores coletados nas leituras e salvo as imagens em *.jpg* da potência e do campo elétrico.

A Figura 23 representa um momento de captura realizada nesse trabalho, especificamente referente à medição do ponto 63.



Figura 23: Captura do ponto 63

4.5 Característica das estações

As características técnicas do sinal UHF digital das 4 emissoras serão descritas nos tópicos 4.5.1 a 4.5.4.

4.5.1 Emissora A – Canal 17 UHF

Coordenadas da estação: 18°S 53' 10.78" 48°W 15' 28.22"

Altitude: 933,363 m

Altura do centro de fase do sistema irradiante (Hci): 82,14

Potência de transmissão: 2k

Canal: 17

Faixa de frequência: 488 – 494 MHz

Frequência de operação: 491,142857 MHz

O Quadro 2 contém as informações da linha de transmissão e da antena dessa emissora.

Quadro 2: Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão A

Linha de transmissão	Antena
Fabricante: RFS	Fabricante: KATHREIN
Modelo: HCA 1 5/8 50J	Modelo: 75010068
Comprimento: 92,14	Ganho máximo: 10.5
Perda de inserção: 1,4381 dB/100 m	Tilt elétrico: 6°
Eficiência da linha: 0,5855	Polarização: Horizontal

O cálculo da E_{rp} é baseado na Equação 20 e Equação 21, e seu resultado demonstrado na Equação 22.

$$ERP(KW) = PotTx (KW) \times G_{T(max)} \times \text{eficiência da linha}$$

Equação 20

$$G_{T(max)} = 10^{0.1 \times G_T} \quad \text{Equação 21}$$

$$ERP(KW) = 2 \times 11.22 \times 0.5855 = 13,13 \quad \text{Equação 22}$$

Os diagramas de Azimute demonstrados na Figura 24 e a elevação da antena Kathrein modelo 75010068, mostrada na Figura 25 são características dessa emissora.

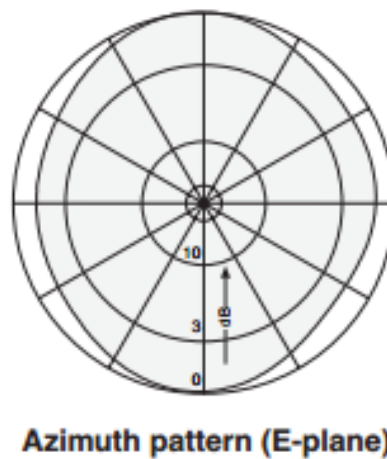


Figura 24: Diagrama de azimute da emissora A

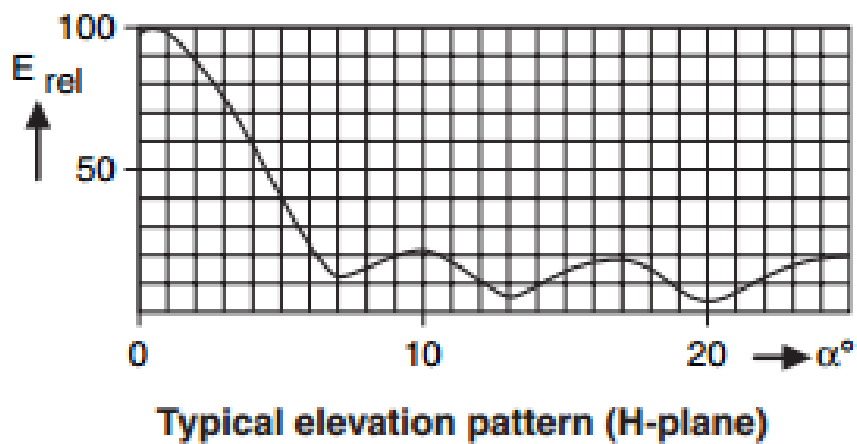


Figura 25: Diagrama de elevação da emissora A.

Já a Figura 26 e a Figura 27 mostra a torre da estação transmissora e o transmissor do canal 17 UHF.



Figura 26: Foto da estação transmissora da emissora A



Figura 27: Foto do transmissor da emissora A

4.5.2 Emissora B – Canal 28 UHF

Coordenadas da estação: 18° 53' 06" S 48° 15' 30" W

Altitude: 938 m

Altura do centro de fase do sistema irradiante (Hci): 76,2 m

Potência de transmissão: 1,1 KW

Canal: 28

Faixa de frequência: 554 – 560 MHz

Frequência de operação: 557,142857 MHz

O Quadro 3: Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão contém as informações da linha de transmissão e da antena dessa emissora.

Quadro 3: Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão B

Linha de transmissão	Antena
Fabricante: KMP	Fabricante: Ideal Antenas
Diâmetro: 1 5/8	Modelo: ISD082822TT
Comprimento: 85 m	Ganho máximo: 11,55 dBd
Perda de inserção: 1,7 dB/100 m	Tilt elétrico: 4,7°
Eficiência da linha: 0,639	Polarização: horizontal

O cálculo da Erp é baseado na Equação 20 e Equação 21, e seu resultado demonstrado na Equação 23.

$$ERP(KW) = 1,1 \times 14,28 \times 0,639 = 10,04 \text{ KW} \quad \text{Equação 23}$$

Os diagramas de Azimute e elevação da antena Ideal Antenas modelo ISD082822TT são respectivamente Figura 28 e Figura 29.

Diagrama de Azimute 220°

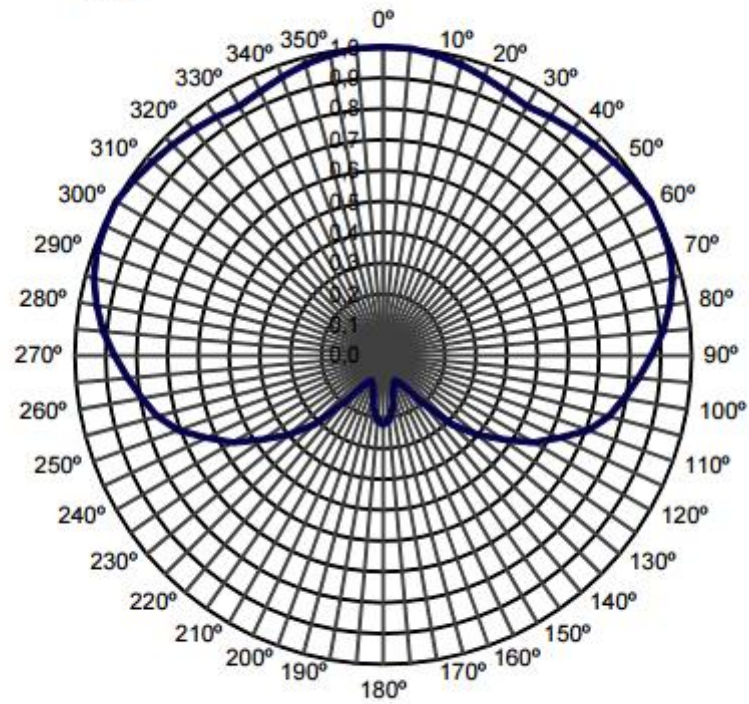


Figura 28: Diagrama de azimute horizontal da emissora B

8 Fendas

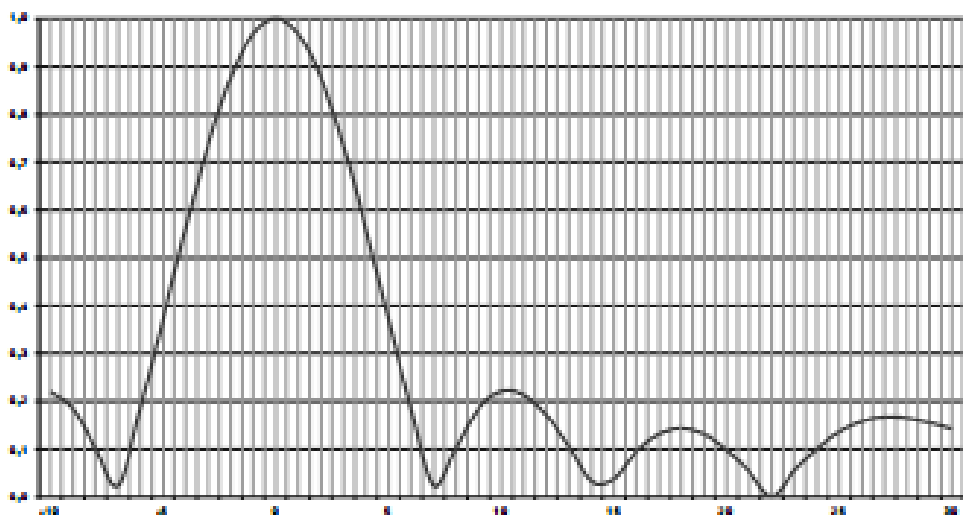


Figura 29: Diagrama de elevação da emissora B

Já a Figura 30 e Figura 31 mostra a torre da estação transmissora e o transmissor do canal 28 UHF.



Figura 30: Torre da emissora B



Figura 31: Transmissor emissora B

4.5.3 Emissora C – Canal 30 UHF

Coordenadas da estação: 18° 53' 06" S 48° 15' 42" W

Altitude: 937 m

Altura do centro de fase do sistema irradiante (Hci): 64 m

Potência de transmissão: 2,5 KW

Canal: 30

Faixa de frequência: 566 – 572 MHz

Frequência de operação: 569,142857 MHz

O Quadro 4 contém as informações da linha de transmissão e da antena dessa emissora.

Quadro 4: Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão C

Linha de transmissão	Antena
Fabricante: RFS	Fabricante: Ideal Antenas
Diâmetro: 1 5/8	Modelo: ISD083022UT
Comprimento: 71m	Ganho máximo: 11,20 dBd
Perda de inserção: 1,27 dB/100 m	Tilt elétrico: 4°
Eficiência da linha: 0,7046	Polarização: Circular (Horizontal e circular)

O cálculo da Erp é baseado na Equação 20 e Equação 21, e seu resultado demonstrado na .

$$ERP(KW) = 2,50 \times 13,18 \times 0,7046 = 23,21 \quad \text{Equação 24}$$

Os diagramas de Azimute e elevação da antena Ideal Antenas modelo ISD082822TT são respectivamente Figura 32, Figura 33 e Figura 34.

Diagrama de Azimute
220° - Pol. Horizontal

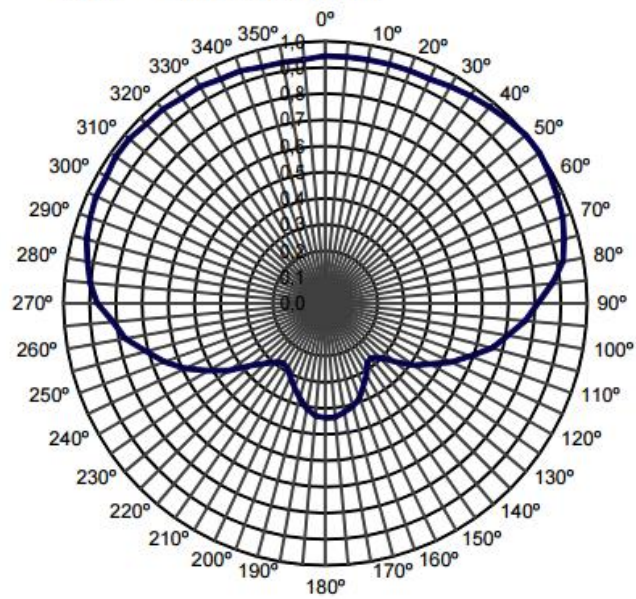


Figura 32: Diagrama de azimute horizontal da emissora C.

Diagrama de Azimute
220° - Pol. Vertical

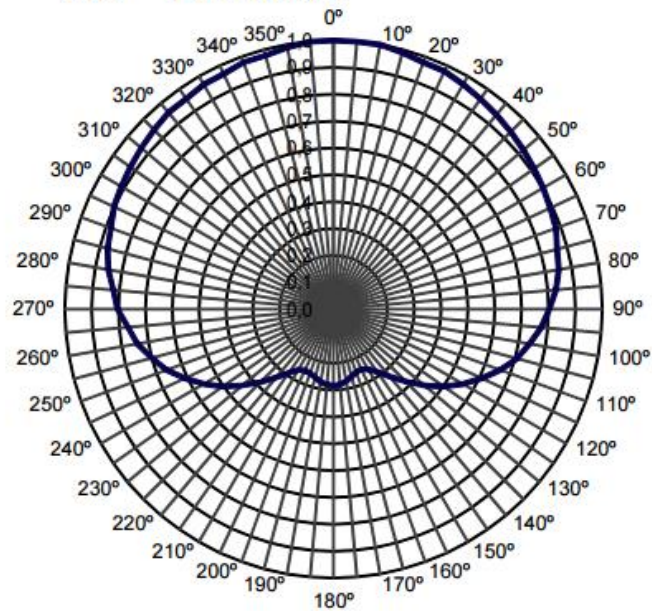


Figura 33: Diagrama de azimute vertical da emissora C.

8 Fendas

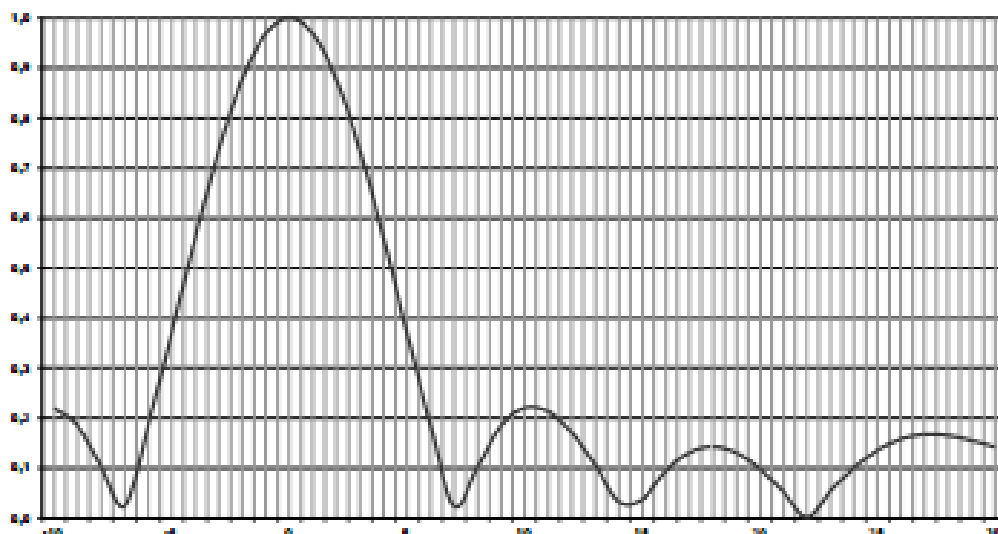


Figura 34: Diagrama de elevação da emissora C

Já a Figura 35 e a Figura 36 mostra a torre da estação transmissora e o transmissor do canal 30 UHF.



Figura 35: Torre da emissora C



Figura 36: Transmissor emissora C

4.5.4 Emissora D – Canal 32 UHF

Coordenadas da estação: 18° 52' 57" S 48° 15' 03" W

Altitude: 910 m

Altura do centro de fase do sistema irradiante (Hci): 113 m

Potência de transmissão: 1,5k

Canal: 32

Faixa de frequência: 578 – 584 MHz

Frequência de operação: 581,142857 MHz

O Quadro 5 contém as informações da linha de transmissão e da antena dessa emissora.

Quadro 5: Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão D

Linha de transmissão	Antena
Fabricante: RFS	Fabricante: Ideal Antenas
Modelo: HCA 1 5/8 50J	Modelo: ISD043222TT
Comprimento: 120 m	Ganho máximo: 6,74 dBd
Perda de inserção: 1,57 dB/100 m	Tilt elétrico: 1,7°
Eficiência da linha: 0,5142	Polarização: Circular (Horizontal e vertical)

O cálculo da Erp é baseado na Equação 20 e Equação 21, e seu resultado demonstrado na Equação 25.

$$ERP(KW) = 1,50 \times 4,72 \times 0,5142 = 3,64 \quad \text{Equação 25}$$

Os diagramas de Azimute e elevação da antena Ideal Antenas modelo ISD082822TT são respectivamente Figura 37, Figura 38 e Figura 39.

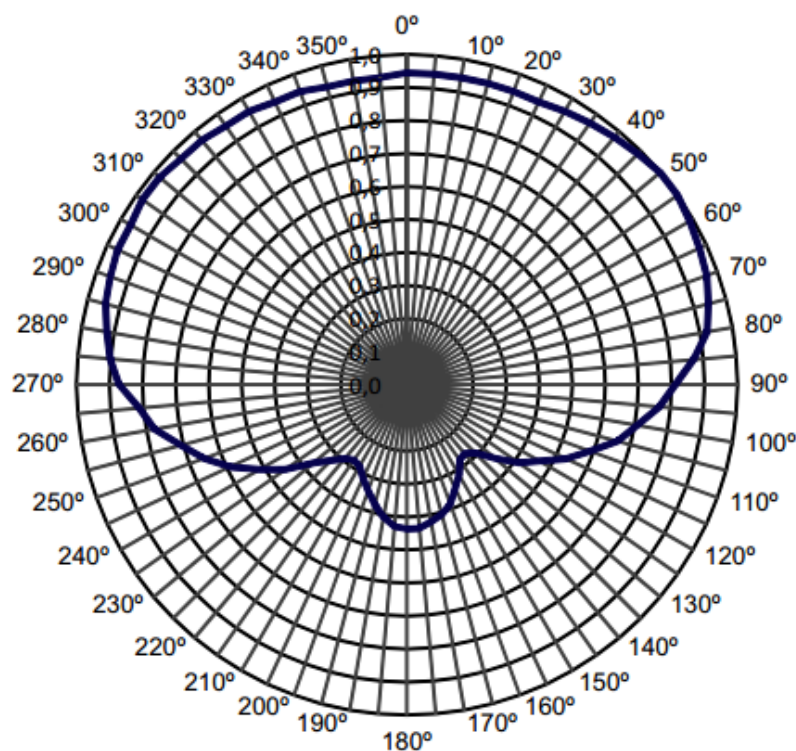


Figura 37: Diagrama de azimute horizontal emissora D

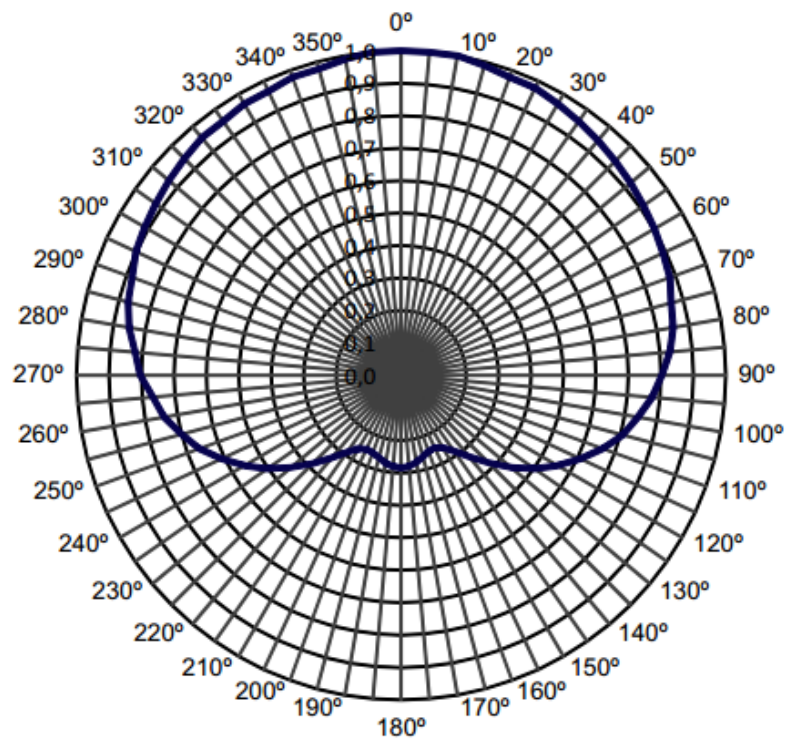


Figura 38:Diagrama de azimute vertical emissora D

4 Fendas

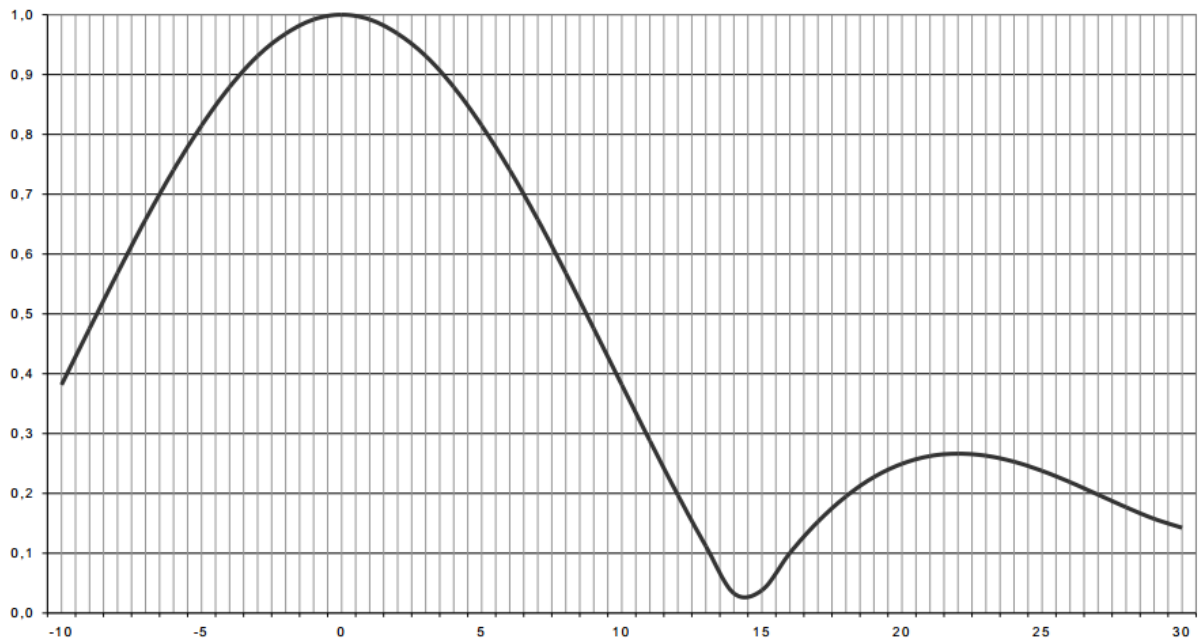


Figura 39: Diagrama de elevação emissora D

Já a Figura 40 e a Figura 41 mostra a torre da estação transmissora e o transmissor do canal 32 UHF.



Figura 40: Torre da emissora D



Figura 41: Transmissor emissora D

4.6 Resultados das medições

A Tabela 2 contém informações sobre as emissoras analisadas e o número de pontos coletados para cada.

Tabela 2: Número de pontos medidos de cada emissora

Pontos medidos				
Emissora A	Emissora B	Emissora C	Emissora D	Total
63	63	63	63	232

Nas seções 4.5.1 a 4.5.4 estão contidas informações de cada ponto coletado como endereço, coordenadas geográficas e campo elétrico medido.

4.6.1 Emissora A

A Tabela 3 contém as informações sobre cada ponto medido referente à essa emissora.

Tabela 3: Lista de pontos medidos do canal 17

Ponto nº	Endereço	Distância Tx	Coordenadas Medidas						Campo medido (dBµV/m)
			Latitude			Longitude			
			Grau	Min	Seg	Grau	Min	Seg	
1	Alameda Ecológica, 3345	3,287	18	52	6	48	13	59	92,5
2	R. Antônio Matos, 90	2,607	18	52	43	48	14	4	113,3
3	Av. Dr. Vicente Salles Guimarães	2,915	18	53	1	48	13	49	97,6
4	R. JU3-03, 231	2,717	18	53	22	48	13	56	105,9
5	R. Patagônia, 182	2,768	18	54	4	48	14	12	89
6	Av. Ásia, 630	2,630	18	54	18	48	14	33	90,6
7	R. Pedro José Castro, 82	3,128	18	54	43	48	14	44	95
8	Av. Anselmo Alves dos Santos, 2325	3,132	18	54	51	48	15	12	92,1
9	Av. Governador Rondon Pacheco, 4679	2,852	18	54	41	48	15	49	95,3
10	Av. Cesário Alvim, 1524	3,127	18	54	44	48	16	10	85,7
11	R. Eng. Diniz, 114	2,979	18	54	26	48	16	32	90,2
12	Av. Cesário Crosara, 1460	3,198	18	54	10	48	16	58	95,5
13	R. Domingos Álvares, 147	3,460	18	53	55	48	17	17	91,2

14	R. Treviso, 120	3,326	18	53	31	48	17	20	90,1
15	R. Primeiro de Maio, 45	3,387	18	53	6	48	17	24	96,8
16	Av. Cleanto Vieira Gonçalves	2,750	18	53	18	48	17	2	100
17	Av. Antônio Thomaz Ferreira Rezende, 6689	3,179	18	52	22	48	17	4	103,4
18	R. Central, 104	3,678	18	51	57	48	17	7	96,6
19	Av Airton Borges da Silva 920	3,930	18	51	15	48	16	24	96,1
20	Anel Viário St. Norte, 514	2,995	18	51	34	48	15	22	94,3
21	R. Jaime Alves Pinto, 612	4,786	18	51	54	48	13	6	83,8
22	R. Aeronauta, 1985	4,255	18	52	52	48	13	4	106,1
23	Alameda Asia	4,839	18	53	21	48	12	43	71,5
24	Alameda Brasil, 437	5,387	18	54	13	48	12	36	79
25	R. Maria Hambrosina de Jesus, 91	5,639	18	54	35	48	12	37	74
26	Av. Segismundo Pereira, 3771	5,875	18	55	28	48	13	9	95,1
27	Av. Jaime Ribeiro da Luz, 1515	5,608	18	55	53	48	14	2	73,9
28	R. Juracy Junqueira Rezende, 418	5,466	18	55	57	48	14	24	82
29	Alameda Padre Lopes de Oliveira, 2	6,197	18	56	29	48	16	1	95,9
30	Av. Concórdia, 360	5,448	18	56	2	48	16	13	90,1
31	R. Tijuca, 195	6,055	18	55	54	48	17	23	66
32	R. Jatobá, 142	6,140	18	55	21	48	18	7	77,1
33	R. do Rádio, 391	6,780	18	54	54	48	18	53	93,7
34	R. Jorge Cecilio, 161	6,422	18	53	59	48	19	2	92,3
35	Anel Viário St. Norte	6,132	18	53	7	48	18	58	80,1
36	R. César Mugnato	5,669	18	52	18	48	18	34	75,7
37	R. Silvano Brandão, 40	4,701	18	55	24	48	16	46	82
38	Av. Cesário Alvim, 412	4,129	18	55	11	48	16	30	81,5
39	R. Tomazinho Rezende, 232	5,591	18	55	22	48	17	40	68,4
40	Av. James Siqueira, 427	8,965	18	54	33	48	10	34	95,2
41	Av. Enodes de Oliveira 359	5,853	18	55	27	48	13	9	81,6
42	R. Chapada dos Guimarães, 1147	8,604	18	57	22	48	13	21	69,9
43	R. dos Titos, 1076	8,683	18	57	42	48	14	10	64,6
44	Anel Viário St. Sul	9,017	18	57	57	48	16	29	87
45	Av. Lidormira Borges do Nascimento, 2011	9,989	18	58	18	48	17	15	79,3
46	R. Josefina Souza Leite, 133	9,466	18	57	27	48	18	26	94,6
47	R. Sudepe, 2	8,512	18	56	34	48	18	45	74,4
48		8,409	18	56	23	48	18	52	84,6
49	R. Luísa Ap Gerrardo, 1	9,177	18	55	46	48	19	56	72,2
50	BR-365, 4142	9,081	18	54	17	48	20	31	94,4
51	R. Legostia, 641	8,542	18	53	27	48	20	20	99,3
52	Anel viário setor sul	10,330	18	58	19	48	13	11	68,4
53	R. Ana Valentina Nogueira 44	11,485	18	59	18	48	16	30	64,6
54	Av. Sul Americana	10,601	18	58	46	48	16	46	67,9

55	R. Josefina Souza Leite, 43	9,238	18	57	20	48	18	23	86,7
56	Alameda Jardim Holanda	10,473	18	57	31	48	19	18	72,3
57	R. Eduardo Luís Vieira, 150	11,759	18	57	55	48	19	56	78,6
58	Av. dos lírios Amarelos 725	12,461	18	57	43	48	20	43	76,1
59	R. das Paineiras, 1105	12,219	18	57	20	48	20	53	81,7
60	Rodovia BR-455	13,778	18	58	11	48	21	17	78,3
61	Av. Aldo Borges Leão, 578	15,047	18	58	27	48	21	60	72,5
62	R. 2B5-02	15,896	18	58	30	48	22	35	73
63	UFU	3,654	18	55	9	48	15	33	92,8

4.6.2 Emissora B

A Tabela 4 contém as informações sobre cada ponto medido referente à essa emissora.

Tabela 4: Lista de pontos medidos do canal 28

Ponto nº	Endereço	Distância do Transmissor	Coordenadas Medidas						Campo medido (dBµV/m)
			Latitude			Longitude			
			Gra	Mi	Se	Gra	Mi	Se	
1	Alameda Ecológica, 3345	3,242	18	52	6	48	13	59	85,6
2	R. Antônio Matos, 90	2,612	18	52	43	48	14	4	91,7
3	Av. Dr. Vicente Salles Guimarães	2,956	18	53	1	48	13	49	94,8
4	R. JU3-03, 231	2,791	18	53	22	48	13	56	97,3
5	R. Patagônia, 182	2,899	18	54	4	48	14	12	81,6
6	Av. Ásia, 630	2,779	18	54	18	48	14	33	79,1
7	R. Pedro José Castro, 82	3,284	18	54	43	48	14	44	92,7
8	Av. Anselmo Alves dos Santos, 2325	3,286	18	54	51	48	15	12	88,5
9	Av. Governador Rondon Pacheco, 4679	2,986	18	54	41	48	15	49	91,9
10	Av. Cesário Alvim, 1524	3,245	18	54	44	48	16	10	81,7
11	R. Eng. Diniz, 114	3,064	18	54	26	48	16	32	83,7
12	Av. Cesário Crosara, 1460	3,244	18	54	10	48	16	58	91,3
13	R. Domingos Álvares, 147	3,474	18	53	55	48	17	17	81,2
14	R. Treviso, 120	3,306	18	53	31	48	17	20	88,8
15	R. Primeiro de Maio, 45	3,332	18	53	6	48	17	24	95,2
16	Av. Cleanto Vieira Gonçalves	2,714	18	53	18	48	17	2	95,6

17	Av. Antônio Thomaz Ferreira Rezende, 6689	3,065	18	52	22	48	17	4	92,3
18	R. Central, 104	3,547	18	51	57	48	17	7	94,3
19	Av Airton Borges da Silva 920	3,774	18	51	15	48	16	24	81,4
20	Anel Viário St. Norte, 514	2,851	18	51	34	48	15	22	79,6
21	R. Jaime Alves Pinto, 612	4,760	18	51	54	48	13	6	64,6
22	R. Aeronauta, 1985	4,289	18	52	52	48	13	4	84,2
23	Alameda Asia	4,902	18	53	21	48	12	43	65,3
24	Alameda Brasil, 437	5,490	18	54	13	48	12	36	69,9
25	R. Maria Hambrosina de Jesus, 91	5,755	18	54	35	48	12	37	69,3
26	Av. Segismundo Pereira, 3771	6,018	18	55	28	48	13	9	91,9
27	Av. Jaime Ribeiro da Luz, 1515	5,764	18	55	53	48	14	2	67,6
28	R. Juracy Junqueira Rezende, 418	5,623	18	55	57	48	14	24	70,4
29	Alameda Padre Lopes de Oliveira, 2	6,335	18	56	29	48	16	1	93,5
30	Av. Concórdia, 360	5,580	18	56	2	48	16	13	85,7
31	R. Tijuca, 195	6,151	18	55	54	48	17	23	63,6
32	R. Jatobá, 142	6,200	18	55	21	48	18	7	68,6
33	R. do Rádio, 391	6,806	18	54	54	48	18	53	83,8
34	R. Jorge Cecilio, 161	6,408	18	53	59	48	19	2	79,7
35	Anel Viário St. Norte	6,079	18	53	7	48	18	58	67,4
36	R. César Mugnato	5,578	18	52	18	48	18	34	67,3
37	R. Silviano Brandão, 40	4,806	18	55	24	48	16	46	74
38	Av. Cesário Alvim, 412	4,240	18	55	11	48	16	30	78,5
39	R. Tomazinho Rezende, 232	5,664	18	55	22	48	17	40	67,4
40	Av. James Siqueira, 427	9,058	18	54	33	48	10	34	88,2
41	Av. Enodes de Oliveira 359	5,995	18	55	27	48	13	9	68,4
42	R. Chapada dos Guimarães, 1147	8,760	18	57	22	48	13	21	64,8
43	R. dos Titos, 1076	8,840	18	57	42	48	14	10	63
44	Anel Viário St. Sul	9,152	18	57	57	48	16	29	81,6
45	Av. Lidormira Borges do Nascimento, 2011	10,113	18	58	18	48	17	15	78,7
46	R. Josefina Souza Leite, 133	9,562	18	57	27	48	18	26	84,5
47	R. Sudepe, 2	8,587	18	56	34	48	18	45	64,9
48		8,477	18	56	23	48	18	52	70,6
49	R. Lúisa Ap Gerrardo, 1	9,211	18	55	46	48	19	56	68,6
50	BR-365, 4142	9,065	18	54	17	48	20	31	77,2
51	R. Legostia, 641	8,500	18	53	27	48	20	20	87,4
52	Anel viário setor sul	10,486	18	58	19	48	13	11	66
53	R. Ana Valentina Nogueira 44	11,623	18	59	18	48	16	30	64,1

54	Av. Sul Americana	10,734	18	58	46	48	16	46	65,8
55	R. Josefina Souza Leite, 43	9,333	18	57	20	48	18	23	78,6
56	Alameda Jardim Holanda	10,554	18	57	31	48	19	18	66,9
57	R. Eduardo Luís Vieira, 150	11,836	18	57	55	48	19	56	66,4
58	Av. dos lírios Amarelos 725	12,524	18	57	43	48	20	43	64,6
59	R. das Paineiras, 1105	12,273	18	57	20	48	20	53	75
60	Rodovia BR-455	13,840	18	58	11	48	21	17	67,9
61	Av. Aldo Borges Leão, 578	15,104	18	58	27	48	21	60	65,2
62	R. 2B5-02	15,948	18	58	30	48	22	35	65,7
63	UFU	3,800	18	55	9	48	15	33	75,1

4.6.3 Emissora C

A Tabela 5 contém as informações sobre cada ponto medido referente à essa emissora.

Tabela 5: Lista de pontos medidos do canal 30

Ponto nº	Endereço	Distância do Transmissor	Coordenadas Medidas						Campo medido (dBµV/m)
			Latitude			Longitude			
			Grau	Min	Seg	Grau	Min	Seg	
1	Alameda Ecológica, 3345	3,535	18	52	6	48	13	59	86,3
2	R. Antônio Matos, 90	2,951	18	52	43	48	14	4	111,5
3	Av. Dr. Vicente Salles Guimarães	3,306	18	53	1	48	13	49	92,5
4	R. JU3-03, 231	3,137	18	53	22	48	13	56	93,2
5	R. Patagônia, 182	3,182	18	54	4	48	14	12	81,4
6	Av. Ásia, 630	3,002	18	54	18	48	14	33	79,6
7	R. Pedro José Castro, 82	3,442	18	54	43	48	14	44	87,7
8	Av. Anselmo Alves dos Santos, 2325	3,360	18	54	51	48	15	12	91,3
9	Av. Governador Rondon Pacheco, 4679	2,941	18	54	41	48	15	49	91,7
10	Av. Cesário Alvim, 1524	3,136	18	54	44	48	16	10	86,8
11	R. Eng. Diniz, 114	2,871	18	54	26	48	16	32	89,5
12	Av. Cesário Crosara, 1460	2,973	18	54	10	48	16	58	84,9
13	R. Domingos Álvares, 147	3,162	18	53	55	48	17	17	88,8
14	R. Treviso, 120	2,966	18	53	31	48	17	20	92,2
15	R. Primeiro de Maio, 45	2,981	18	53	6	48	17	24	97,9
16	Av. Cleanto Vieira Gonçalves	2,367	18	53	18	48	17	2	100,5
17	Av. Antônio Thomaz Ferreira Rezende, 6689	2,755	18	52	22	48	17	4	96,6
18	R. Central, 104	3,273	18	51	57	48	17	7	106,3

19	Av Airton Borges da Silva 920	3,642	18	51	15	48	16	24	89,8
20	Anel Viário St. Norte, 514	2,901	18	51	34	48	15	22	84,4
21	R. Jaime Alves Pinto, 612	5,073	18	51	54	48	13	6	74,8
22	R. Aeronauta, 1985	4,638	18	52	52	48	13	4	88,6
23	Alameda Asia	5,252	18	53	21	48	12	43	69
24	Alameda Brasil, 437	5,816	18	54	13	48	12	36	69,3
25	R. Maria Hambrosina de Jesus, 91	6,065	18	54	35	48	12	37	73,6
26	Av. Segismundo Pereira, 3771	6,263	18	55	28	48	13	9	94,5
27	Av. Jaime Ribeiro da Luz, 1515	5,928	18	55	53	48	14	2	70,9
28	R. Juracy Junqueira Rezende, 418	5,753	18	55	57	48	14	24	79
29	Alameda Padre Lopes de Oliveira, 2	6,295	18	56	29	48	16	1	98,4
30	Av. Concórdia, 360	5,511	18	56	2	48	16	13	95,9
31	R. Tijuca, 195	5,970	18	55	54	48	17	23	67,7
32	R. Jatobá, 142	5,945	18	55	21	48	18	7	74,6
33	R. do Rádio, 391	6,502	18	54	54	48	18	53	97,1
34	R. Jorge Cecilio, 161	6,070	18	53	59	48	19	2	89,2
35	Anel Viário St. Norte	5,728	18	53	7	48	18	58	82,3
36	R. César Mugnato	5,241	18	52	18	48	18	34	73,9
37	R. Silviano Brandão, 40	4,655	18	55	24	48	16	46	75,5
38	Av. Cesário Alvim, 412	4,108	18	55	11	48	16	30	78,4
39	R. Tomazinho Rezende, 232	5,435	18	55	22	48	17	40	68,1
40	Av. James Siqueira, 427	9,393	18	54	33	48	10	34	88
41	Av. Enodes de Oliveira 359	6,241	18	55	27	48	13	9	73,7
42	R. Chapada dos Guimarães, 1147	8,916	18	57	22	48	13	21	63,4
43	R. dos Titos, 1076	8,939	18	57	42	48	14	10	64,5
44	Anel Viário St. Sul	9,093	18	57	57	48	16	29	86,2
45	Av. Lidormira Borges do Nascimento, 2011	10,013	18	58	18	48	17	15	81
46	R. Josefina Souza Leite, 133	9,378	18	57	27	48	18	26	87,6
47	R. Sudepe, 2	8,359	18	56	34	48	18	45	70,3
48		8,237	18	56	23	48	18	52	79,1
49	R. Luísa Ap Gerrardo, 1	8,917	18	55	46	48	19	56	74,7
50	BR-365, 4142	8,726	18	54	17	48	20	31	87,1
51	R. Legostia, 641	8,150	18	53	27	48	20	20	94,1
52	Anel viário setor sul	10,627	18	58	19	48	13	11	63
53	R. Ana Valentina Nogueira 44	11,575	18	59	18	48	16	30	65,2
54	Av. Sul Americana	10,667	18	58	46	48	16	46	66
55	R. Josefina Souza Leite, 43	9,148	18	57	20	48	18	23	78,6
56	Alameda Jardim Holanda	10,336	18	57	31	48	19	18	70,8
57	R. Eduardo Luís Vieira, 150	11,609	18	57	55	48	19	56	71,1
58	Av. dos Írios Amarelos 725	12,270	18	57	43	48	20	43	69,9
59	R. das Paineiras, 1105	12,005	18	57	20	48	20	53	86,4
60	Rodovia BR-455	13,585	18	58	11	48	21	17	77,7

61	Av. Aldo Borges Leão, 578	14,842	18	58	27	48	21	60	68
62	R. 2B5-02	15,677	18	58	30	48	22	35	69,1
63	UFU	3,808	18	55	9	48	15	33	83,7

4.6.4 Emissora D

A Tabela 6 contém as informações sobre cada ponto medido referente à essa emissora.

Tabela 6: Lista de pontos medidos do canal 32

Ponto nº	Endereço	Distância do Transmissor	Coordenadas Medidas						Campo medido (dB μ V/m)
			Latitude			Longitude			
			Grau	Min	Seg	Grau	Min	Seg	
1	Alameda Ecológica, 3345	2,445	18	52	6	48	13	59	87,3
2	R. Antônio Matos, 90	1,778	18	52	43	48	14	4	108,6
3	Av. Dr. Vicente Salles Guimarães	2,166	18	53	1	48	13	49	101,6
4	R. JU3-03, 231	2,105	18	53	22	48	13	56	109,8
5	R. Patagônia, 182	2,550	18	54	4	48	14	12	82,3
6	Av. Ásia, 630	2,651	18	54	18	48	14	33	79,6
7	R. Pedro José Castro, 82	3,321	18	54	43	48	14	44	83,7
8	Av. Anselmo Alves dos Santos, 2325	3,531	18	54	51	48	15	12	84,1
9	Av. Governador Rondon Pacheco, 4679	3,482	18	54	41	48	15	49	90,2
10	Av. Cesário Alvim, 1524	3,841	18	54	44	48	16	10	85,9
11	R. Eng. Diniz, 114	3,784	18	54	26	48	16	32	82,7
12	Av. Cesário Crosara, 1460	4,047	18	54	10	48	16	58	83,1
13	R. Domingos Álvares, 147	4,306	18	53	55	48	17	17	80
14	R. Treviso, 120	4,139	18	53	31	48	17	20	81,9
15	R. Primeiro de Maio, 45	4,130	18	53	6	48	17	24	86
16	Av. Cleanto Vieira Gonçalves	3,538	18	53	18	48	17	2	88,1
17	Av. Antônio Thomaz Ferreira Rezende, 6689	3,698	18	52	22	48	17	4	91,2
18	R. Central, 104	4,070	18	51	57	48	17	7	95,6
19	Av Airton Borges da Silva 920	3,941	18	51	15	48	16	24	80,3
20	Anel Viário St. Norte, 514	2,623	18	51	34	48	15	22	103,6
21	R. Jaime Alves Pinto, 612	3,934	18	51	54	48	13	6	78,9
22	R. Aeronauta, 1985	3,481	18	52	52	48	13	4	87,7
23	Alameda Asia	4,158	18	53	21	48	12	43	78,3
24	Alameda Brasil, 437	4,895	18	54	13	48	12	36	78,2
25	R. Maria Hambrosina de Jesus, 91	5,231	18	54	35	48	12	37	78,2
26	Av. Segismundo Pereira, 3771	5,732	18	55	28	48	13	9	95,3

27	Av. Jaime Ribeiro da Luz, 1515	5,721	18	55	53	48	14	2	67,8
28	R. Juracy Junqueira Rezende, 418	5,675	18	55	57	48	14	24	70,6
29	Alameda Padre Lopes de Oliveira, 2	6,764	18	56	29	48	16	1	96,1
30	Av. Concórdia, 360	6,069	18	56	2	48	16	13	73,9
31	R. Tijuca, 195	6,828	18	55	54	48	17	23	63,9
32	R. Jatobá, 142	6,978	18	55	21	48	18	7	70,5
33	R. do Rádio, 391	7,631	18	54	54	48	18	53	87,5
34	R. Jorge Cecilio, 161	7,242	18	53	59	48	19	2	79,6
35	Anel Viário St. Norte	6,875	18	53	7	48	18	58	70,9
36	R. César Mugnato	6,283	18	52	18	48	18	34	72
37	R. Silvano Brandão, 40	5,447	18	55	24	48	16	46	70,1
38	Av. Cesário Alvim, 412	4,857	18	55	11	48	16	30	73,9
39	R. Tomazinho Rezende, 232	6,411	18	55	22	48	17	40	67,3
40	Av. James Siqueira, 427	8,402	18	54	33	48	10	34	90,1
41	Av. Enodes de Oliveira 359	5,706	18	55	27	48	13	9	80
42	R. Chapada dos Guimarães, 1147	8,711	18	57	22	48	13	21	64,3
43	R. dos Titos, 1076	8,938	18	57	42	48	14	10	63,6
44	Anel Viário St. Sul	9,601	18	57	57	48	16	29	77,9
45	Av. Lidormira Borges do Nascimento, 2011	10,639	18	58	18	48	17	15	67,8
46	R. Josefina Souza Leite, 133	10,234	18	57	27	48	18	26	79,9
47	R. Sudepe, 2	9,328	18	56	34	48	18	45	67,5
48		9,234	18	56	23	48	18	52	76,1
49	R. Luísa Ap Gerrardo, 1	10,028	18	55	46	48	19	56	81,1
50	BR-365, 4142	9,899	18	54	17	48	20	31	76,4
51	R. Legostia, 641	9,310	18	53	27	48	20	20	79,5
52	Anel viário setor sul	10,470	18	58	19	48	13	11	66,1
53	R. Ana Valentina Nogueira 44	12,040	18	59	18	48	16	30	64,5
54	Av. Sul Americana	11,192	18	58	46	48	16	46	66,1
55	R. Josefina Souza Leite, 43	10,007	18	57	20	48	18	23	79,8
56	Alameda Jardim Holanda	11,276	18	57	31	48	19	18	66,8
57	R. Eduardo Luís Vieira, 150	12,570	18	57	55	48	19	56	67,9
58	Av. dos lírios Amarelos 725	13,294	18	57	43	48	20	43	67,7
59	R. das Paineiras, 1105	13,060	18	57	20	48	20	53	88,5
60	Rodovia BR-455	14,611	18	58	11	48	21	17	69,9
61	Av. Aldo Borges Leão, 578	15,885	18	58	27	48	21	60	68,6
62	R. 2B5-02	16,739	18	58	30	48	22	35	65
63	UFU	4,170	18	55	9	48	15	33	76,1

4.7 Análise dos dados

Uma vez coletado e compilados os dados relativos a intensidade de campo elétrico e a potência elétrica das emissoras considerada nesse trabalho, a próxima etapa consiste no processamento e análise da informação.

A análise consiste na comparação entre os resultados teóricos obtidos de acordo com os métodos de propagação - ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância – e os correspondentes níveis de sinal aferidos em campo, através de parâmetros estatísticos como erro, erro médio, erro absoluto e desvio padrão.

A etapa posterior à coleta e compilação dos dados é o processamento dos mesmos e análise das informações. A análise consiste na comparação entre os resultados teóricos obtidos de acordo com os métodos de propagação - ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância – e os correspondentes níveis de sinal aferidos em campo, através de parâmetros estatísticos como erro, erro médio, erro absoluto e desvio padrão.

No processamento dos dados foram utilizadas duas ferramentas de software, Matlab® e Excel®, para o cálculo dos resultados teóricos dos modelos de propagação. Ao iniciar o processamento dos dados observou-se que o diagrama de azimute do sistema de irradiação da emissora A estava em escala logarítmica. Necessitando dessa forma a conversão para valores absolutos uma vez que o E/E_{max} se encontram nessa escala no diagrama de azimute.

A primeira etapa no processo de conversão consistiu em traçar os azimutes espaçados de 5 graus. Posteriormente, estimou-se os valores de campo no diagrama para cada azimute e então foi aplicado o logaritmo inverso conforme a Equação 23 e Equação 24.

$$20\log_{10} x = n \quad \text{Equação 23}$$

$$x = 10^{\frac{n}{20}} \quad \text{Equação 24}$$

Realizada a conversão, o próximo passo foi o processamento dos valores teóricos baseado no cálculo dos valores obtidos para cada modelo de propagação.

O primeiro processamento dos valores teóricos realizado foi o modelo ITU-R P.1546. Nesse modelo foi utilizado um algoritmo gerado através da ferramenta Matlab® para realizar os procedimentos de cálculo conforme a recomendação determina (3.1.2). O código utilizado nesse modelo foi adaptado pelo software produzido por Vasconcelos [12].

Em seguida foram processados os valores teóricos do modelo Okumura-Hata. A fim de realizar os cálculos necessário de Okumura-Hata foi desenvolvido um algoritmo baseado no equacionamento já descrito em 3.2, cujo código em Matlab® encontra-se no anexo 1.

O último modelo de propagação utilizado para estimar os resultados foi o Log-Distância. Para o processo de obter os valores teóricos implementou-se um código pelo o software Matlab® que se encontra no anexo 2.

Para encontrar os resultados estatísticos como erro, erro médio, erro absoluto e desvio padrão, utilizou-se as ferramentas Excel® e Matlab® para implementar um algoritmo no Matlab® conforme o anexo 3.

Com os resultados encontrados nos algoritmos citados a cima, foram exportados os mesmos para o software Excel®, onde foram plotados os gráficos e realizado uma análise comparativa com as amostras colhidas.

4.8 Considerações finais deste Capítulo

Neste capítulo foi descrita a metodologia utilizada para a realização das coletas dos dados e seu processamento. Na seção 4.1 apresentou-se os critérios considerados para a definição dos pontos de coleta de dados. Na seção 4.2 foi exposto o sistema de transmissão e recepção adotado. Na seção 4.3 mostrou-se o procedimento para as medições. Na seção 4.4 apresentou-se os canais UHF que foram utilizados nesse trabalho. Na seção 4.5 os resultados das medições realizadas dos canais UHF 17, 28, 30 e 32 foram detalhados e na seção 4.6 apresentou-se a análise e o processamento dos dados.

5 RESULTADOS

A partir das medidas realizadas do campo elétrico e da potência, criou-se dois bancos de dados, um com potência elétrica e outro com campo elétrico. Comparou-se cada ponto e em seguida calculou-se a média dos sinais. Para todos os pontos foram criados enlaces entre o ponto de recepção e a estação transmissora, para realizar os cálculos do campo teórico e da potência recebida utilizando os modelos ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância.

Nos modelos ITU-R P.1546 e Okumura-Hata, comparou-se o modelo teórico com o valor medido. Analisou-se ponto a ponto, calculou-se os erros médio, absoluto, RMS e o desvio padrão. A partir da análise de ponto a ponto, verificou-se os pontos a cima e abaixo do modelo teórico. Já no modelo Log-Distância, além dos diagnósticos que foram realizadas nos modelos de ITU-R P.1546 e Okumura-Hata, buscou-se encontrar o melhor fator n para cada emissora, variando de 0,25 no intervalo de 2 a 4.

Dessa forma, os resultados descritos serão apresentados nos próximos itens.

5.1 Intensidade e Potência do Sinal

A Tabela 7 mostra os valores coletados do campo elétrico de cada emissora.

Tabela 7: Comparativo das medidas de campo

Campo medido (dBuV/m)				
Nº do ponto	Canal 17	Canal 28	Canal 30	Canal 32
1	92,5	85,6	86,3	87,3
2	113,3	91,7	111,5	108,6
3	97,6	94,8	92,5	101,6
4	105,9	97,3	93,2	109,8
5	89	81,6	81,4	82,3
6	90,6	79,1	79,6	79,6
7	95	92,7	87,7	83,7

8	92,1	88,5	91,3	84,1
9	95,3	91,9	91,7	90,2
10	85,7	81,7	86,8	85,9
11	90,2	83,7	89,5	82,7
12	95,5	91,3	84,9	83,1
13	91,2	81,2	88,8	80
14	90,1	88,8	92,2	81,9
15	96,8	95,2	97,9	86
16	100	95,6	100,5	88,1
17	103,4	92,3	96,6	91,2
18	96,6	94,3	106,3	95,6
19	96,1	81,4	89,8	80,3
20	94,3	79,6	84,4	103,6
21	83,8	64,6	74,8	78,9
22	106,1	84,2	88,6	87,7
23	71,5	65,3	69	78,3
24	79	69,9	69,3	78,2
25	74	69,3	73,6	78,2
26	95,1	91,9	94,5	95,3
27	73,9	67,6	70,9	67,8
28	82	70,4	79	70,6
29	95,9	93,5	98,4	96,1
30	90,1	85,7	95,9	73,9
31	66	63,6	67,7	63,9
32	77,1	68,6	74,6	70,5
33	93,7	83,8	97,1	87,5
34	92,3	79,7	89,2	79,6
35	80,1	67,4	82,3	70,9
36	75,7	67,3	73,9	72
37	82	74	75,5	70,1
38	81,5	78,5	78,4	73,9
39	68,4	67,4	68,1	67,3
40	95,2	88,2	88	90,1
41	81,6	68,4	73,7	80

42	69,9	64,8	63,4	64,3
43	64,6	63	64,5	63,6
44	87	81,6	86,2	77,9
45	79,3	78,7	81	67,8
46	94,6	84,5	87,6	79,9
47	74,4	64,9	70,3	67,5
48	84,6	70,6	79,1	76,1
49	72,2	68,6	74,7	81,1
50	94,4	77,2	87,1	76,4
51	99,3	87,4	94,1	79,5
52	68,4	66	63	66,1
53	64,6	64,1	65,2	64,5
54	67,9	65,8	66	66,1
55	86,7	78,6	78,6	79,8
56	72,3	66,9	70,8	66,8
57	78,6	66,4	71,1	67,9
58	76,1	64,6	69,9	67,7
59	81,7	75	86,4	88,5
60	78,3	67,9	77,7	69,9
61	72,5	65,2	68	68,6
62	73	65,7	69,1	65
63	92,8	75,1	83,7	76,1

A Tabela 8 mostra os valores coletados da potência elétrica de cada emissora.

Tabela 8: Medidas de campo da potência

Potência medida (dBm)				
Nº do ponto	Canal 17	Canal 28	Canal 30	Canal 32
1	-45,9	-54,7	-53,8	-51,4
2	-25,7	-44	-29,1	-29,9
3	-42,4	-45,5	-42,6	-37,4

4	-35,9	-41,5	-46,5	-29,7
5	-51,5	-55,9	-55,5	-55,8
6	-52,6	-56,9	-56,9	-57
7	-45,8	-48,6	-52,8	-54,6
8	-46,1	-50,8	-49	-55
9	-44,3	-47,4	-48,9	-49
10	-50,5	-55	-53,5	-50,8
11	-47,9	-54	-47,6	-54,5
12	-50,1	-47	-52	-54,1
13	-47,7	-55,2	-49,4	-57,1
14	-50,6	-51,9	-46,7	-56,1
15	-43,8	-44,2	-42,5	-51,5
16	-39,6	-43,6	-37	-50,7
17	-41,7	-47,9	-43	-50,7
18	-42,4	-47,3	-35,5	-46,2
19	-42,4	-56,1	-51,4	-56,3
20	-45,3	-56,9	-54,9	-36
21	-56,2	-71	-62,2	-62
22	-34	-55,6	-48,2	-51,1
23	-66,6	-70,7	-69,8	-60,4
24	-57,2	-69,9	-63,6	-61,6
25	-64,5	-68,2	-66	-67,1
26	-45,5	-47	-45,6	-44,2
27	-65,3	-69,9	-68,6	-69,8

28	-57,1	-63,7	-61,3	-65,8
29	-44,8	-45,4	-40,6	-43
30	-51,8	-55,3	-51,6	-66,8
31	-71,6	-71,8	-68,9	-71,5
32	-60,2	-69,3	-66,5	-68
33	-44,6	-52,7	-41,1	-51,4
34	-52,5	-60,2	-50,9	-61,9
35	-55,9	-70,5	-58,9	-66
36	-63,8	-70,5	-64,6	-66,9
37	-57	-65,1	-63,7	-68,9
38	-50,9	-60,2	-59,5	-64,8
39	-69,5	-70,5	-69,6	-68
40	-55,8	-54	-52,9	-50,9
41	-59,5	-69,7	-68,6	-56,7
42	-68	-70,5	-71,4	-71,4
43	-71,1	-71,6	-71,6	-71,4
44	-53,2	-58,9	-50,6	-60,3
45	-58,7	-59,5	-59,4	-68,5
46	-45,4	-56,7	-48,8	-60,3
47	-65,5	-70,6	-65,1	-70,3
48	-55,9	-67	-68,8	-64,8
49	-63,6	-69,3	-61,3	-64,7
50	-46,5	-51,2	-51,2	-65,2
51	-44,7	-55,3	-47,9	-58,9

52	-70,3	-70,7	-70,5	-69,9
53	-71,6	-71,5	-71,1	-70,9
54	-69,4	-70,4	-70,7	-70,7
55	-46,9	-63,9	-52,8	-58,8
56	-67	-70,9	-67,5	-69,8
57	-61,7	-70,4	-67,6	-69,4
58	-63,2	-70,7	-67,5	-68,8
59	-59,1	-61,1	-46,5	-49
60	-61	-70,5	-59,4	-69,6
61	-67,7	-71,2	-70	-68,9
62	-65,5	-61,1	-68,5	-68,1
63	-60,5	-62,2	-58	-65

A Tabela 9 mostra a média das emissoras do campo elétrico e da potência.

Tabela 9: Comparação da média dos sinais

Comparação da média dos sinais das emissoras				
Média	Emissora A	Emissora B	Emissora C	Emissora D
Campo elétrico	85,5	77,8	82,1	79,3
Potência	-54,17	-60,01	-56,47	-59,13

5.2 Modelo ITU-R P.1546

Os valores medidos e teóricos foram comparados nas Figura 42 a Figura 49 para o modelo ITU-R P.1546 para o canal 17, 28, 30 e 32.

5.2.1 Canal 17

As Figura 42 e Figura 43 mostra a comparação dos resultados para a emissora A.

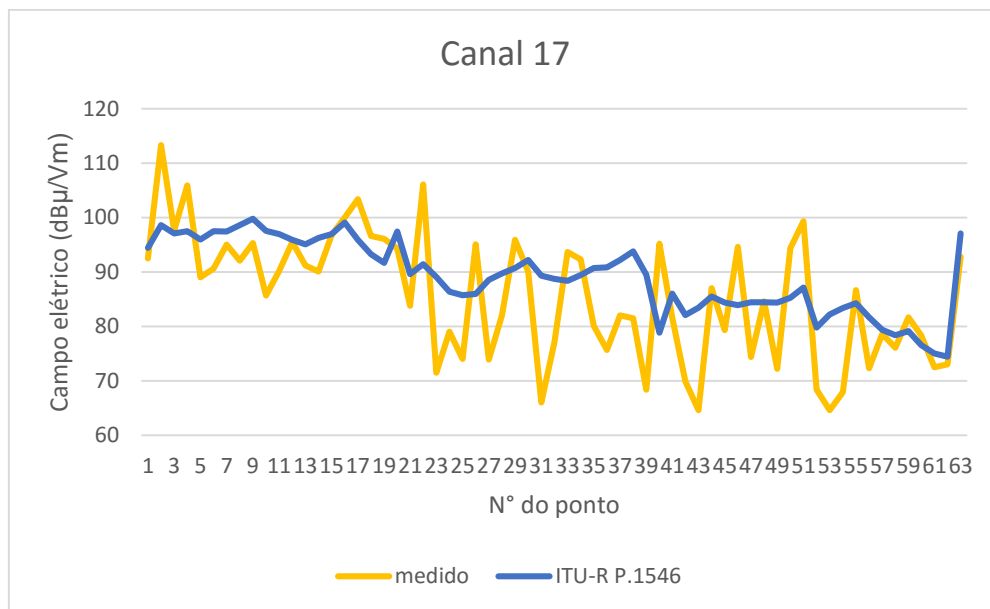


Figura 42: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 - Canal 17

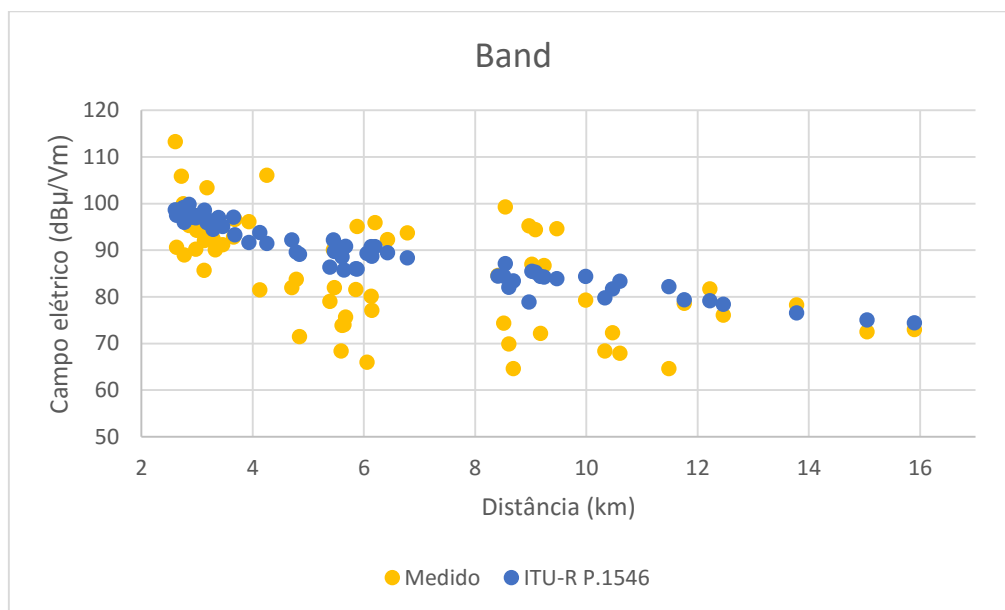


Figura 43: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 em relação à distância - Emissora A

A Tabela 10 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 17.

Tabela 10: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo ITU-R P.1546

Canal 17 – ITU-R P.1546			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
3,6089	7,8479	5,3639	5,7287

5.2.2 Canal 28

As Figura 44 e Figura 45 mostra a comparação dos resultados para a emissora B.

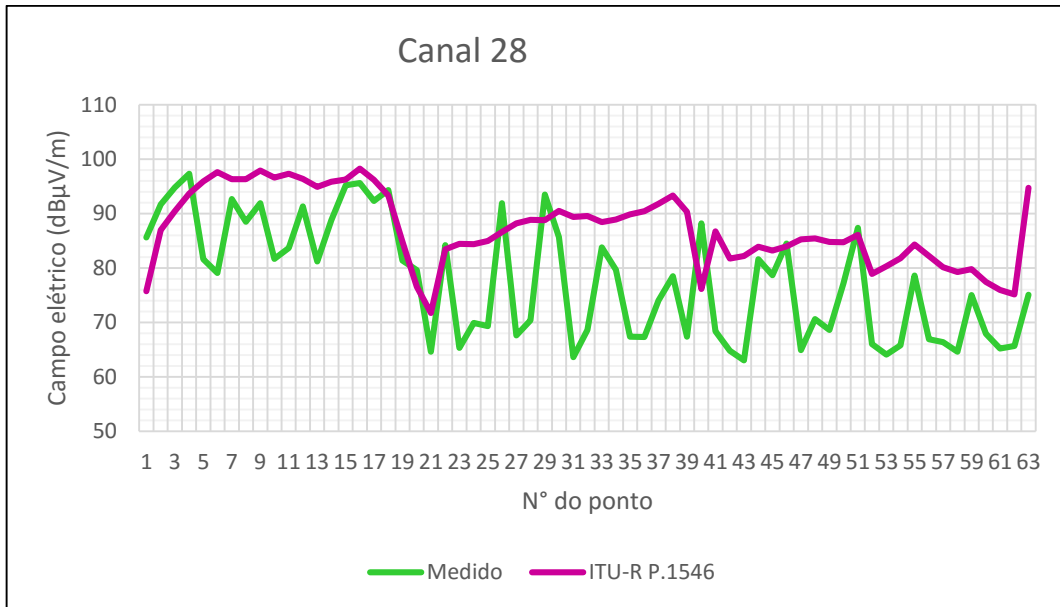


Figura 44: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 - Canal 28

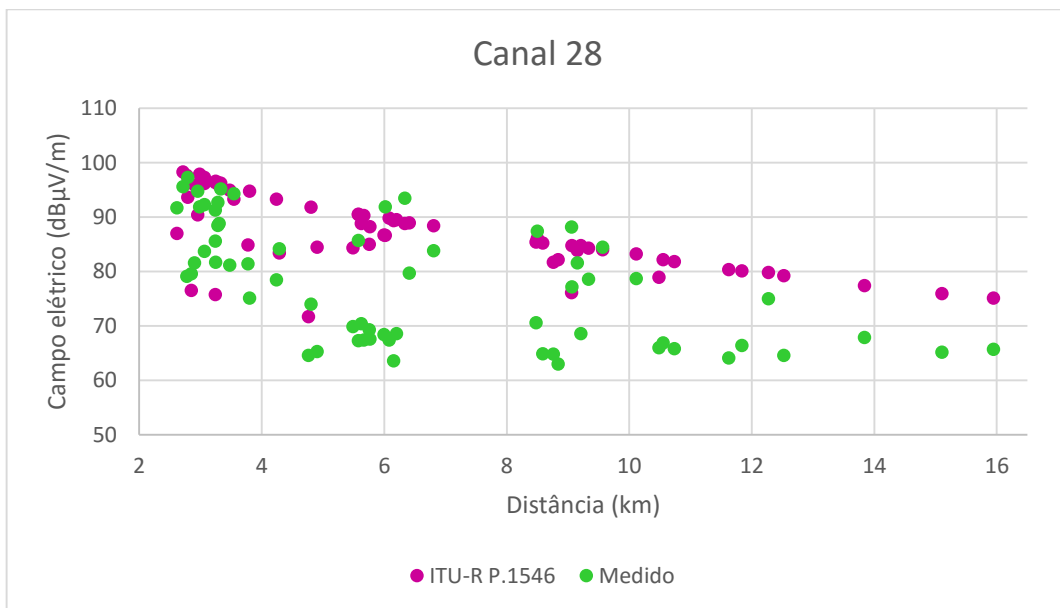


Figura 45: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 em relação à distância - Emissora B

A Tabela 11 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 11: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo ITU-R P.1546

Canal 28 – ITU-R P.1546			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
9,44	11,07	8,62	6,95

5.2.3 Canal 30

As Figura 46 e Figura 47 mostra a comparação dos resultados para a emissora C.

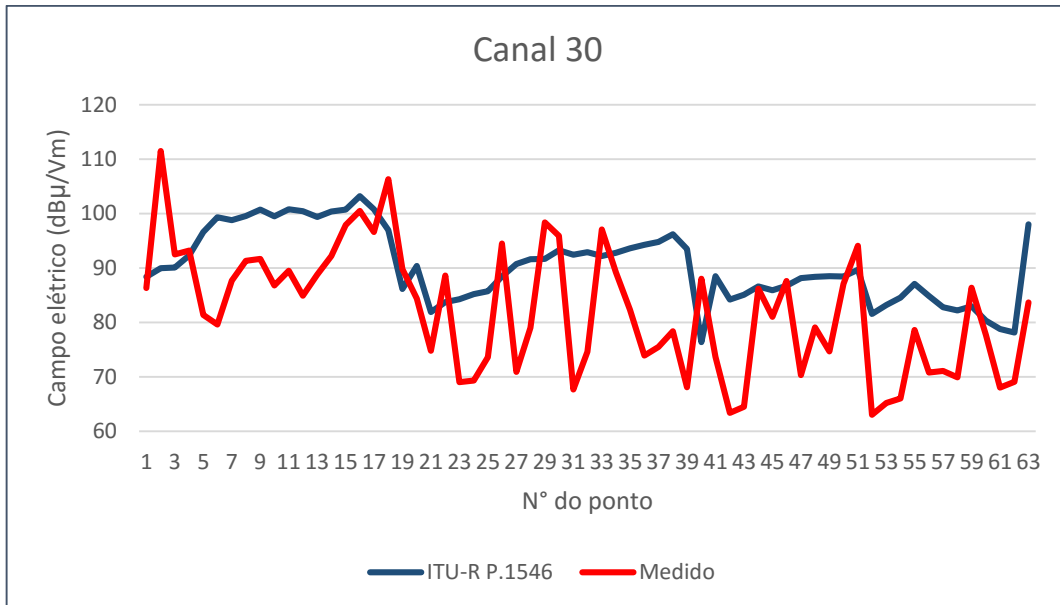


Figura 46: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 - Canal 30

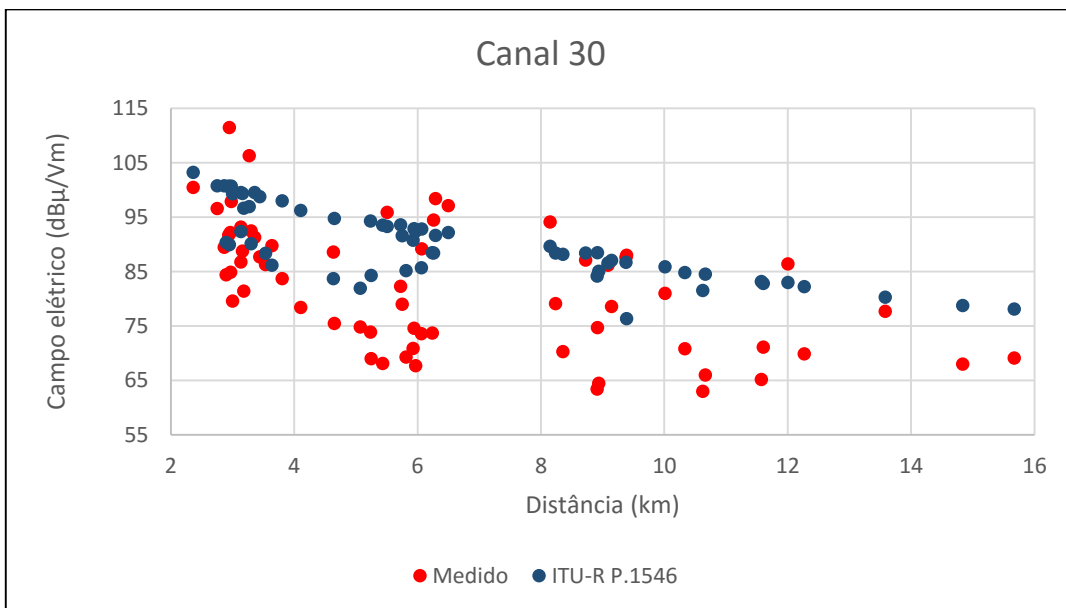


Figura 47: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 em relação à distância - Emissora C

A Tabela 12 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 12: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo ITU-R P.1546

Canal 30 – ITU-R P.1546			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
8,28	10,93	8,64	6,69

5.2.4 Canal 32

As Figura 48 e Figura 49 mostra a comparação dos resultados para a emissora D.

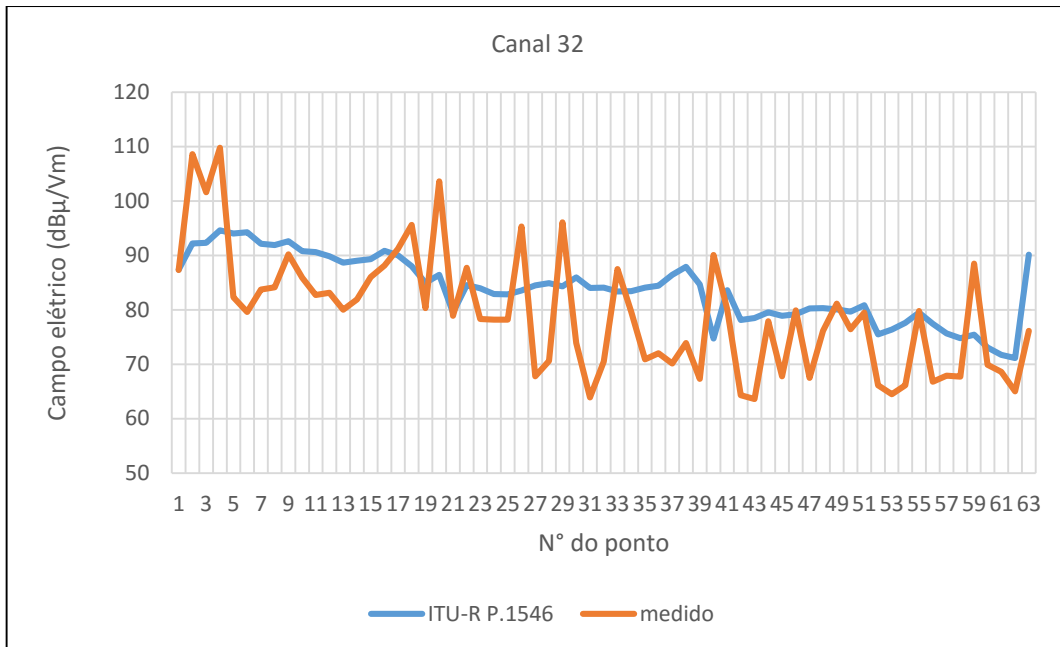


Figura 48: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 - Canal 32

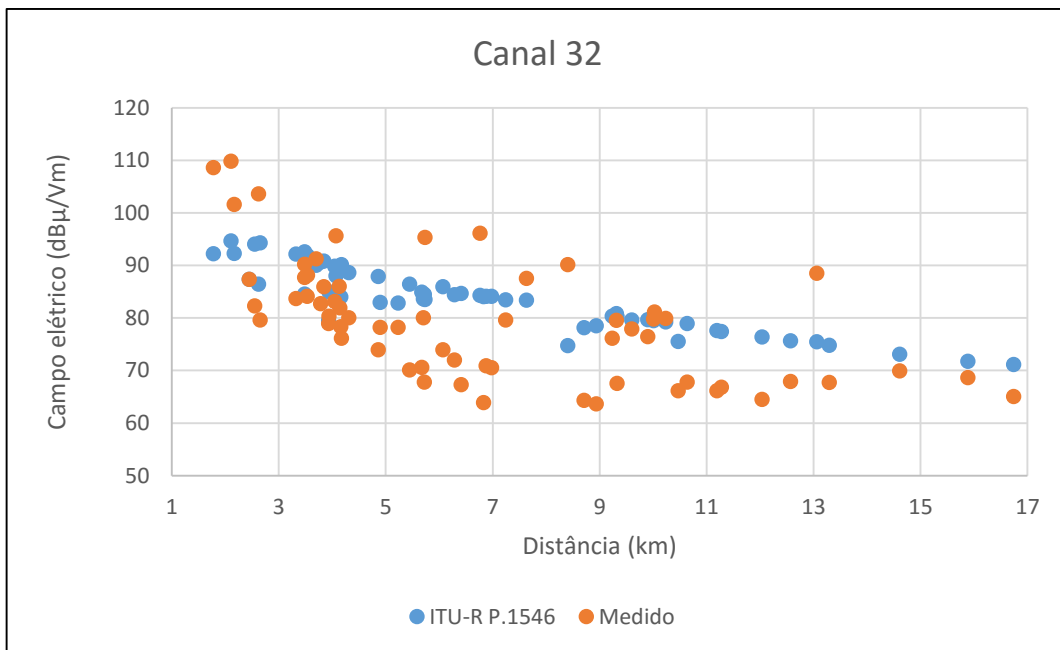


Figura 49: Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546 em relação à distância - Emissora D

A Tabela 13 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 13: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo ITU-R P.1546

Canal 32 – ITU-R P.1546			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
6,03	8,32	5,90	5,86

A Tabela 14 mostra a comparação dos resultados de erros e desvio padrão das emissoras A, B, C e D.

Tabela 14: Comparação entre os erros das emissoras modelo ITU-R P.1546

Comparação entre os erros das emissoras modelo ITU-R P.1546				
	Emissora A	Emissora B	Emissora C	Emissora D
Erro médio	3,60	9,44	8,28	6,03
Erro médio absoluto	7,84	11,07	10,92	8,32
Erro rms	5,36	8,61	8,64	5,90
Desvio padrão	5,72	6,95	6,69	5,86

A Tabela 15 mostra a quantidade de pontos que estão acima e abaixo do valor teórico de cada uma das emissoras estudadas.

Tabela 15: Quantidade de pontos superior e abaixo do modelo ITU-R P.1546

Quantidade de pontos ITU-R P.1546				
Emissora	Baixo	%	Superior	%
A	42	66,66	21	33,34
B	51	80,95	12	19,02
C	49	77,77	14	22,23
D	47	74,60	16	25,4

5.3 OKUMURA-HATA

Os valores medidos e teóricos foram comparados nas Figura 50 a Figura 57 para o modelo Okumura-Hata para os canais 17, 28, 30 e 32.

5.3.1 Canal 17

As Figura 50 a Figura 51 mostra a comparação dos resultados para a emissora

A.

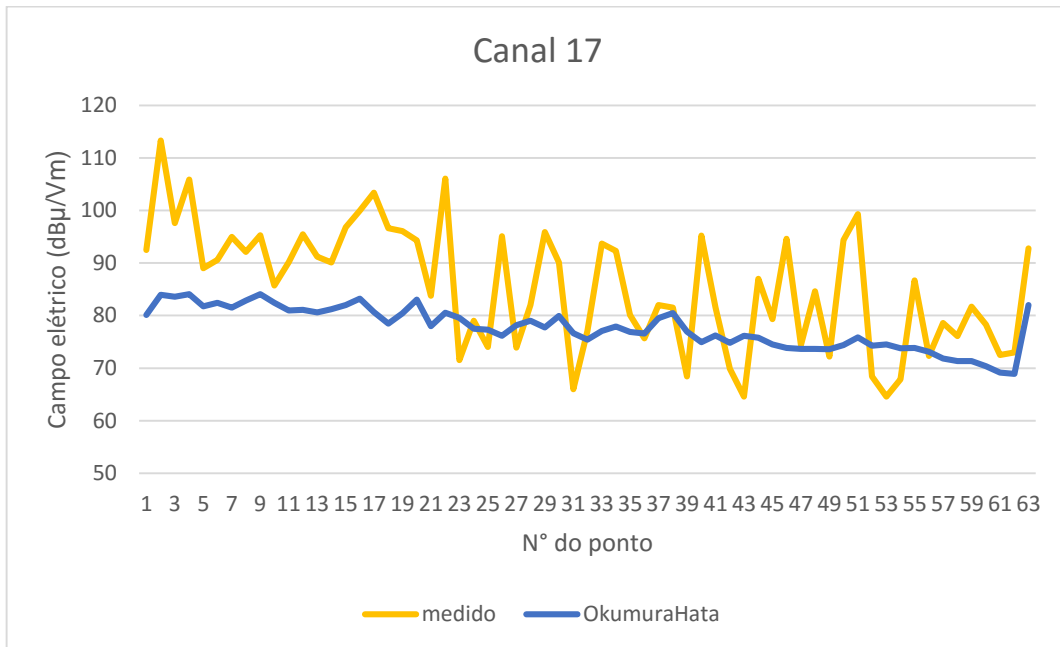


Figura 50: Comparação do campo medido com o modelo Okumura-Hata - Canal 17

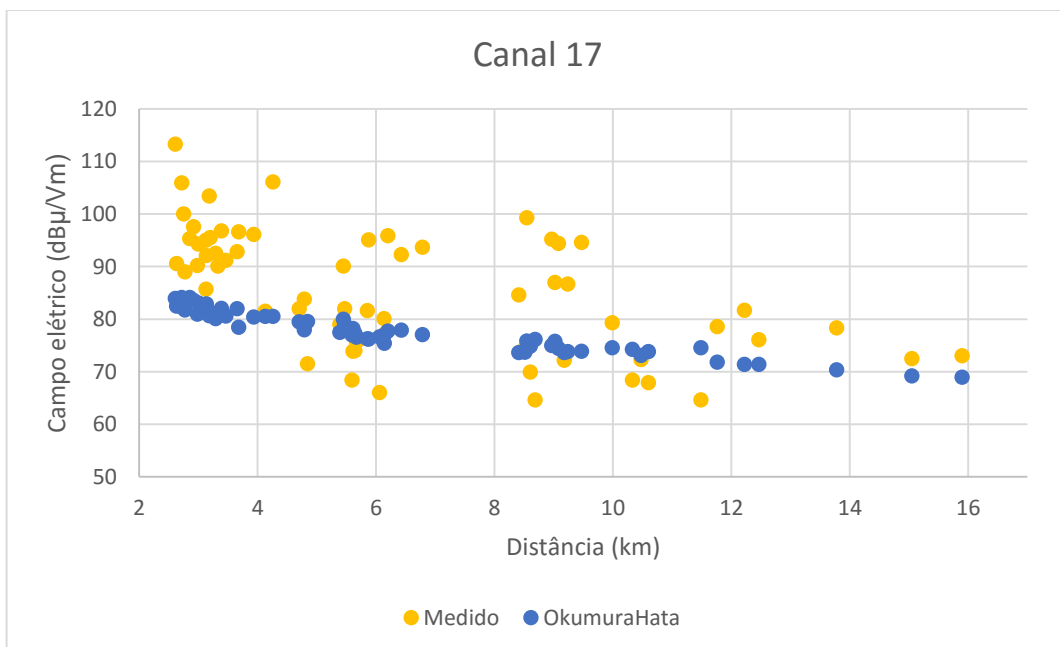


Figura 51: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata em relação à distância - Emissora A

A Tabela 16: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Okumura-Hata mostra os resultados dos erros e o desvio padrão do canal 17.

Tabela 16: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Okumura-Hata

Canal 17 – Okumura-Hata			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
-7,8951	10,3109	7,6623	6,8995

5.3.2 Canal 28

As Figura 52 e Figura 53 mostra a comparação dos resultados para a emissora B.

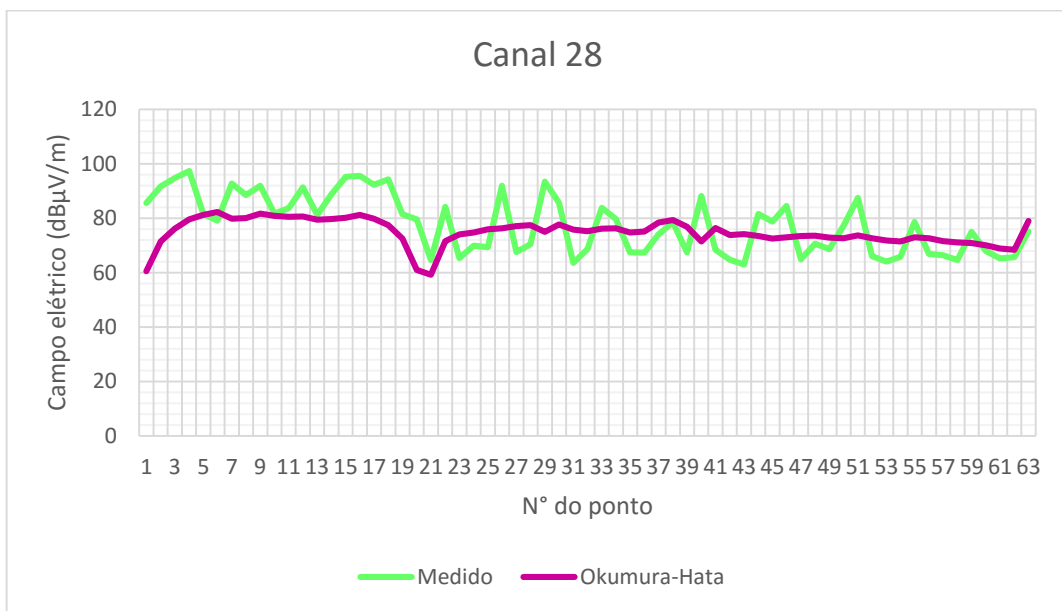


Figura 52: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata - Canal 28

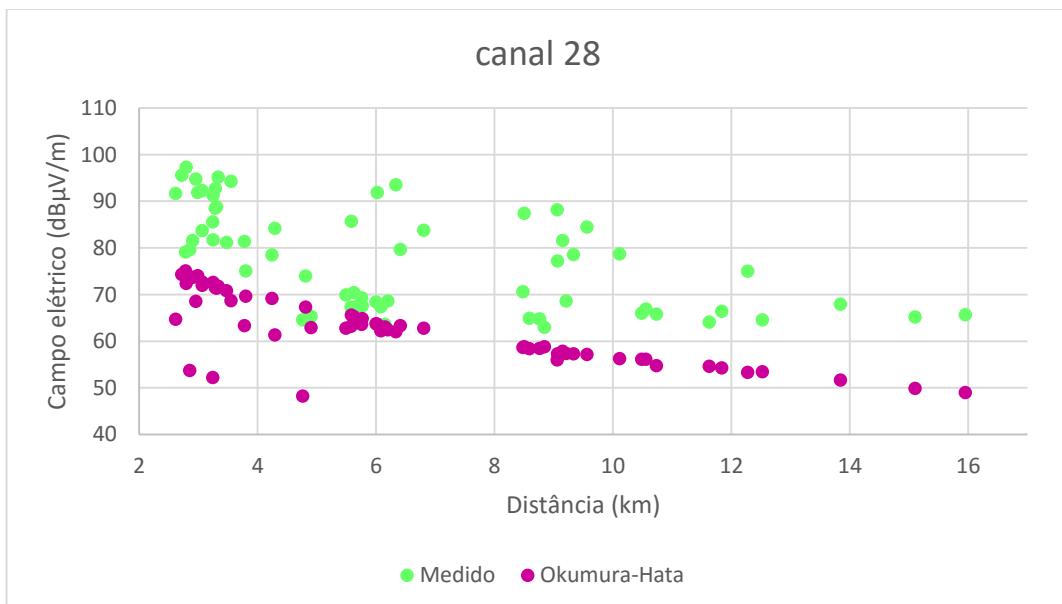


Figura 53: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata em relação à distância - Emissora B

A Tabela 17 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 17: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Okumura-Hata

Canal 28 – Okumura-Hata			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
-2,93	8,72	6,86	5,38

5.3.3 Canal 30

A Figura 54 e Figura 55 mostra a comparação dos resultados para a emissora C.

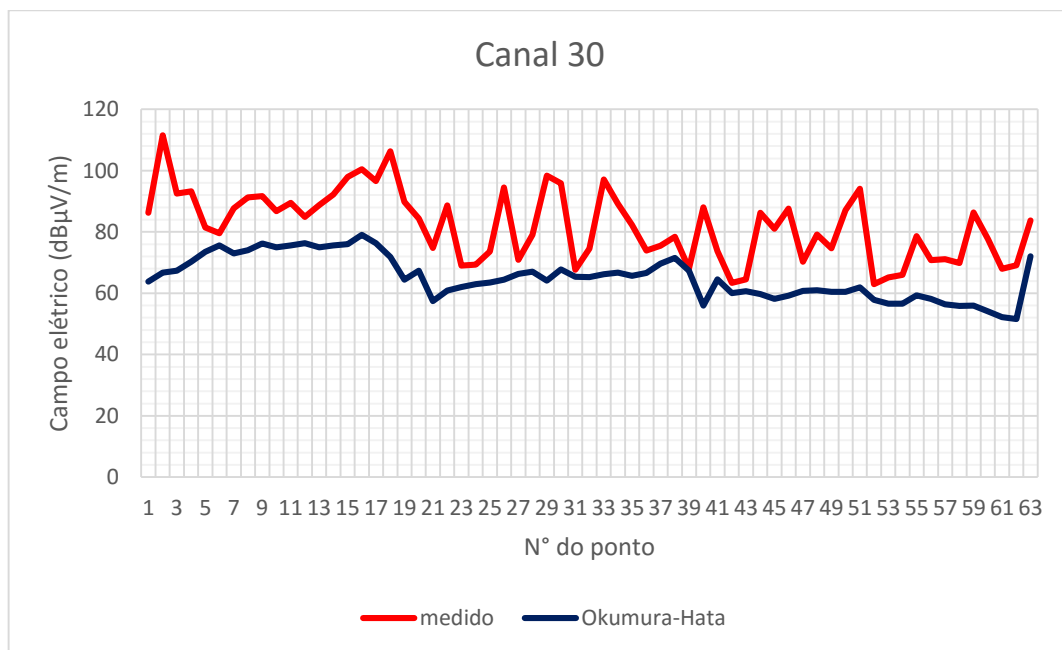


Figura 54: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata - Canal 30

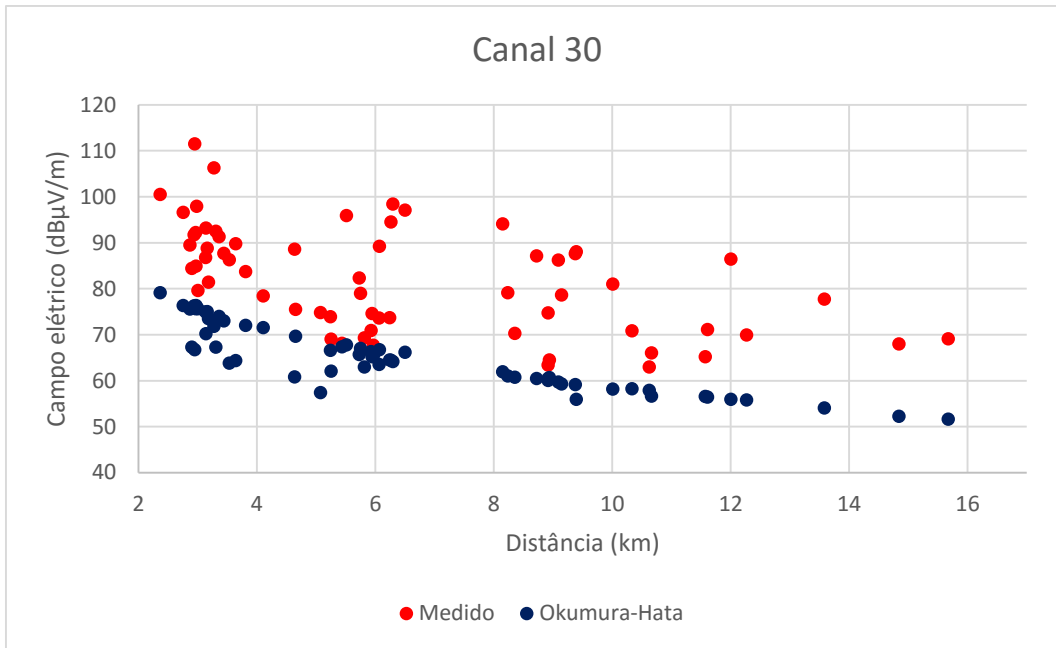


Figura 55: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata em relação à distância - Emissora C

A Tabela 18 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 30.

Tabela 18: Erro e desvio padrão do canal 30, modelo Okumura-Hata

Canal 30 - OkumuraHata			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
-0,93	8,19	6,76	4,63

5.3.4 Canal 32

As Figura 56 e Figura 57 mostra a comparação dos resultados para a emissora D.

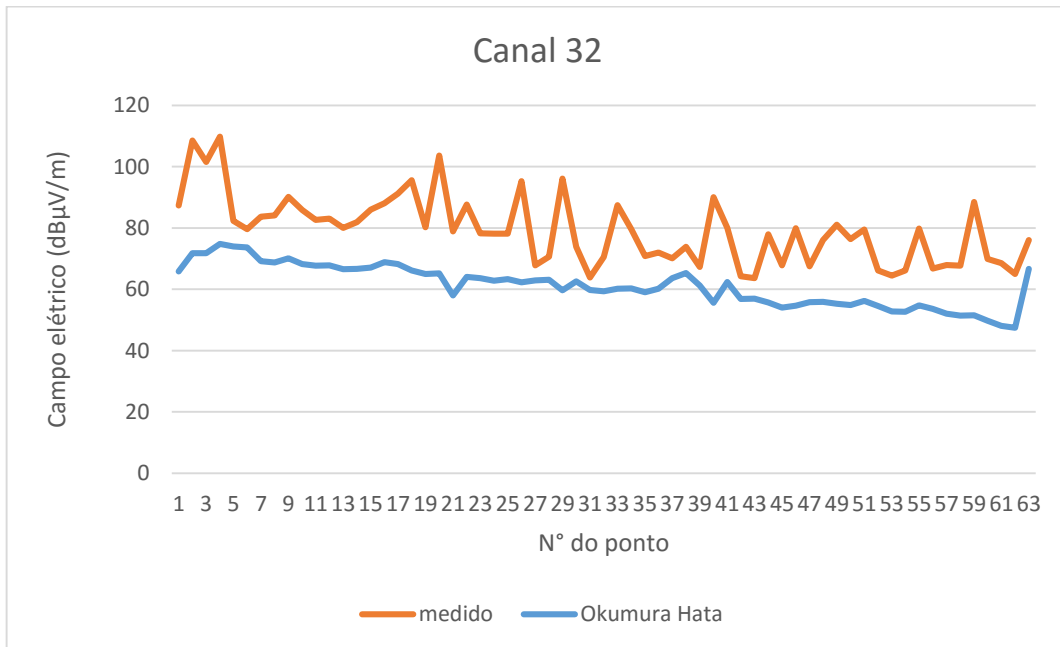


Figura 56: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata - Canal 32

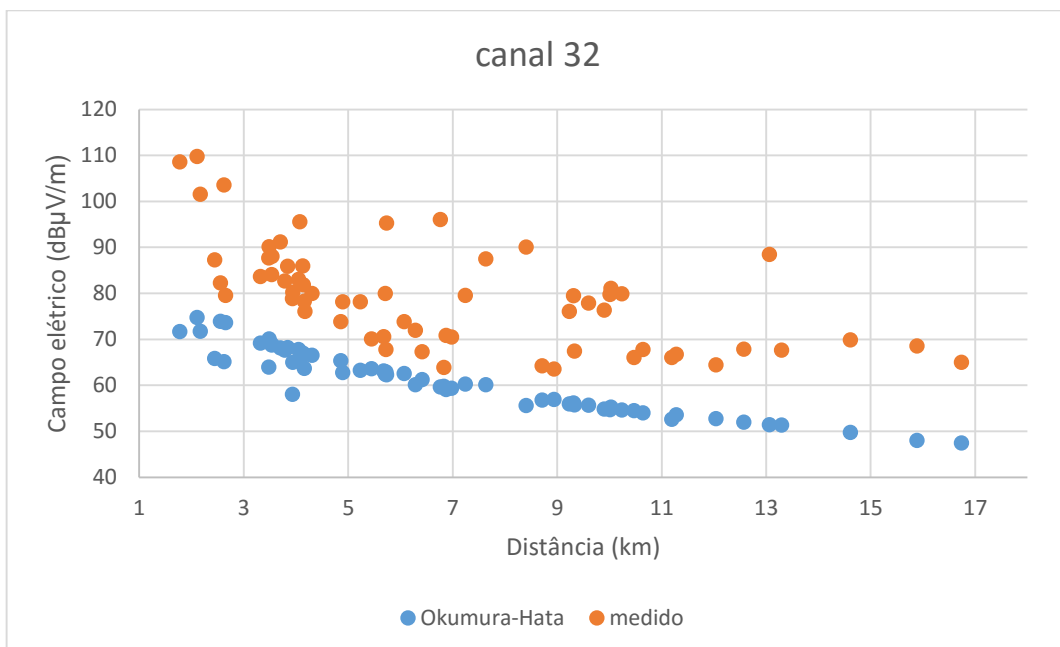


Figura 57: Comparação entre o campo medido e o modelo Okumura-Hata em relação à distância - Emissora D

A Tabela 19 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 32.

Tabela 19: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Okumura-Hata

Canal 32 – Okumura-Hata			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
-3,05	8,37	6,79	4,89

A Tabela 20 mostra os resultados de erro e desvio padrão das emissoras A, B, C e D.

Tabela 20: Comparação entre os erros e o desvio padrão para as emissoras modelo Okumura-Hata

Comparação dos erros das emissora modelo Okumura-Hata				
	Emissora A	Emissora B	Emissora C	Emissora D
Erro médio	-7,89	-2,93	-0,93	-3,05
Erro médio absoluto	10,31	8,72	8,19	8,37
Erro rms	7,66	6,86	6,76	6,79
Desvio padrão	6,89	5,38	4,63	4,89

A Tabela 21 mostra a quantidade de pontos que estão acima e abaixo do valor teórico de cada uma das emissoras estudadas.

Tabela 21: Quantidade de pontos superior e abaixo do modelo Okumura-Hata

Quantidade de pontos Okumura-Hata				
Emissora	Baixo	%	Superior	%
A	13	20,63	50	79,37
B	0	-	63	100
C	0	-	63	100
D	0	-	63	100

5.4 Log-Distância

5.4.1 Emissora A

As Figura 58 e Figura 66 mostra a comparação dos resultados para a emissora A.

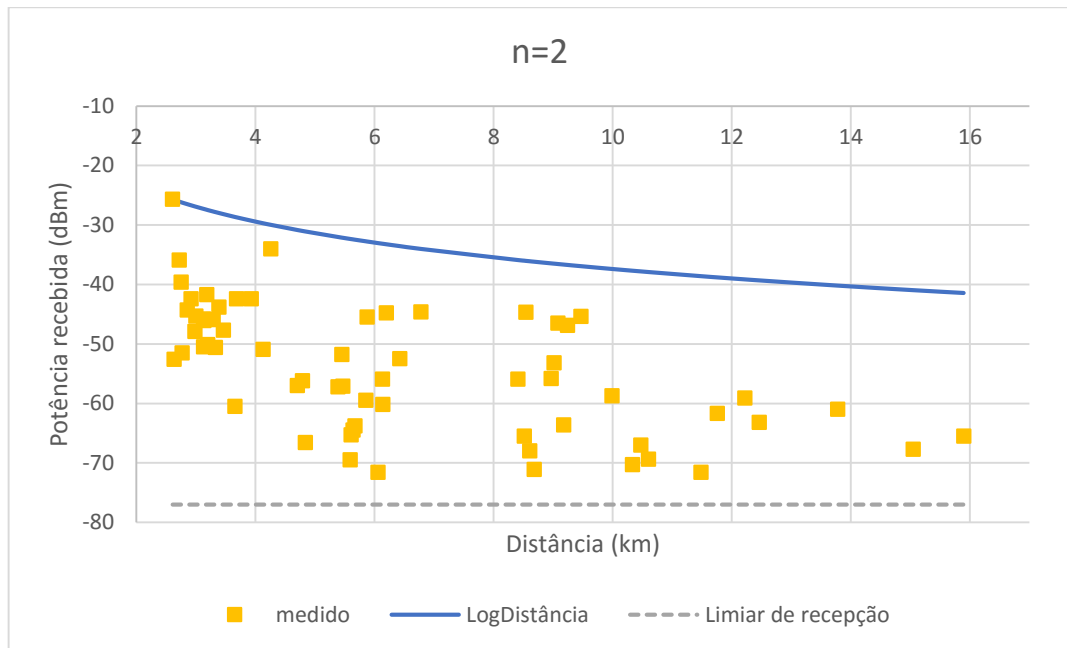


Figura 58: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=2 - Canal 17

A Tabela 19 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 32.

Tabela 22: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância n=2

n=2			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
21,72	21,72	20,02	8,41

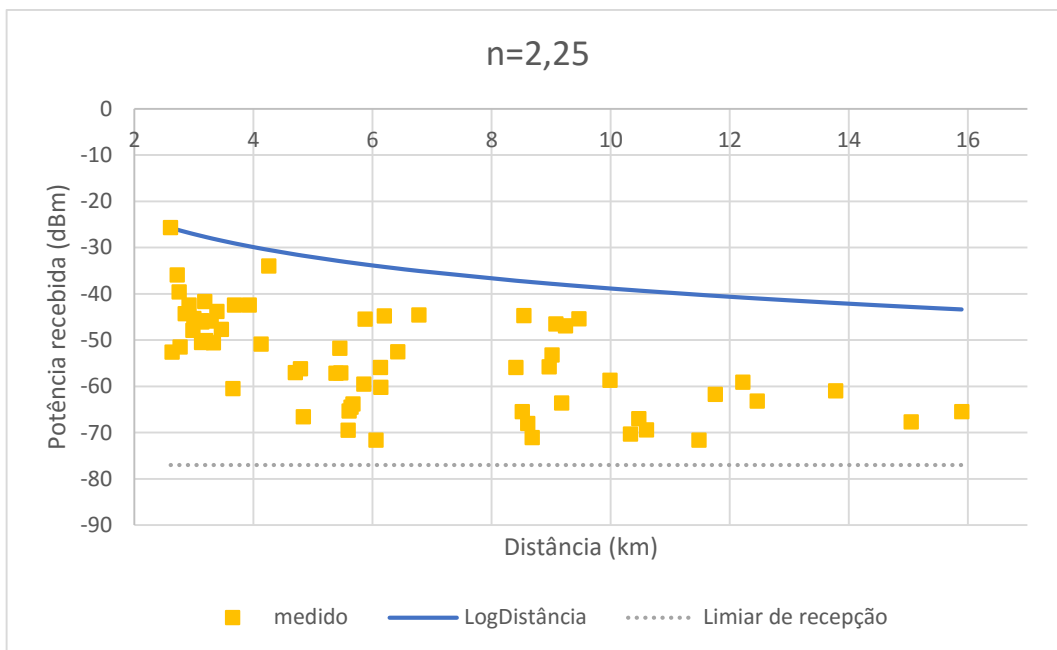


Figura 59: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,25$ - Canal 17

A Tabela 23 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 32.

Tabela 23: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância $n=2,25$

n=2,25			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
20,88	20,88	19,16	8,29

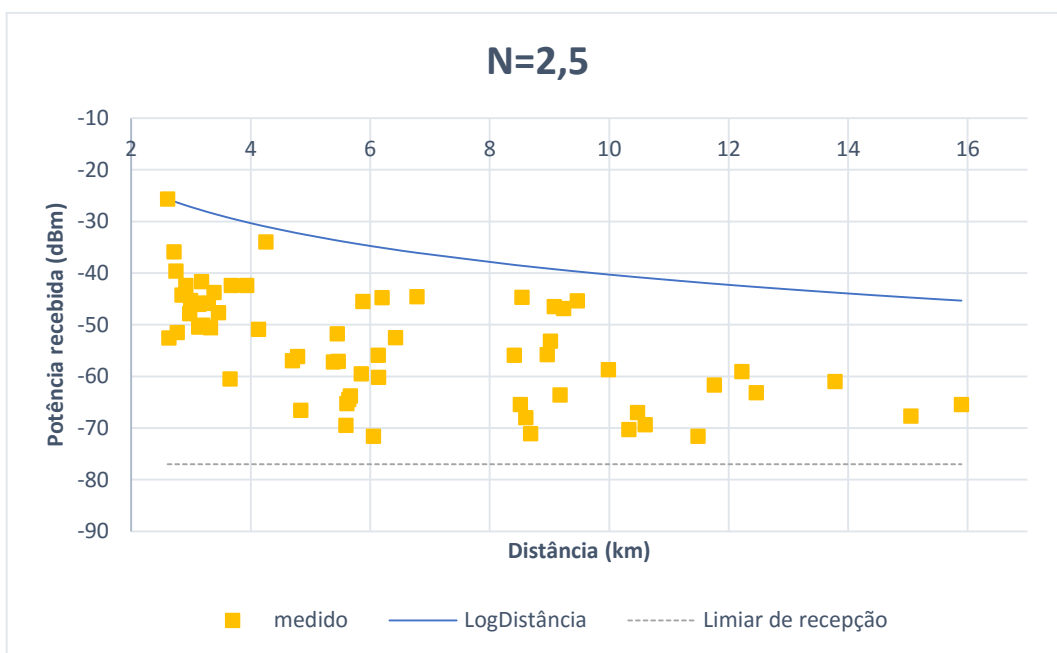


Figura 60: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,5$ - Canal 17

A Tabela 24 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 32.

Tabela 24: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância n=2,5

n=2,5			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
20,03	20,03	18,28	8,20

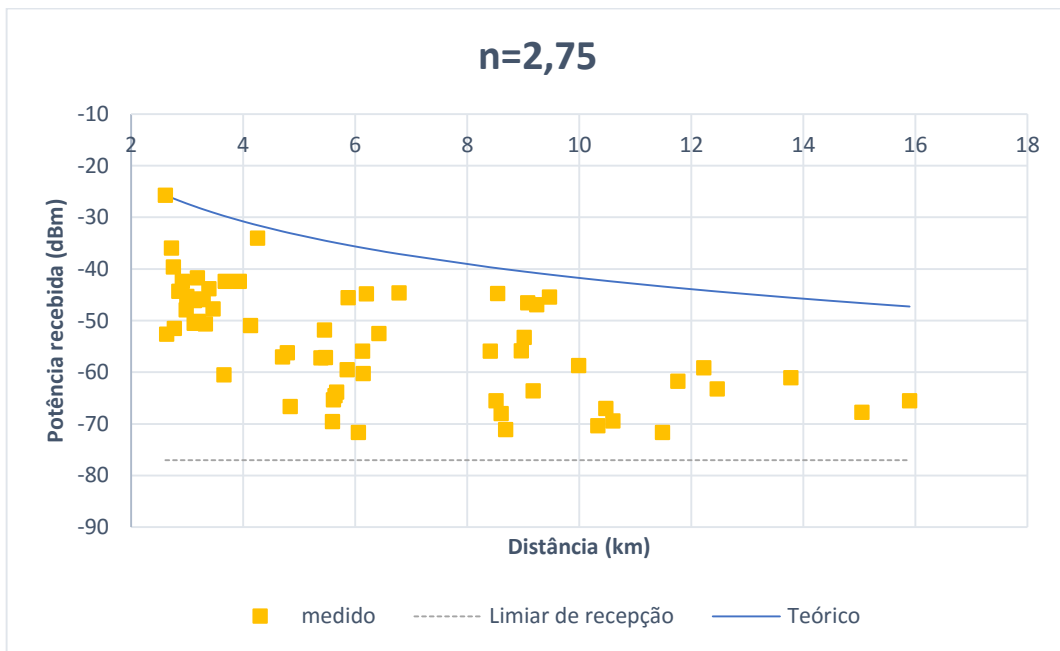


Figura 61: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=2,75 - Canal 17

A Tabela 25 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 32.

Tabela 25: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância n=2,75

n=2,75			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
19,73	19,73	17,94	8,21

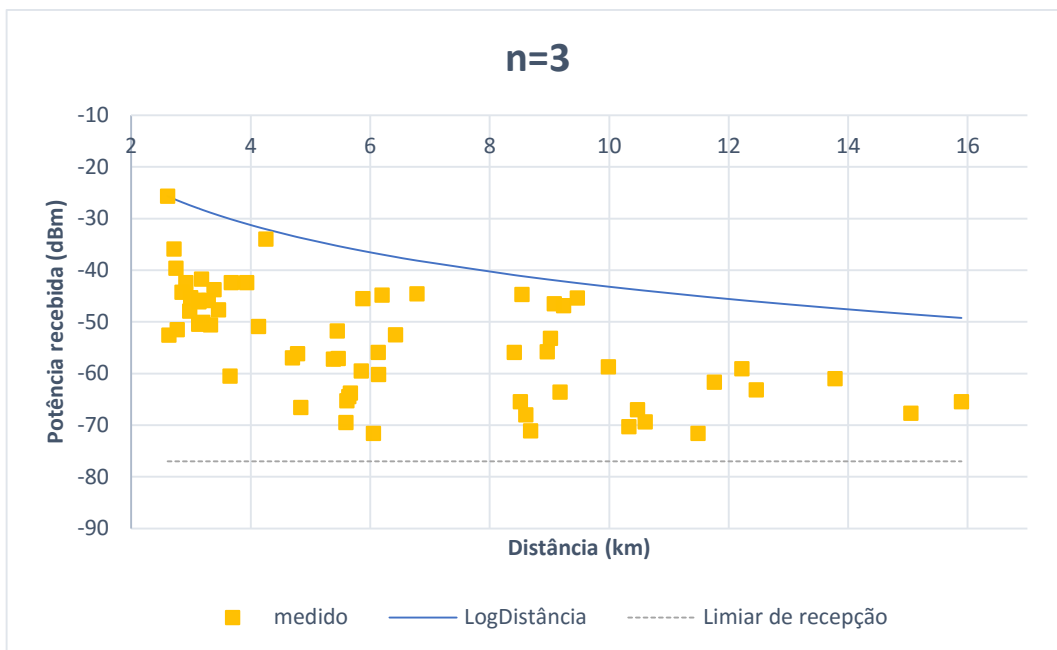


Figura 62: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=3 - Canal 17

A Tabela 26 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 32.

Tabela 26: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância n=3

n=3			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
18,34	18,34	16,44	8,14

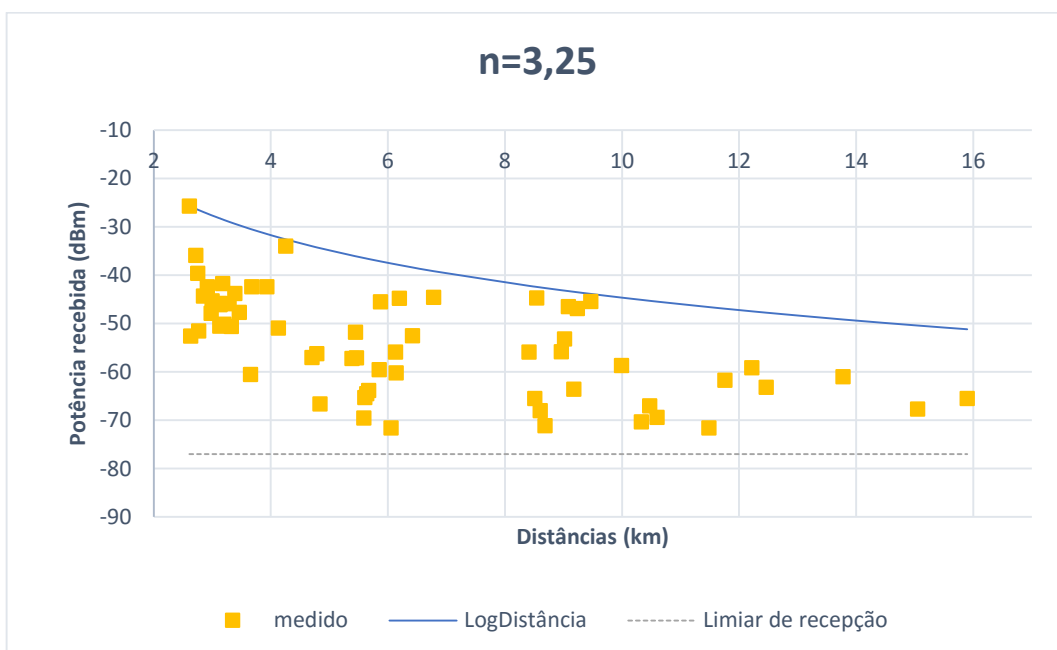


Figura 63: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=3,25 - Canal 17

A Tabela 27 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 32.

Tabela 27: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância n=3,25

n=3,25			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
17,50	17,50	15,48	8,17

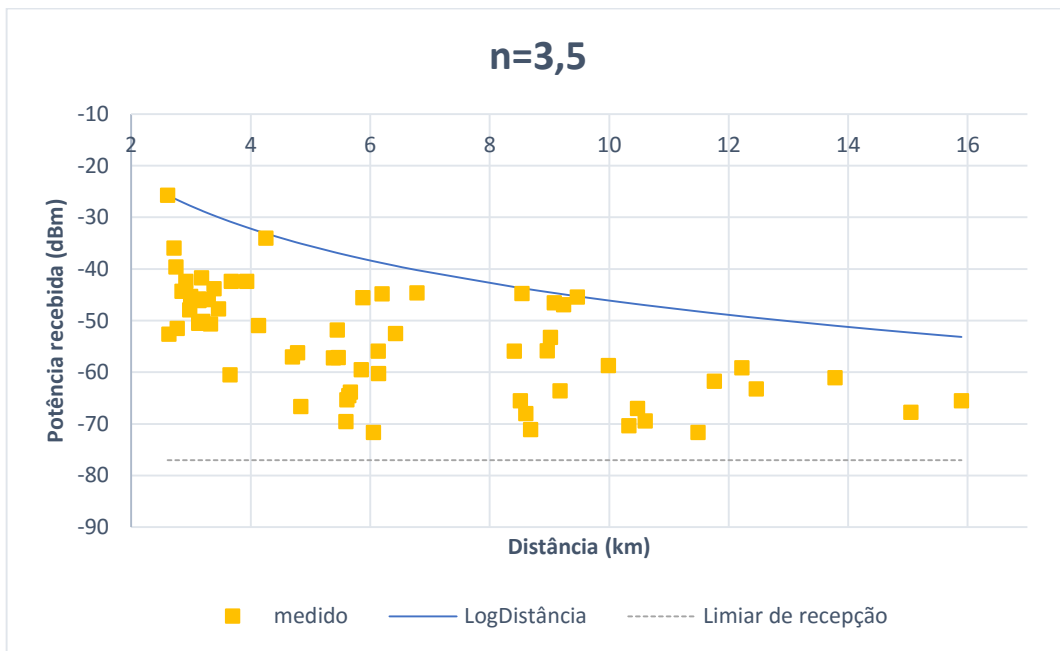


Figura 64: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=3,5 - Canal 17

A Tabela 28 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 32.

Tabela 28: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância n=3,5

n=3,5			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
16,66	16,66	14,48	8,24

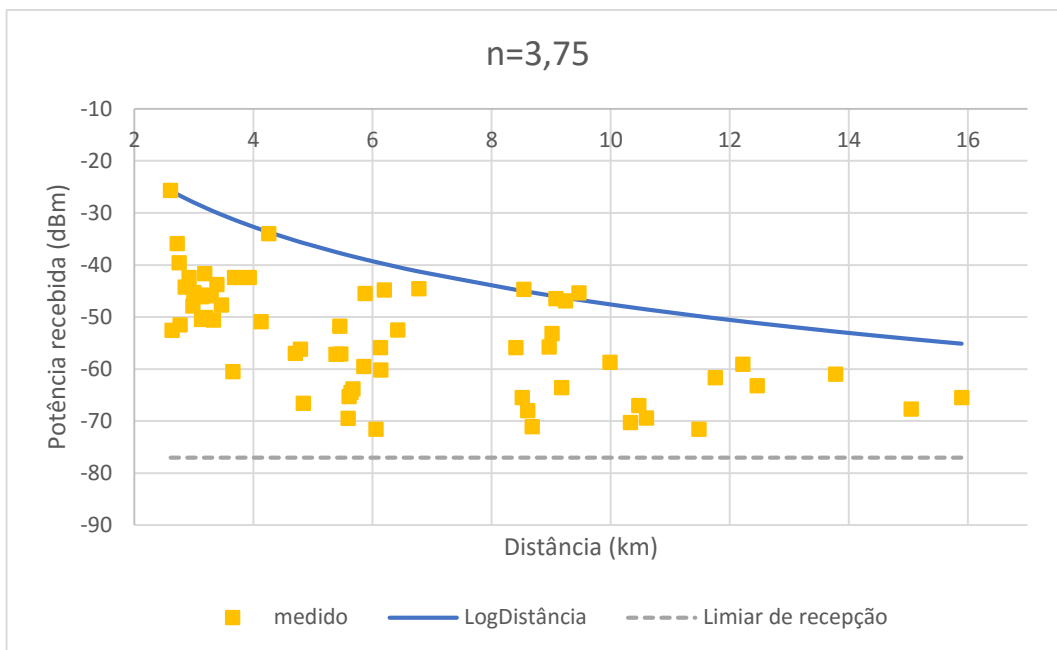


Figura 65: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=3,75 - Canal 17

A Tabela 19 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 32.

Tabela 29: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância n=3,75

n=3,75			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
15,81	15,87	13,55	8,24

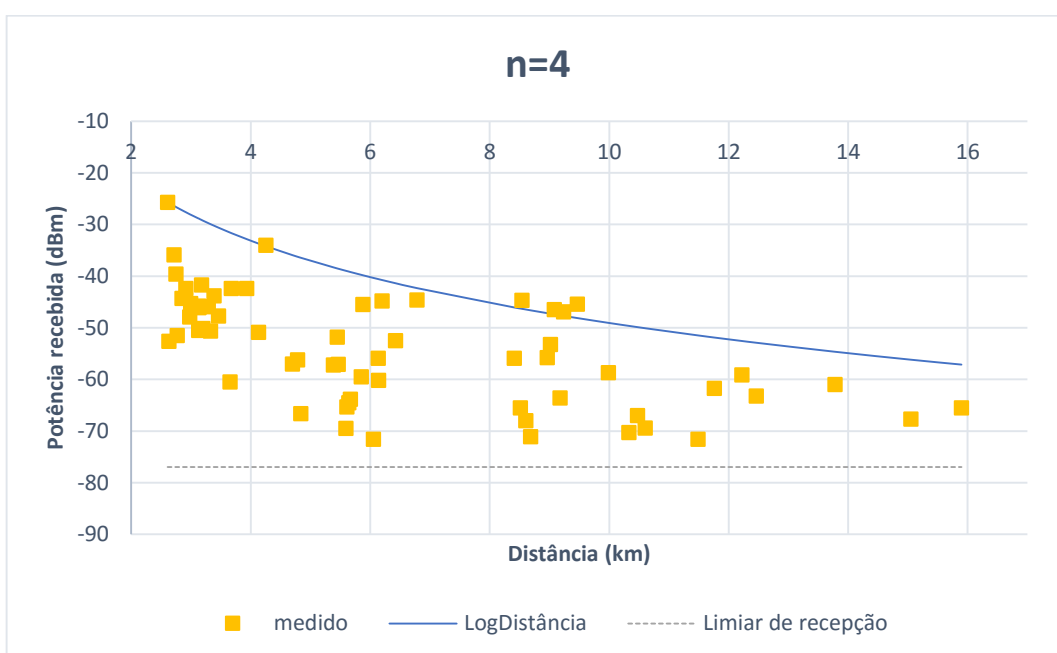


Figura 66: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=4 - Canal 17

A Tabela 30 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 32.

Tabela 30: Erros e desvio padrão do canal 17, modelo Log-Distância n=4

n=4			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
14,97	15,17	12,80	8,12

A Tabela 31 mostra os resultados dos erros e do desvio padrão do canal 17.

Tabela 31: Comparação dos erros e desvio padrão para o modelo Log-Distância – canal 17

Comparação dos erros do modelo Log-Distância para o canal 17									
n	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4
Erro médio	21,72	20,88	20,03	19,73	18,34	17,50	16,66	15,81	14,97
Erro absoluto	21,72	20,88	20,03	19,73	18,34	17,50	16,66	15,87	15,17
Erro RMS	20,02	19,16	18,28	17,94	16,44	15,48	14,48	13,55	12,80
Desvio padrão	8,41	8,29	8,20	8,21	8,14	8,17	8,24	8,24	8,12

5.4.2 Emissora B

A Figura 67 mostra a comparação dos resultados para a emissora B para n=2.

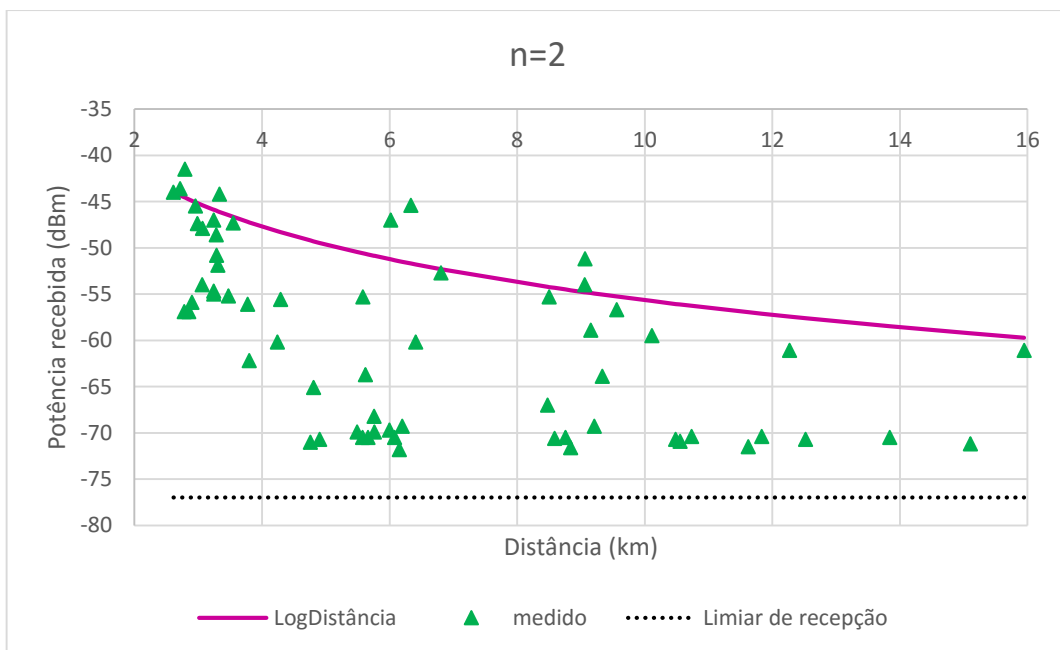


Figura 67: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=2 - Canal 28

A Tabela 32 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 32: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância n=2

n=2			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
9,18	9,84	7,22	6,69

A Figura 68 mostra a comparação dos resultados para a emissora A para n=2,25.

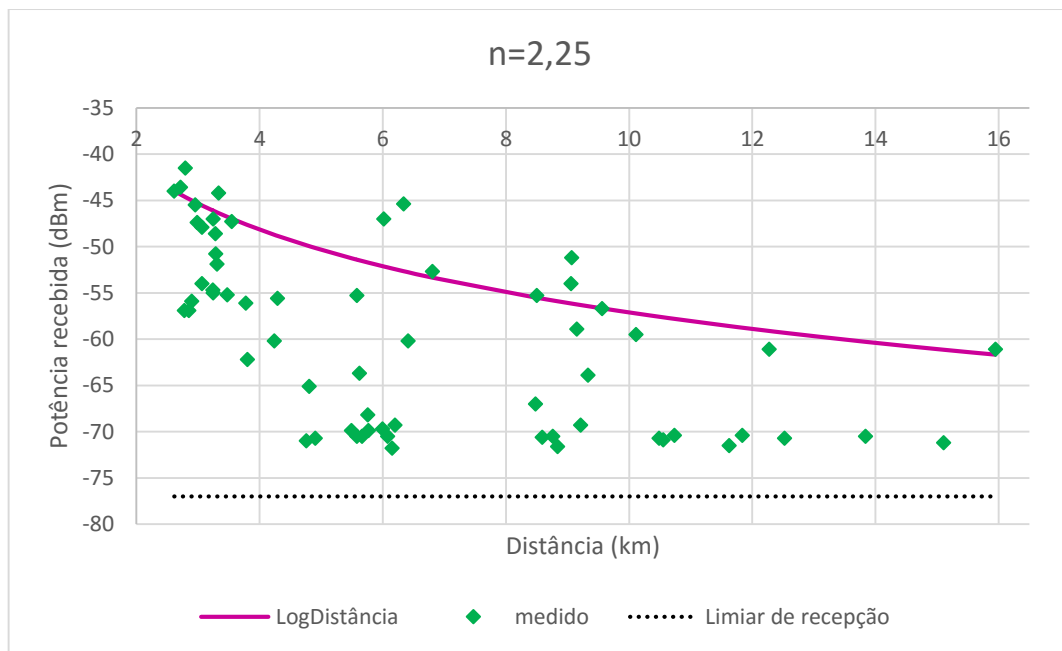


Figura 68: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=2,25 - Canal 28.

A Tabela 33 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 33: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância n=2,25

n=2,25			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
8,33	9,19	6,61	6,38

A Figura 69 mostra a comparação dos resultados para a emissora A para $n=2,5$.

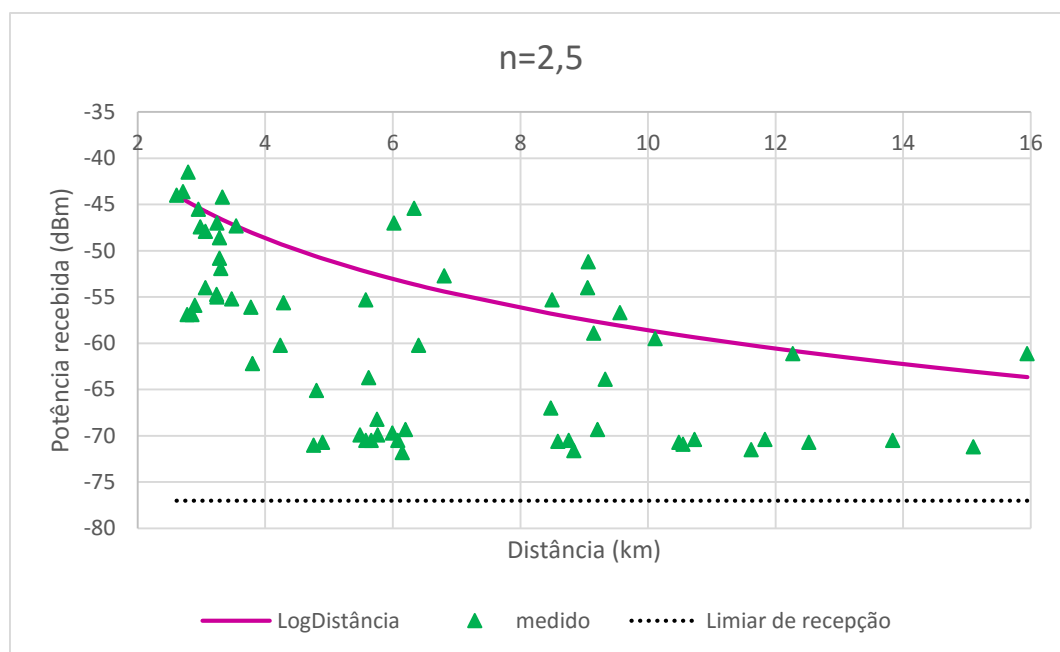


Figura 69: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,5$ - Canal 28

A Tabela 34 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 34: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=2,5$

n=2,5			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
7,48	8,68	6,30	5,97

A Figura 70 mostra a comparação dos resultados para a emissora A para $n=2,75$.

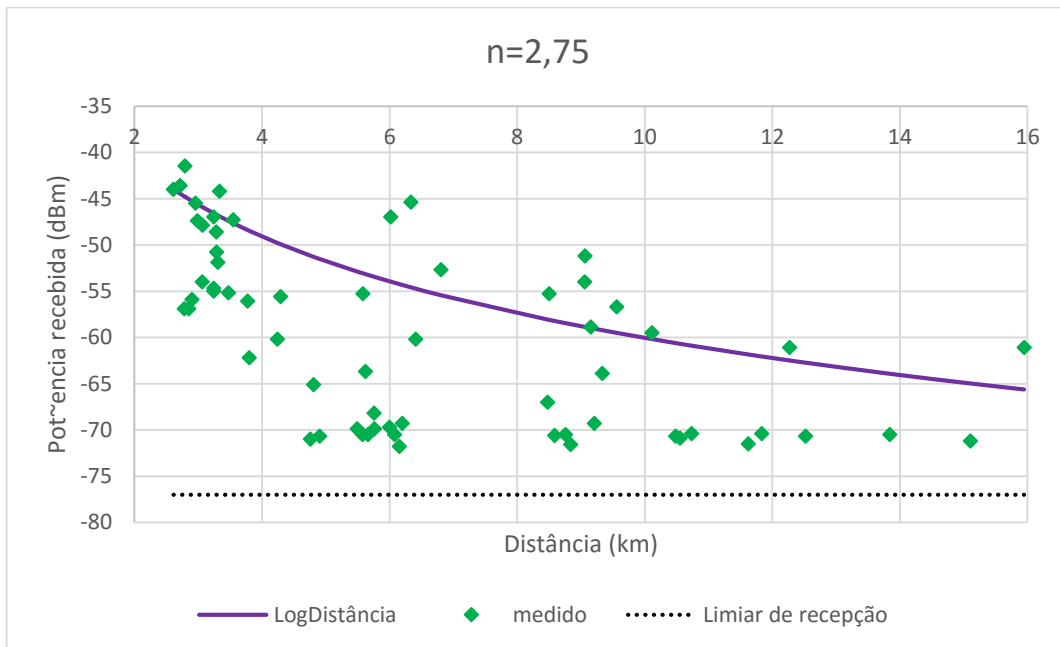


Figura 70: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,75$ - Canal 28

A Tabela 35 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 35: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=2,75$

n=2,75			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
6,63	8,24	6,09	5,55

A Figura 71 mostra a comparação dos resultados para a emissora A para n=3.

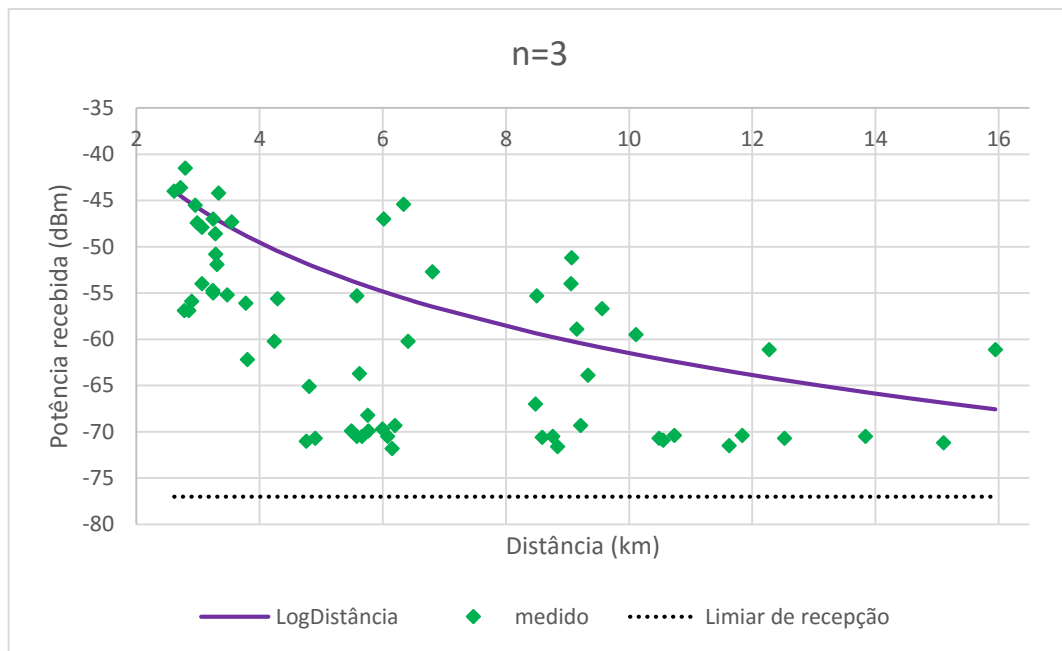


Figura 71: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=3 - Canal 28

A Tabela 36 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 36: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância n=3

n=3			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
5,77	7,88	5,97	5,15

A Figura 72 mostra a comparação dos resultados para a emissora A para $n=3,25$.

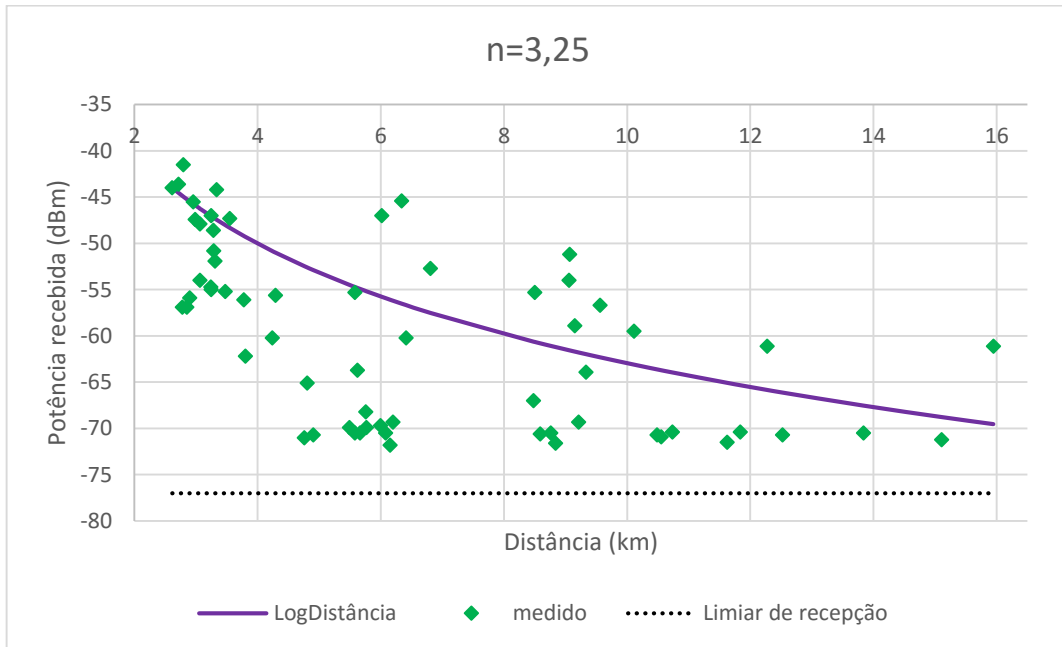


Figura 72: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,25$ - Canal 28

A Tabela 37 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 37: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=3,25$

n=3,25			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
4,92	7,53	5,71	4,90

A Figura 73 mostra a comparação dos resultados para a emissora A para $n=3,5$.

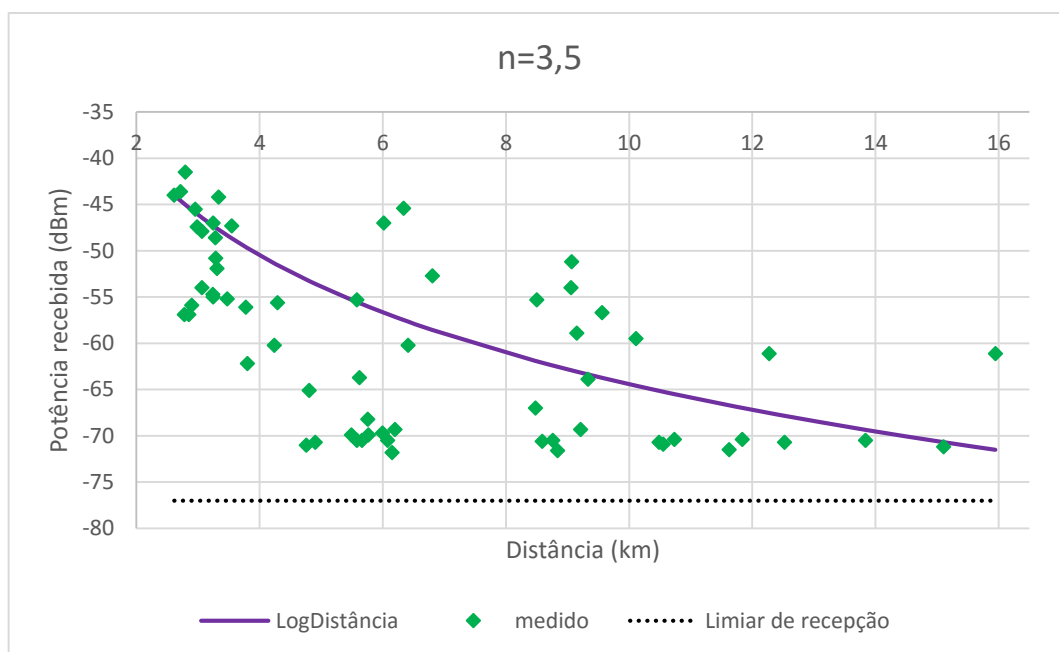


Figura 73: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,5$ - Canal 28

A Tabela 38 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 38: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=3,5$

n=3,5			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
4,07	7,19	5,34	4,81

A Figura 74 mostra a comparação dos resultados para a emissora A para $n=3,75$.

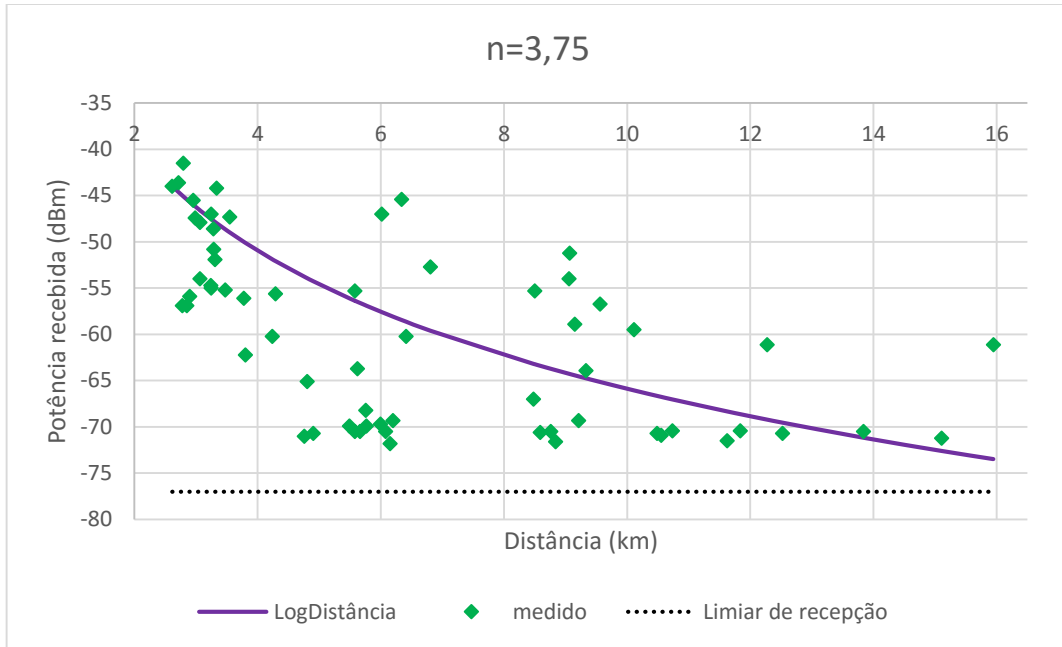


Figura 74: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,75$ - Canal 28

A Tabela 39 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 39: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância $n=3,75$

n=3,75			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
3,21	6,95	5,07	4,76

A Figura 75 mostra a comparação dos resultados para a emissora A para n=4.

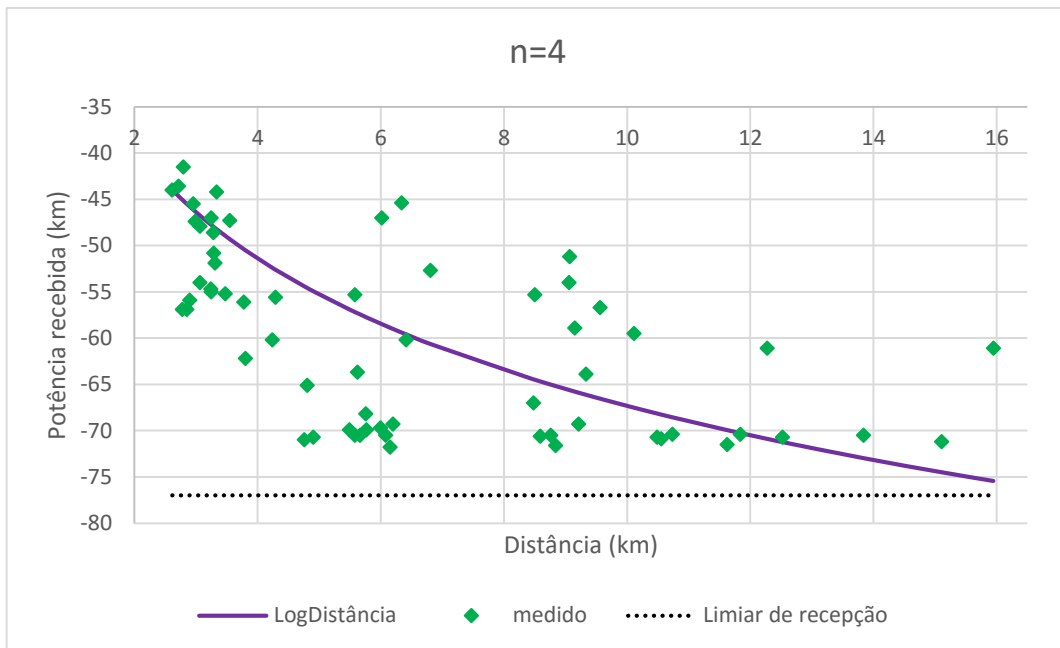


Figura 75: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=4 - Canal 28

A Tabela 40 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 40: Erros e desvio padrão do canal 28, modelo Log-Distância n=4

n=4			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
2,36	6,81	4,84	4,79

A Tabela 41 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 28.

Tabela 41: Comparação dos erros do modelo Log-Distância – Canal 28

Comparação dos erros do modelo Log-Distância para o canal 28									
n	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4
Erro médio	9,18	8,33	7,48	6,63	5,77	4,92	4,07	3,21	2,36
Erro absoluto	9,84	9,19	8,68	8,24	7,88	7,53	7,19	6,95	6,81
Erro RMS	7,22	6,61	6,30	6,09	5,97	5,71	5,34	5,07	4,84
Desvio padrão	6,69	6,38	5,97	5,55	5,15	4,90	4,81	4,76	4,79

5.4.3 Emissora C

A Figura 76 mostra a comparação dos resultados para a emissora C para n=2.

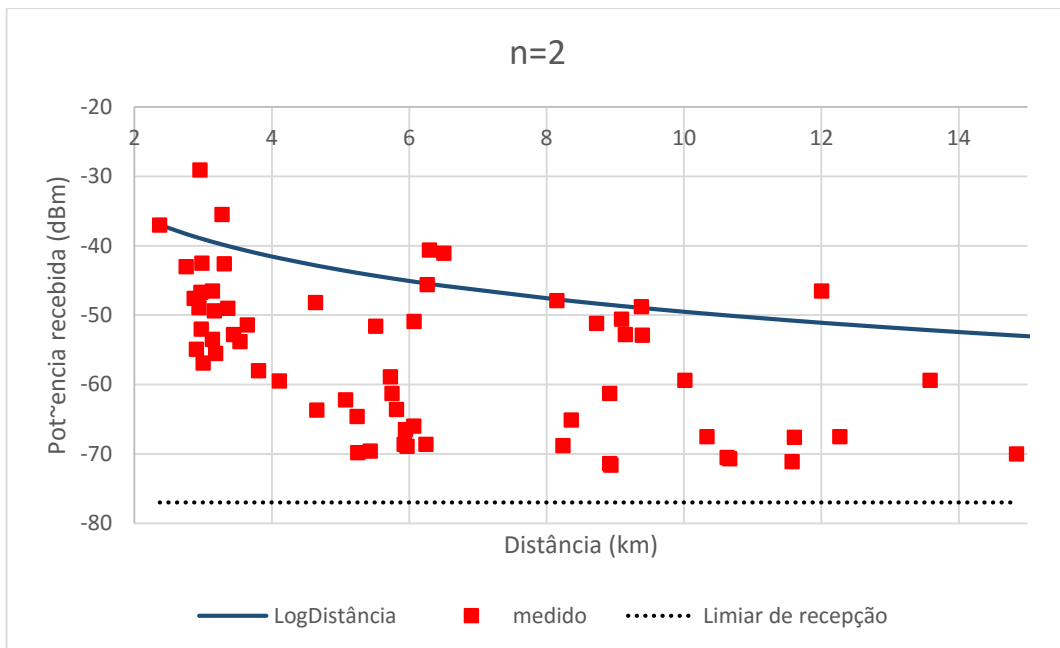


Figura 76: Comparação potência medida e o modelo Log-Distância n=2 - Canal 30

A Tabela 42 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 42: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância n=2

n=2			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
11,85	12,75	10,31	7,50

A Figura 77 mostra a comparação dos resultados para a emissora C para $n=2,25$.

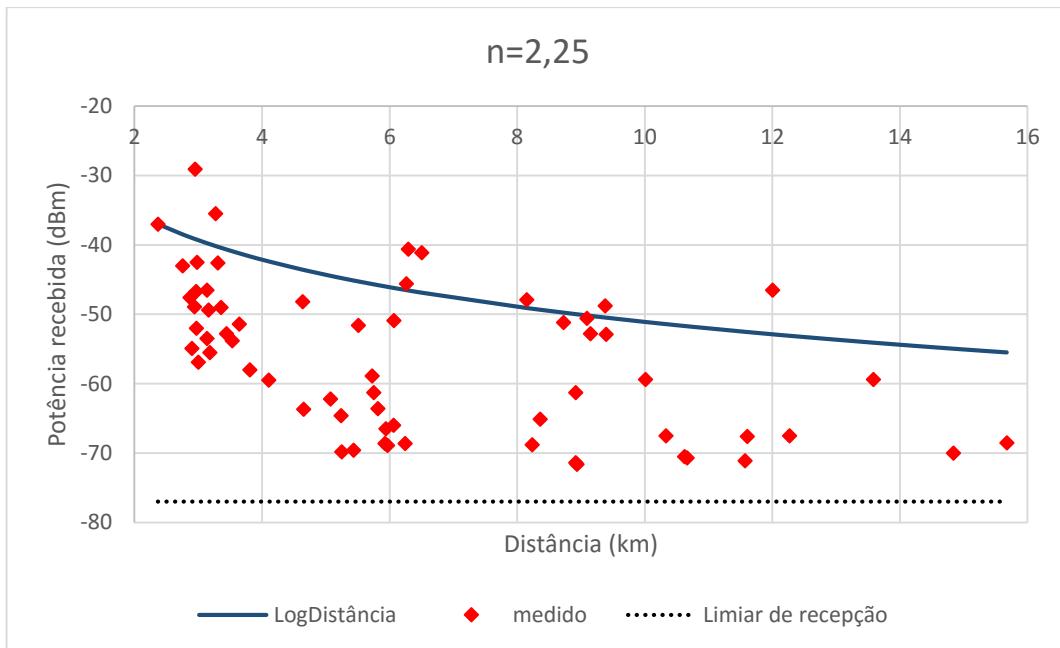


Figura 77: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,25$ - Canal 30.

A Tabela 43 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 43: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=2,25$

n=2,25			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
10,89	12,05	9,74	7,10

A Figura 78 mostra a comparação dos resultados para a emissora C para $n=2,5$.

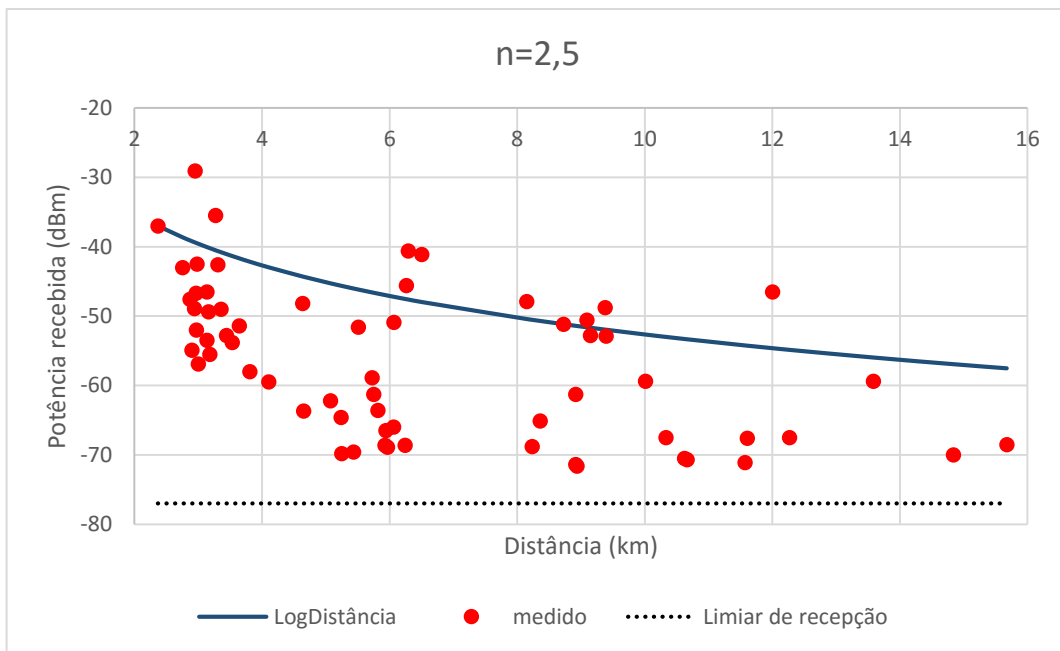


Figura 78: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,5$ - Canal 30.

A Tabela 44 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 44: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=2,5$

n=2,5			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
9,94	11,40	9,21	6,72

A Figura 79 mostra a comparação dos resultados para a emissora C para n=2,75.

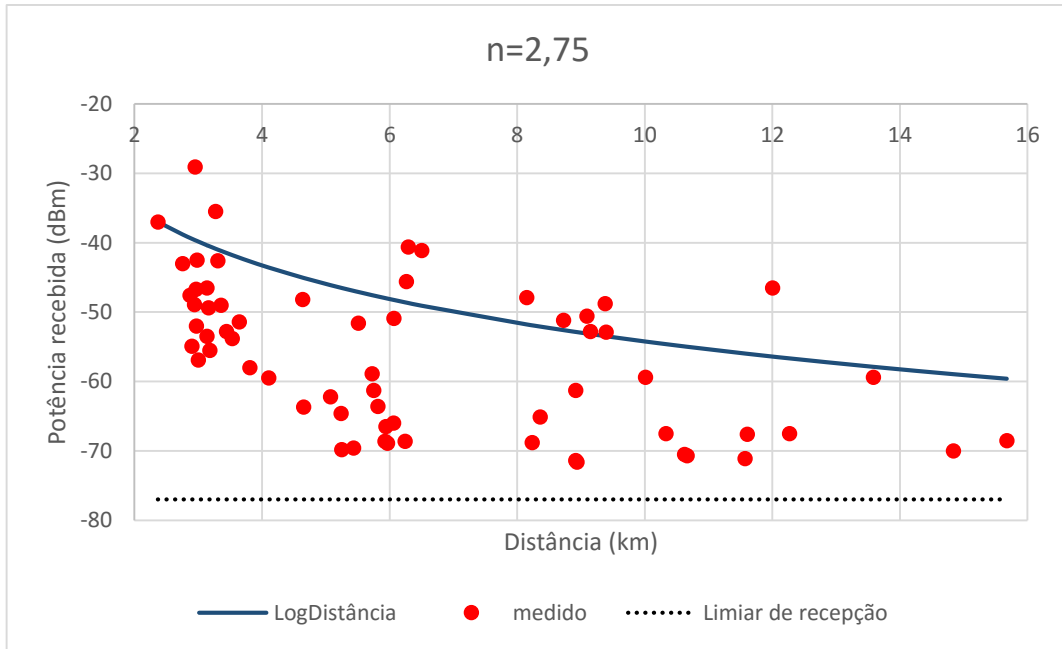


Figura 79: Comparação da potência medida com Log-Distância n=2,75 - Canal 30.

A Tabela 45 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 45: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância n=2,75

n=2,75			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
8,99	10,84	8,82	6,29

A Figura 80 mostra a comparação dos resultados para a emissora C para n=3.

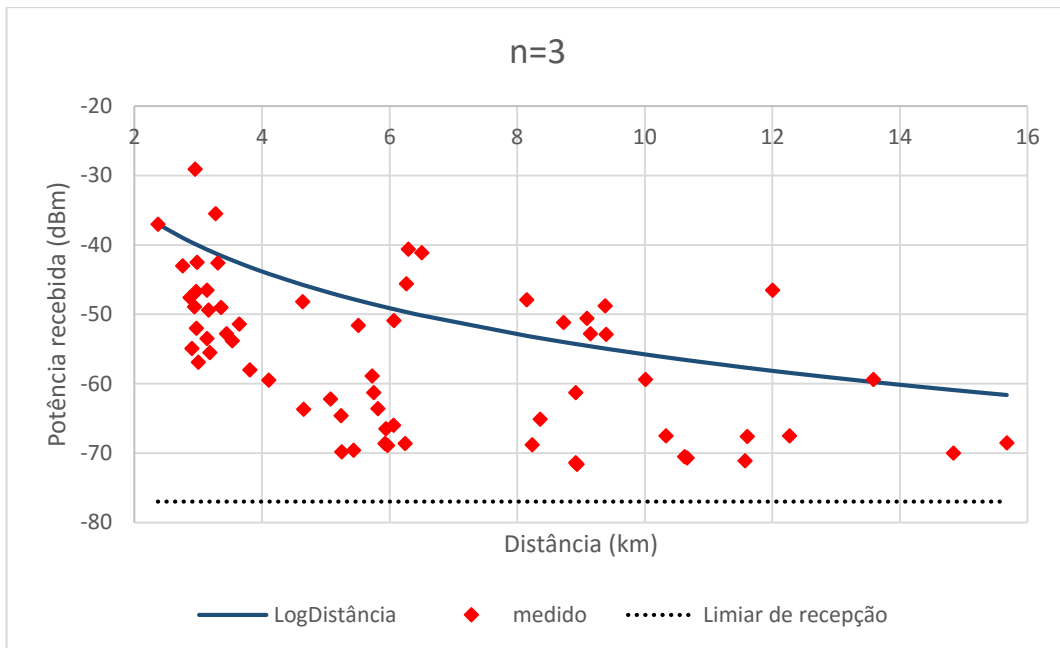


Figura 80: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=3 - Canal 30.

A Tabela 46 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 46: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância n=3

n=3			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
8,04	10,35	8,53	5,85

A Figura 81 mostra a comparação dos resultados para a emissora C para $n=3,25$.

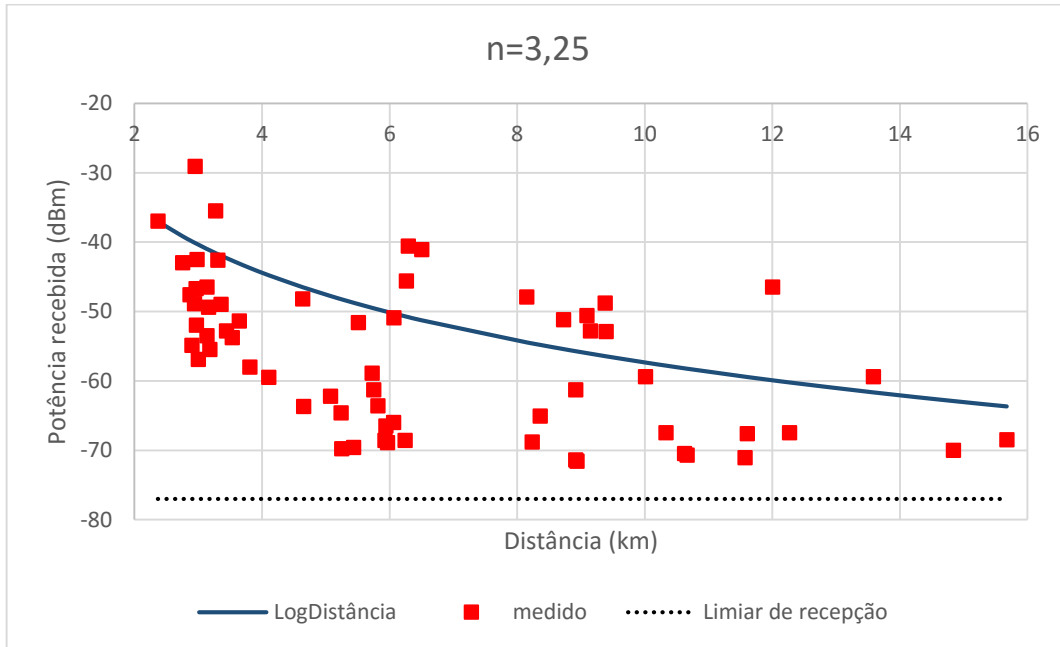


Figura 81: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,25$ - Canal 30.

A Tabela 47 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 47: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=3,25$

n=3,25			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
7,09	9,91	8,26	5,46

A Figura 82 mostra a comparação dos resultados para a emissora C para n=3,5.

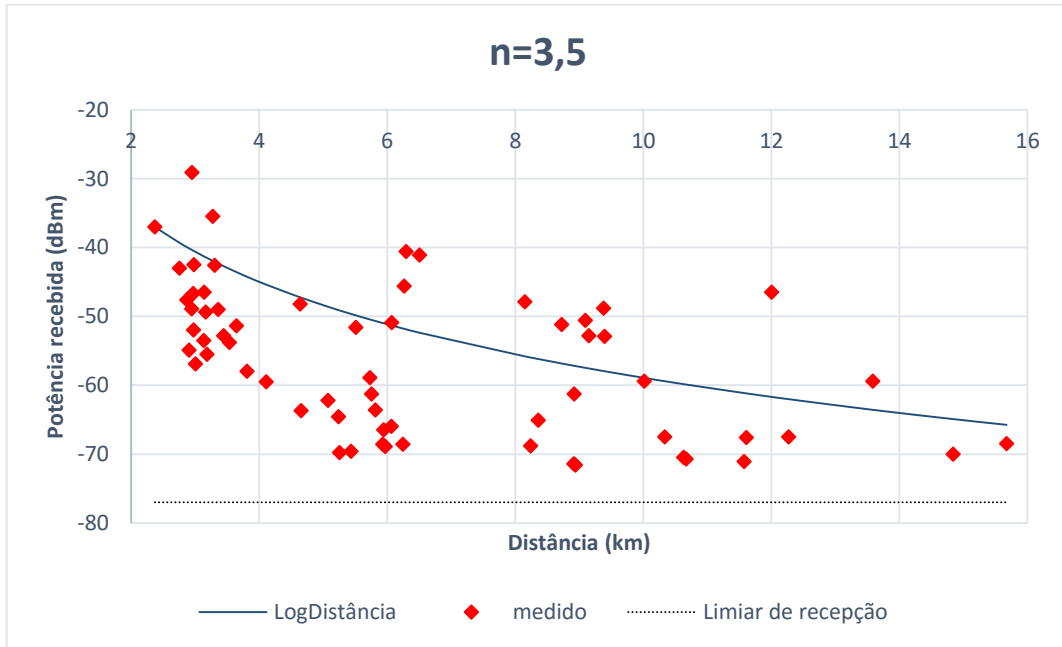


Figura 82: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=3,5 - Canal 30.

A Tabela 48 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 48: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância n=3,5

n=3,5			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
6,13	9,48	7,91	5,22

A Figura 83 mostra a comparação dos resultados para a emissora C para $n=3,75$.

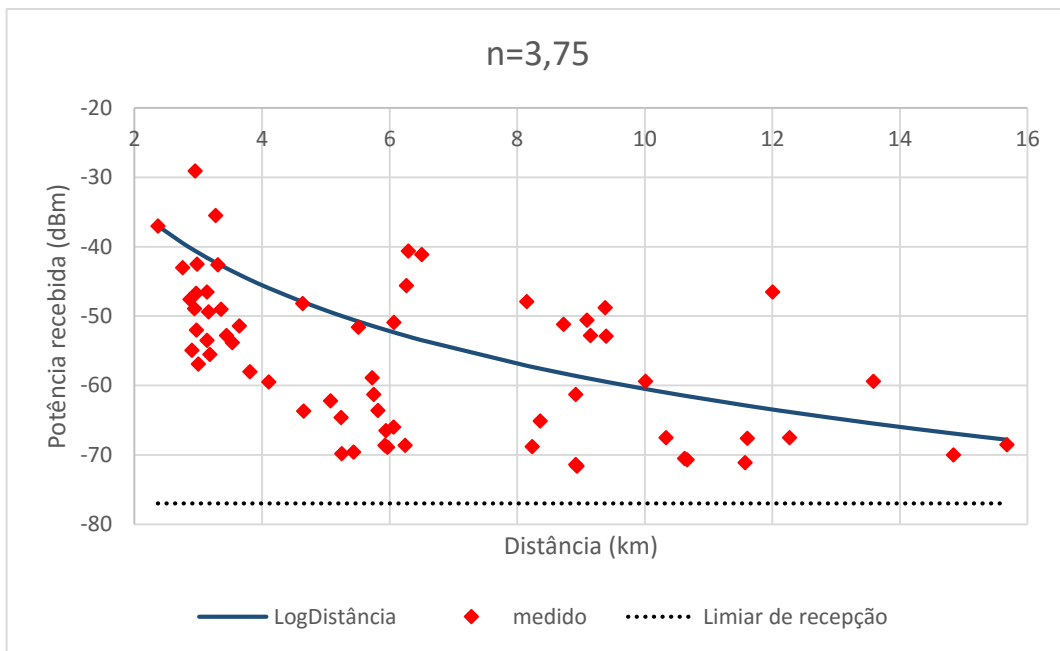


Figura 83: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,75$ - Canal 30.

A Tabela 49 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 49: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância $n=3,75$

n=3,75			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
5,18	9,11	7,56	5,08

A Figura 84 mostra a comparação dos resultados para a emissora C para n=4.

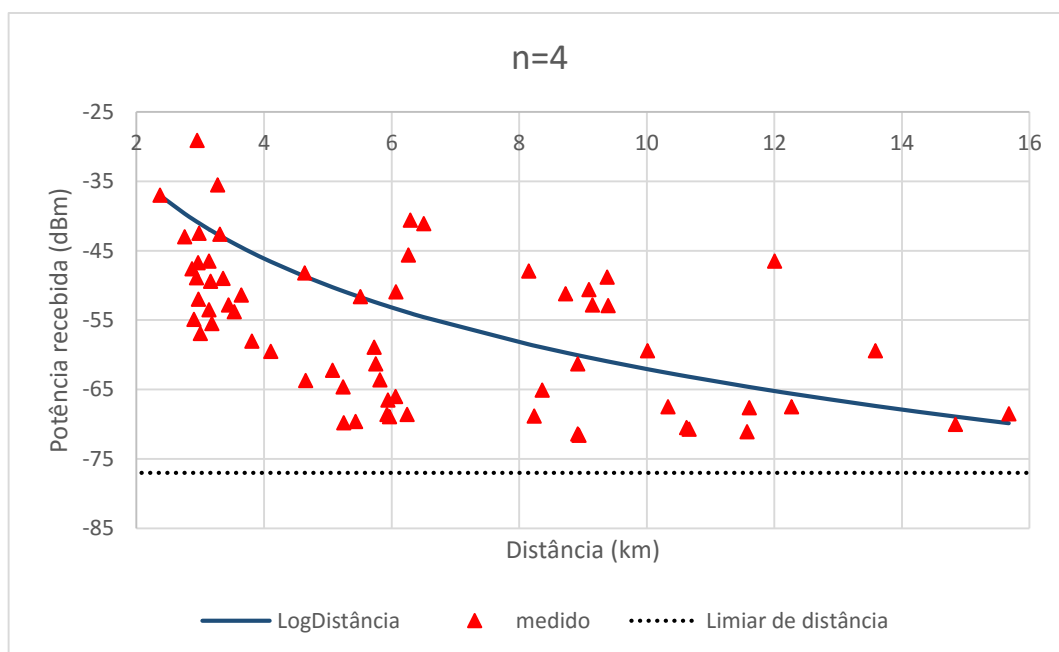


Figura 84: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=4 - Canal 30.

A Tabela 50 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 50: Erros e desvio padrão do canal 30, modelo Log-Distância n=4

n=4			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
4,23	8,82	7,25	5,01

A Tabela 51 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 30.

Tabela 51: Comparação dos erros do modelo Log-Distância- canal 30

Comparação dos erros do modelo Log-Distância para o canal 30									
n	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4
Erro médio	11,85	10,89	9,94	8,99	8,04	7,09	6,13	5,18	4,23
Erro absoluto	12,75	12,05	11,40	10,84	10,35	9,91	9,48	9,11	8,82
Erro RMS	10,31	9,74	9,21	8,82	8,53	8,26	7,91	7,56	7,25
Desvio padrão	7,50	7,10	6,72	6,29	5,85	5,46	5,22	5,08	5,01

5.4.4 Emissora D

A Figura 85 mostra a comparação dos resultados para a emissora D para $n=4$.

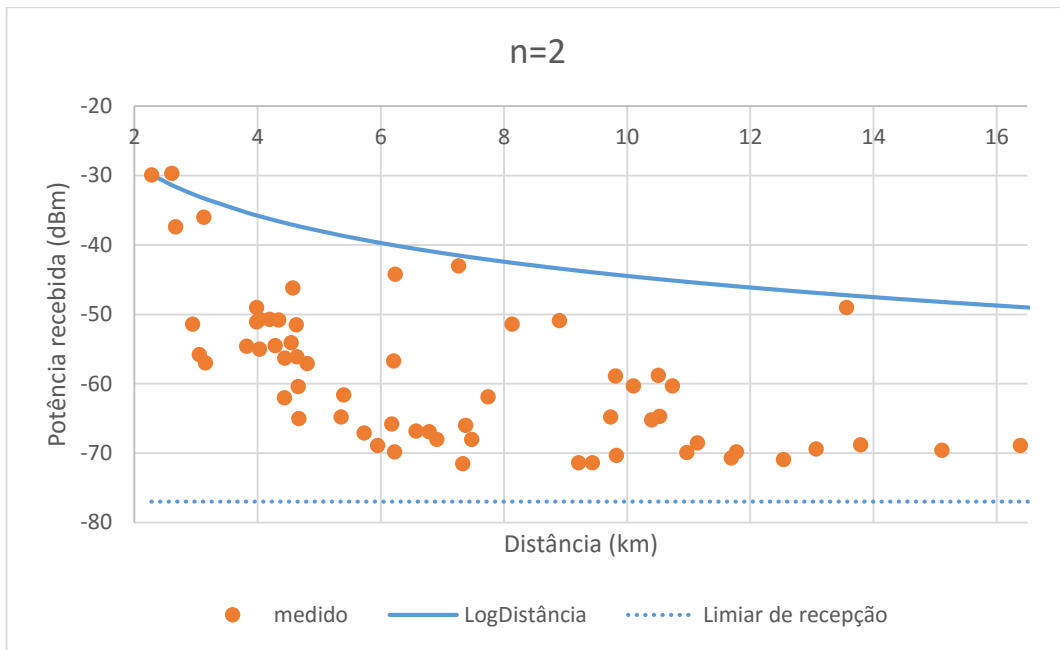


Figura 85: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2$ - Canal 32.

A Tabela 52 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 52: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=2$

n=2			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
18,77	18,82	17,13	7,80

A Figura 86 mostra a comparação dos resultados para a emissora D para $n=2,25$.

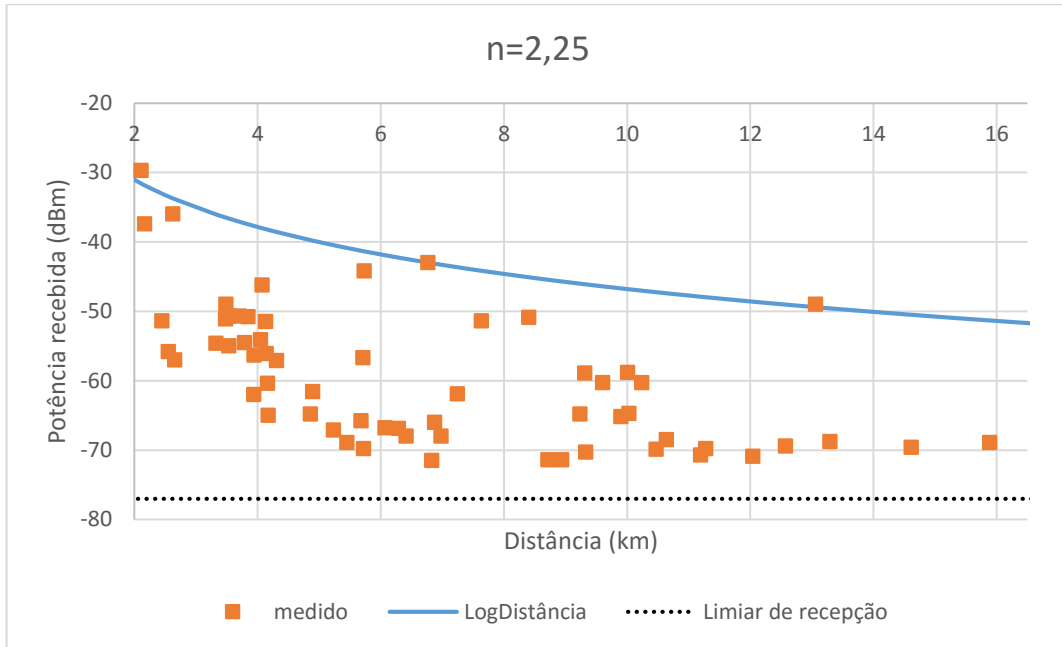


Figura 86: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,25$ - Canal 32.

A Tabela 53 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 53: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=2,25$

n=2,25			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
17,46	17,53	15,79	7,60

A Figura 87 mostra a comparação dos resultados para a emissora D para $n=2,5$.

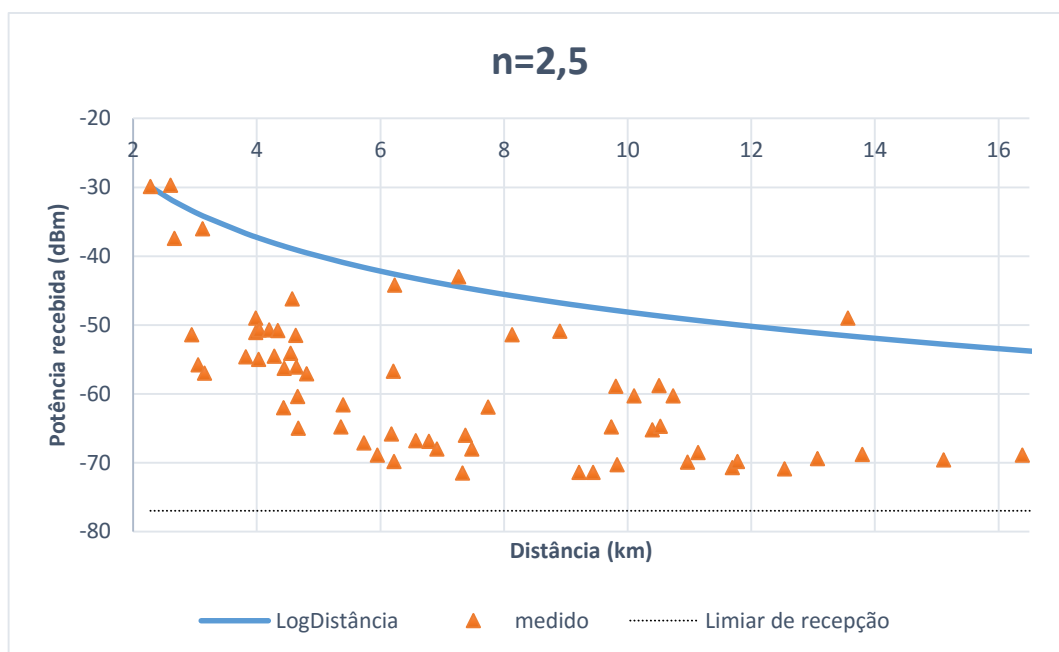


Figura 87: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,5$ - Canal 32.

A Tabela 54 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 54: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=2,5$

n=2,5			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
16,15	16,34	14,65	7,24

A Figura 88 mostra a comparação dos resultados para a emissora D para $n=2,75$.

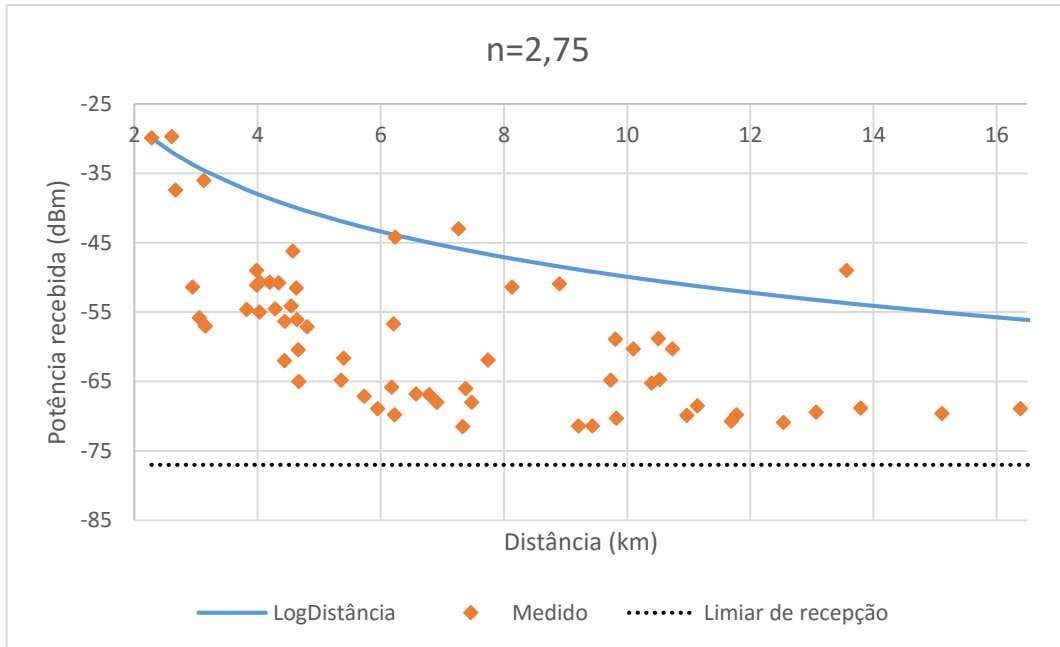


Figura 88: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=2,75$ - Canal 32.

A Tabela 55 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 55: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=2,75$

n=2,75			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
14,84	15,15	13,47	6,94

A Figura 89 mostra a comparação dos resultados para a emissora D para n=3.

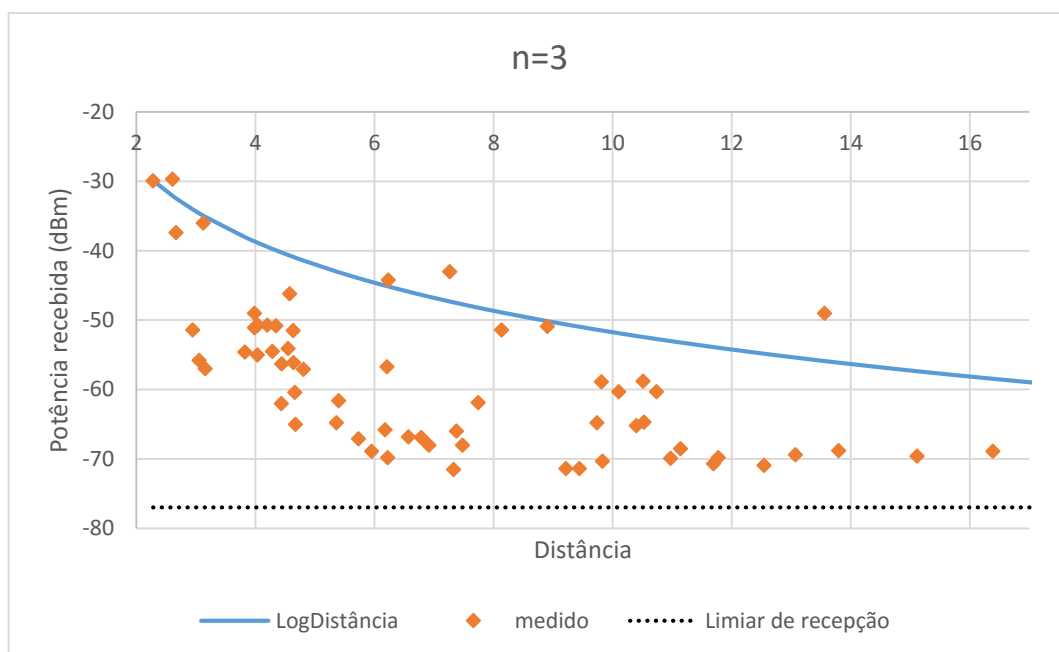


Figura 89: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=3 - Canal 32.

A Tabela 56 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 56: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância n=3

n=3			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
13,54	14	12,31	6,67

A Figura 90 mostra a comparação dos resultados para a emissora D para $n=3,25$.

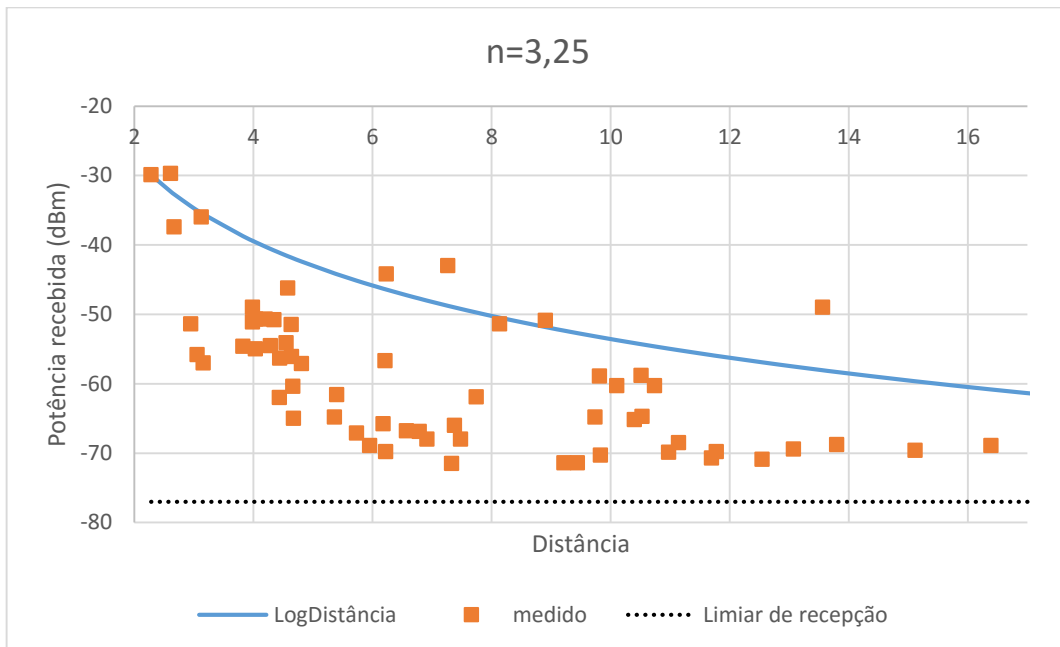


Figura 90: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,25$ - Canal 32.

A Tabela 57 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 57: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=3,25$

$n=3,25$			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
12,23	12,88	11,17	6,42

A Figura 91 mostra a comparação dos resultados para a emissora D para $n=3,5$.

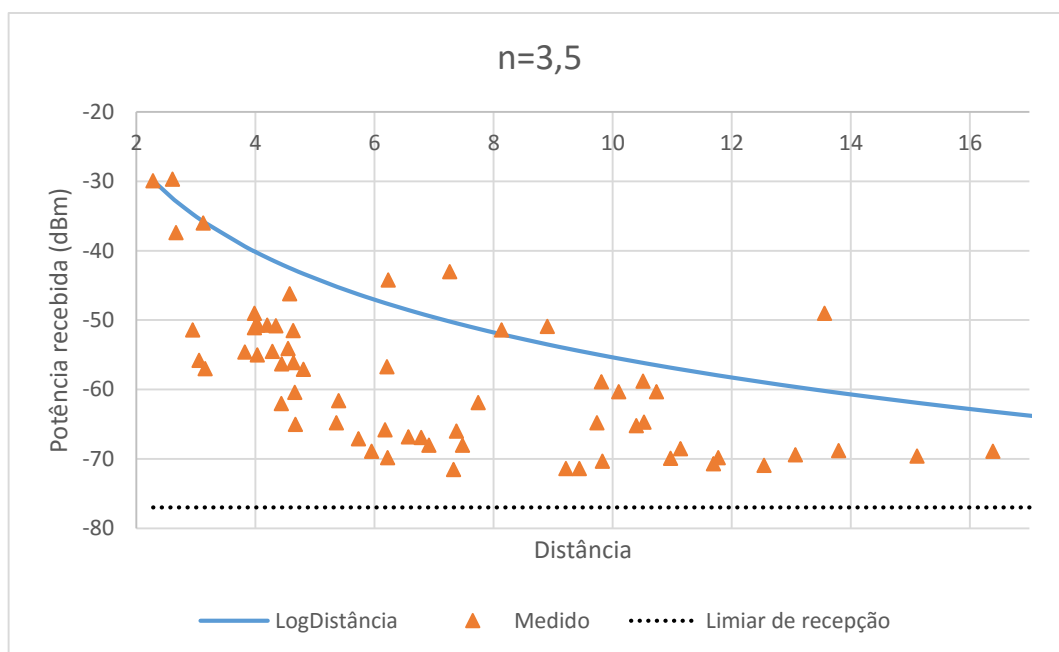


Figura 91: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,5$ - Canal 32.

A Tabela 58 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 58: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=3,5$

n=3,5			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
10,92	11,81	10,04	6,21

A Figura 92 mostra a comparação dos resultados para a emissora D para $n=3,75$.

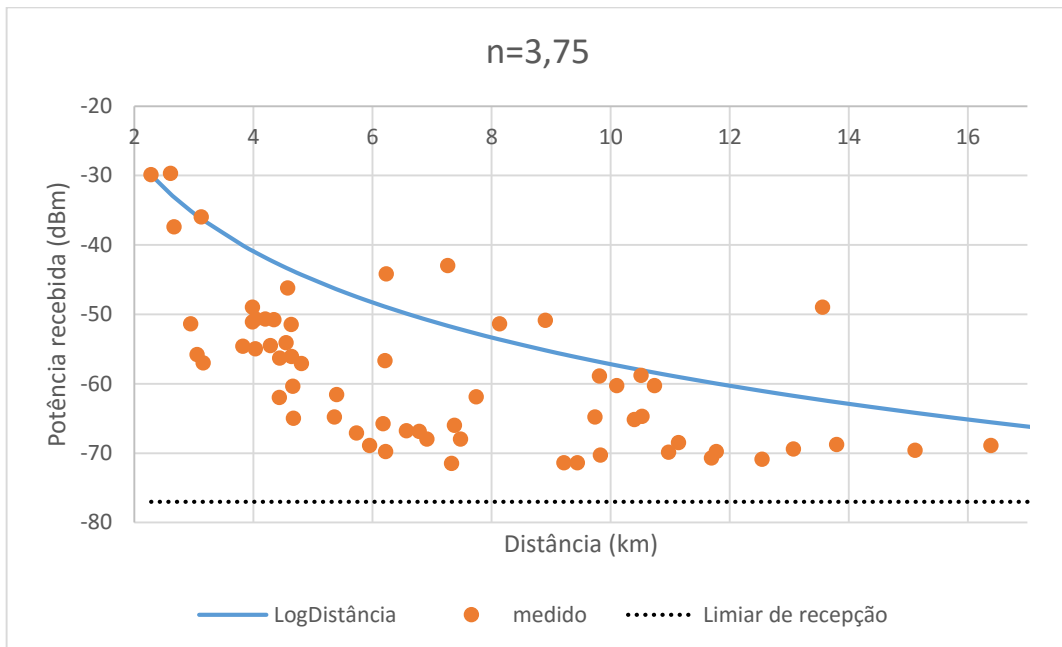


Figura 92: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância $n=3,75$ - Canal 32.

A Tabela 59 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 59: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância $n=3,75$

n=3,75			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
9,61	10,77	8,9	6,07

A Figura 93 mostra a comparação dos resultados para a emissora D para n=4.

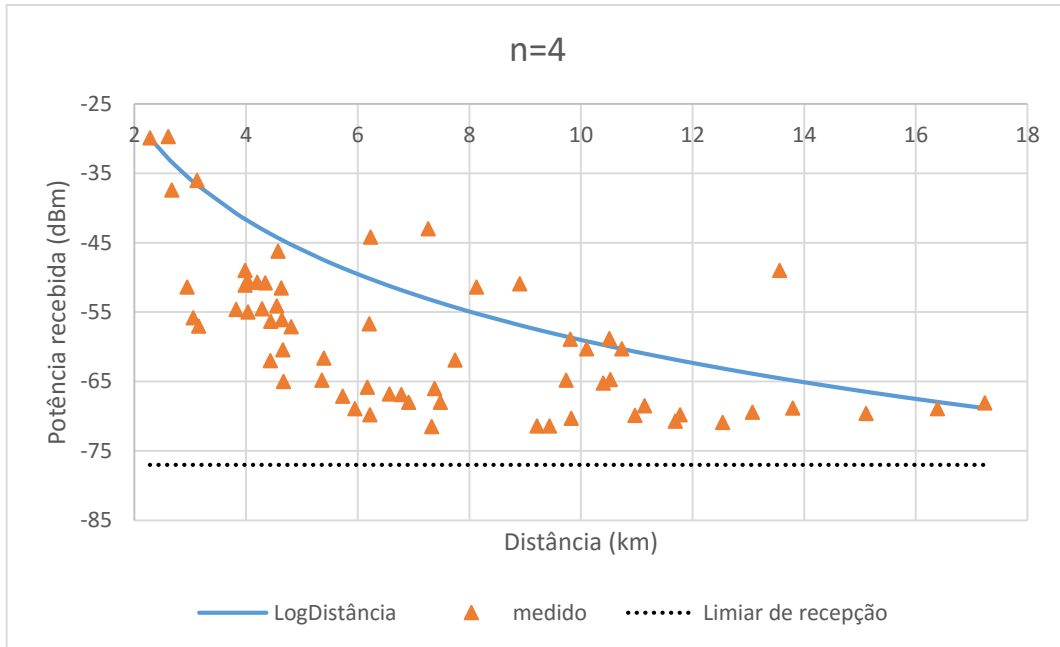


Figura 93: Comparação entre a potência medida e o modelo Log-Distância n=4 - Canal 32.

A Tabela 60 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 60: Erros e desvio padrão do canal 32, modelo Log-Distância n=4

n=4			
Erro médio [dB]	Erro médio absoluto	Erro RMS	Desvio Padrão
8,31	9,80	7,75	6,00

A Tabela 61 mostra os resultados de erro e desvio padrão do canal 32.

Tabela 61: Comparação dos erros do modelo Log-Distância para o canal 32

Comparação dos erros do modelo Log-Distância para o canal 32									
N	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4
Erro médio	18,77	17,46	16,15	14,84	13,54	12,23	10,92	9,61	8,31
Erro absoluto	18,82	17,53	16,34	15,15	14,00	12,88	11,81	10,77	9,80
Erro RMS	17,13	15,79	14,65	13,47	12,31	11,17	10,04	8,9	7,75
Desvio padrão	7,80	7,60	7,24	6,94	6,67	6,42	6,21	6,07	6,00

A Tabela 62 mostra a quantidade de pontos estão acima do valor esperado e abaixo para as emissoras A, B, C e D.

Tabela 62: Quantidade de pontos superior e abaixo do valor teórico - Log-Distância

Quantidade de pontos acima e abaixo do valor teórico								
N	Emissora A				Emissora B			
	Superior	%	Abaixo	%	Superior	%	Abaixo	%
2	0	-	63	100	7	11,11	56	88,89
2,25	0	-	63	100	10	15,87	53	84,13
2,5	0	-	63	100	12	19,04	51	80,96
2,75	0	-	63	100	15	23,8	48	76,2
3	0	-	63	100	16	25,39	47	74,61
3,25	0	-	63	100	17	26,98	46	73,02
3,5	0	-	63	100	18	28,57	45	71,43
3,75	2	3,18	61	96,82	21	33,33	42	66,67
4	5	7,94	58	92,06	22	34,92	41	65,08
N	Emissora C				Emissora D			
	Superior	%	Abaixo	%	Superior	%	Abaixo	%
2	6	9,52	57	90,48	1	1,58	62	98,42
2,25	8	12,69	55	87,31	2	3,17	61	96,83
2,5	9	14,28	54	85,72	3	4,76	60	95,24
2,75	12	19,04	51	80,96	3	4,76	60	95,24
3	13	20,63	50	79,37	4	6,34	59	93,66
3,25	13	20,63	50	79,37	4	6,34	59	93,66
3,5	14	22,22	49	77,78	4	6,34	59	93,66
3,75	15	23,8	48	76,2	5	7,93	58	92,07
4	19	30,15	44	69,85	10	15,87	53	84,13

5.5 Considerações finais deste capítulo

Durante o decorrer do trabalho foram colhidos dados referentes à potência de sinal e o campo eletromagnético das emissoras de TV aqui denominadas por A, B, C e D, com o intuito de realizar a comparação do valor teórico com o aferido.

Dessa forma, para melhor visualização e entendimento, apresenta-se a seguir os resultados das análises comparativas em relação aos três modelos de propagação – ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância.

O primeiro modelo de propagação utilizado na comparação foi o ITU-R P.1546, onde foi verificado a conformidade do desvio padrão da intensidade de campo das emissoras de acordo com a recomendação [11] – valor máximo recomendado de 5,5 dB. Conforme mostrado na Tabela 14, os valores apresentados do desvio padrão das emissoras A, B, C e D são 5,72 dB, 6,95 dB, 6,69 dB e 5,86 dB. Observa-se que para todas as emissoras o valor foi superior ao recomendado pela ITU.

Para o mesmo modelo de propagação (ITU-R P.1546) comparou-se o valor de campo elétrico medido com o valor teórico esperado para cada uma das amostras. Na Tabela 15, pode-se ver a quantidade de pontos cujos valores encontram acima e abaixo dos valores esperado.

Nota-se que a emissora A, possui o maior número de pontos cuja o valor medido está acima do valor teórico esperado – 21 pontos que equivalem a 33,34% das amostras.

Para o segundo modelo de propagação analisado, Okumura-Hata, constata-se que o campo elétrico medido nos 63 pontos são superiores ao valor previsto pelo o modelo teórico, ou seja, 100% deles estão dentro do recomendável para as emissoras B, C e D. Considerando a emissora A, nota-se que 13 dentre os pontos considerados (20,63%) apresentam valor inferior ao teórico. Todos os valores amostrados e esperados de acordo como o método Okumura-Hata estão dispostos na Tabela 21.

O desvio padrão encontrado no modelo de Okumura-Hata para a emissoras A, B, C e D são os seguintes 6,89 dB, 5,38 dB, 4,63 dB e 4,89 dB respectivamente.

O Log-distância foi o terceiro modelo estudado, com o qual visou-se encontrar para cada emissora o melhor fator n . Na Tabela 31, podemos notar que o melhor valor para a emissora A foi $n=4$ com um desvio padrão de 8,12 dBm, na emissora B o menor desvio padrão encontrado foi para o fator $n=3,75$ de 4,76 dBm, conforme Tabela 41. Para a emissora C, conforme a Tabela 51, o melhor valor encontrado foi o $n=4$, com um desvio padrão 5,01 dBm. E, por fim, para a emissora D o melhor valor encontrado foi o $n=4$, de acordo com a Tabela 61, com um o desvio padrão 6 dBm.

Ainda dentro deste terceiro modelo, objetivou-se constatar quantos pontos estavam acima do valor teórico. Averiguou-se que à medida que o fator n era aumentado, os números de pontos superiores ao teórico crescia, conforme a Tabela

62. Nota-se que a melhor emissora, quanto ao número de pontos maior igual ao teórico, é a emissora B com 22 pontos (34,92%).

6 CONCLUSÃO

6.1 Considerações finais

Como podemos observar-se na Tabela 9, a melhor média dos sinais de campo elétrico e potência elétrica encontrado foi da emissora A. No modelo de propagação ITU-R P.1546 a emissora A apresentou o menor desvio padrão (5,72 dB), 0,22 dB superior ao determinado pela a recomendação. Já no modelo de Okumura-Hata o canal C obteve o menor desvio padrão, com um valor de 4,63 dB. E por fim, no modelo de Log-Distância, observou-se que a emissora B demonstrou o menor desvio padrão de 4,76 dBm para $n=3,75$.

Além da análise do campo elétrico, conferiu-se os valores de potências em cada ponto. A norma da ABNT NBR 15604:2007 (Televisão digital terrestre – Receptores) determina que a potência mínima de recepção é de -77dBm [13]. Visualizou-se que todas as emissoras estão dentro do limiar de recepção conforma a Tabela 8.

Pode notar que cada emissora apresentou um resultado diferente para cada modelo de propagação. O melhor modelo de propagação para a emissora A que apresentou um desvio padrão de 5,72 dB foi a recomendação ITU-R P.1546. Já a emissora B o menor desvio padrão foi de 4,76 com o modelo Log-Distância para um fator de operação $n=3,76$. A emissora C apresentou um desvio padrão menor referente as emissoras A e B de 4,63 com o modelo de propagação Okumura-Hata. E por fim a emissora D que apresentou um desvio padrão de 4,89 com o modelo Okumura-Hata.

Para determinar qual o modelo de propagação que mais se aproximou da realidade, foi realizado cálculos para encontrar o menor desvio padrão médio de cada método. Os valores médios encontrados dos modelos ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância são 6,30 dB, 5,44 dB e 5,97 dBm.

Conforme os valores de desvio padrão encontrados, concluiu-se que o melhor modelo de propagação que mais se aproximou da realidade foi o Okumura-Hata com um desvio de 5,44 dB.

6.2 Trabalhos futuros

Essa dissertação deixa como sugestão para trabalhos futuros:

A realização de novas campanhas de medições, com o intuito de se ampliar a base de dados existente e realizar novas análises da cidade de Uberlândia. Estas medidas realizadas ainda podem ser utilizadas para avaliar outros modelos de propagação não aplicado a esse trabalho.

Analisar o comportamento de outros canais UHF da cidade de Uberlândia utilizando outras técnicas de modelagem.

Analisar cada ponto de forma minuciosa para poder estudar o comportamento do campo elétrico em entorno de cada ponto, verificando fatores externos que possam de alguma forma interferir no sinal.

7 Referências Bibliográficas

- [1] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003, Microdados, Segunda Divulgação, IBGE, 2005.
- [2] Valim M.; Costa S.; FIORDELISIO R.; Anos 70 – A História da Televisão no Brasil. Disponível em: <<http://www.tudosobretv.com.br>>. Acesso em 2 de fevereiro de 2016.
- [3] Bedicks Junior, Gunnar. Sintonizador-demodulador para o sistema brasileiro de TV digital/G. Bedicks Junior. – São Paulo, 2008. 169 p.
- [4] Site oficial da Tv digital. Disponível em :<<http://www.dtv.org.br/>>. Acesso em 6 de novembro de 2015.
- [5] Televisão digital, Marcelo Sampaio de Alencar, editora Érica, 1ª edição, 2007.
- [6] Gonzalez Castellanos, Pedro Vladimir. Caracterização do Canal de Propagação Banda Larga na Faixa UHF para Aplicações de TV Digital / Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos; orientador: Luiz Alencar Reis da Silva Mello. – 2008. 149 f.: Il.; 30 cm. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- [7] Arantes Carrijo, G. Antenas e propagação. Uberlândia: UFU.
- [8] MITSUGO MIYOSHI, E., ALBERTO SANCHES, C. Projetos de Sistemas de Rádio. 4. Ed. São Paulo: Érica, 2008.
- [9] Parsons, J.D. (John David). The mobile radio propagation channel/J.D. Parsons – 2nd ed. Editora: WILEY, 2000.
- [10] Medeiros, Julio César de Oliveira. Princípios de telecomunicações: teoria e prática / Julio César de Oliveira Medeiros. – 1 ed. São Paulo: Érica, 2004.
- [11] Rappaport, Theodore S. Comunicações sem fio: princípios e práticas 2. Ed / Theodore S. Rappaport; tradução Daniel Vieira revisão técnica Luiz Carlos, Pessoa Albini. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- [12] Recomendação ITU-R P.1546

- [12] Vasconcelos, Lorenço Santos. Trabalho de conclusão de curso: Cálculo de campo elétrico na faixa de VHF e UHF sobre terrenos irregulares. UFU, Uberlândia, 2015.
- [13] Norma ABNT NBR 15604:2007 – Televisão digital terrestre – receptores.
- [14] Digital TV Fundamentals, Michael Robin and Michel Poulin, McGraw-Hill, 2ª Edição, 2000.
- [15] Peres, Francisco de Assis Campos. Estudo de modelos de radiopropagação para recepção fixa de TV digital na faixa de UHF / Francisco de Assis Campos Peres; orientador: Gláucio Lima Siqueira. – 2011. 111 f.; 30 cm. Dissertação – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011.
- [16] Wanderley, Paulo Henrique Sales. Reformulação do Modelo de Propagação Eletromagnética de Ikegami para Aplicabilidade em Cenários Modernos para Frequências até 6 GHz, 2011.
- [17] Rocha, Adson Silva. Otimização Multiobjetivo e Multirestrição Aplicada no Planejamento de Redes de Frequência Única, 2013.
- [18] Guerra, Maurício Vilela. Caracterização do canal de propagação para redes de TV digital de frequência única / Maurício Vilela Guerra; orientadora: Luiz Alencar Reis da Silva Mello; co-orientadora: Carlos Vinício Rodriguez Ron. – 2012.
- [19] Lima, Flávio Ferreira. Estudo da Propagação de Sinal em Ondas Médias: Contribuições para a Implantação da Radiodifusão Digital no Brasil. 2008.
- [20] Silva, Douglas Dias. A utilização de redes neurais artificiais na estimação da cobertura do sinal de televisão / Douglas Dias da Silva. – 2009.
- [21] Vasco, Célio Lúcio. Modelo de propagação empírico para sinais de TV digital em Curitiba / Célio Lúcio Vasco. – 2009.

8 Apêndices

A.1 – OkumuraHata

```
f = input('Digite o valor da freq em MHz:');
dados=xlsread('globo.xlsx');
ht=dados(1:63,15);
hr=dados(1:63,16);
d=dados(1:63,12);
n_d = length(d);
n_a = length(hr);
for i=1:n_a
a(i) = (1.1*log10(f)-0.7)*hr(i)-(1.56*log10(f)-0.8);
end
b = 1;
L = zeros(n_d,1);
for i=1:n_d
L(i) = 69.82 - 6.16 * log10(f)+ 13.82*log10(ht(i))+ a(i) -(44.9 -
6.55*log10(ht(i)))*(log10(d(i)));
end
%Cálculo da ERP final
erp_rad=dados(1:63,14);
Erp_azimute=10*log10(erp_rad);
E_total_globo=L+Erp_azimute;
```

A.2 - Log-Distância

```
n= input('informe o expoente de perda de caminho: ');
PL0= input('informe o valor da potência inicial: ');
d0 = 2.607;
d=[1.000 1.009 1.042 1.055 1.062 1.094 1.118 1.143 1.149 1.199 1.200 1.201
1.219 1.227 1.261 1.276 1.299 1.327 1.402 1.411 1.507 1.584 1.632 1.803
1.836 1.856 2.066 2.090 2.097 2.145 2.151 2.163 2.175 2.245 2.254 2.323
2.352 2.355 2.377 2.463 2.601 3.226 3.265 3.277 3.300 3.331 3.439 3.459
3.483 3.520 3.544 3.631 3.832 3.962 4.017 4.066 4.405 4.511 4.687 4.780
5.285 5.772 6.097];

for i=1:size(d,1)
    a(i)=log10(d(i))
end
for i=1:size(a,1)
    b=10*n*a
end

c=b';
Pld= - PL0 -c;
```


A.3 – Erro, Erro Médio, Absoluto e Desvio Padrão

```
clear
clc
%Calculos estatisticos
Campo_medido = [-25.7 -52.6 -35.9 -39.6 -51.5 -44.3 -42.4 -47.9 -45.3 -
50.5 -45.8 -46.1 -41.7 -50.1 -45.9 -50.6 -43.8 -47.7 -60.5 -42.4 -42.4 -
50.9 -34 -57 -56.2 -66.6 -57.2 -51.8 -57.1 -69.5 -65.3 -64.5 -63.8 -59.5
-45.5 -71.6 -55.9 -60.2 -44.8 -52.5 -44.6 -55.9
-65.5 -44.7 -68 -71.1 -55.8 -53.2 -46.5 -63.6 -46.9 -45.4 -58.7
-70.3 -67 -69.4 -71.6 -61.7 -59.1 -63.2 -61 -67.7 -65.5];%digite aqui os
valores medidos (ao colar do excel lembrar que deve substituir as
virgulas por pontos!!!)

Campo_previsto = [-25.7 -25.85564665 -26.41470876 -26.63009839
-26.74498067 -27.26069288 -27.63767214 -28.02184922 -28.11280115
-28.85276732 -28.86724984 -28.8817203 -29.14014822 -29.25378251
-29.72860346 -29.93402698 -30.24436604 -30.61483691 -31.56992055
-31.68108055 -32.82453009 -33.69020709 -34.20880618 -35.93982907
-36.25490707 -36.44311888 -38.30521269 -38.50585144 -38.56393722
-38.95709186 -39.00561642 -39.10226078 -39.19837045 -39.74865381
-39.81815647 -40.34196839 -40.5574927 -40.57963646 -40.74116727
-41.35857647 -42.30561409 -46.04657452 -46.25532742 -46.31905766
-46.4405576 -46.60298531 -47.15728703 -47.25802248 -47.37813898
-47.56170654 -47.67974853 -48.10104996 -49.03702002 -49.61657885
-49.85607327 -50.06669497 -51.45783651 -51.87091308 -52.53579814
-52.87711586 -54.62179967 -56.1530529 -57.1046478]; %digite aqui os
valores previstos
%Erro medio e erro absoluto

N = length(Campo_medido);
soma = 0;
soma_1 = 0;
for i=1:N
    e(i) = Campo_previsto(i) - Campo_medido(i);
    soma = soma + e(i);
    e_medio = soma/N; %erro medio
end
%Erro medio absoluto
for i=1:N
    E = abs(e);
    soma_1 = soma_1 + E(i);
    E_medio_abs = soma_1/N; %erro medio
end
%Desvio Padrao
soma_3 = 0;
constante = 1/(N-1);
for i=1:N
    soma_3 = soma_3 + (E(i) - E_medio_abs)^2;
end
sigma = sqrt(constante * soma_3);
%Erro RMS
E_rms = sqrt(E_medio_abs^2 - sigma^2);
```