

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA FAIXA
DE TELEFONIA MÓVEL CELULAR**

por

JOÃO RENATO AGUIAR SOARES

**RECIFE/PE
2004**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA FAIXA
DE TELEFONIA MÓVEL CELULAR**

por

JOÃO RENATO AGUIAR SOARES

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica.

**ORIENTADOR: VALDEMAR CARDOSO DA ROCHA JR., Ph. D.
CO-ORIENTADOR: MARCELO SAMPAIO DE ALENCAR, Ph. D.**

Recife, Novembro

© João Renato Aguiar Soares, 2004



Universidade Federal de Pernambuco

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE DE

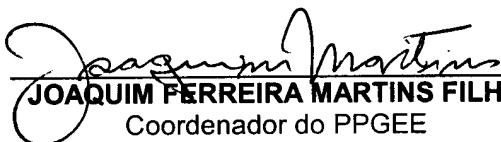
JOÃO RENATO AGUIAR SOARES

TÍTULO

**“INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA FAIXA DE
TELEFONIA MÓVEL CELULAR”**

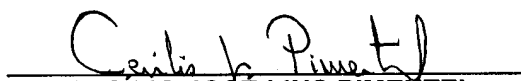
A comissão examinadora composta pelos professores:
HÉLIO MAGALHÃES DE OLIVEIRA, DES/UFPE, CECÍLIO JOSÉ
LINS PIMENTEL, DES/UFPE E MARCELO SAMPAIO DE ALENCAR,
DEE/UFCG sob a presidência do primeiro, consideram o candidato
JOÃO RENATO AGUIAR SOARES APROVADO

Recife, 29 de novembro de 2004.


JOAQUIM FERREIRA MARTINS FILHO
Coordenador do PPGEE


HÉLIO MAGALHÃES DE OLIVEIRA
Membro Titular Interno


MARCELO SAMPAIO DE ALENCAR
Membro Titular Externo


CECÍLIO JOSÉ LINS PIMENTEL
Membro Titular Interno

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha esposa Leonilda, aos nossos filhos Júnior e Leonardo.

Em memória aos meus pais Maria e Manoel.

Agradecimentos

Aos meus orientadores Prof. Dr. Valdemar Cardoso da Rocha Jr. e Prof. Dr. Marcelo Sampaio de Alencar pelo acompanhamento e confiança dedicados.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas - Cefet/AM pelo apoio dos seus dirigentes, pela colaboração dos seus docentes e funcionários administrativos, principalmente aqueles que foram parceiros na realização deste trabalho.

Ao corpo técnico das operadoras dos serviços de Radiodifusão e de Telefonia Móvel, atuantes na cidade de Manaus, que contribuíram nas medições de campo e com informações essenciais para a composição da pesquisa.

À Agência Nacional de Telecomunicações - Anatel pelo fornecimento de informações valiosas e colaboração nas medições de campo.

Aos docentes do curso de Arquitetura e Urbanismo, do Centro Universitário Luterano de Manaus - CEULM/ULBRA que contribuíram com o material fotográfico.

Aos funcionários do Instituto Municipal de Planejamento Urbano - IMPLURB, órgão vinculado à Prefeitura Municipal de Manaus, pelo fornecimento dos mapas cartográficos com as curvas de níveis das áreas estudadas da cidade.

Em especial às bibliotecárias das instituições Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Centro Universitário Luterano de Manaus - CEULM/ULBRA, Universidade do Estado de São Paulo - USP, Universidade Presbiteriana Mackenzie pela contribuição e colaboração prestadas.

Aos membros das comunidades que de forma anônima, mas, de boa vontade, opinaram, orientaram e até mesmo me conduziram durante a difícil tarefa do mapeamento.

E, finalmente, aos representantes e colaboradores de empresas, instituições e particulares, que colaboraram de alguma forma na elaboração deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à UFPE como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA FAIXA DE TELEFONIA MÓVEL CELULAR

João Renato Aguiar Soares

Novembro/2004

Orientador: Valdemar Cardoso da Rocha Jr., Ph. D.

Co-Orientador: Marcelo Sampaio de Alencar, Ph. D.

Área de Concentração: Telefonia Móvel Celular.

Palavras-chave: radiofrequência, radiodifusão e telefonia móvel.

Número de Páginas: 187

RESUMO: Este trabalho é o resultado de uma pesquisa de campo realizada na cidade de Manaus/AM, cujo objetivo principal é avaliar o nível de concentração da potência dos sinais dos serviços de radiodifusão e dos serviços de telefonia móvel que ocorrem em determinadas áreas da cidade e incidem sobre o cidadão que por ali reside ou transita. Com os resultados apurados das medições pretende-se descobrir se em alguma área da cidade a superposição dos sinais de telefonia móvel é superior à superposição dos sinais de radiodifusão. As fontes geradoras desses sinais foram mapeadas sobre a planta da cidade o que possibilitou a seleção de três áreas, com características distintas, para serem efetuadas as medições dos níveis da potência das portadoras de radiofrequência. As medições dos sinais foram realizadas com analisadores de espectro. Os resultados das medições em cada área foram agrupados por tipos de serviços e comparados os seus somatórios, para análise do nível de concentração. Foi feito um estudo da propagação dos sinais medidos em uma das áreas. Este trabalho contribuiu na correção e complementação do mapeamento dos sítios de uma operadora de telefonia móvel, na geração de informações sobre a superposição de sinais eletromagnéticos, no esclarecimento de que em nenhuma das três áreas selecionadas a concentração dos sinais dos serviços e telefonia móvel é superior à concentração dos sinais de radiodifusão e propôs um modelo de predição de sinais na faixa de telefonia móvel em ambientes urbanos, cujas simulações computacionais deste modelo apresentaram resultados satisfatórios.

Abstract of Dissertation presented to UFPE as a partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master in Electrical Engineering.

ELECTROMAGNETICAL INTERFERENCE IN THE CELLULAR MOBILE PHONE BAND

João Renato Aguiar Soares

November/2004

Supervisor(s): Valdemar Cardoso da Rocha Jr., Ph. D.; Marcelo S. de Alencar, Ph. D.

Area of Concentration: Communications.

Keywords: radiofrequency, broadcast and mobile communication.

Number of Pages: 187

ABSTRACT: For years, in the great urban centers there have been areas with a concentration of electromagnetic waves at the frequency of radio waves. The fact can be more clearly observed when the interference happens at the frequency of the broadcasting services, with an emphasis on sound broadcasting, which is more easily detectable by the tuning of undesired signals in automobile receivers, when they are passing by. Recently, the introduction and the constant growth of mobile telephony services have, in thesis, contributed towards the increase of the concentration of several electromagnetic signals, at the most varied levels of power, although those signals are apparently harmless to the common citizen. The broadcasting services sporadically measure the level of their signals. The mobile telephony services also do this with a higher frequency. The National Agency of Telecommunications - Anatel, deals with specific cases in its inspections. Summing it all up, there is not a unique source of information describing the several sources of electromagnetic signals. This dissertation is a result of a field study performed in the city of Manaus/AM, and its main objective is to evaluate the concentration level of the electromagnetic signals' power, in several frequencies considered non-ionizing, which occur in certain areas of the city, and to which the citizen that lives there, or is passing by is exposed. The electrical signals in this case are generated by the sound, sound and image, personal, and mobile broadcasting services. After the measurements, the signals were compared for the analysis of their concentration level. In this way, electromagnetic field distribution models can be proposed, to assist in the cellular planning, permit the radiometric evaluation and to contribute to the definition of standards in the area.

Sumário

Introdução	1
1.1 Motivação	4
1.2 Problema e Hipótese	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo Geral	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
1.4 Panorama da Área	6
1.5 Organização da Dissertação	7
Fontes Geradoras de Ondas Eletromagnéticas	9
2.1 Introdução	9
2.2 Serviços de Radiodifusão	9
2.3 Serviços de Telefonia Móvel Celular	12
2.4 Serviços de Telefonia Móvel Pessoal	13
Mapeamento das Fontes Geradoras de Ondas Eletromagnéticas	16
3.1 Introdução	16
3.2 Período do Mapeamento	16
3.3 Resultado do Mapeamento	17
3.4 Relatos Gerais	19
Medições Realizadas, Avaliação de Desempenho e Avaliação dos Resultados	21
4.1 Introdução	21
4.2 Medições Realizadas	21
4.2.1 Área 1 - Petrópolis	21
4.2.2 Área 2 - Praça 14 de Janeiro	37
4.2.3 Área 3 - Centro da Cidade	52
4.3 Avaliação de Desempenho	66
4.3.1 Análise das Medidas dos Sinais de Radiodifusão	67
4.3.2 Análise das Medidas dos Sinais dos SMC/SMP	68
4.4.3 Comparação: Radiodifusão x Telefonia Móvel	69
4.4 Avaliação dos Resultados	70
4.4.1 Bairro de Petrópolis	70
4.4.2 Bairro da Praça 14 de Janeiro	71
4.4.3 Centro da Cidade	71
Estudo da Propagação dos Sinais Medidos	72
5.1 Introdução	72
5.2 Correção dos Valores Medidos	72
5.2.1 Definição dos Parâmetros	73

5.3	Aplicação dos Parâmetros	75
5.3.1	Parâmetros da Área 1: Petrópolis	75
5.3.2	Cálculo para os Valores Medidos em m	77
5.3.3	Cálculo para os Valores Corrigidos em m'	78
5.4	Comparação entre os resultados Calculado x Medido	79
5.5	Modelos de Propagação	79
5.5.1	Modelos de Propagação para Ambientes Urbanos	80
5.5.2	Aplicação dos Modelos de Propagação	82
5.6	Modelamento Matemático	83
Conclusões		99
6.1	Considerações Finais	99
6.2	Contribuições do trabalho	100
6.3	Sugestões	100
6.4	Perspectivas Futuras	101
Apêndice A		102
A.1	Pesquisa de Campo	102
Apêndice B		104
B.1	Ferramentas de Medição	104
Apêndice C		108
C.1	Técnicas de Medições	108
	Medições de sinais de Radiodifusão	108
	Medições de sinais de Telefonia Móvel	120
Apêndice D		123
D.1	Mapas Cartográficos	123
D.1.1	Curvas de Níveis da Área 1 - Aleixo	123
D.1.2	Curvas de Níveis das Área 2 - Praça 14 de Janeiro	124
D.1.3	Curvas de Níveis das Área 3 - Centro da Cidade	124
Apêndice E		125
E.1	CelPlan ANTEL Antena Modelo: LPD-7908-4	125
Apêndice F		127
F.1	Planilhas de Cálculos	127
F.1.1	Cálculo dos valores de m e de m' (Exemplo: $\alpha=300^\circ$ e $f=879$ MHz)	127
F.1.2	Cálculo de $\overline{g(d)}$ (Exemplo: $\alpha=300^\circ$ e $f=879$ MHz)	129
Apêndice G		130
G.1	Alocação dos Canais de <i>Down Link</i> - Banda A (869 a 880 MHz)	130
G.2	Alocação dos Canais de <i>Down Link</i> - Banda A Expansão da Faixa (890 a 891,5 MHz)	132
Apêndice H		133

H.1 Programa de implementação do modelo.....	133
Referências Bibliográficas	164

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Planta digitalizada Cidade de Manaus/AM. Escala 1:20.000.	7
Figura 3.1 - Mapa da cidade de Manaus com a indicação das três áreas estudadas quanto aos níveis de sinais eletromagnéticos. Escala 1:20.000.	20
Figura 4.1 - Cenário da área de medição no bairro de Petrópolis.	22
Figura 4.2 - Curvas de níveis da área do bairro de Petrópolis.	22
Figura 4.3 - Níveis de potência dos sinais na faixa de OM/AM - Petrópolis.	23
Figura 4.4 - Níveis de potência dos sinais na faixa de OTAM - Petrópolis.	23
Figura 4.5 - Níveis de potência dos sinais na faixa de OCAM - Petrópolis.	24
Figura 4.6 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/FM (banda baixa) - Petrópolis.	25
Figura 4.7 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/FM (banda alta) - Petrópolis.	25
Figura 4.8 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 2 e 4) - Petrópolis.	26
Figura 4.9 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canal 5) - Petrópolis.	26
Figura 4.10 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 8 e 10) - Petrópolis.	27
Figura 4.11 - Níveis de potência dos na faixa de VHF/TV (Canal 13) - Petrópolis.	27
Figura 4.12 - Níveis de potência dos sinais na faixa de UHF/TV (Canais 18 e 20) - Petrópolis.	28
Figura 4.13 - Níveis de potência dos sinais na faixa de UHF/TV (Canal 23) - Petrópolis.	29
Figura 4.14 - Níveis de potência dos sinais na faixa de UHF/TV (Canal 44) - Petrópolis.	29
Figura 4.15 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda A - Petrópolis.	30
Figura 4.28 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda A - Petrópolis.	30
Figura 4.16 - Níveis de potência dos sinais <i>down link</i> da Banda A - Petrópolis.	30
Figura 4.17 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda B - Petrópolis.	32
Figura 4.18 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda B - Petrópolis.	32
Figura 4.19 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda D - Petrópolis.	33
Figura 4.20 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda D - Petrópolis.	34
Figura 4.21 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda E - Petrópolis.	36
Figura 4.22 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda E - Petrópolis.	36
Figura 4.23 - Cenário da área de medição no bairro da Praça 14 de Janeiro.	38
Figura 4.24 - Curvas de níveis na área do bairro da Praça 14 de Janeiro.	38
Figura 4.25 - Níveis de potência dos sinais na faixa OM/AM - Praça 14 de Janeiro.	39
Figura 4.26 - Níveis de potência dos sinais na faixa OT/AM - Praça 14 de Janeiro.	39
Figura 4.27 - Níveis de potência dos sinais na faixa OC/AM - Praça 14 de Janeiro.	40
Figura 4.28 - Níveis de potência dos sinais na faixa VHF/FM (banda baixa) - Praça 14 de Janeiro.	41
Figura 4.29 - Níveis de potência dos sinais na faixa VHF/FM (banda alta) - Praça 14 de Janeiro.	41
Figura 4.30 - Níveis dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 2 e 4) - Praça 14 de Janeiro.	42
Figura 4.31 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canal 5) - Praça 14 de Janeiro.	42
Figura 4.32 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 8 e 10) - Praça 14 de Janeiro.	43

Figura 4.33 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canal 13) - Praça 14 de Janeiro.	43
Figura 4.34 - Níveis de potência dos sinais na faixa de UHF/TV (Canais 18 e 20) - Praça 14 de Janeiro.	44
Figura 4.35 - Níveis de potência dos sinais na faixa de UHF/TV (Canal 44) - Praça 14 de Janeiro.	45
Figura 4.36 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda A - Praça 14 de Janeiro.	46
Figura 4.37 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda A - Praça 14 de Janeiro.	46
Figura 4.38 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda B - Praça 14 de Janeiro.	47
Figura 4.39 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda B - Praça 14 de Janeiro.	47
Figura 4.40 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda D - Praça 14 de Janeiro.	49
Figura 4.41 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda D - Praça 14 de Janeiro.	49
Figura 4.42 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda E - Praça 14 de Janeiro.	51
Figura 4.43 - Níveis dos sinais de <i>down link</i> da Banda E - Praça 14 de Janeiro.	51
Figura 4.44 - Cenário da área de medição no Centro da Cidade.	53
Figura 4.45 - Curvas de níveis da área do Centro da Cidade.	53
Figura 4.46 - Níveis de potência dos sinais na faixa OM/AM - Centro da Cidade.	54
Figura 4.47 - Níveis de potência dos sinais na faixa OT/AM - Centro da Cidade.	54
Figura 4.48 - Níveis de potência dos sinais na faixa OC/AM - Centro da Cidade.	55
Figura 4.49 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/FM (banda baixa) - Centro da Cidade.	56
Figura 4.50 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/FM (banda alta) - Centro da Cidade.	56
Figura 4.51 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 2 e 4) - Centro da Cidade.	57
Figura 4.52 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canal 5) - Centro da Cidade.	58
Figura 4.53 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 8 e 10) - Centro da Cidade.	58
Figura 4.54 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canal 13) - Centro da Cidade.	58
Figura 4.55 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda A - Centro da Cidade.	60
Figura 4.56 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda A - Centro da Cidade.	60
Figura 4.57 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda B - Centro da Cidade.	61
Figura 4.58 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda B - Centro da Cidade.	62
Figura 4.59 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda D - Centro da Cidade.	63
Figura 4.60 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda D - Centro da Cidade.	63
Figura 4.61 - Níveis de potência dos sinais de <i>up link</i> da Banda E - Centro da Cidade.	65
Figura 4.62 - Níveis de potência dos sinais de <i>down link</i> da Banda E - Centro da Cidade.	65
Figura 4.63 - Comparação entre os sinais da Área 1- Petrópolis.	69
Figura 4.64 - Comparação entre os sinais da Área 2 - Praça 14 de Janeiro.	69
Figura 4.65 - Comparação entre os sinais da Área 3 - Centro da cidade.	70
Figura 5.1 - Cenário de medições da área do bairro de Petrópolis.	72
Figura 5.2 - Cenário de medições no bairro de Petrópolis e a definição dos parâmetros.	73
Figura 5.3 - Cenário de medições com parâmetros horizontais para cálculo do valor corrigido.	76
Figura 5.4 - Cenário de medições com parâmetros verticais para cálculo do valor corrigido.	76
Figura 5.5 - Diagramas de radiação horizontal e vertical da antena Tx.	77
Figura 5.6 - Área de cobertura do setor 1 da antena Tx do site estudado no bairro de Petrópolis.	84
Figura 5.7 - Área de cobertura do setor 1 da antena Tx com altimetria no bairro de Petrópolis.	85

Figura 5.8 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 300^\circ$	86
Figura 5.9 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 315^\circ$	87
Figura 5.10 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 330^\circ$	87
Figura 5.11 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 345^\circ$	88
Figura 5.12 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 0^\circ$	88
Figura 5.13 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 15^\circ$	88
Figura 5.14 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 30^\circ$	89
Figura 5.15 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 45^\circ$	89
Figura 5.16 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 60^\circ$	89
Figura 5.17 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 75^\circ$	90
Figura 5.18 - Gráfico que reúne os valores m'	90
Figura 5.19 - Gráfico de dispersão de m' ajustado para valores positivos.	91
Figura 5.20 - Valores de ρ para as distâncias de 0,05 a 0,6 km e seu gráfico.	93
Figura 5.21 - Demonstração da simulação do cálculo de m'	96
Figura 5.22 - Comparação dos valores de m' para $\alpha = 300^\circ$, 60° e 75°	97
Figura 5.23 - Comparação dos valores de m' para $\alpha = 315^\circ$ e 45°	97
Figura 5.24 - Comparação dos valores de m' para $\alpha = 330^\circ$, 345° , 0° , 15° e 30°	98
Figura C.1 - Diagrama de medição na faixa de OM - OT - OC / AM	108
Figura C.2 - Valor médio de potência em 930 kHz - OM/AM	109
Figura C.3 - Valor médio de potência em 4.845 kHz - OT/AM	110
Figura C.4 - Valor médio de potência em 6.160 kHz - OC/AM	110
Figura C.5 - Diagrama de medição na faixa de VHF/FM	112
Figura C.6 - Níveis da potência de sinais na faixa de VHF/FM	113
Figura C.7 - Diagrama de medição na faixa de VHF/TV	115
Figura C.8 - Níveis da potência de sinais na faixa de VHF/TV	117
Figura C.9 - Diagrama de medição na faixa de UHF/TV	119
Figura C.10 - Níveis da potência de sinais na faixa de UHF/TV	120
Figura C.11 - Diagrama de medição na faixa de UHF/SMC - SMP	121
Figura C.12 - Níveis da potência de sinais na faixa de UHF/SMC-SMP	122

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 - Resumo Radiodifusão Sonora OM - OT - OC/AM - Petrópolis.....	24
Tabela 4.2 - Resumo Radiodifusão Sonora VHF/FM - Petrópolis.	26
Tabela 4.3 - Resumo Radiodifusão de Sons e Imagens VHF/TV - Petrópolis.	28
Tabela 4.4 - Resumo Radiodifusão de Sons e Imagens UHF/TV - Petrópolis.	30
Tabela 4.5 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular - Banda A - Petrópolis.	31
Tabela 4.6 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular - Banda B - Petrópolis.	33
Tabela 4.7 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda D - Petrópolis.....	35
Tabela 4.8 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda E - Petrópolis.	37
Tabela 4.9 - Resumo Radiodifusão Sonora OM - OT - OC/AM - Praça 14 de Janeiro.....	40
Tabela 4.10 - Resumo Radiodifusão Sonora VHF/FM - Praça 14 de Janeiro.	42
Tabela 4.11 - Resumo Radiodifusão de Sons e Imagens VHF/TV - Praça 14 de Janeiro.	44
Tabela 4.12 - Resumo Radiodifusão de Sons e Imagens UHF/TV - Praça 14 de Janeiro.	45
Tabela 4.13 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular- Banda A - Praça 14 de Janeiro.	47
Tabela 4.14 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular - Banda B - Praça 14 de Janeiro.	48
Tabela 4.15 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda D - Praça 14 de Janeiro.....	50
Tabela 4.16 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda E - Praça 14 de Janeiro.	52
Tabela 4.17 - Resumo Radiodifusão Sonora OM - OT - OC/AM - Centro da Cidade.....	55
Tabela 4.18 - Resumo Radiodifusão Sonora VHF/FM - Centro da Cidade.	57
Tabela 4.19 - Resumo Radiodifusão de Sons e Imagens VHF/TV - Centro da Cidade.	59
Tabela 4.20 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular - Banda A - Centro da Cidade.	61
Tabela 4.21 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular - Banda B - Centro da Cidade.	62
Tabela 4.22 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda D - Centro da Cidade.	64
Tabela 4.23 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda E - Centro da Cidade.	66
Tabela 4.24 - Resumo Sinais de Radiodifusão Área 1 - Petrópolis.	67
Tabela 4.25 - Resumo Sinais de Radiodifusão Área 2 - Praça 14 de Janeiro.	67
Tabela 4.26 - Resumo Sinais de Radiodifusão Área 3 - Centro da Cidade.	67
Tabela 4.27 - Resumo Sinais de Telefonia Celular na Área 1 - Petrópolis.....	68
Tabela 4.28 - Resumo Sinais de Telefonia Celular na Área 2 - Praça 14 de Janeiro.....	68
Tabela 4.29 - Resumo Sinais de Telefonia Celular na Área 3 - Centro da Cidade.....	68
Tabela 4.30 - Resumo das Medições - Petrópolis.....	70
Tabela 4.31 - Resumo das Medições - Praça 14 de Janeiro.....	71
Tabela 4.32 - Resumo das Medições - Centro da Cidade.....	71
Tabela 5.1 - Comparação entre o resultados medidos e calculados dos valores m	79
Tabela 5.2 - Altimetria (h_{Nivel}) da área com valores em metro.....	86
Tabela 5.3 - Agrupamento dos valores de m'.	90
Tabela 5.4 - Diagrama de dispersão dos valores de m' ajustados para valores positivos.	91

Tabela 5.5 - Valores inicial e final das potências dos sinais listados na Tabela 5.3.	92
Tabela 5.6 - Definição dos valores de k_2	92

Lista de Abreviaturas

Siglas	Definição
AM	Amazonas; Modulação em Amplitude
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
CCC	Central de Comutação e Controle
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
EM	Estação Móvel (<i>Handset</i>)
ERB	Estação Rádio Base
E.U.A.	Estados Unidos da América
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FM	Modulação em Frequência
FUCAPI	Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica
GPS	<i>Global Position System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HP	<i>Hewlett Packard</i>
IS – XX	<i>Interin Standard number XX</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.</i>
ITU	<i>International Communication Union</i>
kHz	Quilohertz
LOS	<i>Line-of-sight</i>
MHz	Megahertz
MQM	Método dos Quadrados Mínimos
NLOS	<i>Non-line-of-sight</i>
OC	Onda Curta
OEM	Onda Eletromagnética
OM	Onda Média
OT	Onda Tropical
PIM	Pólo Industrial de Manaus
RBN	Rede Boas Novas de Rádio e Televisão
RF	Radiofrequência

SMC	Serviço Móvel de Telefonia Celular
SMP	Serviço Móvel Pessoal
Suframa	Superintendência da Zona Franca de Manaus
TV	Televisão
UEA	Universidade Estadual do Amazonas
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil
VHF	Very High Frequency

Capítulo 1

Introdução

As comunicações via sinal de rádio ocorrem por meio da transferência de energia sob a forma de onda eletromagnética (OEM) entre um equipamento transmissor, que está conectado a um elemento irradiante, formando um bloco transmissor e um equipamento receptor distanciado do transmissor, que está conectado a um outro elemento também considerado irradiante, formando um bloco receptor. Os dois blocos que se comunicam via sinal eletromagnético, sem ligação física, formam um sistema de comunicação via rádio.

A energia transmitida neste sistema é transportada por campos elétricos e campos magnéticos perpendiculares entre si, que se propagam no espaço livre (vácuo), especificamente, numa velocidade aproximada de 3×10^8 m/s. A sua intensidade é inversamente proporcional à distância em relação à fonte irradiante. O direcionamento do deslocamento desta onda é determinado pela resultante do produto vetorial entre seus campos [1]. A OEM tem polarização definida de acordo com o posicionamento do elemento irradiante que é o que emite o campo elétrico, podendo a polarização ser linear (vertical ou horizontal) elíptica ou circular [2].

O estudo das OEM foi iniciado com o estudo da luz, a OEM mais natural na observação cotidiana. As primeiras teorias confundiam o fenômeno físico da luz com o fenômeno da visão. A luz foi primeiramente estudada por gregos na escola Platônica, por Demócrito e Lucrécio; em Alexandria por Hero e Ptolomeu; pelos árabes Alkuni e Alhazen e finalmente pelos europeus Roger Bacon, Galileo Galilei (1564-1642), Leonardo da Vinci e René Descartes, numa lenta evolução até chegar a Christian Huygens (1629-1695), que interpretou a luz com uma onda, numa teoria ondulatória de choques elásticos e explicou corretamente a refração e a reflexão, elaborando a Teoria de Frentes de Ondas, derrubando a teoria do Princípio do Raio até então utilizado.

Ocorreram objeções a essa teoria e no século seguinte, Isaac Newton (1642-1727) propõe uma teoria corpuscular da luz, mas Thomas Young (1773-1829) volta à teoria ondulatória, demonstrando o fenômeno de interferência, sendo sua teoria difundida por

Augustin Fresnel (1788-1812). Em 1809, Etienne Louis Malus (1775-1812) descobre que a luz pode ser polarizada na reflexão e, assim as vibrações consideradas longitudinais por Huygens e Young passam a serem consideradas transversais por Fresnel, convencendo o mundo científico a aceitar a teoria ondulatória.

Em 1865, James Clerk Maxwell (1831-1879) colocando em forma matemática as idéias de Michael Faraday (1791-1867) como o conceito de campo para explicar a ação à distância, elaborou sua teoria eletromagnética, prevendo a existência de OEM com a velocidade da luz, o que o fez concluir corretamente que a luz é uma OEM. Em 1887, Heinrich Hertz (1857-1894) comprovou em laboratório estas ondas. Para explicar a distribuição de energia radiante no espectro dos corpos aquecidos, Max Planck (1858-1947) admitiu os *quanta* de radiação. A teoria quântica de Planck levou Albert Einstein (1879-1951) a mostrar que a absorção de radiação no fenômeno fotoelétrico também é quântica, aspecto ainda mais ressaltado por Arthur Compton (1892-1962) no espalhamento dos raios X nos sólidos [3].

Os dispositivos irradiantes chamam-se antenas. O termo antena origina-se do latim, no qual significa verga muito flexível. É utilizada por lagostas, camarões e numerosos insetos como sensor em forma de bastão flexível. Foi o russo Alexander Popov [1859 - 1905] quem teve a idéia de empregar esta palavra no dispositivo por ele inventado para a captação de eletricidade de origem atmosférica durante as tempestades e o termo foi posteriormente adotado por todos os que prosseguiram os seus estudos [4].

Os sistemas de comunicações via sinal de rádio operam em faixas de frequências específicas do espectro de radiofrequência (RF), cujas faixas definem as características do canal de comunicação. Tais sinais são transmitidos com potências suficientes para atenderem aos seus propósitos. Estes sistemas tiveram início com a transmissão de voz em forma de sinais elétricos por meio de cabos metálicos, experimentados por Alexander Graham Bell (1847-1922), em 1876. Em meados de 1880, os experimentos de Heinrich Hertz evidenciaram a propagação das OEM teoricamente sugeridas por James Clerk Maxwell. Tais experimentos provavelmente levaram o brasileiro Roberto Landell de Moura [1861 - 1928] a realizar as primeiras transmissões de telefonia e telegrafia sem fio no mundo, em 1893. O italiano Guglielmo Marconi (1847-1937) fez experimentos, em 1897, para transmissão entre dois pontos não fixos, transmitindo sinais de rádio da ilha Wight para um navio a 18 milhas da costa.

Em 1905, Reginald Fessenden [1866 - 1932] realizou experimentos de transmissão usando modulação em amplitude (AM) de voz e música [5]. Uma das primeiras estações comerciais de rádio no Brasil surgiu em Recife, a PRA - 8 Rádio Clube de Pernambuco, praticamente na mesma época da KDKA, em 1920, em Pittsburgh nos EUA. A modulação em frequência (FM) foi criada por Edwin Armstrong [1890 - 1954] publicada em Nova York nos EUA em 1936 [6].

Com o incremento mundial das comunicações via rádio na década de 20, iniciou-se uso intensivo de frequências, de forma relativamente desordenada. Transmissores, perto ou longe, usavam a mesma frequência, acarretando em dupla ou tripla recepção, num evidente conjunto de interferências, principalmente quando ainda não se tinha domínio da transmissão via ionosfera, provocando confusão na recepção. Foram, então, padronizadas internacionalmente as faixas de frequências destinadas a serviços diversos, numa conferência mundial em Atlantic City, EUA, em 1947 [7].

Em 1932, foi criada nos EUA a *Federal Communications Commission* (FCC) para controlar a alocação de parcelas do espectro de RF para diferentes aplicações, permitir licenciamentos, designação da potência máxima de operação e controle do desempenho das estações de radiodifusão. Esta comissão estabeleceu acordos internacionais, dentre os quais o que definiu a faixa de 535 kHz a 1.605 kHz para a radiodifusão doméstica com modulação em AM na faixa de ondas médias (OM), dividindo-a em 107 canais com largura de 10 kHz. Um outro acordo internacional foi o que destinou a faixa de 87,8 MHz a 108 MHz para a radiodifusão doméstica com modulação em FM, dividindo-a em 101 canais com a largura de 200 kHz [8].

No Brasil, as telecomunicações são regulamentadas e fiscalizadas pela Anatel, que é uma autarquia especial, administrativamente independente, financeiramente autônoma e não se subordina hierarquicamente a nenhum órgão de governo. Foi criada por meio da Lei Geral das Telecomunicações Brasileiras (Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997) [9]. Suas decisões seguem as normas emitidas pela União Internacional de Telecomunicações (ITU), órgão fundado em 1835 [10], que é vinculado à ONU, que tem como um dos objetivos harmonizar a utilização do espectro de radiofrequência.

A cidade de Manaus tem desfrutado dos serviços da radiodifusão sonora desde o final dos anos trinta, com a instalação da emissora Voz de Baricéia [11], adquirida no início dos anos quarenta pelo empresário Assis Chateaubriand, do Grupo Jornalístico Diários Associados, que a denominou de Rádio Baré. A partir daí, outras emissoras de rádio

comerciais operando na faixa de OM com AM foram instaladas. Na metade dos anos sessenta, Manaus também passou a contar com a radiodifusão com FM, após a inauguração da Rádio Tropical, pioneira em som estéreo na América Latina. A partir desta época, outras emissoras de FM entraram em operação na cidade.

Embora a televisão brasileira tenha tido início em setembro de 1950 com a inauguração da Televisão Tupi, em São Paulo, a novidade só chegou a Manaus no final dos anos sessenta, quando entrou em operação a Televisão Ajuricaba (Canal 38), monocromática, atualmente denominada de Rede Boas Novas - RBN (Canal 8). A partir daí, outros canais de TV, então em cores, também entraram em operação nesta cidade [12].

Manaus, a capital do Estado do Amazonas, está geograficamente localizada a 3° 8' 7" de latitude sul e a 60° 18' 34" de longitude oeste de Greenwich; situada a uma altitude de 21 metros acima do nível do mar [13]. Tem clima equatorial úmido, com uma temperatura média anual de 26,8°C e umidade relativa do ar em torno de 83% com precipitação pluviométrica média de 2,280 mm/ano (período de referência: 1961-1990) [14]. Sua área abrange 11.458,5 quilômetros quadrados com uma população de 1.403.796 habitantes [15] distribuída em regiões denominadas de Zona Centro Sul, Zona Centro Oeste, Zona Oeste, Zona Norte, Zona Leste e Zona Sul, que agrupam um total de 55 bairros.

A cidade é banhada pelo Rio Negro e entrecortada por diversos igarapés, destacando-se o do Quarenta, do Velho Chico, do Mindú, do Tarumã, do Franco, do São Raimundo e outros. Historicamente, a cidade tem crescido na direção Norte tomando por eixo a rodovia Am 10, que a interliga à cidade de Itacoatiara. Sua economia é fortemente conduzida pelo Pólo Industrial de Manaus - PIM, que é administrado pela autarquia Superintendência da Zona Franca de Manaus - Suframa. Neste pólo industrial são produzidos artigos eletroeletrônicos, relógios, bicicletas, motocicletas, computadores, brinquedos, *jet skys* e óculos, dentre outros produtos [16].

1.1 Motivação

Assim como em todos os grandes centros urbanos, existem áreas na cidade de Manaus onde ocorrem a concentração de sinais eletromagnéticos na faixa de radiofrequência. Isto significa que as pessoas estão constantemente imersas em campos de sinais eletromagnéticos de diferentes intensidades [17]. Situação esta revelada principalmente quando a interferência incide na faixa de operação dos serviços de radiodifusão [18]. O

constante crescimento dos serviços de telefonia móvel [19] tem, em tese, contribuído para o aumento da concentração dos diversos sinais eletromagnéticos, nos mais variados níveis de potência.

As prestadoras de serviços de radiodifusão fazem esporadicamente medições dos níveis dos seus sinais. As prestadoras de serviços de telefonia móvel também o fazem e com maior frequência. A Agência Nacional de Telecomunicações - Anatel, em seus procedimentos de fiscalização, trata de casos específicos. Resumindo, não existe uma compilação das informações referentes às diversas fontes de sinais eletromagnéticos.

Portanto, este trabalho propõe-se a fazer uma investigação criteriosa sobre os dados relativos às concentrações de sinais radioelétricos oriundos dos serviços de radiodifusão e de telefonia móvel em áreas específicas da cidade de Manaus. Apurados estes resultados, avaliar se a concentração dos sinais dos serviços de telefonia móvel em alguma área estudada na cidade é superior à concentração dos sinais de radiodifusão e propor um modelo de predição de sinais na faixa de telefonia móvel em ambientes urbanos.

1.2 Problema e Hipótese

Os transmissores dos serviços de Radiodifusão Sonora em OM-OT-OC/AM emitem sinais radioelétricos com potência máxima de 100 kW [20]. Os transmissores das emissoras dos serviços de Radiodifusão Sonora em VHF/FM emitem sinais radioelétricos com potência máxima de 50 kW [8]. Os serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens na faixa VHF/TV operam com potência máxima de 31,6 kW enquanto que os serviços na faixa de UHF/TV emitem sinais com potência máxima de 160 kW [21]. As Estações de Rádio Base (ERB) dos serviços de Telefonia Móvel emitem potência de até 7,9 kW [22].

1.2.1 Problema

Existe na Cidade de Manaus uma área em que, estatisticamente, o somatório dos níveis de potência dos sinais radioelétricos gerados pelos serviços de telefonia móvel celular seja superior aos sinais gerados pelos serviços de radiodifusão?

1.2.2 Hipótese

Dada a elevada diferença da potência emitida pelos serviços de radiodifusão em relação aos serviços de telefonia móvel celular, acredita-se que em qualquer área da cidade de Manaus, estatisticamente, o somatório da potência dos sinais de radiodifusão será sempre superior ao somatório da potência dos sinais gerados pelos serviços de telefonia móvel celular.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar o nível de concentração da potência dos sinais eletromagnéticos na faixa de radiofrequência.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar e escolher na cidade de Manaus áreas que representem incontestáveis perfis concentração de estações transmissoras dos serviços de radiodifusão além da presença das ERB dos serviços de telefonia móvel celular;
- Fazer a medição dos níveis de potência dos sinais dos serviços de radiodifusão e dos serviços de telefonia móvel celular nas três áreas identificadas e escolhidas. Fazer o somatório da potência dos mesmos por origem e compará-los, identificando assim qual o somatório tem maior valor e em qual área;
- Com os resultados obtidos, contribuir na elaboração de modelos de distribuição de campo eletromagnético que possam auxiliar no planejamento celular, permitir a avaliação radiométrica e fornecer dados para a definição de normas na área.

1.4 Panorama da Área

Manaus dispõe de dez emissoras de radiodifusão com AM, sendo quatro operando na faixa de Ondas Médias OM, quatro operando na faixa de Ondas Tropicais (OT) e duas operando na faixa de Ondas Curtas (OC); oito emissoras de radiodifusão em FM operando na faixa de *Very High Frequency* (VHF); onze canais de TV, sendo seis operando na faixa VHF e cinco operando na faixa de *Ultra High Frequency* (UHF). Conta também com

dezenas de estações de rádio de alta potência destinadas aos serviços de comunicações públicas e privadas, serviços de localização (paging), operadoras de telefonia de longas distâncias, sistemas de vigilância, além dos serviços de radioamador [23].

Acompanhando a tendência globalizada dos benefícios da tecnologia, a cidade também tem agregado novas fontes geradoras de OEM, as ERB ou similares, dos sistemas de telefonia móvel celular.

A cidade dispõe de quatro serviços de telefonia móvel celular, identificados neste trabalho como Serviço A, Serviço B, Serviço D e Serviço E. Os Serviços A e B operam no padrão IS – 54/136 [24] enquanto que os Serviço D e E operam no padrão *Global System for Mobile Communications* – GSM [25].

A Figura 1.1 mostra a planta da cidade de Manaus.

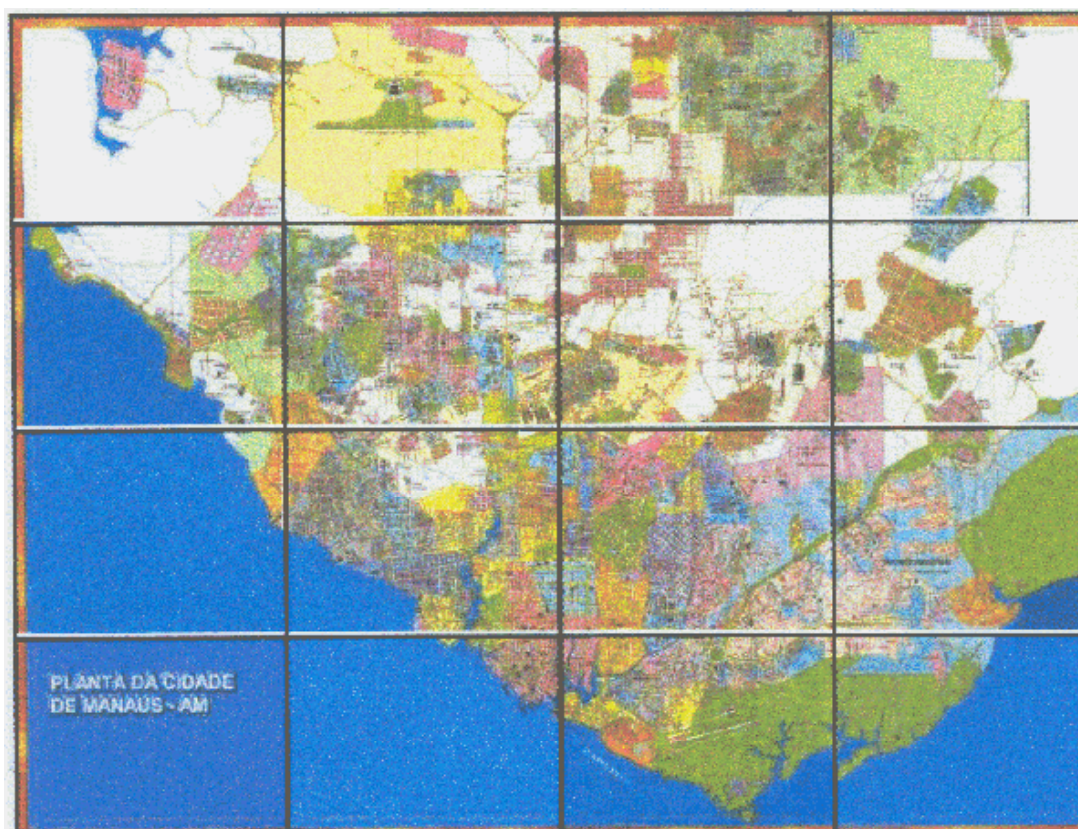


Figura 1.1 - Planta digitalizada Cidade de Manaus/AM. Escala 1:20.000.

1.5 Organização da Dissertação

No Capítulo 2 são abordadas as fontes geradoras de sinais eletromagnéticos, constituídas pelos Serviços de Radiodifusão, Serviços de Telefonia Móvel Celular e Serviços de Telefonia Móvel Pessoal.

O mapeamento dessas fontes geradoras é tratado no Capítulo 3.

No Capítulo 4 são descritas as medições realizadas, a avaliação do desempenho e a avaliação dos resultados obtidos.

O Capítulo 5 trata de um estudo de propagação dos sinais medidos e propõe um modelo de predição de sinais.

E, finalmente, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais e as sugestões para os trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fontes Geradoras de Ondas Eletromagnéticas

2.1 Introdução

As fontes geradoras de sinais eletromagnéticos consideradas são as que emitem sinais na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz, ondas não ionizantes [26], aqui representadas pelos Serviços de Radiodifusão e Serviços de Telefonia Móvel.

Detalharemos a seguir como são distribuídas essas fontes na cidade de Manaus.

2.2 Serviços de Radiodifusão

Manaus dispõe dos seguintes Serviços de Radiodifusão:

- a) Há quatro serviços de Radiodifusão Sonora em Ondas Médias (OM) [19]. A Radiodifusão em OM é modulada em amplitude (AM), cuja portadora está compreendida na faixa de 535 a 1650 kHz [17]. As concessionárias são:
- Fundação Evangélica Boas Novas – 930 kHz (10 kW dia / 5 kW noite)
 - Rádio Difusora do Amazonas Ltda. – 1.180 kHz (10 kW dia / 2,5 kW noite)
 - Rádio Rio Mar Ltda. – 1.290 kHz (10 kW dia / 2,5 kW noite)
 - Rádio Baré Ltda. – 1.440 kHz (10 kW dia / 10 kW noite)

Esses transmissores utilizam como elementos irradiantes as antenas omnidirecionais do tipo dipolo de Marconi (monopolares) montadas sobre a terra, com polarização vertical, normalmente com comprimento de $\lambda/4$ [27]. Seus sinais propagam-se principalmente ao longo da superfície terrestre, podendo atingir um raio

de até 350 km de distância, dependendo dos locais onde se encontram as antenas, do relevo da superfície, do tipo de solo e de outras influências.

b) Quatro serviços de Radiodifusão Sonora em Ondas Tropicais (OT) [19]. A Radiodifusão em OT é modulada em AM, cuja portadora está compreendida na faixa de 3.200 até 5.060 kHz [17]. As concessionárias em operação, são:

- Rádio Difusora do Amazonas – 4.805 kHz (10 kW dia / 10 kW noite)
- Radiobrás – Empresa Brasileira de Comunicações – 4.845 kHz (10 kW dia / 10 kW noite)
- Rádio Baré Ltda. – 4.895 kHz (5 kW dia / 5 kW noite)
- Rádio Jornal A Crítica Ltda. – 4.935 kHz (5 kW dia / 5 kW noite)

Esses transmissores utilizam como elementos irradiantes as antenas direcionais do tipo dipolo de Hertz (bipolares) duplas em contra fase, com polarização horizontal e têm comprimentos entre torno de 30 metros, medida esta correspondentes a $\frac{1}{2}$ dos seus comprimentos de onda. Seus sinais propagam-se principalmente utilizando um efeito conhecido como reflexão na ionosfera, camada da atmosfera altamente ionizada que se encontra entre 40 e 400 km de altitude. Os sinais emitidos são destinados a atingirem uma das subcamadas da ionosfera, na qual refratam e retornam à superfície terrestre numa distância de até 1.400 km a partir da fonte irradiante. Em seguida, esses sinais podem ainda ser refletidos pela superfície terrestre, retornar à ionosfera, ser novamente refratados e tudo se repetir enquanto eles tiverem energia suficiente para tal. As regiões da superfície terrestre em que não ocorre a presença do sinal são chamadas de zonas de sombra ou zonas de silêncio.

c) Dois serviços de Radiodifusão Sonora em Ondas Curtas (OC) [28]. A Radiodifusão em OC é modulada em AM, cuja portadora está compreendida na faixa de frequência de 5.950 a 26.100 kHz [17]. As seguintes concessionárias operam em Manaus:

- Rádio Rio Mar Ltda. – 6.160 kHz (10 kW)
- Rádio Rio Mar Ltda. – 9.695 kHz (7 kW)

Esses transmissores também utilizam como elementos irradiantes as antenas direcionais do tipo dipolo de Hertz (bipolares) e têm comprimentos entre 48 e 30 metros, medidas estas correspondentes a $\frac{1}{2}$ dos seus comprimentos de onda. Seus sinais propagam-se principalmente usando a ionosfera. Os sinais emitidos são destinados a atingirem uma das subcamadas da ionosfera, em mecanismo idêntico ao anteriormente descrito.

d) Oito serviços de Radiodifusão Sonora em frequência modulada (FM). A Radiodifusão em FM [20] é a modalidade de serviço de radiodifusão que opera na faixa de 87,8 a 108 MHz, com modulação em frequência [17]. As concessionárias são:

- Rádio Jornal A Crítica Ltda. – 93,1 MHz (10 kW)
- Sociedade de Rádio Difusão Pacheco Ltda. – 94,3 MHz (10 kW)
- Sociedade de Televisão Manauara Ltda. – 95,1 MHz (10 kW)
- Rádio Difusora do Amazonas Ltda. – 96,9 MHz (10 kW)
- Rádio e TV Tropical Ltda. – 99,3 MHz (10 kW)
- Rede de Radiodifusão Novidade Técnica Ltda. – 100,7 MHz (35 kW)
- Rádio TV do Amazonas Ltda. – 101,5 MHz (10 kW)
- Rádio Tarumã Ltda. – 104,1 MHz (10 kW)

Seus transmissores utilizam antenas tipo dipolos circulares empilhados com polarização circular. Seus sinais propagam-se principalmente em visada direta e podem atingir um raio de até 40 km (Classe A1) a partir da antena.

e) Onze serviços de TV aberta que operam nas faixas de VHF ou de UHF [21]. O serviço de Radiodifusão de TV é o tipo de serviço destinado à transmissão de sons e imagens por ondas radioelétricas [17]. As concessionárias são:

- Fundação Televisão e Rádio Cultura – Canal 2 (10 kW)
- TV À Crítica Ltda. – Canal 4 (20 kW)
- Rádio TV do Amazonas Ltda. – Canal 5 (15 kW)
- Fundação Evangélica Boas Novas – Canal 8 (31,6 kW)
- Sociedade de Televisão Manauara Ltda. – Canal 10 (10 kW)
- Rádio e Televisão Rio Negro Ltda. – Canal 13 (13 kW)

- Rede TV – Canal 18 (5 kW)
- CNT – Canal 20 (1 kW)
- MTV – Canal 23 (1 kW)
- Rede Vida – Canal 40 (5 kW)
- Amazon SAT – Canal 44 (1 kW)

Seus transmissores utilizam antenas omnidirecionais com polarização circular. Seus sinais propagam-se principalmente em visada direta e podem atingir raios de 42 km (Classe A, VHF, Canais 2 a 6), de 46 km (Classe A, VHF, Canais 7 a 13) e de 40 km (Classe A, UHF), a partir do elemento irradiante [21]. As faixas de VHF e UHF são bastante utilizadas para difundir a mesma informação a partir de uma estação central, possibilitando a cobertura de uma zona bastante extensa, com excelente qualidade e estabilidade do sinal [29].

2.3 Serviços de Telefonia Móvel Celular

Há dois Serviços de Telefonia Móvel Celular (SMC). São prestadoras que operam no padrão IS – 54/136. Este é um serviço de telecomunicações móvel terrestre, aberto à correspondência pública, que utiliza sistema de radiocomunicações com técnica celular, interconectado à rede pública de telecomunicações, e acessado por meio de terminais portáteis, transportáveis ou veiculares, de uso individual [18]. Os serviços são:

a) Serviço A

É composto por aproximadamente 90 células. Utiliza torres com alturas de 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70, 80 e 90 m. Também utiliza recursos como os terraços de edifícios em locais estratégicos para a instalação de antenas. Opera com antenas setorizadas em 120°, necessitando de três painéis para a cobertura em 360°. Tais antenas emitem potência média em torno de 5W, cujas células têm um raio médio de 2 km. Cada setor é identificado por um painel de antenas que dispõe sempre de duas antenas Rx, intercaladas por uma antena Tx. A distância média entre as ERB é próxima de 800 m e essas se comunicam com a central de comutação e controle (CCC) em 90% dos casos por meio de enlaces de microondas, 9% dos casos em cabos ópticos e 1% dos casos via cabo coaxial. Cada ERB disponibiliza em torno de um total de 60 canais físicos, sendo que 2 são utilizados para o controle do

Serviço. Os 58 canais restantes são divididos em três setores da célula, cada um com cobertura de 120°. A interferência mais freqüente, em torno de 0,02%, é a co-canal e o motivo de maior atenuação do sinal, fora as condições de distância, reflexões e outras, é a vegetação. O serviço utiliza micro-células nas regiões de sombra de sinal no centro da cidade e nos *shopping centers*. Atualmente o serviço tem cadastrado mais de 300 mil usuários. Tem à sua disposição as seguintes faixas de radiofrequência [22]:

- ⇒ Transmissão da Estação Móvel: 824 MHz a 835 MHz e 845 MHz a 846,5 MHz
- ⇒ Transmissão da Estação Rádio Base: 869 MHz a 880 MHz e 890 MHz a 891,5 MHz

b) Serviço B

É composto por aproximadamente 30 células. Utiliza torres com alturas de 30, 40, 45, 60, 70, 75, 80 e 100 m. Também utiliza recursos como os terraços de edifícios em locais estratégicos. Opera com antenas setorizadas em 120°, necessitando de três painéis para a cobertura em 360°. Tais antenas emitem potência média em torno de 20W e suas células têm um raio médio de 4 km. Cada setor é identificado por um painel de antenas que dispõe sempre de duas antenas Rx e próxima de uma delas uma antena Tx. A comunicação com a CCC em 99% dos casos ocorre por intermédio de microondas e em 1% por meio de cabo óptico. Na comunicação entre ERB, em 100% dos casos são utilizados enlaces de microondas. A interferência de maior incidência, porém, em baixos índices, é a co-canal. Esse serviço tem atualmente cadastrados mais de 200 mil usuários. Tem à sua disposição as seguintes faixas de radiofrequência [22]:

- ⇒ Transmissão da Estação Móvel: 835 MHz a 845 MHz e 846,5 MHz a 849 MHz
- ⇒ Transmissão da Estação Rádio Base: 880 MHz a 890 MHz e 891,5 MHz a 894 MHz

2.4 Serviços de Telefonia Móvel Pessoal

A cidade de Manaus dispõe de dois Serviços Móveis Pessoais (SMP), que é o serviço de telecomunicações móvel terrestre de interesse coletivo que possibilita a comunicação entre Estações Móveis e de Estações Móveis para outras estações. O SMP é caracterizado

por possibilitar a comunicação entre estações de uma mesma Área de Registro do SMP ou acesso a redes de telecomunicações de interesse coletivo [18]. Os dois Serviços Móveis Pessoais que operam no padrão GSM são:

a) Serviço D

É composto por 60 células. Utiliza postes treliçados com alturas de 30 e 40 m, e torres com alturas de 40, 50 e 60 m. Também utiliza recursos como os terraços de edifícios em locais estratégicos (*roof top*). Opera com antenas setorizadas em torno 120°, necessitando de três painéis para a cobertura em 360°. Tais antenas emitem potência média em torno de 35 W, podendo utilizar em situações extremas da planta, transmissores do tipo *high power* de 60 W. As células têm um raio médio de 3 km. Cada setor é identificado por um painel de antenas que dispõe sempre de duas antenas, uma com as funções de Tx + Rx (principal) e outra com a função de Tx (diversidade em espaço). A distância média entre as ERB é próxima de 3 km e elas comunicam-se com a CCC em 100% dos casos por meio de enlaces de modem óptico utilizando cabos ópticos. Cada ERB disponibiliza 30 canais, tendo aproximadamente 1 canal de controle + 7 canais de voz por setor. A interferência mais freqüente, em torno de 2%, é do tipo co-canal e o motivo de maior atenuação do sinal, fora as condições de distância, reflexões e outras, é a vegetação. Utiliza micro-células nas regiões de sombra de sinal no centro da cidade e nos *shopping centers (roof top)*. Atualmente, o serviço tem cadastrado mais de 50 mil usuários. Tem à sua disposição as seguintes faixas de radiofrequência [22]:

⇒ Transmissão da Estação Móvel: 910 MHz a 912,5 MHz e 1.710 MHz a 1.725 MHz

⇒ Transmissão da Estação Rádio Base: 955 MHz a 957,5 MHz e 1.805 MHz a 1.820 MHz

b) Serviço E

É composto por aproximadamente 60 células. Utiliza torres próprias com altura média de 40 m. Também compartilha torres de outros serviços de comunicações já instalados, além de recursos como os terraços de edifícios em locais estratégicos. Opera com antenas setorizadas, defasadas geometricamente em 65° em relação ao norte verdadeiro. Tais antenas emitem potência média em torno de 28,2 watts, cujas

células têm um raio médio de 1,2 km. Cada setor é identificado por um painel de antenas que dispõe sempre de duas antenas Rx, intercaladas por uma antena Tx. As distâncias entre as ERB, dependendo da necessidade de tráfego, são de 800 m, 1,2 km, 1,4 km, 1,6 km, 1,8 km e de 2,0 km, que essas se comunicam com a CCC em 100% dos casos utilizando cabos ópticos. Para as ERB em cascata, utiliza em 100% dos casos enlaces de microondas. Cada ERB disponibiliza 42 canais, sendo 14 canais por setor. As interferências são do tipo co-canal (40%) e canal adjacente (60%). Tem capacidade instalada para atender a 147.600 usuários. Tem à sua disposição as seguintes faixas de radiofrequência [22]:

- ⇒ Transmissão da Estação Móvel: 912,5 MHz a 915 MHz e 1.740 MHz a 1.755 MHz
- ⇒ Transmissão da Estação Rádio Base: 957,5 MHz a 960 MHz e 1.835 MHz a 1.850 MHz

Capítulo 3

Mapeamento das Fontes Geradoras de Ondas Eletromagnéticas

3.1 Introdução

A cidade de Manaus, assim como qualquer outra cidade que disponha dos diversos serviços de comunicações, públicos e privados, além dos serviços de radiodifusão concentra um elevado número de torres onde estão instaladas as antenas dos diversos serviços telefonia móvel celular.

Utilizar um mapa da cidade para registrar o posicionamento de cada estação transmissora de todos os serviços de radiodifusão e de telefonia móvel em operação foi a forma encontrada para constatar as regiões da cidade onde potencialmente estão as maiores concentrações de sinais eletromagnéticos.

Antes de ser iniciado o mapeamento, foram visitados todos departamentos técnicos das operadoras dos serviços de telefonia móvel. Em todas, o responsável técnico colaborou respondendo um formulário mostrado no Apêndice A sobre dados essenciais para a pesquisa e forneceu uma lista com os endereços das ERB.

O mapeamento foi realizado seguindo as listas de endereços ou pela identificação visual das ERB e registrando as suas respectivas posições em um mapa na escala de 1:66.000. Posteriormente, essas informações foram transferidas para um mapa na escala aproximada de 1:20.000.

3.2 Período do Mapeamento

O período do mapeamento ocorreu entre os meses de agosto de 2002 e janeiro de 2003. Este período justifica-se pelo fato de que durante o final do ano de 2002 entraram em funcionamento os serviços de telefonia móvel celular D e E, e, todo o trabalho que havia

sido feito nos meses de agosto, setembro e outubro, quando estavam em funcionamento apenas os serviços A e B, teve que ser refeito nos meses seguintes, para que fossem acrescentadas ao mapa, as novas torres e conseqüentemente, as novas antenas. Dessa forma, a entrada em funcionamento dos novos serviços aumentou mais ainda o número de antenas que, em grande porcentagem, compartilham torres com as operadoras concorrentes.

3.3 Resultado do Mapeamento

A distribuição de antenas na cidade é a seguinte:

- Total de antenas transmissoras dos serviços de radiodifusão: 31
- Total de torres (SMP+SMC) : 141
- Total de ERB: 243

Pelo levantamento dos dados, pode-se constatar que cada torre do serviço de telefonia celular atende a aproximadamente duas ERB. De posse do mapa da cidade com as fontes de sinais de rádio respectivamente sinalizadas, foram observadas várias áreas onde ocorrem concentrações dessas fontes. Três áreas específicas e com perfis diferenciados foram escolhidas, consideradas na análise como as mais críticas, para proceder as medições. Em cada uma das áreas foi escolhido, com auxílio do mapa sinalizado, um ponto central para serem realizadas as medições, conforme detalhamento a seguir:

a) Área 1: Bairro de Petrópolis (Avenida André Araújo)

Os bairros de Petrópolis e Aleixo são os bairros de maior altitude na cidade de Manaus e, exatamente por isso, onde estão instaladas pelo menos cinco estações transmissoras de canais de TV, três emissoras de rádio FM e uma ERB do Serviço A; todas em um raio máximo de 500 metros. O ponto escolhido para medição encontra-se a margem de uma via de intenso fluxo de veículos por ser um dos caminhos para o Distrito Industrial e também para uma região muito populosa da cidade. Encontra-se a aproximadamente 5.000 metros de distância do centro da cidade. Ampliando-se o anel de análise para um raio de 2.000 metros, onde se incluem também os bairros do Aleixo, Coroado, Japiim, Japiinlândia, Parque 10 de Novembro e Adrianópolis, foram encontradas:

- ✓ 7 - ERB do Serviço A

- ✓ 1 - ERB do Serviço B
- ✓ 3 - ERB do Serviço D
- ✓ 4 - ERB do Serviço E
- ✓ 3 - estações transmissoras de rádio FM
- ✓ 3 - estações transmissoras de TV - VHF e
- ✓ 2 - estações transmissoras de TV - UHF

b) Área 2: Bairro da Praça 14 de Janeiro (Avenida Ayrão)

O bairro da Praça 14 de Janeiro é próximo ao centro da cidade de Manaus. O ponto escolhido para medição tem baixo fluxo de veículos e está cercado por duas ERB do Serviço A, uma ERB do Serviço D, uma ERB do Serviço E, uma estação transmissora de rádio AM e uma estação transmissora de TV - VHF, todas em um raio máximo de 500 metros. Ampliando-se o anel de análise para um raio de 2.000 metros, onde se incluem também os bairros de Aleixo, São Francisco, Petrópolis, Cachoeirinha, Centro, Getúlio Vargas, São Geraldo, Nossa Senhora das Graças e Adrianópolis, foram encontradas:

- ✓ 17 - ERB do Serviço A
- ✓ 3 - ERB do Serviço B
- ✓ 3 - ERB do Serviço D
- ✓ 2 - ERB do Serviço E
- ✓ 2 - estações transmissoras de rádio AM
- ✓ 1 - estação transmissora de rádio FM e
- ✓ 2 - estações transmissoras de TV - VHF

c) Área 3: Centro da Cidade (Avenida Eduardo Ribeiro)

O ponto escolhido para medição é de intenso fluxo de pessoas por se tratar de uma região do centro comercial da cidade. Está cercado por sete ERB do Serviço A, uma ERB do Serviço B, uma estação transmissora de rádio FM e uma estação transmissora de TV - VHF, todas em um raio máximo de 500 metros. Ampliando-se o anel de análise para um raio de 2.000 metros, onde se incluem também os bairros de Praça 14 de Janeiro, Educandos, Aparecida, Glória, São Raimundo, e Getúlio Vargas, encontra-se a concentração de:

- ✓ 17 - ERB do Serviço A

- ✓ 3 - ERB do Serviço B
- ✓ 2 - ERB do Serviço D
- ✓ 1 - ERB do Serviço E
- ✓ 1 - estação transmissora de rádio AM
- ✓ 1 - estação transmissora de rádio FM e
- ✓ 2 - estações transmissoras de TV - VHF

3.4 Relatos Gerais

- A maior concentração de antenas encontra-se no centro da cidade onde existem em torno de vinte e três ERB;
- Em algumas localidades existem casos em que uma mesma torre, comporta pelo menos três conjuntos de antenas, ou seja, serve a três operadoras diferentes;
- Em outras localidades também existem casos em que num raio de aproximadamente 100 metros, existem três torres que sustentam antenas das quatro operadoras;
- Existe um caso em que a torre de uma emissora de radiodifusão FM, sustenta uma antena do SMC;

A Figura 3.1 mostra o mapa da cidade de Manaus e as sinalizações das áreas estudadas.



Figura 3.1 - Mapa da cidade de Manaus com a indicação das três áreas estudadas quanto aos níveis de sinais eletromagnéticos. Escala 1:20.000.

Capítulo 4

Medições Realizadas, Avaliação de Desempenho e Avaliação dos Resultados

4.1 Introdução

Este capítulo trata das medições e os seus resultados. É também feita uma avaliação do desempenho das medições e a comparados os resultados obtidos.

4.2 Medições Realizadas

As três áreas da cidade de Manaus escolhidas para medição, por meio de observação no mapeamento, têm em comum uma forte densidade de antenas transmissoras de sinais de radiofrequência, porém, diferenciam-se fundamentalmente pelo cenário. Embora sejam todas as áreas urbanas, apresentam-se com características ambientais diferenciadas.

4.2.1 Área 1 - Petrópolis

De modo geral, a área apresenta um relevo acidentado, com arborização média e com edificações de no máximo dois pavimentos, numa distância de aproximadamente 400 m entre a ERB (latitude 03° 05' 51,1" e longitude 59° 59' 31,9") e o ponto de medição. No trecho da linha de visada entre a ERB e o veículo a superfície é plana. A antena do setor 1, que dá cobertura em direção ao ponto de medição, tem um azimuth de 120° em relação ao norte verdadeiro, emite uma potência de 10 watts e encontra-se instalada a uma altura de 30 m. Os obstáculos existentes entre o Tx e o Rx são, principalmente, os arbustos do trecho (Figura 4.1) [30].



Figura 4.1 - Cenário da área de medição no bairro de Petrópolis.

A Figura 4.2 mostra a altimetria da área em estudo definida pelas curvas de níveis registradas em mapa cartográfico na escala de 1:10.000 [Apêndice D1].



Figura 4.2 - Curvas de níveis da área do bairro de Petrópolis.

4.2.1.1 Medições Realizadas na Área 1 - Petrópolis

Medição 1: Sinais dos serviços de Radiodifusão Sonora OM - OT - OC/AM

Nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5 apresentam-se os valores médios das potências nas respectivas frequências portadoras sintonizadas. Foram realizadas cinquenta medições dos sinais em cada frequência.

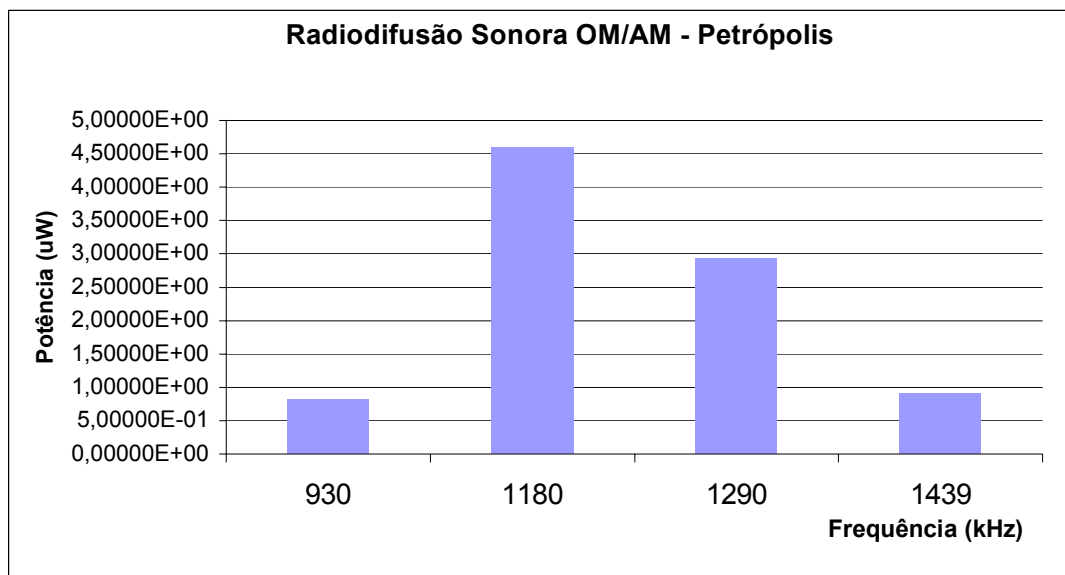


Figura 4.3 - Níveis de potência dos sinais na faixa de OM/AM - Petrópolis.

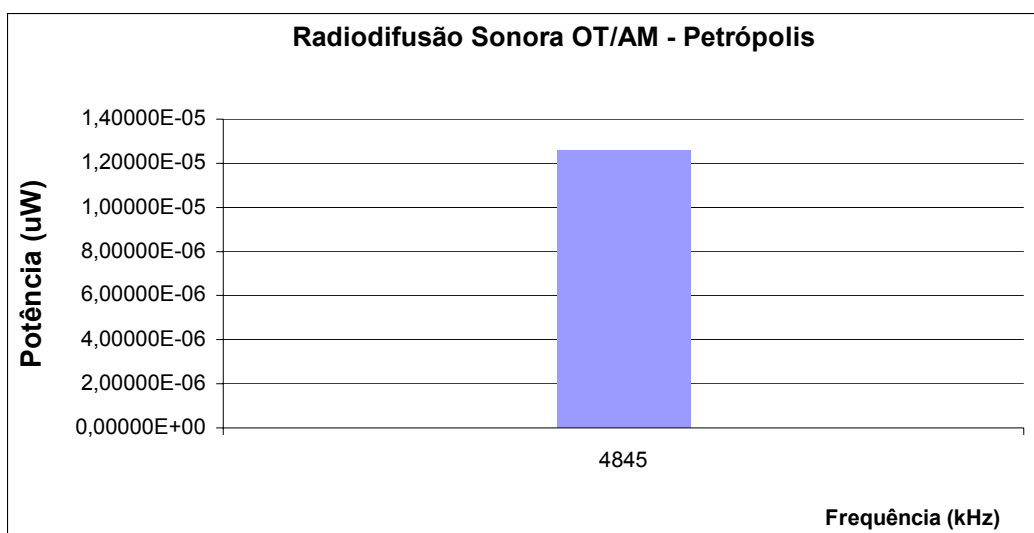


Figura 4.4 - Níveis de potência dos sinais na faixa de OTAM - Petrópolis.

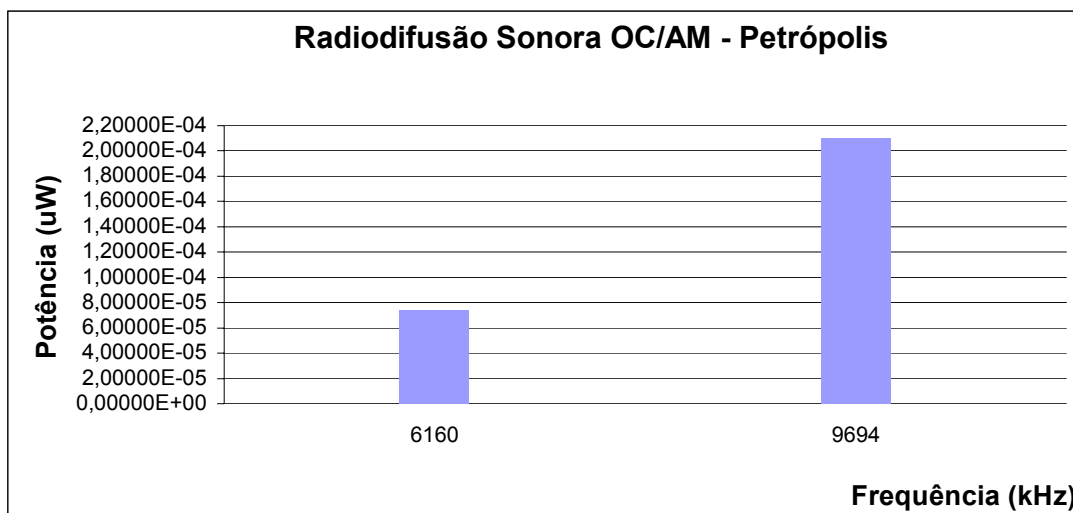


Figura 4.5 - Níveis de potência dos sinais na faixa de OCAM - Petrópolis.

O elevado valor de potência mostrado na frequência de 1.180 kHz (Figura 4.3) justifica-se principalmente pela maior proximidade entre o ponto de medição e a antena Tx da emissora ($d < 3$ km).

O resumo das medições realizadas destes sinais encontram-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Resumo Radiodifusão Sonora OM - OT - OC/AM - Petrópolis.

FAIXA	Frequência (kHz)	Valor Médio (dBμV)	Desvio Padrão (dBμV)	Valor Médio (μW)
OM/AM	930	76,10	0,03	8,12082E-01
	1180	83,62	0,10	4,59410E+00
	1290	81,66	0,05	2,92415E+00
	1439	76,57	0,21	9,05733E-01
OT/AM	4845	28,00	1,48	1,25835E-05
OC/AM	6160	35,70	3,73	7,40628E-05
	9694	40,23		2,10281E-04

Medição 2: Sinais dos serviços de Radiodifusão Sonora VHF/FM

Nas Figuras 4.6 e 4.7 apresentam-se os valores médios das potências nas respectivas frequências portadoras da Radiodifusão VHF/FM. Foi realizada apenas uma medição de cada parte da banda.

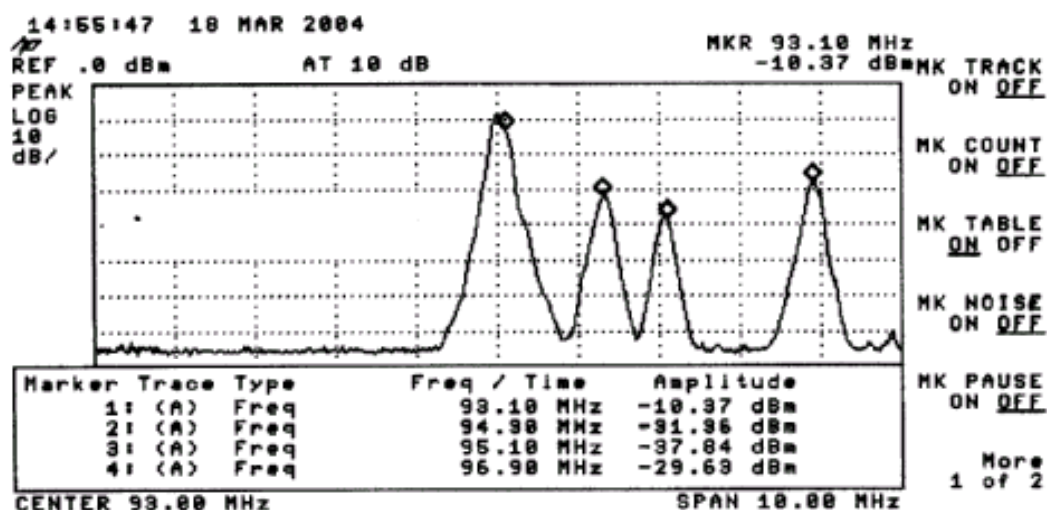


Figura 4.6 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/FM (banda baixa) - Petrópolis.

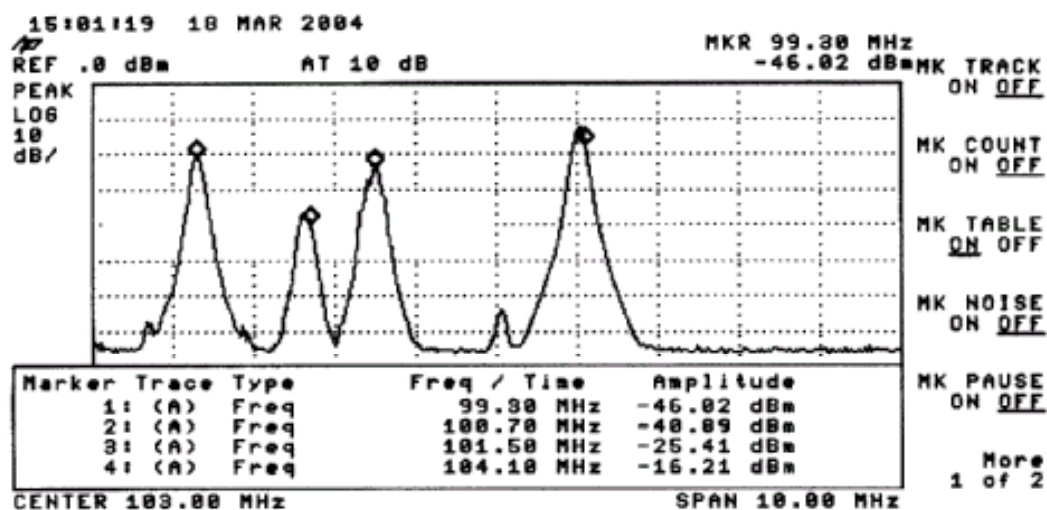


Figura 4.7 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/FM (banda alta) - Petrópolis.

Na Tabela 4.2, que resume as medições dos sinais de VHF/FM na área, o valor da potência na frequência de 93,1 MHz é muito maior que todos os outros valores apresentados na mesma tabela. Esta antena Tx está montada na mesma estrutura que suporta a antena Tx da emissora de 104,1 MHz, a aproximadamente 100 m de distância da antena Tx da emissora de 101,5 MHz e a menos de 500 m da antena Tx da emissora de 99,3 MHz. O ponto de medição fica a menos de 500 m da emissora de 93,1 MHz.

O resumo das medições destes sinais encontram-se na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Resumo Radiodifusão Sonora VHF/FM - Petrópolis.

FAIXA	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μW)
VHF/FM	93,1	-10,37	91,83325965
	94,3	-31,96	0,636795521
	95,1	-37,84	0,164437172
	96,9	-29,63	1,088930093
	99,3	-46,02	0,025003454
	100,7	-40,89	0,081470428
	101,5	-26,41	2,285598803
	104,1	-16,21	23,93315756

Medição 3: Sinais dos serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens VHF/TV

Nas Figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 apresentam-se os valores médios das potências dos sinais das frequências portadoras de vídeo e de som, respectivamente, dos canais de VHF/TV. Foi realizada apenas uma medição de cada conjunto de portadoras.

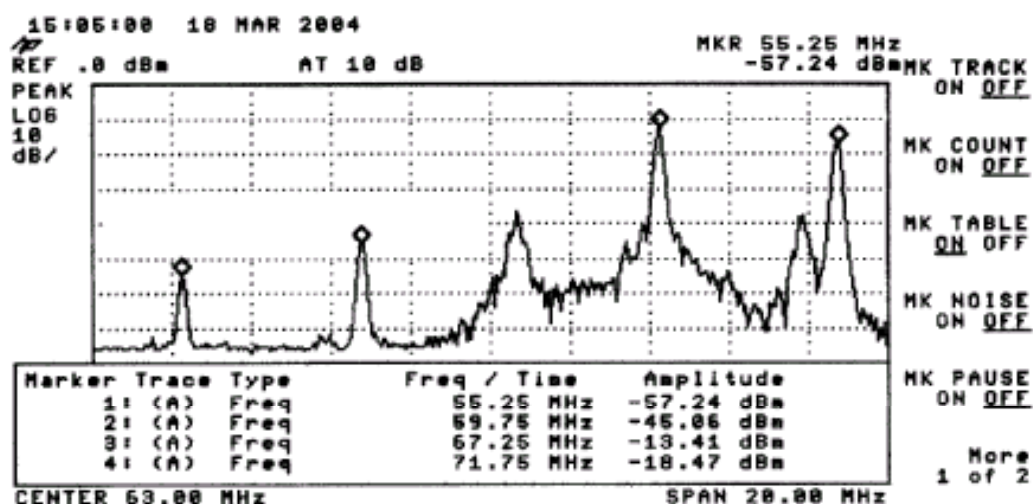


Figura 4.8 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 2 e 4) - Petrópolis.

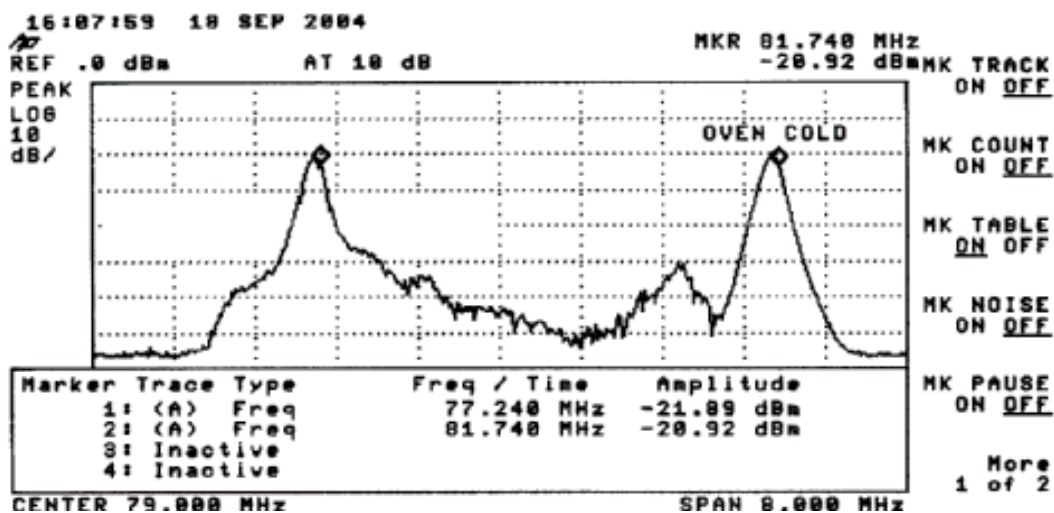


Figura 4.9 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canal 5) - Petrópolis.

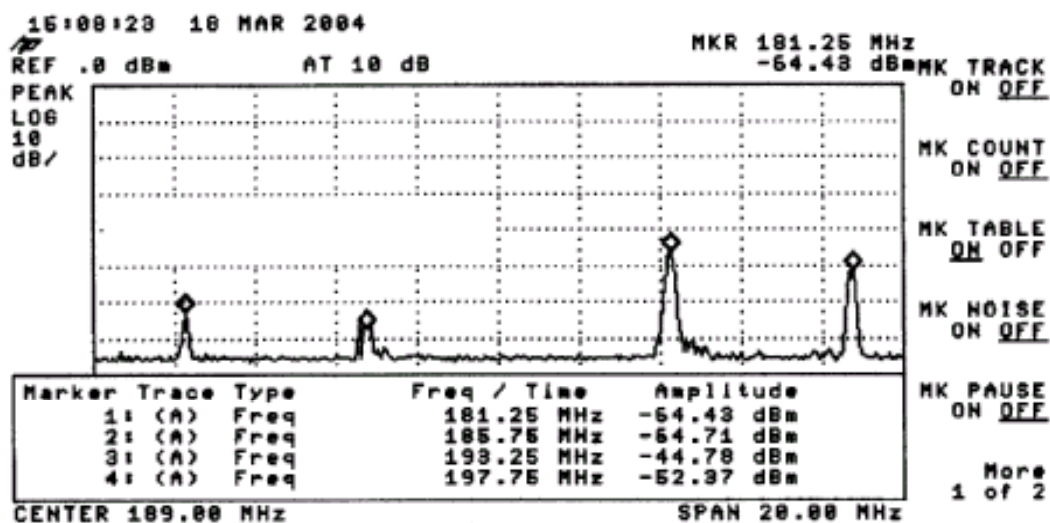


Figura 4.10 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 8 e 10) - Petrópolis.

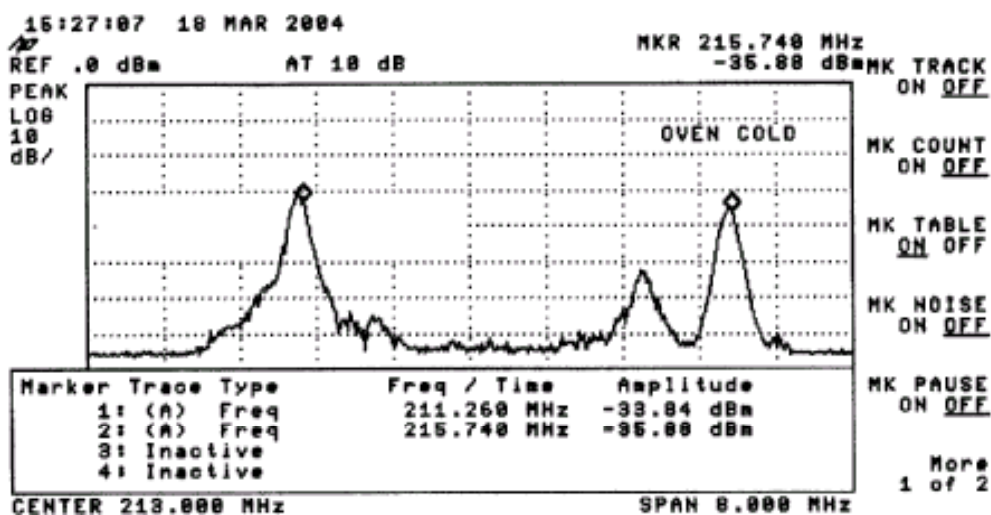


Figura 4.11 - Níveis de potência dos na faixa de VHF/TV (Canal 13) - Petrópolis.

Os sinais registrados dos canais 4 (Figura 4.8) e 5 (4.9) apresentam elevado valor de potência, inclusive distorcidos. O ponto de medição encontra-se a uma distância aproximada de 500 m da antena Tx dos mesmos. Os sinais do canal 13 (Figura 4.11) é visto de forma suave, embora o ponto de medição encontre-se a uma distância aproximada de 800 m da antena Tx do mesmo.

A Tabela 4.3 apresenta o resumo das medições de VHF/TV realizadas na área.

Tabela 4.3 - Resumo Radiodifusão de Sons e Imagens VHF/TV - Petrópolis.

VHF/TV	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μ W)
CANAL 2	55,25	-57,24	0,001887991
	59,75	-45,06	0,031188896
CANAL 4	67,25	-13,41	45,6036916
	71,75	-18,47	14,22328787
CANAL 5	77,25	-21,89	6,471426157
	81,75	-20,92	8,090958992
CANAL 8	181,25	-64,43	0,000360579
	185,75	-64,71	0,000338065
CANAL 10	193,25	-44,78	0,033265955
	197,75	-52,37	0,005794287
CANAL 13	211,26	-33,84	0,413047502
	215,74	-35,88	0,258226019

Medição 4: Sinais dos serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens UHF/TV

Nas Figuras 4.12, 4.13 e 4.14 apresentam-se os valores médios dos sinais das frequências portadoras de vídeo e de som, respectivamente, dos canais de UHF/TV. Foi realizada apenas uma medição de cada conjunto de portadoras.

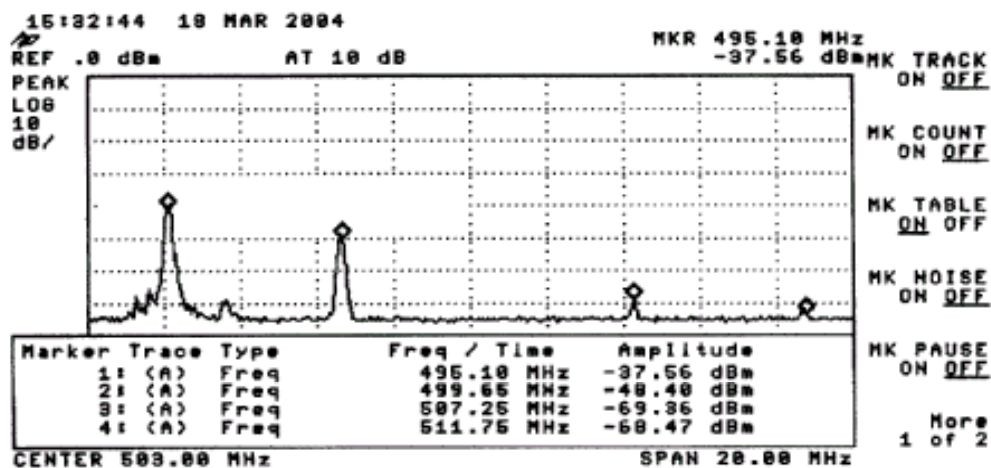


Figura 4.12 - Níveis de potência dos sinais na faixa de UHF/TV (Canais 18 e 20) - Petrópolis.

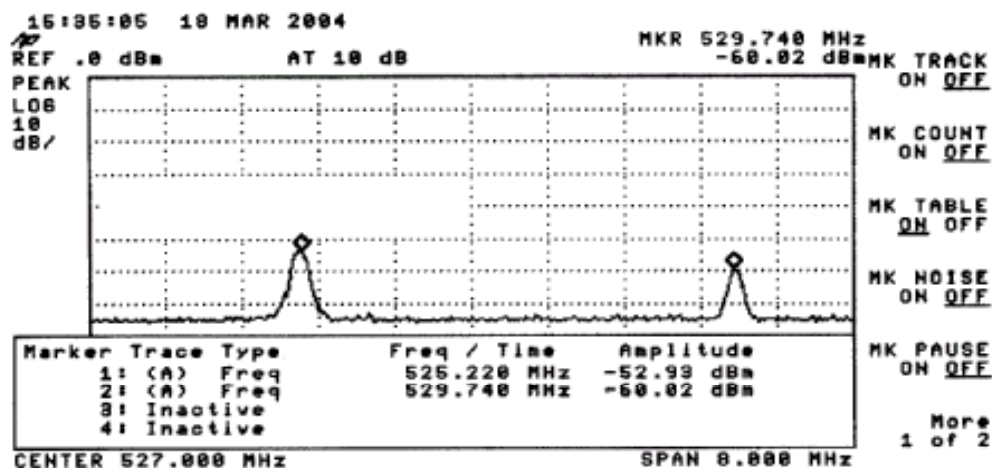


Figura 4.13 - Níveis de potência dos sinais na faixa de UHF/TV (Canal 23) - Petrópolis.

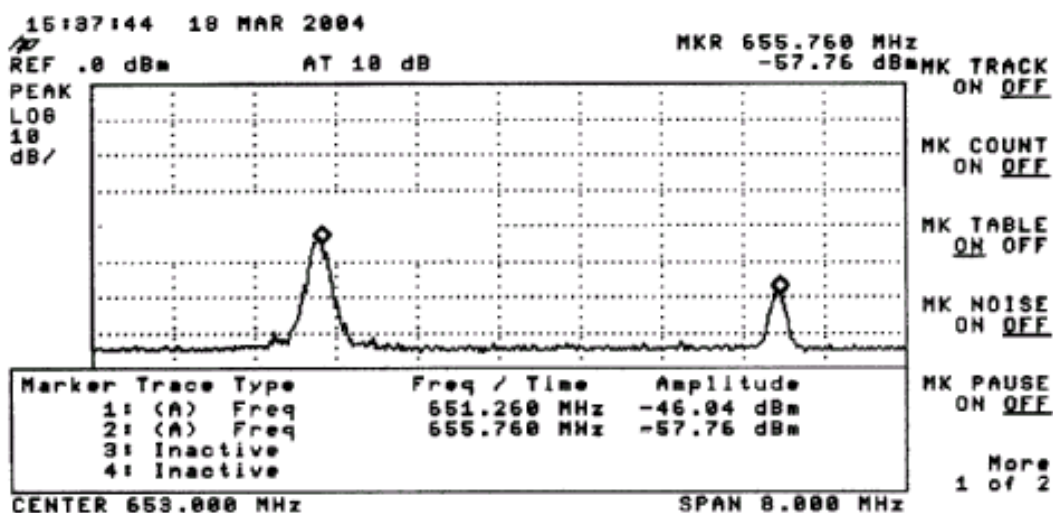


Figura 4.14 - Níveis de potência dos sinais na faixa de UHF/TV (Canal 44) - Petrópolis.

Os sinais dos canais de TV/UHF apresentam potência inferior aos sinais dos canais de TV/VHF, embora o canal 18 (Figura 4.12) esteja a uma distância de 900 m do ponto de medição e as emissoras dos canais 23 (Figura 4.13) e 44 (Figura 4.14) encontrem-se a uma distância aproximada de 500 m do ponto de medição.

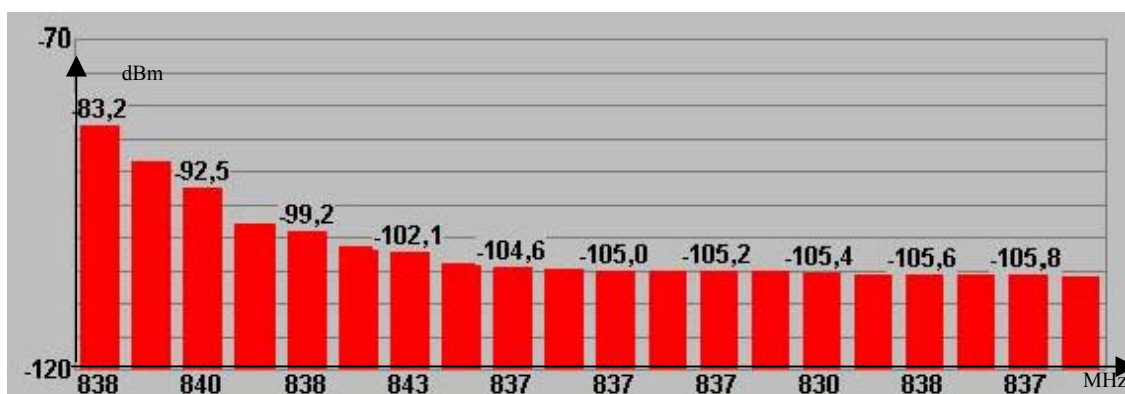
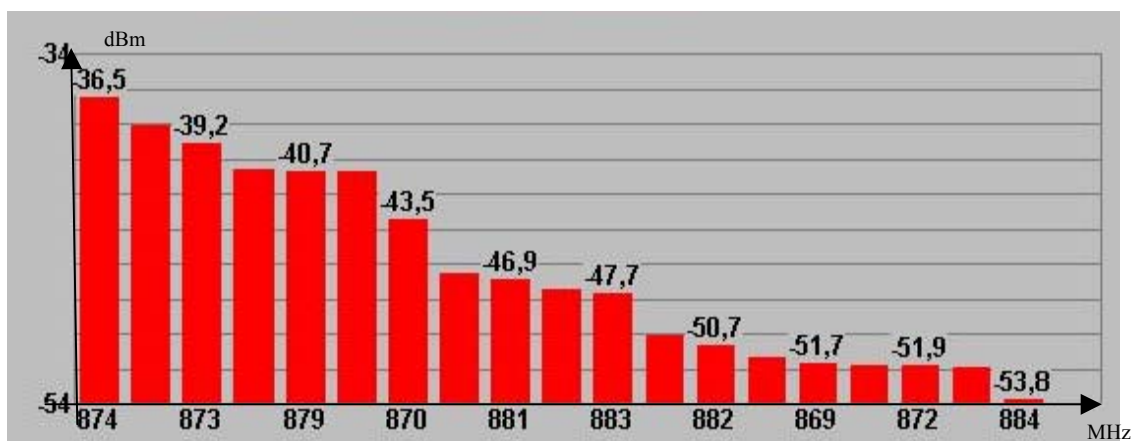
A Tabela 4.4 resume as medições realizadas na faixa de UHF/TV na área:

Tabela 4.4 - Resumo Radiodifusão de Sons e Imagens UHF/TV - Petrópolis.

UHF/TV	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μ W)
CANAL 18	495,25	-37,56	0,17538805
	499,75	-48,4	0,014454398
CANAL 20	507,25	-69,36	0,000115878
	511,75	-68,47	0,000142233
CANAL 23	525,25	-52,99	0,005023426
	529,75	-60,02	0,000995405
CANAL 40	627,25	sem sinal	sem sinal
	631,75		
CANAL 44	651,25	-46,04	0,024888573
	655,75	-57,76	0,001674943

Medição 5: Sinais dos serviços de Telefonia Móvel Celular UHF/SMC - Banda A

Dos sinais medidos de Telefonia Móvel Celular foram registrados apenas aqueles canais que têm frequência portadora com valor inteiro, mostrados nas Figuras 4.15 e 4.16.

Figura 4.15 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda A - Petrópolis.Figura 4.16 - Níveis de potência dos sinais *down link* da Banda A - Petrópolis.

A programação do receptor para medição dos sinais da Banda A - *up link*, incluiu os canais alocados na faixa expandida (Figura 4.15) e assim sendo, sinais da Banda B - *up Link* também são mostrados no gráfico. Para medição dos sinais da Banda A - *down link*, foram incluídos os canais alocados na faixa expandida (Figura 4.16) e assim sendo, sinais da Banda B - *down link* também são mostrados no gráfico.

A Tabela 4.5 resume as medições da faixa na área.

Tabela 4.5 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular - Banda A - Petrópolis.

UHF/SMC	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μ W)
BANDA A /UP LINK	830	-105,4	2,88403E-08
	830	-105,5	2,81838E-08
	835	-101,1	7,76247E-08
	835	-101,2	7,58578E-08
	846	-109,2	1,20226E-08
	846	-109,3	1,1749E-08
BANDA A/DOWN LINK	869	-51,7	0,00676083
	869	-51,7	0,00676083
	870	-43,5	0,044668359
	872	-51,9	0,006456542
	872	-52,1	0,00616595
	873	-39,2	0,120226443
	873	-38,1	0,154881662
	874	-36,5	0,223872114
	879	-40,7	0,085113804
	879	-40,7	0,085113804
	879	-40,7	0,085113804

Medição 6: Sinais dos serviços de Telefonia Móvel Celular UHF/SMC - Banda B

Nesta medição também foram registrados apenas aqueles canais que têm frequência portadora com valor inteiro, mostrados nas Figuras 4.17 e 4.18.

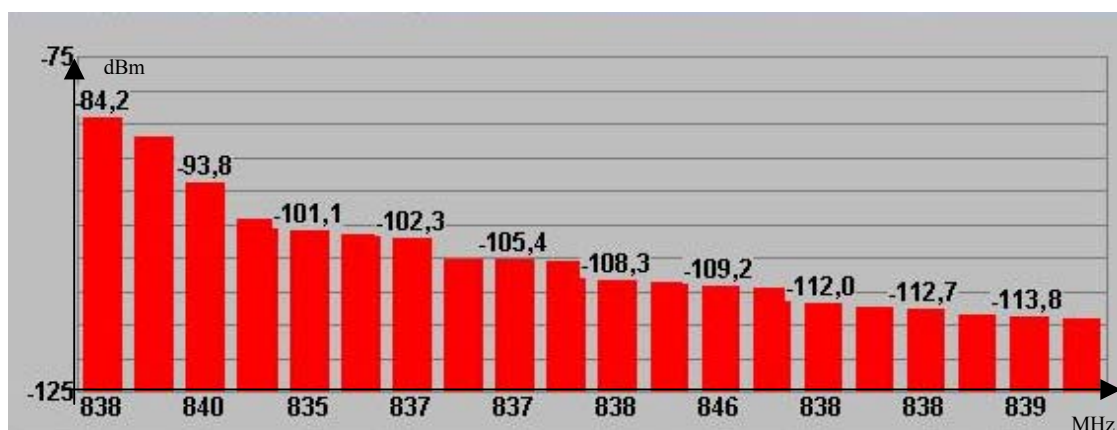


Figura 4.17 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda B - Petrópolis.

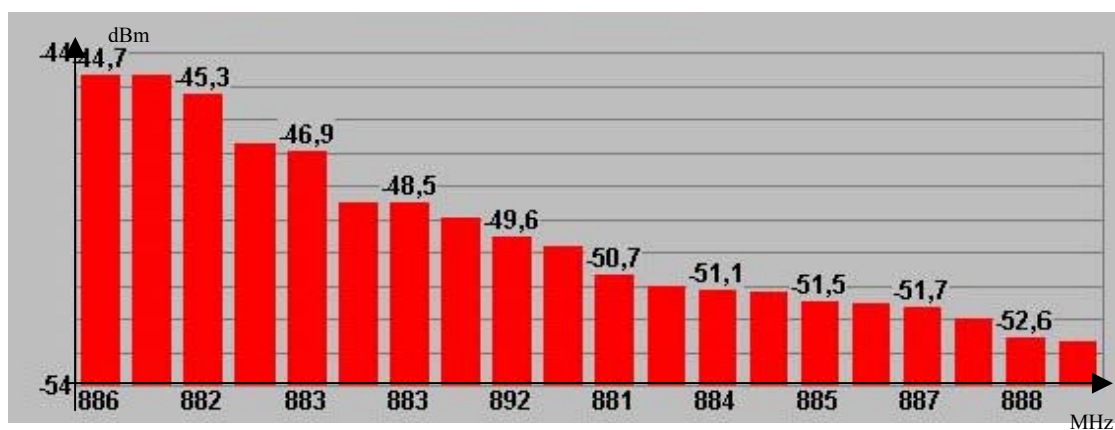


Figura 4.18 - Níveis de potência dos sinais de *down link* da Banda B - Petrópolis.

A programação do receptor para medição dos sinais da Banda B - *up link*, incluiu os canais alocados na faixa expandida (Figura 4.17) e assim sendo, sinais da Banda A - *up link* também são mostrados no gráfico. Para medição dos sinais da Banda B - *down link*, também foram incluídos os canais alocados na faixa expandida (Figura 4.18), porém, nenhum sinal da Banda B - *down Link* foi registrado no gráfico.

A Tabela 4.6 resume as medições da faixa na área.

Tabela 4.6 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular - Banda B - Petrópolis.

UHF/SMC	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μ W)
BANDA B/UP LINK	837	-104,6	3,46737E-08
	837	-105,1	3,0903E-08
	837	-105,2	3,01995E-08
	837	-105,8	2,63027E-08
	837	-102,3	5,88844E-08
	837	-105,4	2,88403E-08
	838	-112,7	5,37032E-09
	838	-112,1	6,16595E-09
	838	-108,3	1,47911E-08
	838	-105,6	2,75423E-08
	838	-99,2	1,20226E-07
	838	-84,2	3,80189E-06
	838	-83,2	4,7863E-06
	839	-113,8	4,16869E-09
	840	-92,5	5,62341E-07
	840	-93,8	4,16869E-07
	843	-102,1	6,16595E-08
BANDA B / DOWN LINK	881	-50,7	0,00851138
	882	-45,3	0,029512092
	883	-46,9	0,020417379
	883	-48,5	0,014125375
	884	-51,1	0,007762471
	885	-51,5	0,007079458
	886	-44,7	0,033884416
	888	-51,7	0,00676083

Medição 7: Sinais dos serviços de Telefonia Móvel Pessoal UHF/SMP - Banda D

Foram realizadas as medições de todos os canais com frequências portadoras presentes na faixa, como mostrados nas Figuras 4.19 e 4.20.

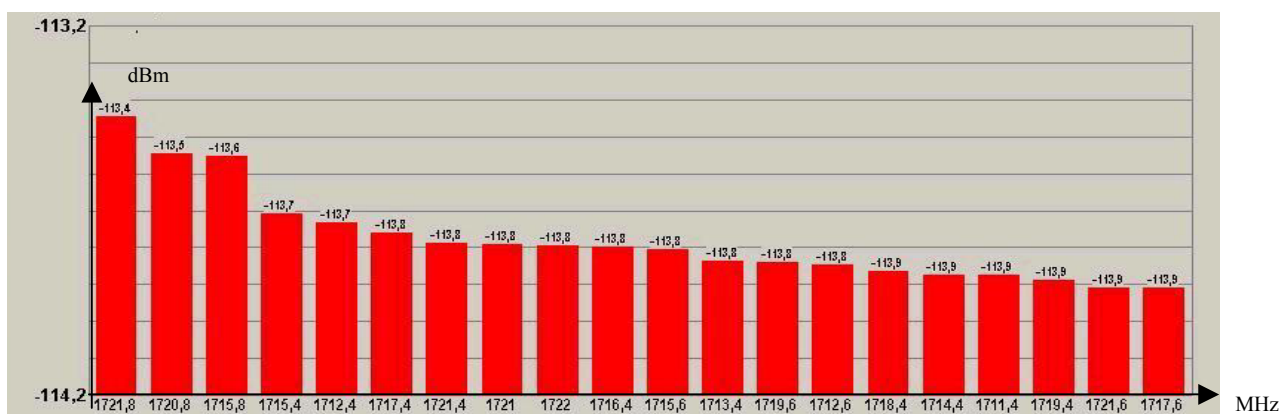


Figura 4.19 - Níveis de potência dos sinais de up link da Banda D - Petrópolis.

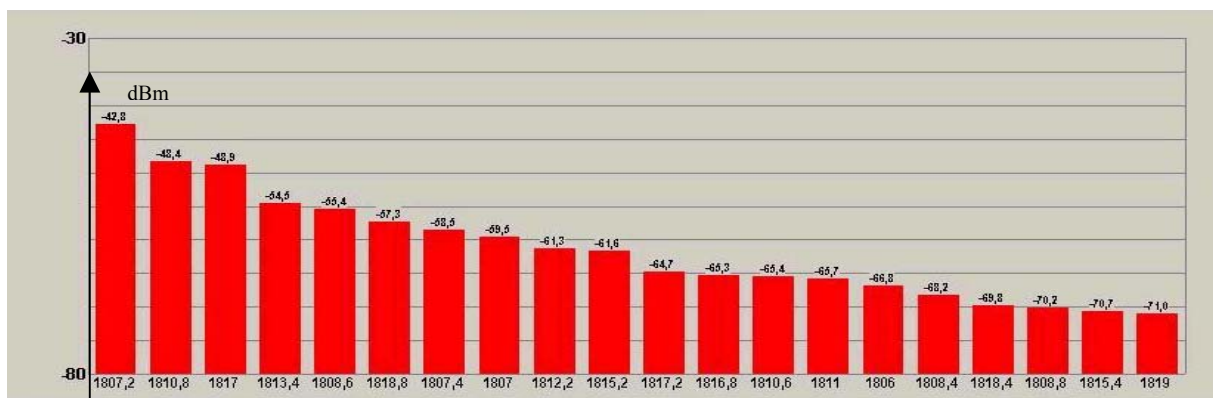


Figura 4.20 - Níveis de potência dos sinais de *down link* da Banda D - Petrópolis.

O receptor foi programado para selecionar todos os canais com sinais de maior intensidade de potência dentro da faixa o que justifica os sinais estarem organizados da maior para a menor amplitude. Como esperado, a potência do sinal de *up link* (Figura 4.19) tem menor valor que a potência do sinal de *down link* (Figura 4.20).

A Tabela 4.7 resume as medições na faixa.

Tabela 4.7 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda D - Petrópolis.

UHF/SMP	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μW)
BANDA D/UP LINK	1711,4	-113,9	4,0738E-09
	1712,4	-113,7	4,2658E-09
	1712,6	-113,8	4,16869E-09
	1713,4	-113,8	4,16869E-09
	1714,4	-113,9	4,0738E-09
	1715,4	-113,7	4,2658E-09
	1715,6	-113,8	4,16869E-09
	1715,8	-113,6	4,36516E-09
	1716,4	-113,8	4,16869E-09
	1717,4	-113,8	4,16869E-09
	1717,6	-113,9	4,0738E-09
	1718,4	-113,9	4,0738E-09
	1719,4	-113,9	4,0738E-09
	1719,6	-113,8	4,16869E-09
	1720,8	-113,5	4,46684E-09
	1721	-113,8	4,16869E-09
	1721,4	-113,8	4,16869E-09
	1721,5	-113,9	4,0738E-09
	1721,8	-111,4	7,24436E-09
	1722	-113,8	4,16869E-09
BANDA D/DOWN LINK	1806	-66,8	0,00020893
	1807	-59,5	0,001122018
	1807,2	-42,8	0,052480746
	1807,4	-58,5	0,001412538
	1808,4	-68,2	0,000151356
	1808,6	-55,4	0,002884032
	1808,8	-70,2	9,54993E-05
	1810,6	-65,4	0,000288403
	1810,8	-48,4	0,014454398
	1811	-65,7	0,000269153
	1812,2	-61,3	0,00074131
	1813,4	-54,5	0,003548134
	1815,2	-61,6	0,000691831
	1815,4	-70,7	8,51138E-05
	1816,2	-65,3	0,000295121
	1817	-48,9	0,012882496
	1817,2	-64,7	0,000338844
	1818,4	-69,8	0,000104713
	1818,8	-57,3	0,001862087
	1819	-71	7,94328E-05

Medição 8: Sinais dos serviços de Telefonia Móvel Pessoal UHF/SMP - Banda E

Nesta medição também foram registrados os sinais de todos os canais com frequências portadoras presentes na faixa, como mostrados nas Figuras 4.21 e 4.22.

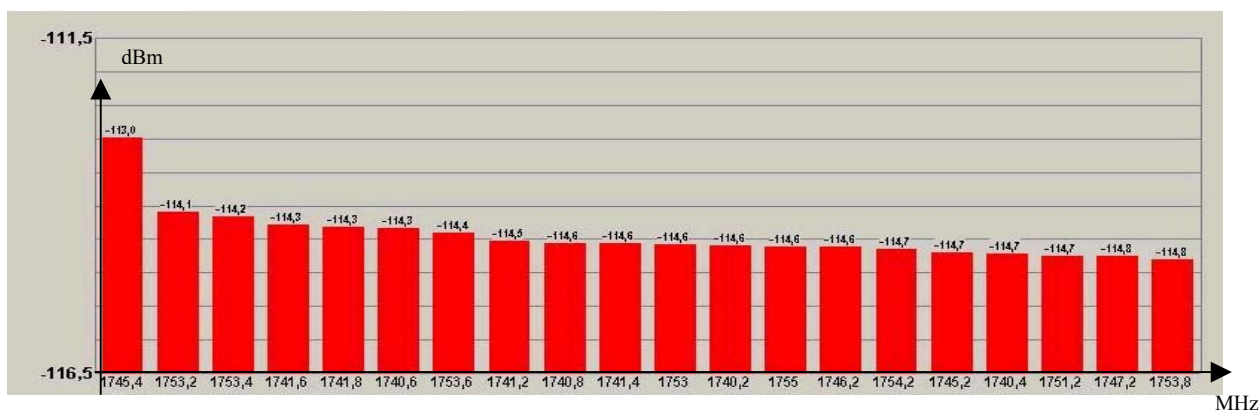


Figura 4.21 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda E - Petrópolis.

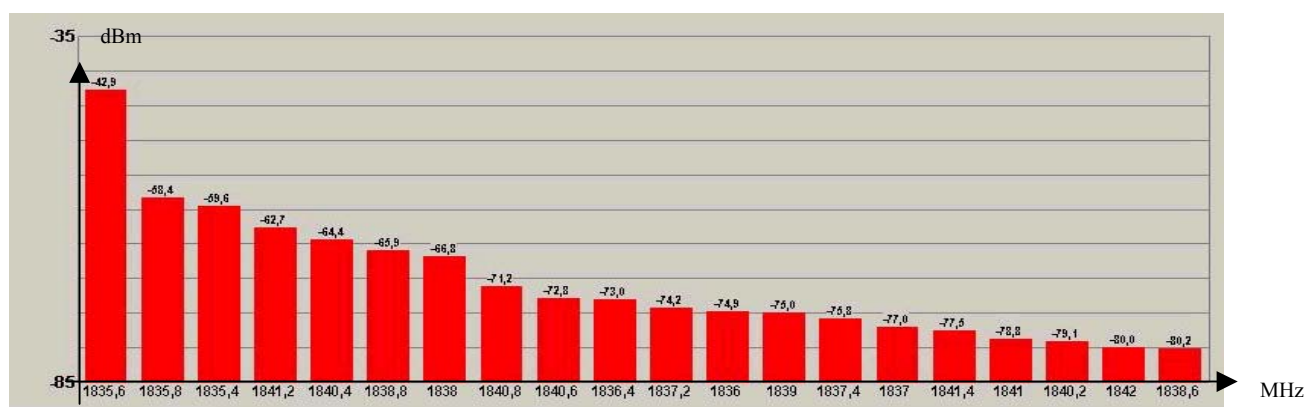


Figura 4.22 - Níveis de potência dos sinais de *down link* da Banda E - Petrópolis.

Mais uma vez o receptor foi programado para selecionar todos os canais com sinais de maior intensidade de potência dentro da faixa, justificando o fato dos sinais estarem organizados da maior para a menor amplitude (Figuras 4.21 e 4.22).

A Tabela 4.8 resume os sinais medidos na faixa.

Tabela 4.8 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda E - Petrópolis.

UHF/SMP	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (µW)
BANDA E / UP LINK	1740,2	-114,6	3,46737E-09
	1740,4	-114,7	3,38844E-09
	1740,6	-114,3	3,71535E-09
	1740,8	-114,6	3,46737E-09
	1741,2	-114,5	3,54813E-09
	1741,4	-114,6	3,46737E-09
	1741,6	-114,3	3,71535E-09
	1741,8	-114,3	3,71535E-09
	1745,2	-114,7	3,38844E-09
	1745,4	-113	5,01187E-09
	1746,2	-114,6	3,46737E-09
	1747,2	-114,8	3,31131E-09
	1751,2	-114,7	3,38844E-09
	1753	-114,6	3,46737E-09
	1753,2	-114,1	3,89045E-09
	1753,4	-114,2	3,80189E-09
	1753,6	-114,4	3,63078E-09
	1753,8	-114,8	3,31131E-09
	1754,2	-114,7	3,38844E-09
	1755	-114,6	3,46737E-09
BANDA E / DOWN LINK	1835,4	-59,6	0,001096478
	1835,6	-42,9	0,051286138
	1835,8	-58,4	0,00144544
	1836	-74,9	3,23594E-05
	1836,4	-73,6	4,36516E-05
	1837	-77,1	1,94984E-05
	1837,2	-74,2	3,80189E-05
	1837,4	-76,8	2,0893E-05
	1838	-66,8	0,00020893
	1838,6	-80,2	9,54993E-06
	1838,8	-65,9	0,00025704
	1839	-75,1	3,0903E-05
	1840,2	-79,1	1,23027E-05
	1840,4	-64,4	0,000363078
	1840,6	-72,8	5,24807E-05
	1840,8	-71,2	7,58578E-05
	1841	-78,8	1,31826E-05
	1841,2	-62,7	0,000537032
	1841,4	-77,5	1,77828E-05
	1842	-80,1	9,77237E-06

4.2.2 Área 2 - Praça 14 de Janeiro

A área tem um relevo irregular, arborização média e edificações de, no máximo, dois pavimentos em um trecho de aproximadamente 350 m entre a ERB (latitude 03° 07' 05,2" e longitude 60° 01' 06,9") e o ponto de medição. A antena do setor 1, que dá cobertura em

direção ao ponto de medição, tem um azimute de 110° em relação ao norte verdadeiro, emite uma potência de 5 watts e está instalada a uma altura de 40 m sobre uma estrutura metálica auto-portante. Os obstáculos existentes entre o Tx e o Rx são, principalmente, as edificações e os arbustos existentes no trecho (Figura 4.23) [30].

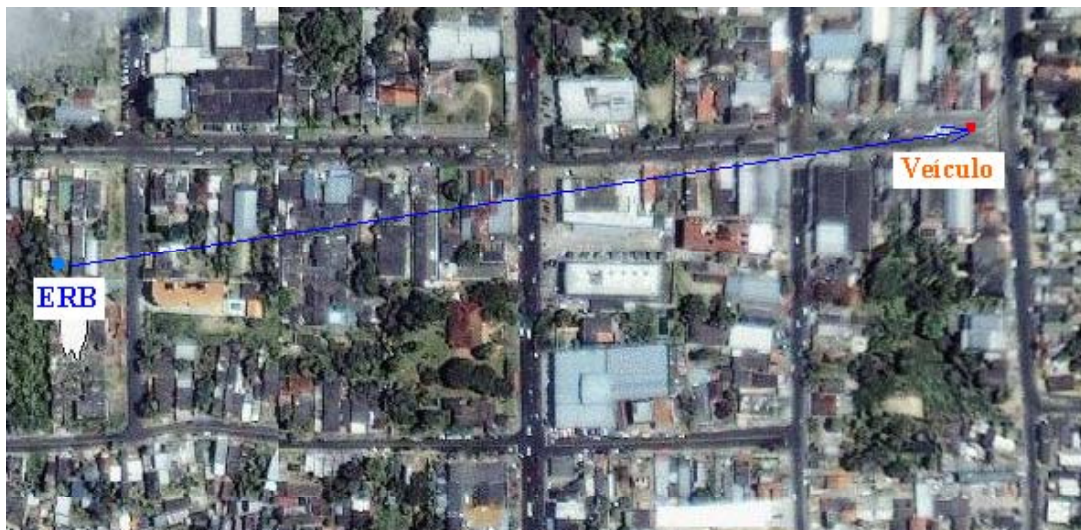


Figura 4.23 - Cenário da área de medição no bairro da Praça 14 de Janeiro.

A Figura 4.24 mostra a altimetria da área em estudo definida pelas curvas de níveis registradas em mapa cartográfico na escala de 1:10.000 [Apêndice D1].

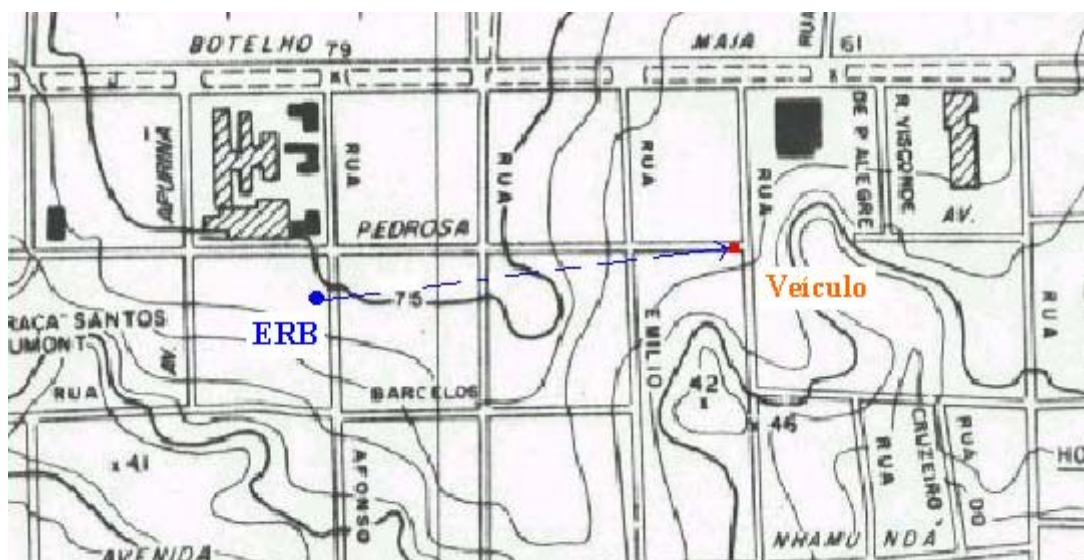


Figura 4.24 - Curvas de níveis na área do bairro da Praça 14 de Janeiro.

4.2.2.1 Medições Realizadas na Área 2 - Praça 14 de Janeiro

Medição 1: Sinais dos serviços de Radiodifusão Sonora OM - OT - OC/AM

Nas Figuras 4.25, 4.26 e 4.27 mostram-se os valores médios das potências nas respectivas frequências portadoras da faixa. Foram realizadas cinquenta medições dos sinais em cada frequência.

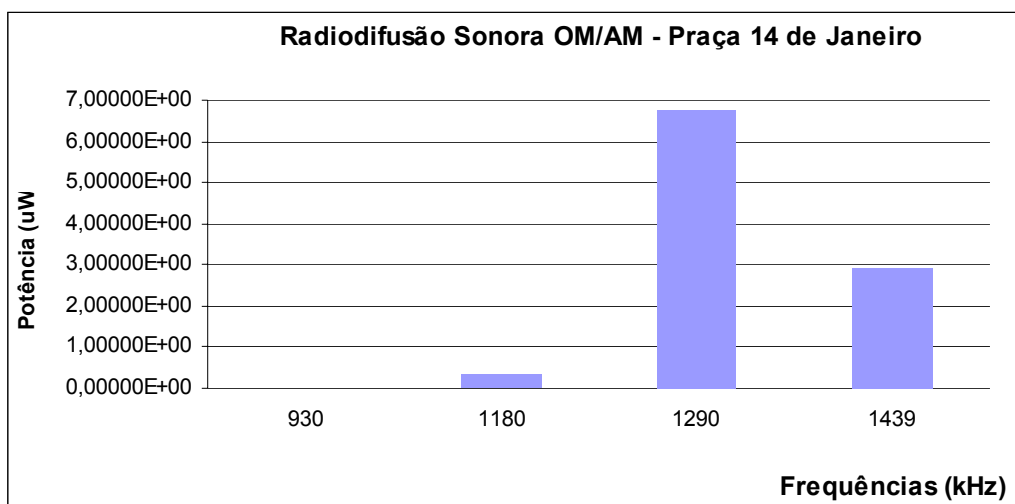


Figura 4.25 - Níveis de potência dos sinais na faixa OM/AM - Praça 14 de Janeiro.

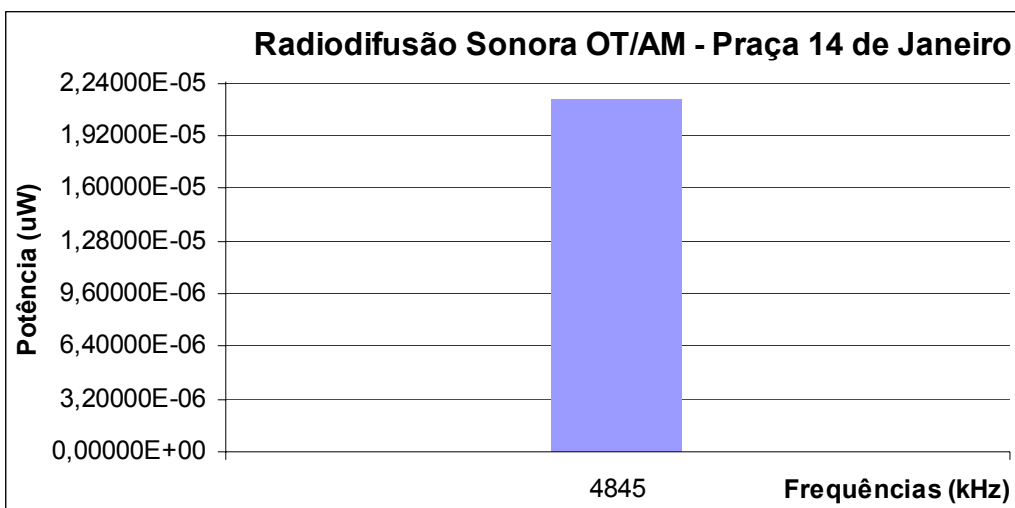


Figura 4.26 - Níveis de potência dos sinais na faixa OT/AM - Praça 14 de Janeiro.

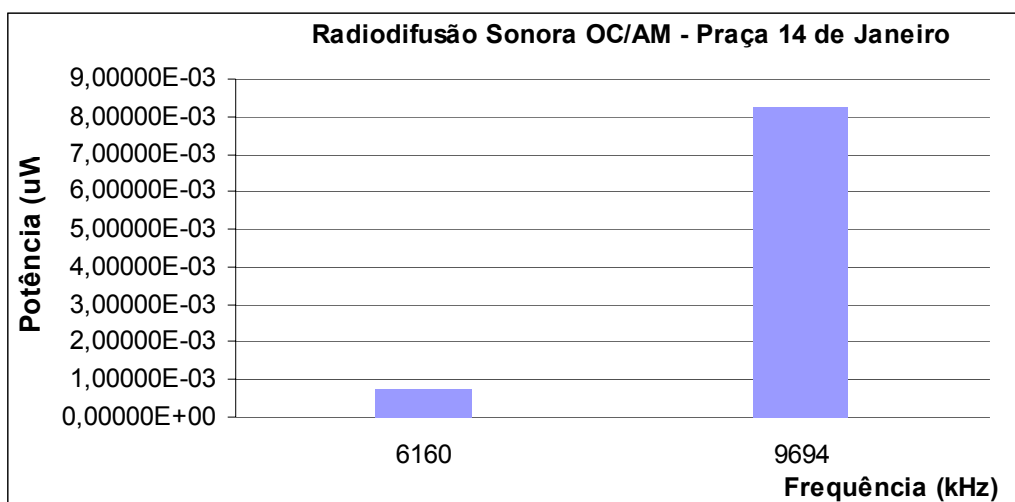


Figura 4.27 - Níveis de potência dos sinais na faixa OC/AM - Praça 14 de Janeiro.

Na Figura 4.25 não aparece a coluna relativa à amplitude da potência na frequência portadora de 930 kHz, embora este sinal tenha sido medido. A alta amplitude do sinal na frequência de 1.290 kHz causou esse efeito no gráfico.

As Figuras 4.26 e 4.27 apresentam as amplitudes das potências dos sinais medidos nas faixas de OT e OC.

A Tabela 4.9 resume as medições realizadas na faixa de OM-OT-OC/AM na área.

Tabela 4.9 - Resumo Radiodifusão Sonora OM - OT - OC/AM - Praça 14 de Janeiro.

FAIXA	Frequência (KHz)	Valor Médio (dBμV)	Desvio Padrão (dBμV)	Valor Médio (μW)
OM/AM	930	55,19	0,05	6,58870E-03
	1180	72,33	0,04	3,41350E-01
	1290	85,30	0,02	6,75772E+00
	1439	81,66	0,05	2,92146E+00
OT/AM	4845	30,30	4,35	2,13796E-05
OC/AM	6160	45,62	1,36	7,27110E-04
	9694	56,18	0,33	8,27561E-03

Medição 2: Sinais dos serviços de Radiodifusão Sonora VHF/FM

Nas Figuras 4.28 e 4.29 mostram-se os valores médios das potências das respectivas frequências portadoras das emissoras de rádio VHF/FM. Foi realizada apenas uma medição de cada parte da banda.

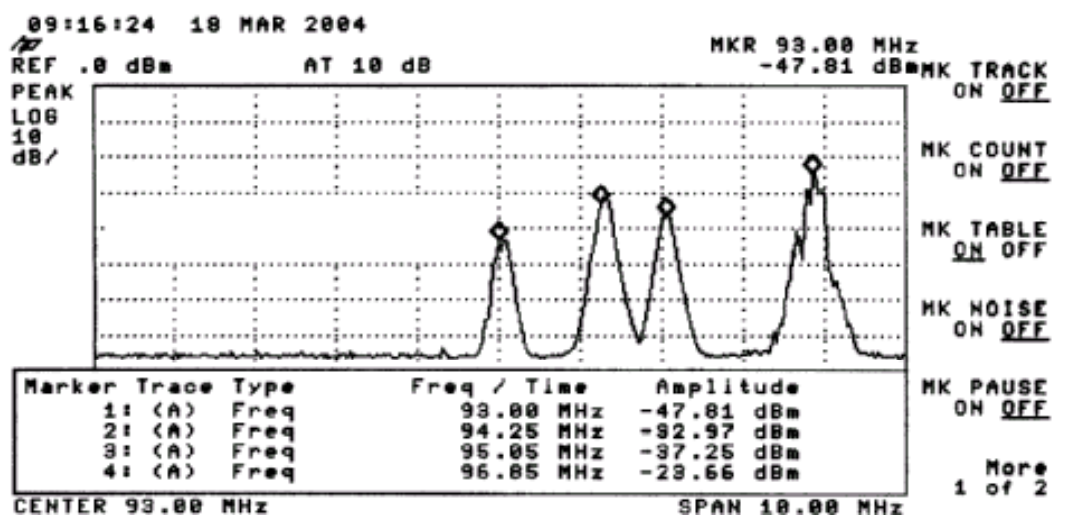


Figura 4.28 - Níveis de potência dos sinais na faixa VHF/FM (banda baixa) - Praça 14 de Janeiro.

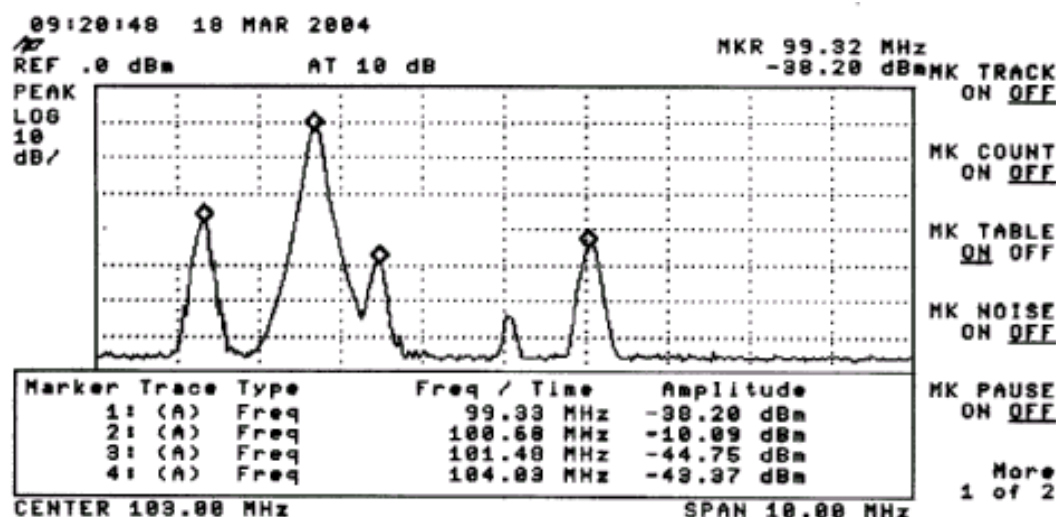


Figura 4.29 - Níveis de potência dos sinais na faixa VHF/FM (banda alta) - Praça 14 de Janeiro.

O gráfico da banda baixa da faixa de Radiodifusão Sonora em VHF/FM (Figura 4.28) mostra que nesse ponto de medição há uma variação de amplitude entre as potências das frequências portadoras em 18,15 dBm;

No gráfico da banda alta da faixa de Radiodifusão Sonora em VHF/FM (Figura 4.29) mostra-se que há uma variação de amplitude entre as frequências portadoras muito maiores que na as mostradas na Figura 4.28, sendo a mesma de 34,66 dBm, efeito causado pela elevada potência da frequência portadora da emissora em 100,7 MHz.

A Tabela 4.10 resume as medições realizadas na faixa de VHF/FM na área.

Tabela 4.10 - Resumo Radiodifusão Sonora VHF/FM - Praça 14 de Janeiro.

FAIXA	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)/10	Valor Médio (μW)
VHF/FM	93,1	-4,781	0,0165577
	94,3	-3,297	0,504661298
	95,1	-3,725	0,188364909
	96,9	-2,966	1,081433951
	99,3	-3,82	0,151356125
	100,7	-1,009	97,94899854
	101,5	-4,475	0,033496544
	104,1	-4,337	0,046025657

Medição 3: Sinais dos serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens VHF/TV

Nas Figuras 4.30, 4.31, 4.32 e 4.33 mostram-se os valores médios das potências dos sinais das frequências portadoras dos canais de VHF/TV.

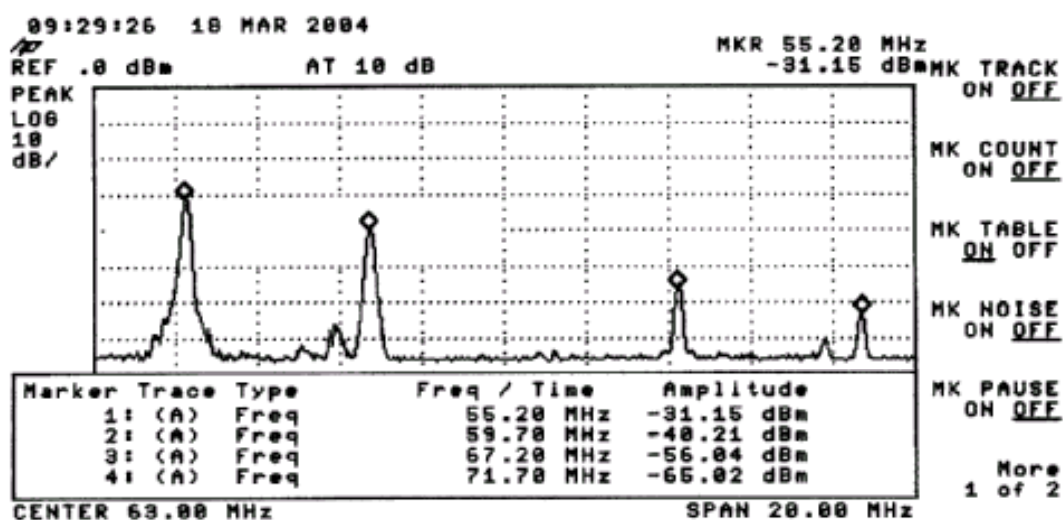


Figura 4.30 - Níveis dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 2 e 4) - Praça 14 de Janeiro.

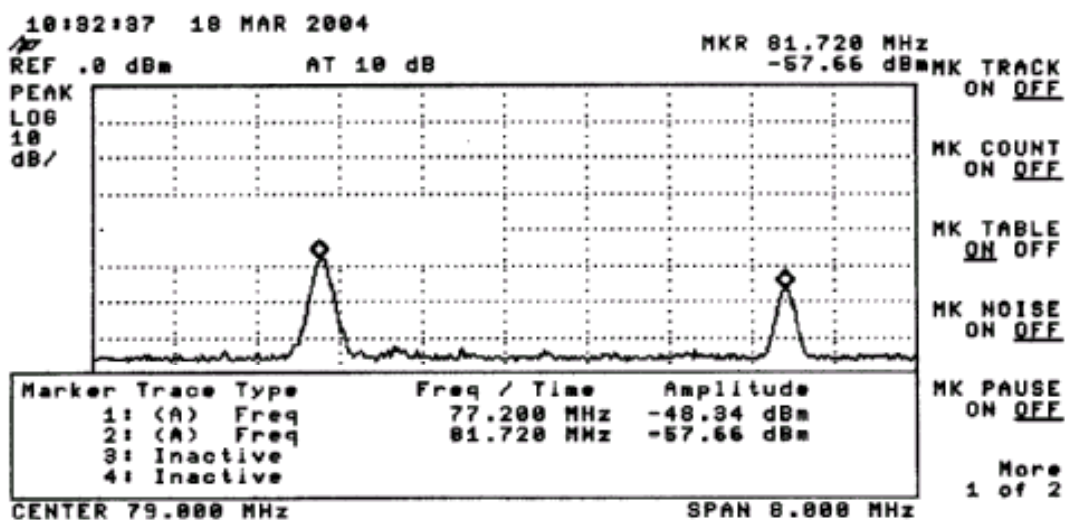


Figura 4.31 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canal 5) - Praça 14 de Janeiro.

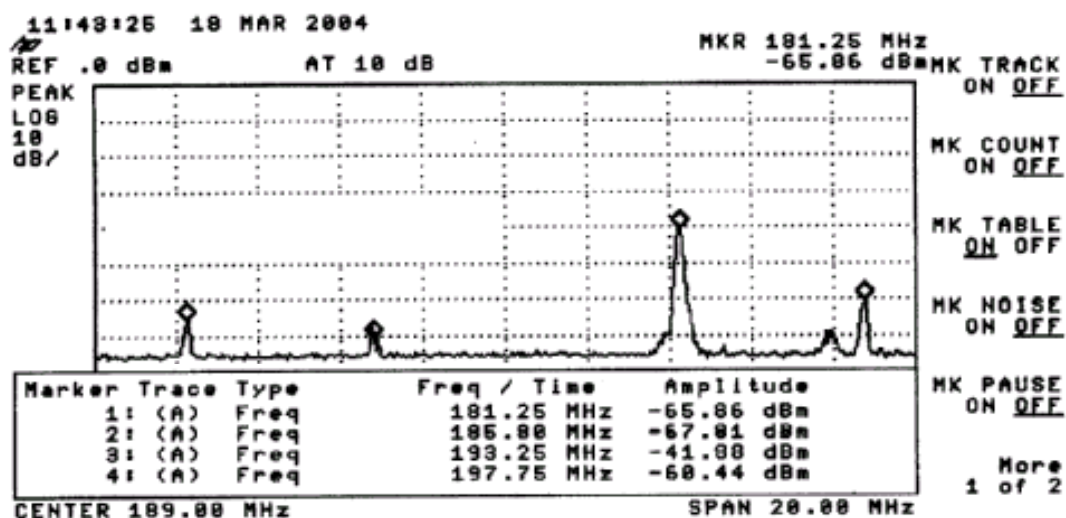


Figura 4.32 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 8 e 10) - Praça 14 de Janeiro.

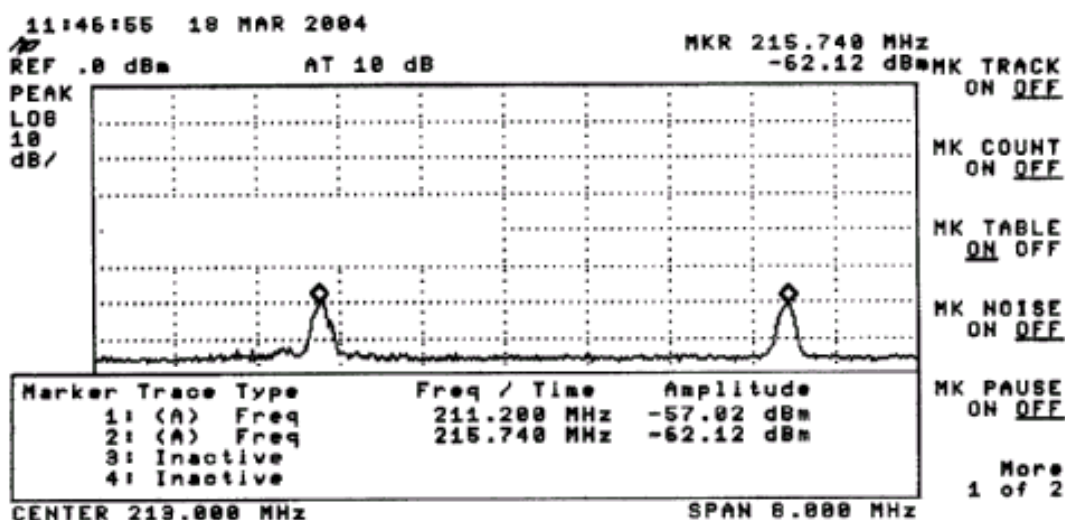


Figura 4.33 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canal 13) - Praça 14 de Janeiro.

Nesse ponto de medição (que se encontra a aproximadamente 3 km de distância da região dos bairros de Petrópolis e Aleixo onde está localizada a maior concentração de estações transmissoras de Radiodifusão Sonora e de Radiodifusão de Sons e Imagens da cidade) o gráfico das potências das frequências portadoras apresenta normalidade nas suas formas;

A maior diferença entre a amplitude de potências entre frequências portadoras de vídeo e portadoras de som ocorre no canal 10, sendo a mesma de 18,55 dBm. Nos demais canais esta diferença é de aproximadamente 10 dBm.

A Tabela 4.11 resume as medições realizadas na faixa de VHF/TV na área.

Tabela 4.11 - Resumo Radiodifusão de Sons e Imagens VHF/TV - Praça 14 de Janeiro.

VHF/TV	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)/10	Valor Médio (μW)
CANAL 2	55,25	-3,115	0,767361489
	59,75	-4,021	0,095279616
CANAL 4	67,25	-5,604	0,002488857
	71,75	-6,502	0,000314775
CANAL 5	77,25	-4,834	0,014655478
	81,75	-5,766	0,001713957
CANAL 8	181,25	-6,586	0,000259418
	185,75	-6,781	0,000165577
CANAL 10	193,25	-4,188	0,064863443
	197,75	-6,044	0,000903649
CANAL 13	211,26	-5,702	0,001986095
	215,74	-6,212	0,000613762

Medição 4: Sinais dos serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens UHF/TV

Nas Figuras 4.34 e 4.35 mostram-se os valores médios dos sinais das frequências portadoras de vídeo e de som, respectivamente, dos canais de UHF/TV. Foi realizada apenas uma medição de cada conjunto de portadoras.

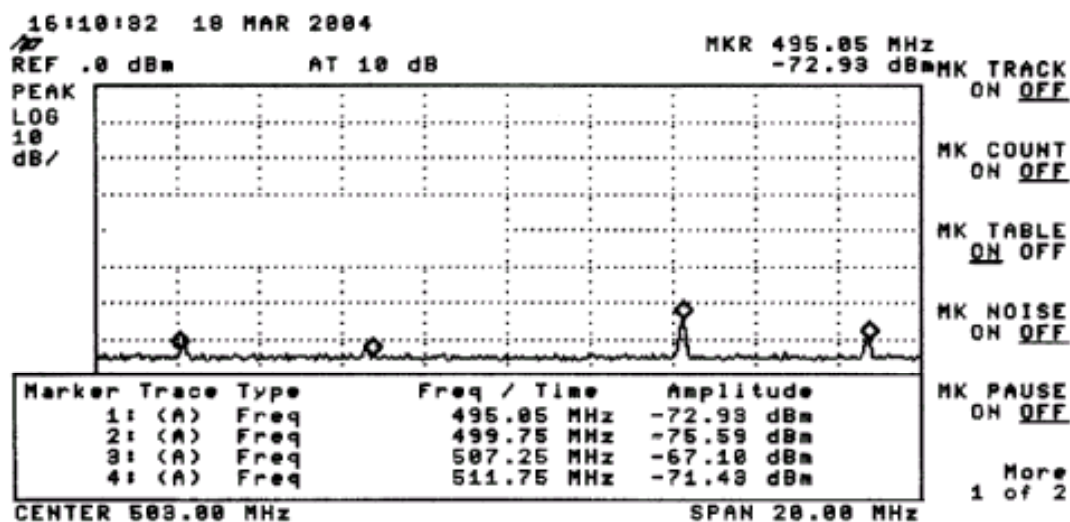


Figura 4.34 - Níveis de potência dos sinais na faixa de UHF/TV (Canais 18 e 20) - Praça 14 de Janeiro.

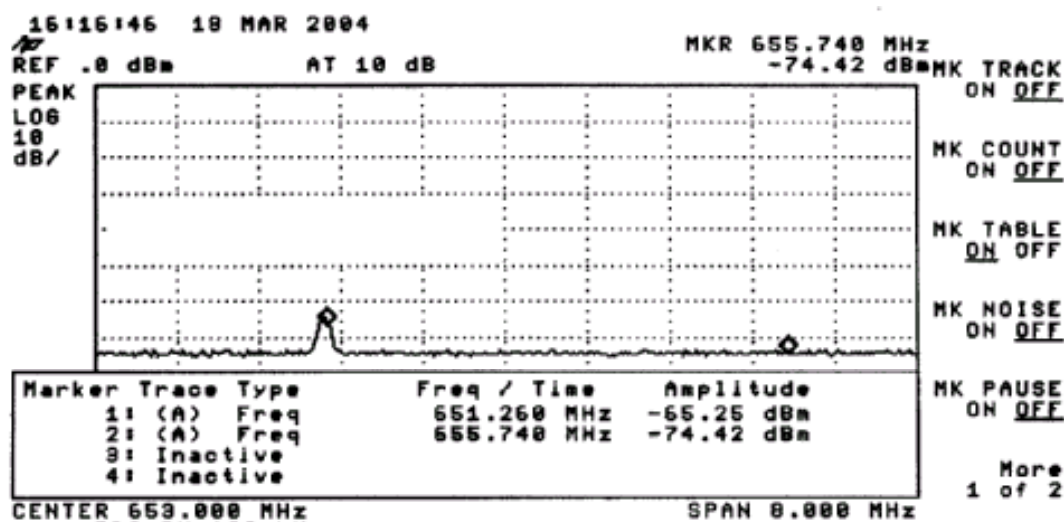


Figura 4.35 - Níveis de potência dos sinais na faixa de UHF/TV (Canal 44) - Praça 14 de Janeiro.

Nesse ponto de medição os sinais na faixa de UHF/TV apresentaram sinais de baixa potência.

Os sinais do Canal 23 não foram captados pelo Analisador de Espectro no bairro da Praça 14 de Janeiro.

A Tabela 4.12 resume as medições realizadas na faixa de UHF/TV na área.

Tabela 4.12 - Resumo Radiodifusão de Sons e Imagens UHF/TV - Praça 14 de Janeiro.

UHF/TV	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)/10	Valor Médio (μW)
CANAL 18	495,25	-7,293	5,09331E-05
	499,75	-7,559	2,76058E-05
CANAL 20	507,25	-6,71	0,000194984
	511,75	-7,143	7,19449E-05
CANAL 23	525,25	sem sinal	sem sinal
	529,75		
CANAL 40	627,25	sem sinal	sem sinal
	631,75		
CANAL 44	651,25	-6,525	0,000298538
	655,75	-7,442	3,6141E-05

Medição 5: Sinais dos serviços de SMC - Banda A

Dos sinais medidos de Telefonia Móvel Celular foram registrados apenas aqueles que canais têm frequência portadora com valor inteiro, mostrados nas Figuras 4.36 e 4.37.

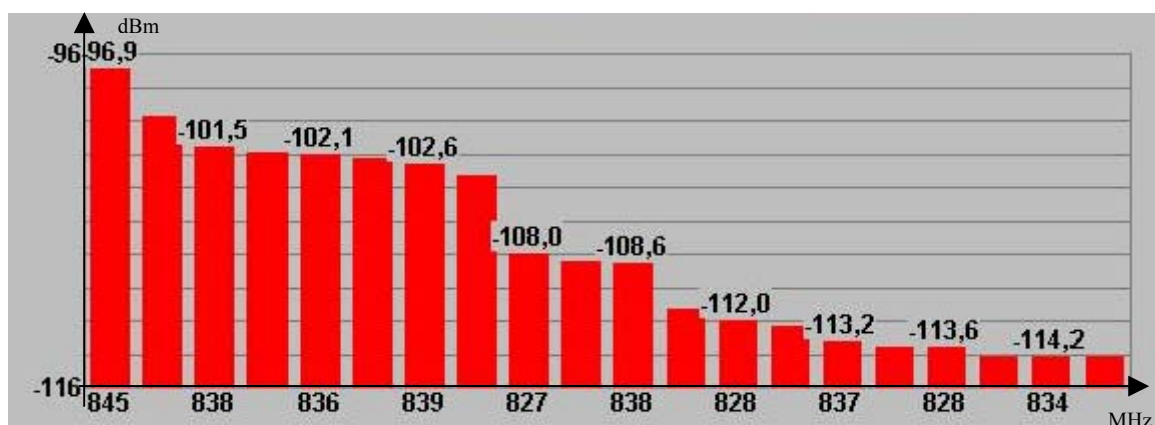


Figura 4.36 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda A - Praça 14 de Janeiro.

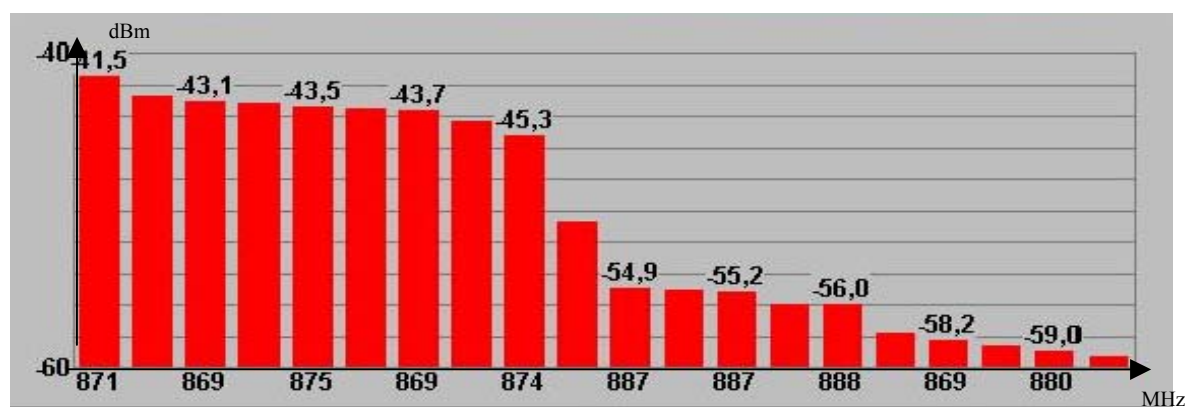


Figura 4.37 - Níveis de potência dos sinais de *down link* da Banda A - Praça 14 de Janeiro.

Como esperado, os sinais de *up link* (Figura 4.36) apresentaram menor potência em relação aos sinais de *down link* (Figura 4.37);

Observa-se que em ambas as figuras, praticamente 50% dos sinais apresentados são de maior potência, enquanto que os outros 50% são de menor potência, diminuindo.

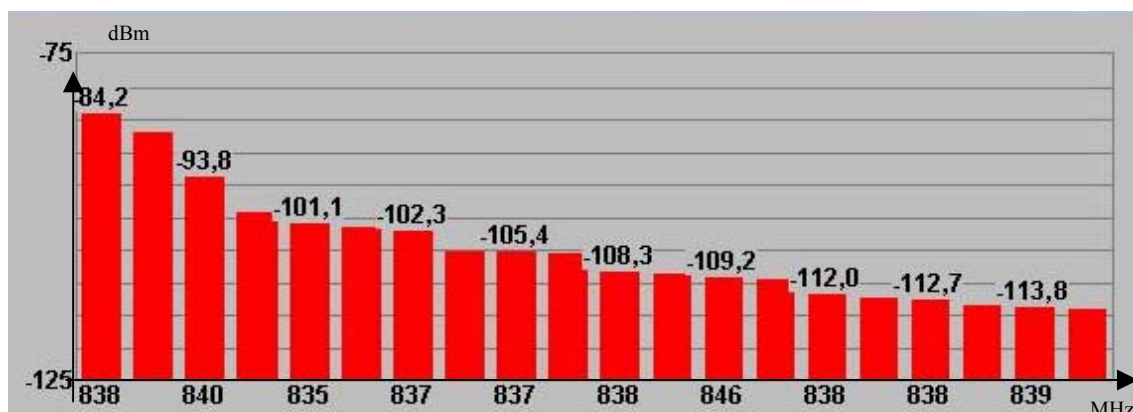
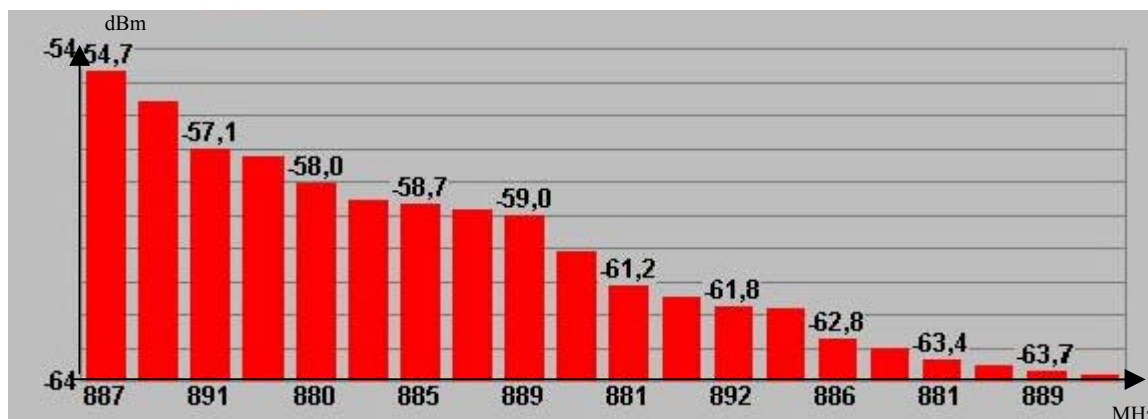
A Tabela 4.13 resume as medições realizadas na faixa de VHF/SMC Banda A na área.

Tabela 4.13 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular- Banda A - Praça 14 de Janeiro.

UHF/SMC	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μ W)
BANDA A/UP LINK	827	-108,1	1,54882E-08
	828	-112,1	6,16595E-09
	828	-103,6	4,36516E-08
	834	-114,2	3,80189E-09
	845	-96,9	2,04174E-07
BANDA A/DOWN LINK	869	-43,1	0,048977882
	869	-43,7	0,042657952
	869	-58,2	0,001513561
	871	-41,5	0,070794578
	874	-45,3	0,029512092
	875	-43,5	0,044668359
	880	-59,1	0,001230269

Medição 6: Sinais dos serviços de SMC - Banda B

Nesta medição também foram registrados apenas aqueles canais que têm frequência portadora com valor inteiro, mostrados nas Figuras 4.38 e 4.39.

Figura 4.38 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda B - Praça 14 de Janeiro.Figura 4.39 - Níveis de potência dos sinais de *down link* da Banda B - Praça 14 de Janeiro.

O gráfico dos sinais de Telefonia Móvel Celular da Banda B em *up link* (Figura 4.38) apresenta uma variação máxima de amplitude de aproximadamente 29 dBm, enquanto que no gráfico de *down link* (Figura 4.39) a variação máxima é de 1 dBm.

A Tabela 4.14 resume as medições realizadas na faixa de VHF/SMC Banda B na área.

Tabela 4.14 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular - Banda B - Praça 14 de Janeiro.

UHF/SMC	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μW)
BANDA B/UP LINK	835	-101,1	7,76247E-08
	836	-102,1	6,16595E-08
	837	-113,2	4,7863E-09
	837	-102,3	5,88844E-08
	837	-105,4	2,88403E-08
	838	-108,6	1,38038E-08
	838	-101,5	7,07946E-08
	838	-84,2	3,80189E-06
	838	-108,3	1,47911E-08
	838	-112,1	6,16595E-09
	838	-112,7	5,37032E-09
	839	-102,6	5,49541E-08
	839	-113,8	4,16869E-09
BANDA B/DOWN LINK	880	-58,1	0,001548817
	881	-61,2	0,000758578
	881	-63,4	0,000457088
	885	-58,7	0,001348963
	886	-62,8	0,000524807
	887	-59,4	0,001148154
	887	-55,2	0,003019952
	887	-54,7	0,003388442
	888	-56,1	0,002454709
	889	-63,7	0,00042658
	892	-61,8	0,000660693

Medição 7: Sinais dos serviços de SMP - Banda D

Foram realizadas as medições de todos os canais com frequências portadoras presentes na faixa, como mostrados nas Figuras 4.40 e 4.41.

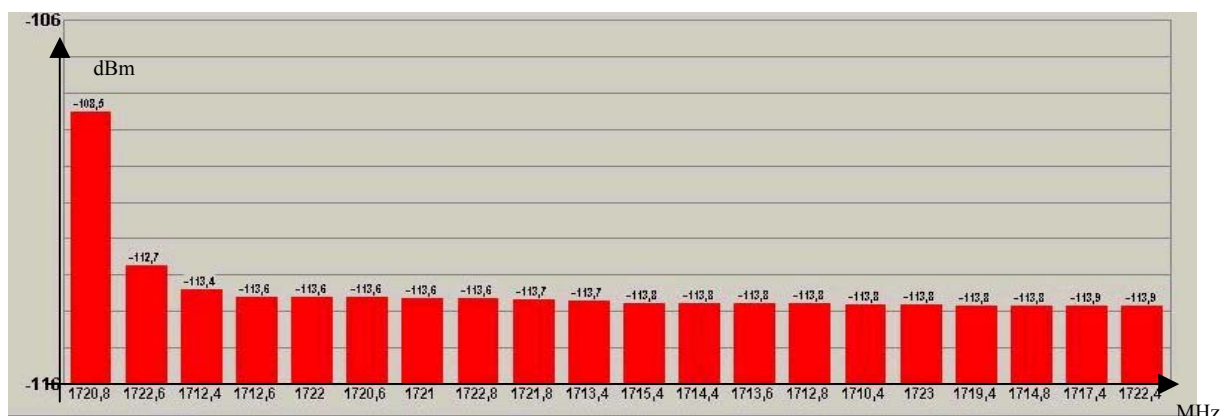


Figura 4.40 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda D - Praça 14 de Janeiro.

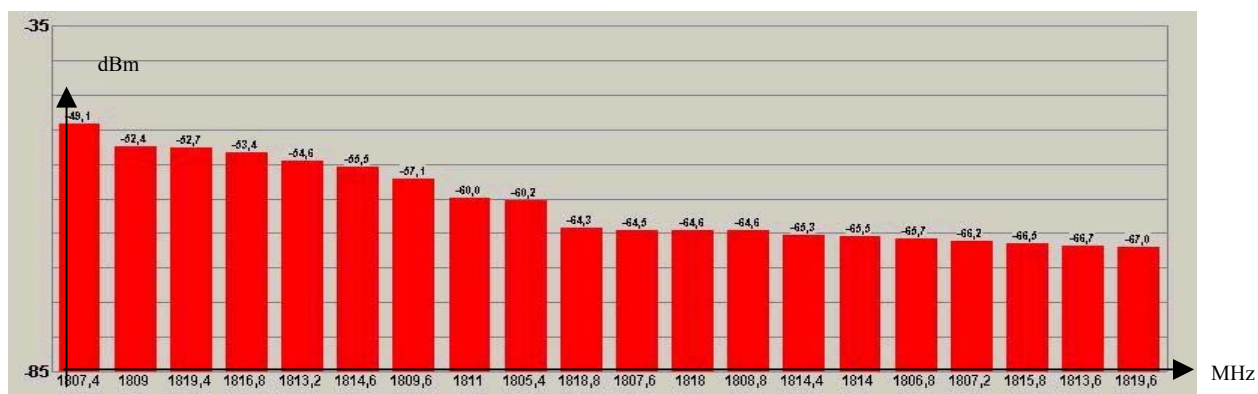


Figura 4.41 - Níveis de potência dos sinais de *down link* da Banda D - Praça 14 de Janeiro.

O gráfico dos sinais de Telefonia Móvel Pessoal da Banda D em *up link* (Figura 4.40) apresenta apenas um sinal com maior potência, estando os demais com praticamente o mesmo valor.

No gráfico *down link* (4.41) os sinais têm inicialmente amplitude decrescente suave e em seguida apresentam estabilidade no valor da potência.

A Tabela 4.15 resume as medições realizadas na faixa de VHF/SMP Banda D na área.

Tabela 4.15 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda D - Praça 14 de Janeiro.

UHF/SMP	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μW)
BANDA D/UP LINK	1710,4	-113,8	4,16869E-09
	1712,4	-113,4	4,57088E-09
	1712,6	-113,6	4,36516E-09
	1712,8	-113,8	4,16869E-09
	1713,4	-113,7	4,2658E-09
	1713,6	-113,8	4,16869E-09
	1714,4	-113,8	4,16869E-09
	1714,8	-113,8	4,16869E-09
	1715,4	-113,8	4,16869E-09
	1717,4	-113,9	4,0738E-09
	1719,4	-113,8	4,16869E-09
	1720,6	-113,6	4,36516E-09
	1720,8	-108,5	1,41254E-08
	1721	-113,6	4,36516E-09
	1721,8	-113,7	4,2658E-09
	1722	-113,6	4,36516E-09
	1722,4	-113,9	4,0738E-09
	1722,6	-112,7	5,37032E-09
	1722,8	-113,6	4,36516E-09
	1723	-113,8	4,16869E-09
BANDA D/DOWN LINK	1805,4	-60,2	0,000954993
	1806,8	-65,7	0,000269153
	1807,2	-66,2	0,000239883
	1807,4	-49,1	0,012302688
	1807,6	-64,5	0,000354813
	1808,8	-64,6	0,000346737
	1809	-52,4	0,005754399
	1809,6	-57,1	0,001949845
	1811	-60,1	0,000977237
	1813,2	-54,6	0,003467369
	1813,6	-66,7	0,000213796
	1814	-65,5	0,000281838
	1814,4	-65,3	0,000295121
	1814,6	-55,5	0,002818383
	1815,8	-66,5	0,000223872
	1816,8	-53,4	0,004570882
	1818	-64,6	0,000346737
	1818,8	-64,3	0,000371535
	1819,4	-52,7	0,005370318
	1819,6	-67,1	0,000194984

Medição 8: Sinais dos serviços de SMP - Banda E

Nesta medição também foram registrados os sinais de todos os canais com frequências portadoras presentes na faixa, como mostrados nas Figuras 4.42 e 4.43.

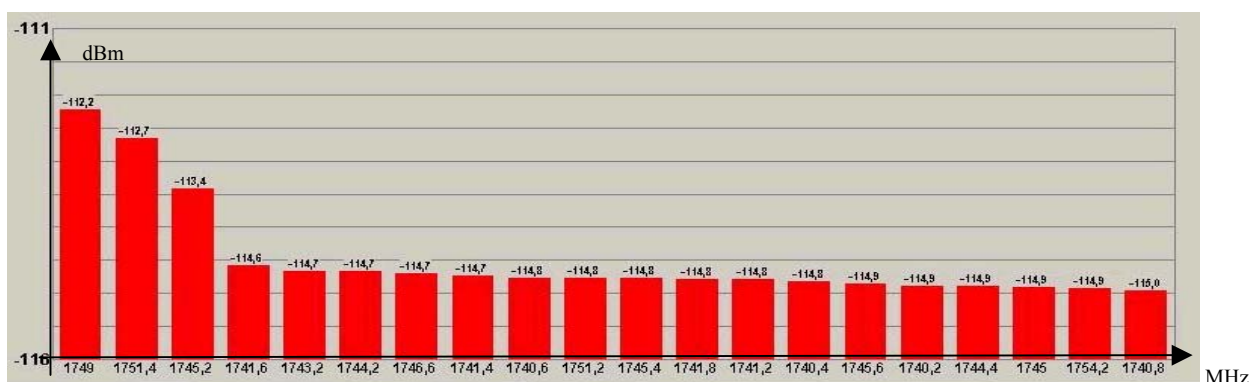


Figura 4.42 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda E - Praça 14 de Janeiro.

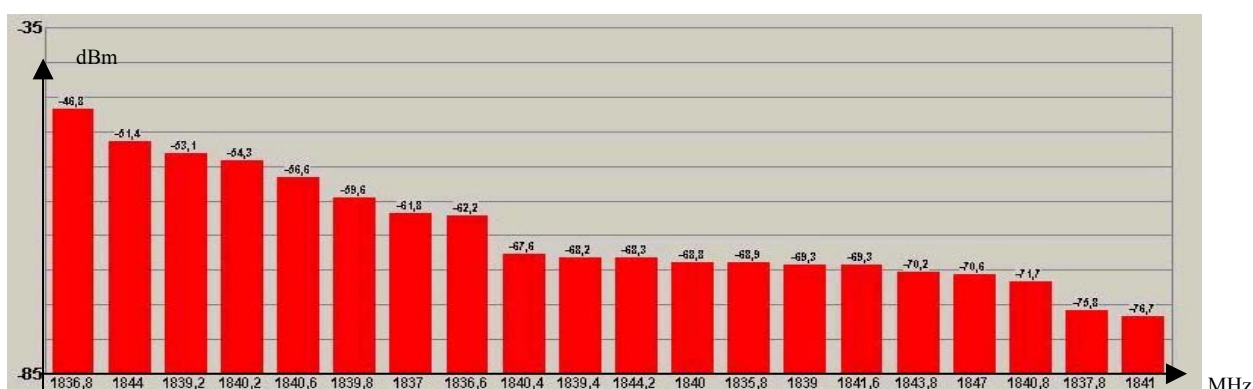


Figura 4.43 - Níveis dos sinais de *down link* da Banda E - Praça 14 de Janeiro.

O gráfico dos sinais de Telefonia Móvel Pessoal da Banda E em *up link* (Figura 4.42) apresenta, com exceção às três primeiras frequências portadoras medidas, sinais com praticamente o mesmo valor;

No gráfico *down link* (4.43) os sinais apresentam-se com amplitude decrescente suave e em praticamente toda a faixa.

A Tabela 4.16 resume as medições realizadas na faixa de VHF/SMP Banda E na área.

Tabela 4.16 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda E - Praça 14 de Janeiro.

UHF/SMP	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (dBm)/10	Valor Médio (μW)
BANDA E/UP LINK	1740,2	-114,9	-11,49	3,23594E-09
	1740,4	-114,8	-11,48	3,31131E-09
	1740,6	-114,8	-11,48	3,31131E-09
	1740,8	-115,1	-11,51	3,0903E-09
	1741,2	-114,8	-11,48	3,31131E-09
	1741,4	-114,7	-11,47	3,38844E-09
	1741,6	-114,6	-11,46	3,46737E-09
	1741,8	-114,8	-11,48	3,31131E-09
	1743,2	-114,7	-11,47	3,38844E-09
	1744,2	-114,7	-11,47	3,38844E-09
	1744,4	-114,9	-11,49	3,23594E-09
	1745	-114,9	-11,49	3,23594E-09
	1745,2	-113,4	-11,34	4,57088E-09
	1745,4	-114,8	-11,48	3,31131E-09
	1745,6	-114,9	-11,49	3,23594E-09
	1746,6	-114,7	-11,47	3,38844E-09
	1749	-112,2	-11,22	6,0256E-09
	1751,2	-114,8	-11,48	3,31131E-09
	1751,4	-112,7	-11,27	5,37032E-09
	1754,2	-114,9	-11,49	3,23594E-09
BANDA E/DOWN LINK	1835,8	-68,9	-6,89	0,000128825
	1836,6	-62,2	-6,22	0,00060256
	1836,8	-46,8	-4,68	0,020892961
	1837	-61,8	-6,18	0,000660693
	1837,8	-75,8	-7,58	2,63027E-05
	1839	-69,3	-6,93	0,00011749
	1839,2	-53,1	-5,31	0,004897788
	1839,4	-68,2	-6,82	0,000151356
	1839,8	-59,6	-5,96	0,001096478
	1840	-68,8	-6,88	0,000131826
	1840,2	-54,2	-5,42	0,003801894
	1840,4	-67,6	-6,76	0,00017378
	1840,6	-56,6	-5,66	0,002187762
	1840,8	-71,2	-7,12	7,58578E-05
	1841	-76,7	-7,67	2,13796E-05
	1841,6	-69,3	-6,93	0,00011749
	1843,8	-70,2	-7,02	9,54993E-05
	1844	-51,4	-5,14	0,00724436
	1844,2	-68,3	-6,83	0,000147911
	1847	-70,6	-7,06	8,70964E-05

4.2.3 Área 3 - Centro da Cidade

A área tem um relevo com uma leve ondulação, é pouco arborizada e com edificações que têm até 12 pavimentos em um trecho de aproximadamente 350 m entre o *site* (latitude 03° 08' 02,1" e longitude 60° 01' 17,0") e o ponto de medição. A antena do setor 2, que dá cobertura em direção ao ponto de medição, que tem um azimute de 230° em relação ao norte verdadeiro, emite uma potência de 5 watts e está instalada a uma altura de 30 m sobre um cavalete no terraço de um prédio de dois pavimentos. Os obstáculos existentes entre o Tx e o Rx são, principalmente, as edificações existentes no trecho (Figura 4.44) [30].



Figura 4.44 - Cenário da área de medição no Centro da Cidade.

A Figura 4.45 mostra a altimetria da área estudada definida pelas curvas de nível registradas em mapa cartográfico na escala de 1:10.000 [Apêndice D1].

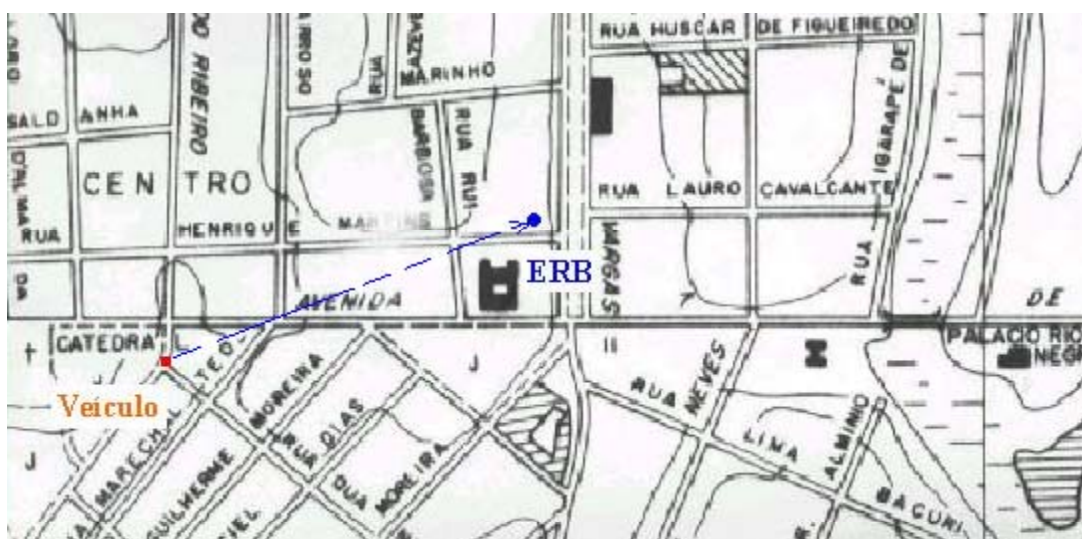


Figura 4.45 - Curvas de níveis da área do Centro da Cidade.

4.3.3.1 Medições Realizadas na Área 3 - Centro da Cidade

Medição 1: Sinais serviços de Radiodifusão Sonora OM - OT - OC/AM

Nas Figuras 4.46, 4.47 e 4.48 são mostrados os valores médios das potências nas respectivas frequências portadoras da faixa. Foram realizadas cinquenta medições dos sinais em cada frequência.

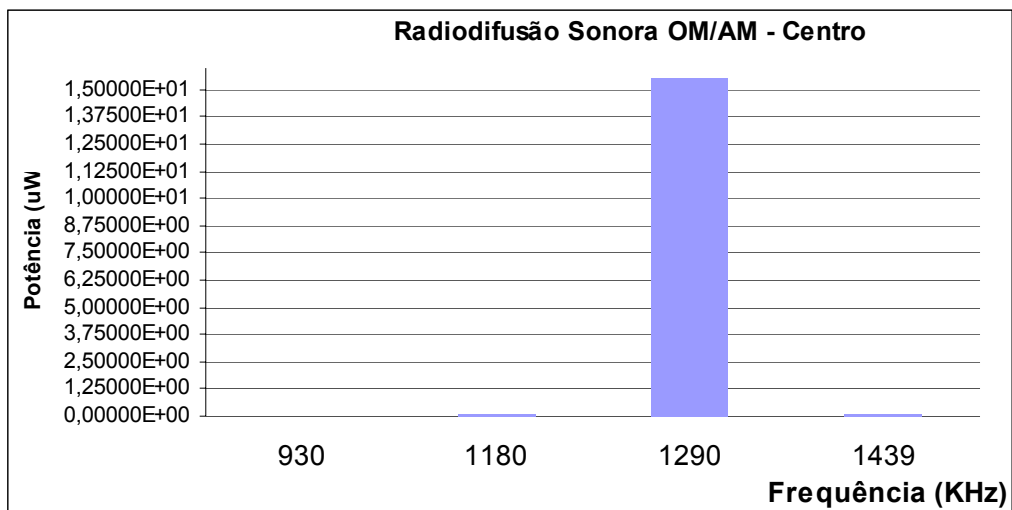


Figura 4.46 - Níveis de potência dos sinais na faixa OM/AM - Centro da Cidade.

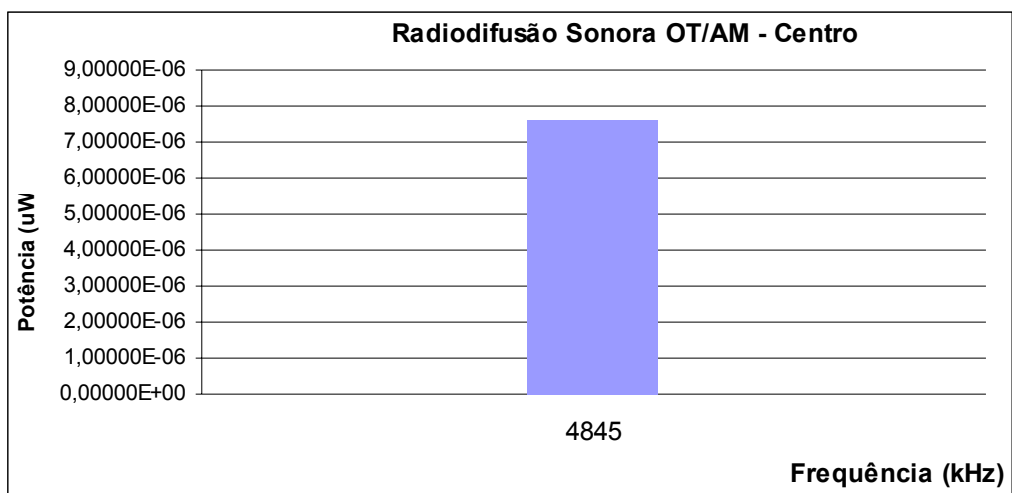


Figura 4.47 - Níveis de potência dos sinais na faixa OT/AM - Centro da Cidade.

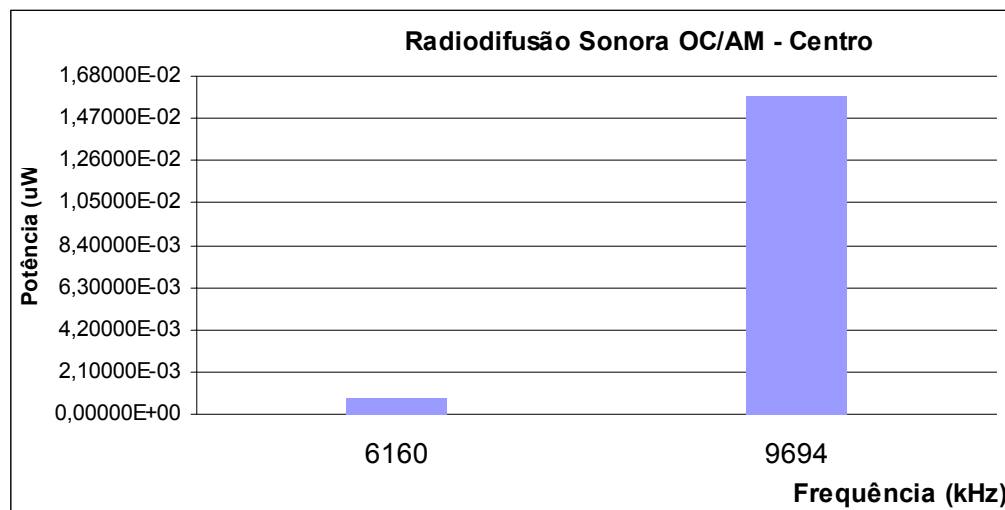


Figura 4.48 - Níveis de potência dos sinais na faixa OC/AM - Centro da Cidade.

No gráfico dos sinais de OM/AM (Figura 4.46) não aparece a coluna relativa a amplitude da potência na frequência portadora de 930 kHz e os sinais das frequências portadoras de 1.180 kHz e de 1.439 kHz têm baixa amplitude, embora tenham sido medidos. A alta potência do sinal na frequência de 1.290 kHz causou esse efeito no gráfico.

No gráfico de OC/AM (Figura 4.48) o sinal de 6.260 kHz apresenta baixa amplitude em consequência da forte potência do sinal na frequência portadora de 9.964 kHz;

É importante relatar que as frequências de 1.290 kHz, 6.160 kHz e 9.694 kHz fazem parte de uma mesma rede de radiodifusão, sendo, portanto, seus sinais emitidos em um mesmo sítio.

A Tabela 4.17 resume as medições realizadas na faixa de OM-OT-OC/AM na área.

Tabela 4.17 - Resumo Radiodifusão Sonora OM - OT - OC/AM - Centro da Cidade.

FAIXA	Frequência (KHz)	Valor Médio (dBμV)	Desvio Padrão (dBμV)	Valor Médio (μW)
OM/AM	930	61,10	0,09	2,57158E-02
	1180	66,64	0,18	9,20450E-02
	1290	88,92	0,14	1,55597E+01
	1439	65,29	0,46	6,74528E-02
OT/AM	4845	25,83	2,04	7,63484E-06
OC/AM	6160	46,10	0,41	8,12456E-04
	9694	58,98	0,31	1,57761E-02

Medição 2: Sinais dos serviços de Radiodifusão Sonora VHF/FM

Nas Figuras 4.49 e 4.50 são mostrados os valores médios das potências das respectivas frequências portadoras das emissoras de rádio VHF/FM. Foi realizada apenas uma medição de cada parte da banda.

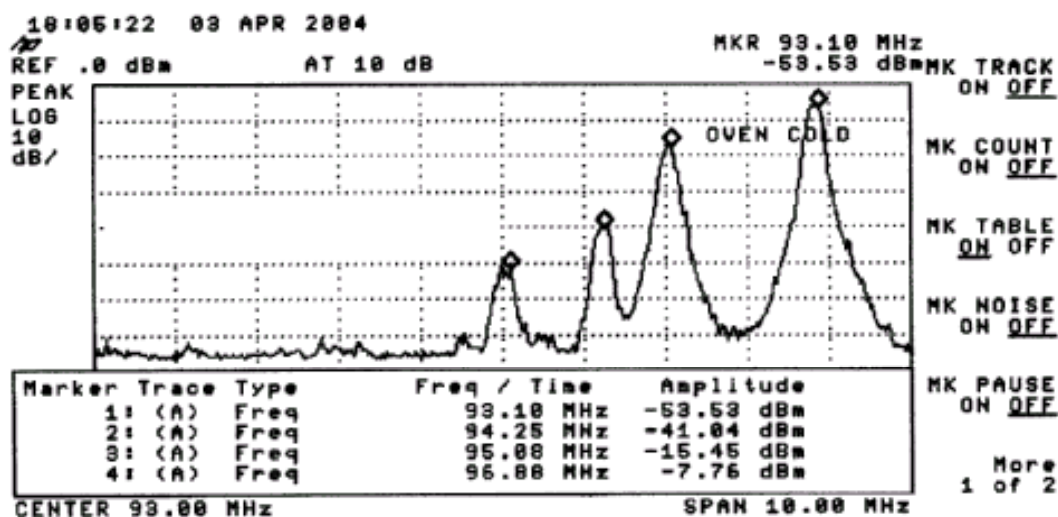


Figura 4.49 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/FM (banda baixa) - Centro da Cidade.

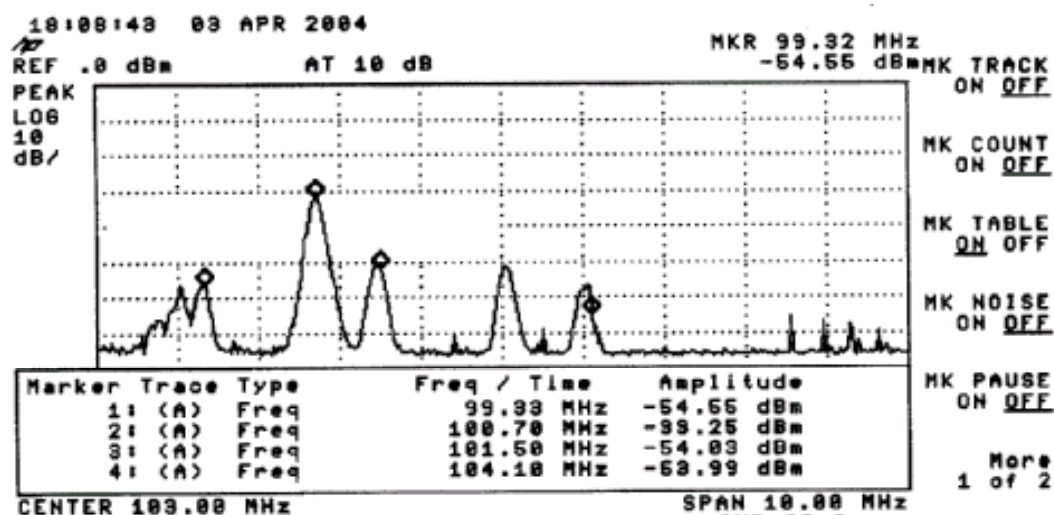


Figura 4.50 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/FM (banda alta) - Centro da Cidade.

O gráfico da banda baixa da faixa de Radiodifusão Sonora em VHF/FM (Figura 4.49) apresenta a forte intensidade do sinal na frequência de 96,7 MHz, justificada pelo fato do ponto de medição se encontrar a aproximadamente 300 m da antena Tx localizada no topo de um prédio de 22 andares. No mesmo gráfico também temos a potência da portadora de

95,1 MHz com forte intensidade, embora a antena Tx se encontre a aproximadamente 7 km de distância desse ponto de medição.

No gráfico da banda alta da faixa de Radiodifusão Sonora em VHF/FM (Figura 4.50) destaca-se a amplitude da frequência portadora da emissora em 100,7 MHz, que se encontra a aproximadamente 4,5 km de distância desse ponto de medição.

A Tabela 4.18 resume as medições realizadas na faixa de VHF/FM na área.

Tabela 4.18 - Resumo Radiodifusão Sonora VHF/FM - Centro da Cidade.

FAIXA	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μ W)
VHF/FM	93,1	-53,53	8,85116E-14
	94,3	-41,04	1,57036E-12
	95,1	-15,45	5,68853E-10
	96,9	-7,76	3,34195E-09
	99,3	-54,55	6,99842E-14
	100,7	-33,25	9,44061E-12
	101,5	-54,03	7,88860E-14
	104,1	-53,99	7,96159E-14

Medição 3: Sinais dos serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens VHF/TV

Nas Figuras 4.51, 4.52, 4.53 e 4.54 são mostrados os valores médios das potências dos sinais das frequências portadoras de Radiodifusão de Sons e Imagens, respectivamente, dos canais de VHF/TV. Foi realizada apenas uma medição de cada conjunto de portadoras.

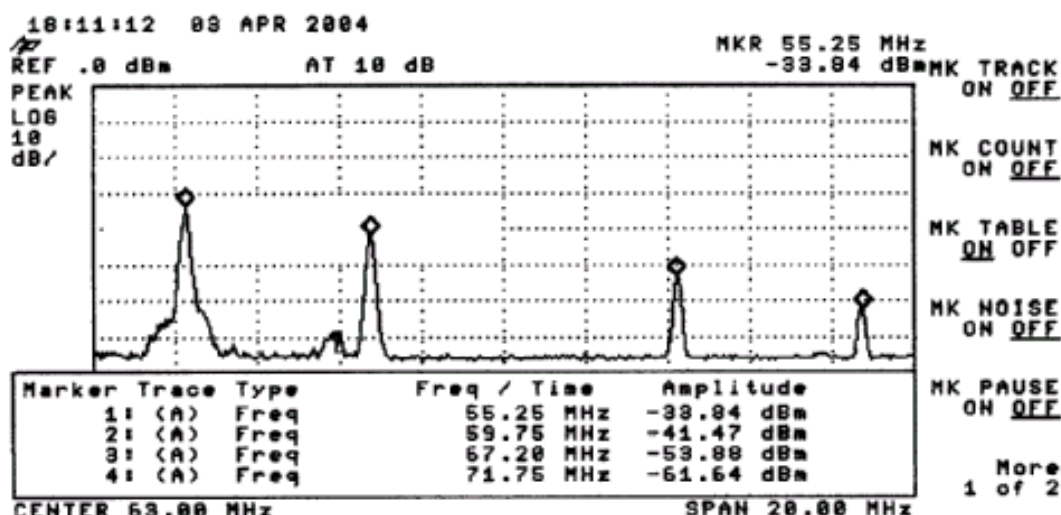


Figura 4.51 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 2 e 4) - Centro da Cidade.

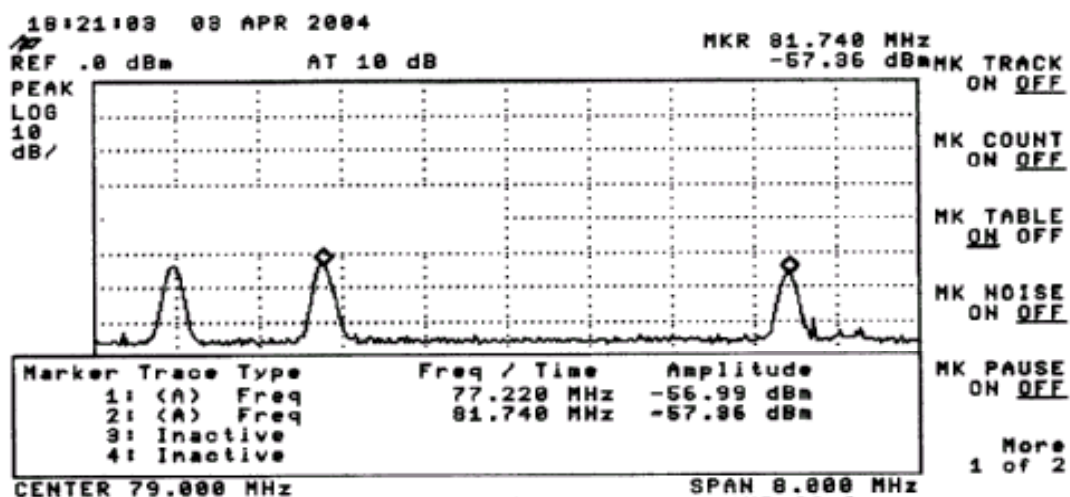


Figura 4.52 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canal 5) - Centro da Cidade.

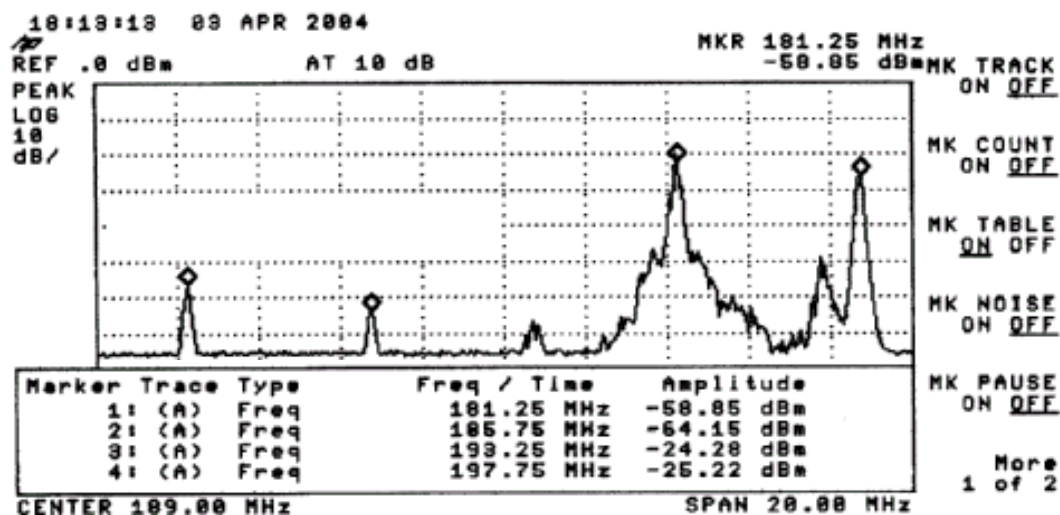


Figura 4.53 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canais 8 e 10) - Centro da Cidade.

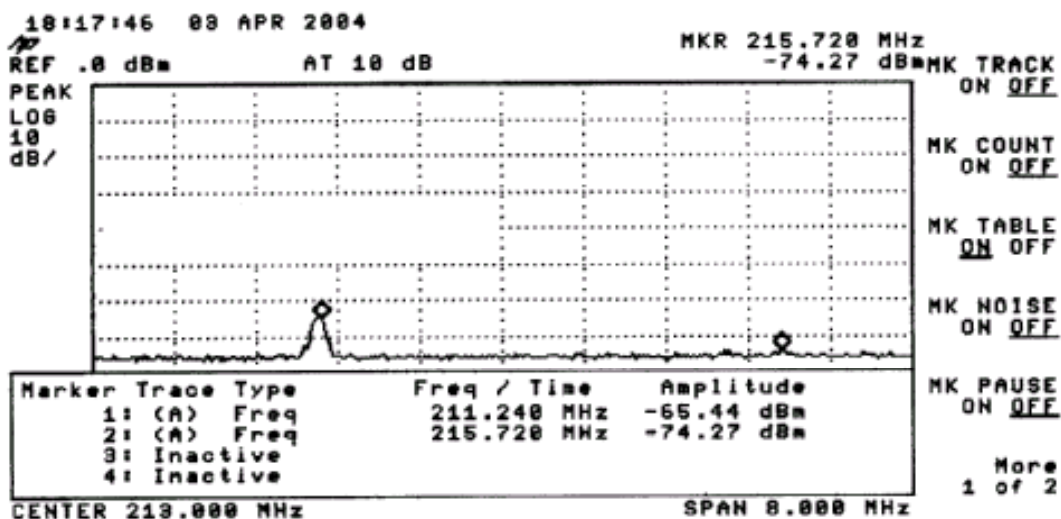


Figura 4.54 - Níveis de potência dos sinais na faixa de VHF/TV (Canal 13) - Centro da Cidade.

Os gráficos das Figuras 4.51 e 4.52 apresentam as formas de ondas das frequências portadoras de vídeo e de som com normalidade;

Observa-se no gráfico da Figura 4.53 que existe uma visível distorção nos sinais do canal 8. A antena Tx do referido canal se encontra a aproximadamente 2 km de distância desse ponto de medição;

O gráfico das potências das frequências portadoras do Canal 13 (Figura 4.54) apresenta sinais com baixa amplitude.

A Tabela 4.19 resume as medições realizadas na faixa de VHF/TV na área.

Tabela 4.19 - Resumo Radiodifusão de Sons e Imagens VHF/TV - Centro da Cidade.

VHF/TV	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μW)
CANAL 2	55,25	-33,84	0,413047502
	59,75	-41,47	0,071285303
CANAL 4	67,25	-53,88	0,004092607
	71,75	-61,64	0,000685488
CANAL 5	77,25	-56,99	0,001999862
	81,75	-57,96	0,001599558
CANAL 8	181,25	-58,85	0,001303167
	185,75	-64,15	0,000384592
CANAL 10	193,25	-24,28	3,732501578
	197,75	-25,22	3,006076303
CANAL 13	211,26	-65,44	0,000285759
	215,74	-74,27	3,74111E-05

Os sinais na faixa de UHF/TV (Canais 18, 20, 23 e 44) não foram captados pelo Analisador de Espectro no Centro da Cidade.

Medição 4: Sinais dos serviços de SMC - Banda A

Dos sinais medidos de Telefonia Móvel Celular foram registrados apenas aqueles que canais têm frequência portadora com valor inteiro, mostrados nas Figuras 4.55 e 4.56.

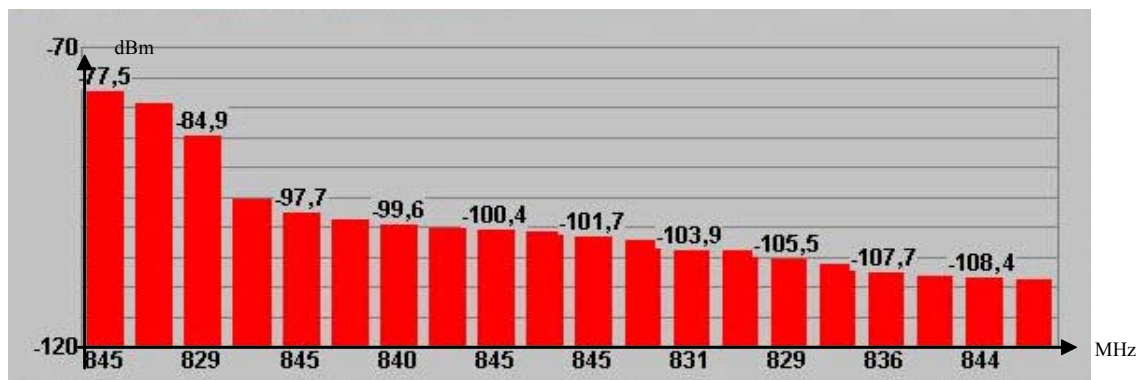


Figura 4.55 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda A - Centro da Cidade.

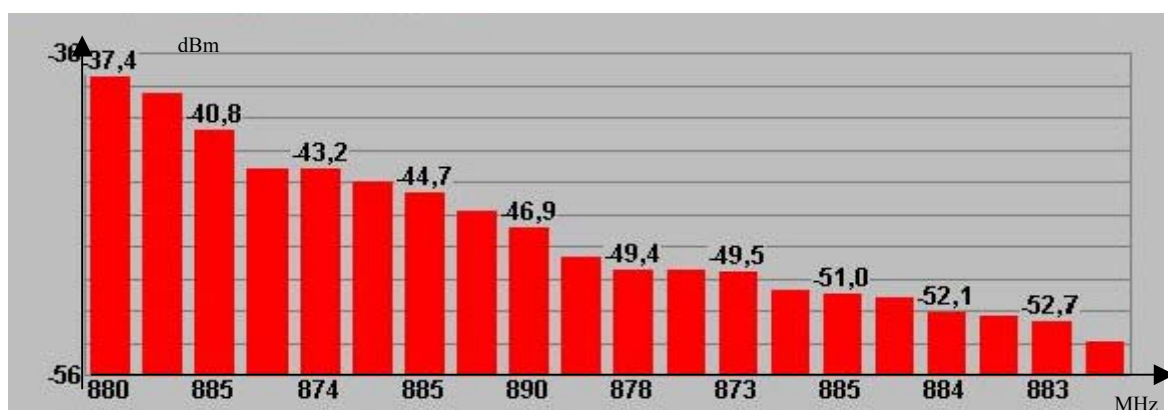


Figura 4.56 - Níveis de potência dos sinais de *down link* da Banda A - Centro da Cidade.

Os gráficos dos sinais de Telefonia Móvel Celular da Banda A mostrados nas Figura 4.55 e 4.56 apresentam amplitude decrescente ao longo das faixas, tendo sempre o sinal de *down link* maior intensidade.

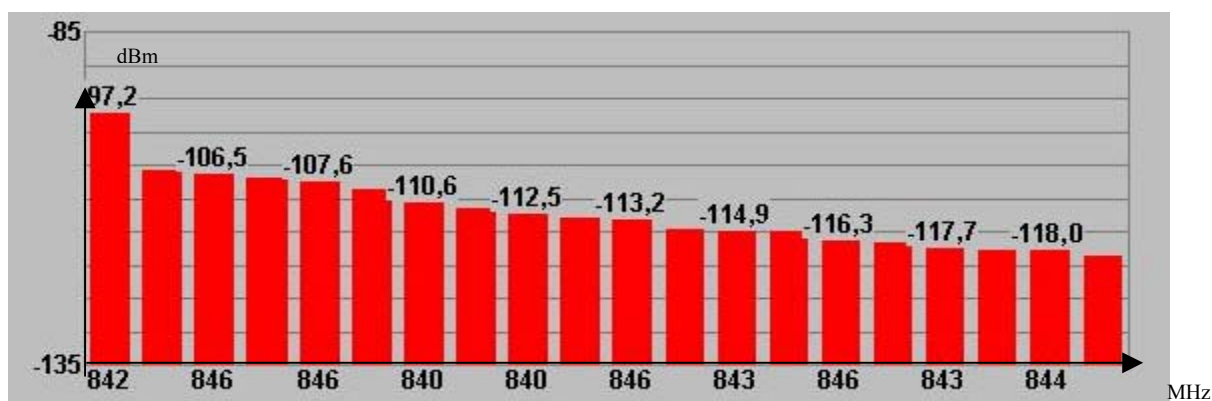
A Tabela 4.20 resume as medições realizadas na faixa de UHF/SMC Banda A na área.

Tabela 4.20 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular - Banda A - Centro da Cidade.

UHF/SMC	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μ W)
BANDA A/UP LINK	829	-84,9	3,23594E-06
	829	-105,5	2,81838E-08
	831	-103,9	4,0738E-08
	845	-77,5	1,77828E-05
	845	-97,7	1,69824E-07
	845	-100,4	9,12011E-08
	845	-101,7	6,76083E-08
	846	-106,5	2,23872E-08
	846	-107,6	1,7378E-08
	846	-113,2	4,7863E-09
	846	-116,3	2,34423E-09
BANDA A/DOWN LINK	873	-49,5	0,011220185
	874	-43,2	0,047863009
	878	-49,4	0,011481536
	880	-37,4	0,181970086

Medição 5: Sinais dos serviços de SMC - Banda B

Nesta medição também foram registrados apenas aqueles canais que têm frequência portadora com valor inteiro, mostrados nas Figuras 4.57 e 4.58.

Figura 4.57 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda B - Centro da Cidade.

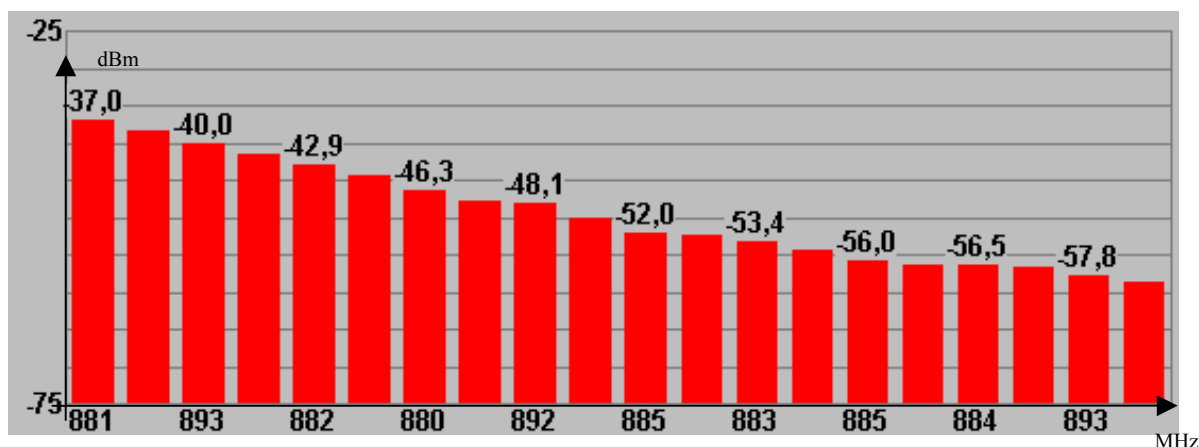


Figura 4.58 - Níveis de potência dos sinais de *down link* da Banda B - Centro da Cidade.

Os gráficos dos sinais de Telefonia Móvel Celular da Banda B mostrados nas Figura 4.57 e 4.58 também apresentam amplitude decrescente ao longo das faixas, tendo sempre o sinal de *down link* maior intensidade.

A Tabela 4.21 resume as medições realizadas na faixa de UHF/SMC Banda B na área.

Tabela 4.21 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Celular - Banda B - Centro da Cidade.

UHF/SMC	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μW)
BANDA B/UP LINK	840	-110,6	8,70964E-09
	840	-112,5	5,62341E-09
	842	-97,2	1,90546E-07
	843	-114,9	3,23594E-09
	843	-117,7	1,69824E-09
BANDA B/DOWN LINK	880	-46,3	0,023442288
	881	-37,1	0,19498446
	882	-42,9	0,051286138
	883	-52,7	0,005370318
	883	-53,4	0,004570882
	884	-52,1	0,00616595
	885	-40,8	0,083176377
	885	-44,7	0,033884416
	885	-52,1	0,00616595
	885	-56,1	0,002454709
	890	-46,9	0,020417379

Medição 6: Sinais dos serviços de SMP - Banda D

Foram realizadas as medições de todos os canais com frequências portadoras presentes na faixa, como mostrados nas Figuras 4.59 e 4.60.

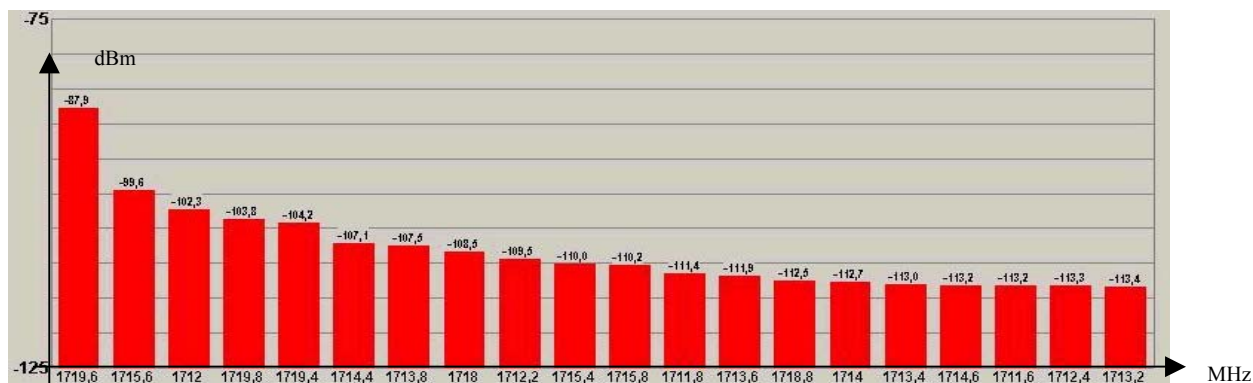


Figura 4.59 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda D - Centro da Cidade.

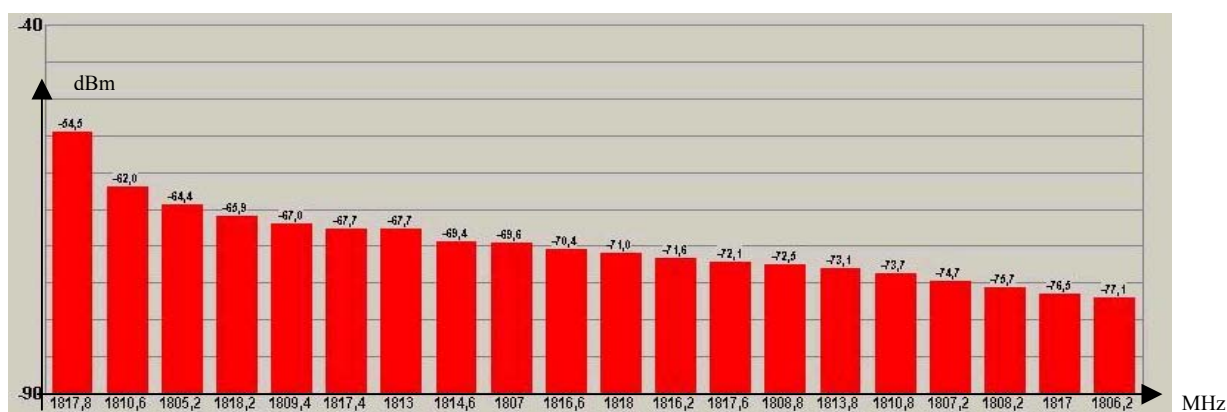


Figura 4.60 - Níveis de potência dos sinais de *down link* da Banda D - Centro da Cidade.

Os gráficos dos sinais de Telefonia Móvel Pessoal da Banda D mostrados nas Figuras 4.59 e 4.60 apresentam valores de potência em decréscimo suave ao longo da faixa, havendo uma leve estabilização de valores no final da mesma.

A Tabela 4.22 resume as medições realizadas na faixa de UHF/SMP Banda D na área.

Tabela 4.22 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda D - Centro da Cidade.

UHF/SMP	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (µW)
BANDA D/UP LINK	1711,6	-113,2	4,7863E-09
	1711,8	-111,4	7,24436E-09
	1712	-102,3	5,88844E-08
	1712,2	-109,5	1,12202E-08
	1712,4	-113,3	4,67735E-09
	1713,2	-113,4	4,57088E-09
	1713,4	-113,1	4,89779E-09
	1713,6	-111,9	6,45654E-09
	1713,8	-107,5	1,77828E-08
	1714	-112,7	5,37032E-09
	1714,4	-107,1	1,94984E-08
	1714,6	-113,2	4,7863E-09
	1715,4	-110,1	9,77237E-09
	1715,6	-89,6	1,09648E-06
	1715,8	-110,2	9,54993E-09
	1718	-108,5	1,41254E-08
	1718,8	-112,5	5,62341E-09
	1719,4	-104,2	3,80189E-08
	1719,6	-87,9	1,62181E-06
	1719,8	-103,8	4,16869E-08
BANDA D/DOWN LINK	1805,2	-64,4	0,000363078
	1806,2	-77,1	1,94984E-05
	1807	-69,6	0,000109648
	1807,2	-74,7	3,38844E-05
	1808,2	-75,7	2,69153E-05
	1808,8	-72,5	5,62341E-05
	1809,4	-67,1	0,000194984
	1810,6	-62,1	0,000616595
	1810,8	-73,7	4,2658E-05
	1813	-67,7	0,000169824
	1813,8	-73,1	4,89779E-05
	1814,6	-69,4	0,000114815
	1816,2	-71,6	6,91831E-05
	1816,6	-70,4	9,12011E-05
	1817	-76,5	2,23872E-05
	1817,4	-67,7	0,000169824
	1817,6	-72,1	6,16595E-05
	1817,8	-54,5	0,003548134
	1818	-71,1	7,76247E-05
	1818,2	-65,9	0,00025704

Medição 8: Sinais dos serviços de SMP - Banda E

Nesta medição também foram registrados os sinais de todos os canais com frequências portadoras presentes na faixa, como mostrados nas Figuras 4.61 e 4.62.

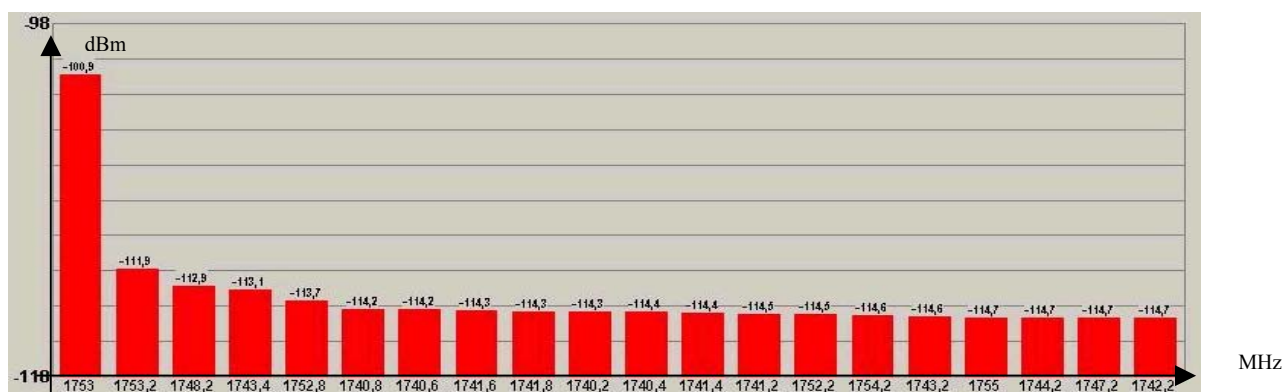


Figura 4.61 - Níveis de potência dos sinais de *up link* da Banda E - Centro da Cidade.

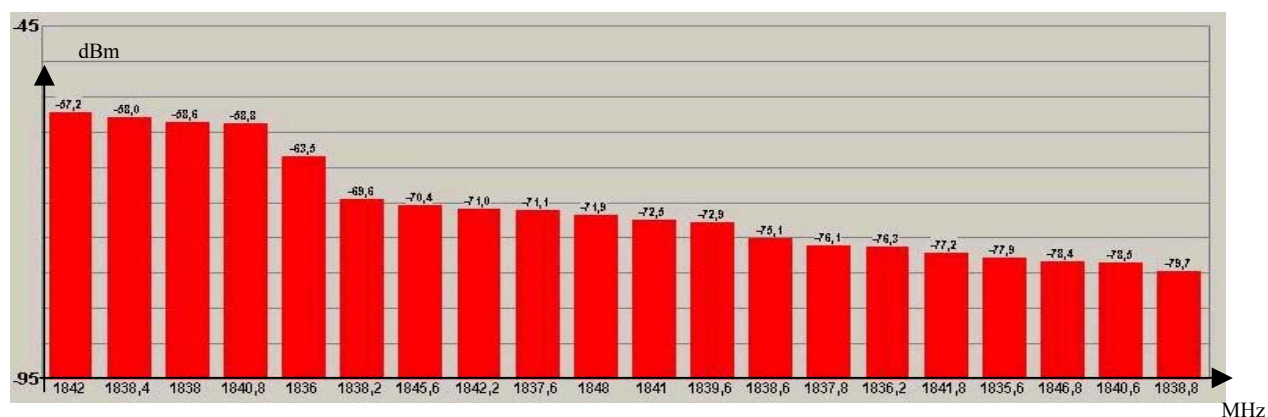


Figura 4.62 - Níveis de potência dos sinais de *down link* da Banda E - Centro da Cidade.

No gráfico dos sinais de Telefonia Móvel Pessoal Banda E - *up link* (Figura 4.61), uma frequência portadora apresenta-se com forte amplitude, sendo as demais com amplitude bem inferior e com valores praticamente estáveis;

No gráfico de *down link* (Figura 4.62) tem-se o decrescimento de potência em grupos de portadoras, ao longo da faixa.

A Tabela 4.23 resume as medições realizadas na faixa de UHF/SMP Banda E na área.

Tabela 4.23 - Resumo Serviço de Telefonia Móvel Pessoal - Banda E - Centro da Cidade.

UHF/SMP	Frequência (MHz)	Valor Médio (dBm)	Valor Médio (μW)
BANDA E/UP LINK	1740,2	-114,3	3,71535E-09
	1740,4	-114,4	3,63078E-09
	1740,6	-114,2	3,80189E-09
	1740,8	-114,2	3,80189E-09
	1741,2	-114,5	3,54813E-09
	1741,4	-114,4	3,63078E-09
	1741,6	-114,3	3,71535E-09
	1741,8	-114,3	3,71535E-09
	1742,3	-114,7	3,38844E-09
	1743,2	-114,6	3,46737E-09
	1743,4	-113,1	4,89779E-09
	1744,2	-114,7	3,38844E-09
	1747,2	-114,7	3,38844E-09
	1748,2	-112,9	5,12861E-09
	1752,2	-114,5	3,54813E-09
	1752,8	-113,7	4,2658E-09
	1753	-100,9	8,12831E-08
	1753,2	-111,9	6,45654E-09
	1754,2	-114,6	3,46737E-09
	1755	-114,7	3,38844E-09
BANDA E/DOWN LINK	1835,6	-77,9	1,62181E-05
	1836	-63,5	0,000446684
	1836,2	-76,3	2,34423E-05
	1837,6	-71,1	7,76247E-05
	1837,8	-76,1	2,45471E-05
	1838	-60,6	0,000870964
	1838,2	-69,6	0,000109648
	1838,4	-60,1	0,000977237
	1838,6	-75,1	3,0903E-05
	1839,6	-72,9	5,12861E-05
	1840,6	-78,5	1,41254E-05
	1840,8	-60,8	0,000831764
	1841	-72,5	5,62341E-05
	1841,8	-77,2	1,90546E-05
	1842	-57,2	0,001905461
	1842,2	-71,1	7,76247E-05
	1845,6	-70,4	9,12011E-05
	1846,8	-78,4	1,44544E-05
	1848	-71,9	6,45654E-05
	1838,8	-79,7	1,07152E-05

4.3 Avaliação de Desempenho

Tendo as três áreas escolhidas para medição características diferenciadas, os resultados foram obtidos foram, como esperado, diferenciados.

Esta avaliação está dividida pela origem do sinal e em seguida pela área da cidade onde foi realizada a medição do mesmo.

4.3.1 Análise das Medidas dos Sinais de Radiodifusão

Os sinais dos serviços de Radiodifusão Sonora (OM-OT-OC/AM), medidos com recursos técnicos da Anatel, apresentaram baixos valores e são o resultado médio de cinquenta medidas de cada portadora. Os valores foram medidos na unidade de $dB\mu V$ e convertidos para dBm por meio da equação [31]:

$$dB\mu V = dBm + 170$$

(4.12)

Com relação aos sinais dos serviços de Radiodifusão Sonora (VHF/AM), que foram medidos com analisador de espectro do Cefet/Am, apresentaram valores, em alguns casos, com larga diferença entre uma emissora e outra. Nas medidas dos sinais dos serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens (VHF-UHF/TV), que também foram medidos com analisador de espectro do Cefet/Am, observa-se que apresentaram valores próximos entre os sinais das portadoras de vídeo e de som.

Os resultados obtidos nas medidas de Radiodifusão de Sons e Imagens das faixas de VHF/TV e UHF/TV são mostrados nas Tabelas 4.24, 4.25 e 4.26.

Tabela 4.24 - Resumo Sinais de Radiodifusão Área 1 - Petrópolis.

Banda	Valor Médio (μW)
Radiodifusão Sonora	1,29285E+02
Radiodifusão de Sons e Imagens	75,35615682
Radiodifusão - TOTAL	204,6411689

Tabela 4.25 - Resumo Sinais de Radiodifusão Área 2 - Praça 14 de Janeiro.

Banda	Valor Médio (μW)
Radiodifusão Sonora	1,10007E+02
Radiodifusão de Sons e Imagens	0,951286266
Radiodifusão - TOTAL	110,9583212

Tabela 4.26 - Resumo Sinais de Radiodifusão Área 3 - Centro da Cidade.

Banda	Valor Médio (μW)
Radiodifusão Sonora	1,57615E+01
Radiodifusão de Sons e Imagens	7,233299129
Radiodifusão - TOTAL	22,99476521

4.3.2 Análise das Medidas dos Sinais dos SMC/SMP

Os sinais dos serviços de Telefonia Móvel Celular (UHF/SMC) foram medidos com recursos técnicos da operadora da Banda A, enquanto que os sinais dos serviços de Telefonia Móvel Pessoal (UHF/SMP) foram com recursos técnicos da Banda D. As Tabelas 4.27, 4.28 e 4.29 apresentam os valores médios de cada banda, por área.

Tabela 4.27 - Resumo Sinais de Telefonia Celular na Área 1 - Petrópolis.

Banda	Valor Médio (μW)
Banda A - UP Link	2,34278E-07
Banda A - Down Link	0,825134142
Banda B - UP Link	1,00171E-05
Banda B - Down Link	0,128053402
Banda D - UP Link	8,6569E-08
Banda D - Down Link	0,093916722
Banda E - UP Link	7,20098E-08
Banda E - Down Link	0,055570389
Telefonia Móvel Celular/Pessoal - TOTAL	1,102685064

Tabela 4.28 - Resumo Sinais de Telefonia Celular na Área 2 - Praça 14 de Janeiro.

Banda	Valor Médio (μW)
Banda A - UP Link	2,73281E-07
Banda A - Down Link	0,239354694
Banda B - UP Link	4,20374E-06
Banda B - Down Link	0,017824564
Banda D - UP Link	9,59211E-08
Banda D - Down Link	0,041304584
Banda E - UP Link	7,21258E-08
Banda E - Down Link	0,042659309
Telefonia Móvel Celular/Pessoal - TOTAL	0,341147796

Tabela 4.29 - Resumo Sinais de Telefonia Celular na Área 3 - Centro da Cidade.

Banda	Valor Médio (μW)
Banda A - UP Link	2,14632E-05
Banda A - Down Link	0,252534816
Banda B - UP Link	2,09813E-07
Banda B - Down Link	0,44192006
Banda D - UP Link	2,98724E-06
Banda D - Down Link	0,006094167
Banda E - UP Link	1,55628E-07
Banda E - Down Link	0,005713753
Telefonia Móvel Celular/Pessoal - TOTAL	0,706287611

Foi constatado em todas as figuras que mostram os gráficos dos sinais de *down link* dos serviços de telefonia móvel que, na maioria dos casos, a amplitude das portadoras têm valores menores que -100 dBm, fato justificado pela atuação do controle de potência das estações móveis, mantendo-as numa emissão de potência mínima economizando energia da bateria, porém, suficiente para a comunicação.

4.4.3 Comparação: Radiodifusão x Telefonia Móvel

Para que se possa, após serem listados e calculados os valores dos níveis de potência dos sinais medidos, saber qual o serviço que estatisticamente agrega o maior valor, faz-se necessária a comparação entre os valores totais por área dos mesmos;

As Figuras 4.63, 4.64 e 4.65 fazem estas comparações.

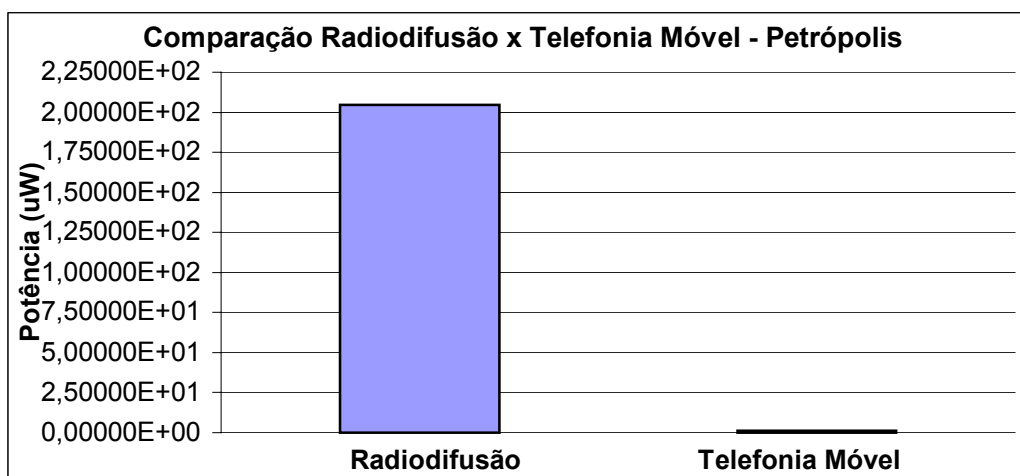


Figura 4.63 - Comparação entre os sinais da Área 1- Petrópolis.

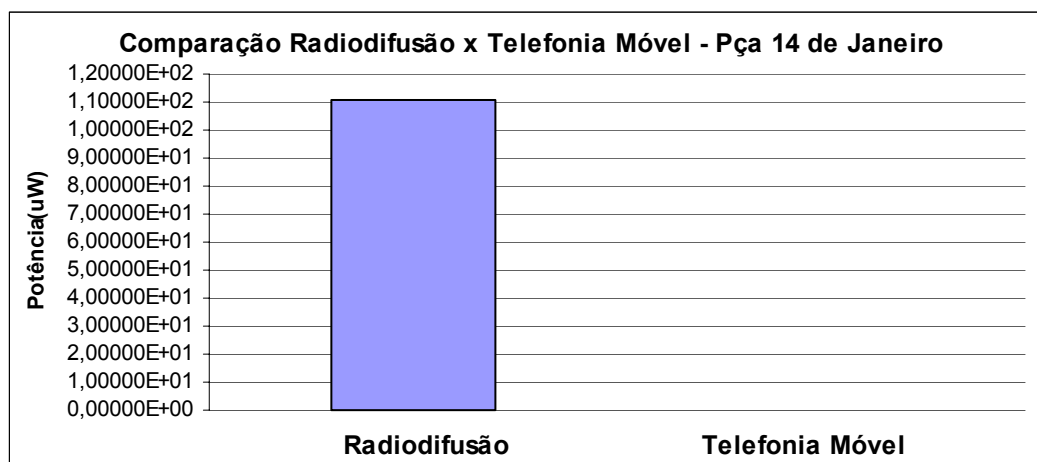


Figura 4.64 - Comparação entre os sinais da Área 2 - Praça 14 de Janeiro.

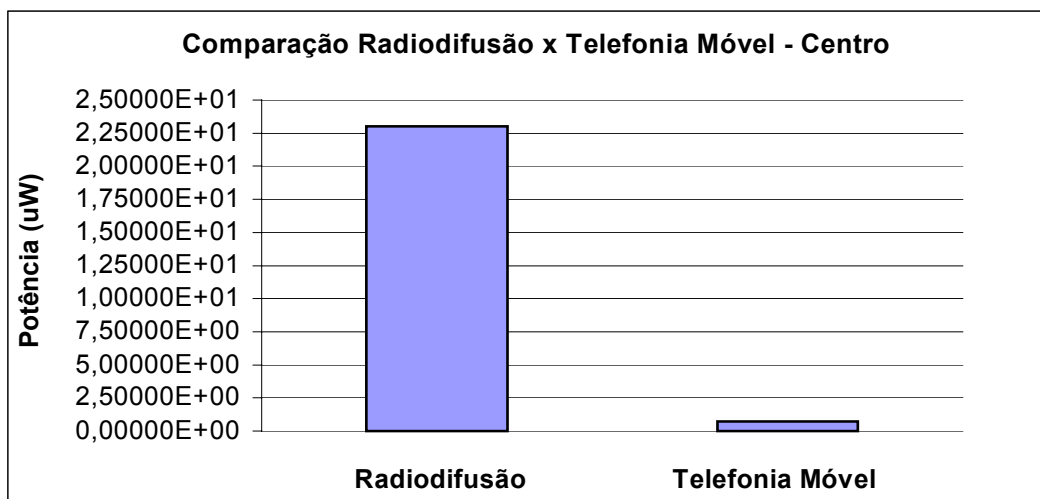


Figura 4.65 - Comparação entre os sinais da Área 3 - Centro da cidade.

4.4 Avaliação dos Resultados

Tendo as três áreas escolhidas para medição características diferenciadas, os resultados obtidos foram, como esperado, diferenciados.

Esta avaliação está dividida pela origem do sinal e em seguida pela área da cidade onde foi realizada a medição do mesmo.

4.4.1 Bairro de Petrópolis

Os valores dos sinais medidos dentro das suas respectivas faixas, revelaram que o somatório das potências dos sinais de Radiodifusão (Tabela 4.24) ficou em 204,641 μW , enquanto que o valor da potência do somatório dos sinais dos serviços de Telefonia Móvel (Tabela 4.27) ficou em apenas 1,102 μW (Tabela 4.27).

Naquela área a intensidade da potência dos sinais de radiodifusão é de aproximadamente 186 vezes superior a intensidade da potência dos sinais de telefonia móvel celular. O somatório de todas as medições realizadas no bairro de Petrópolis é de um pouco mais que 205,7 μW (Tabela 4.30).

Tabela 4.30 - Resumo das Medições - Petrópolis.

Bandas	Valor Médio (μW)
Radiodifusão Petrópolis	2,04641E+02
Telefonia Móvel Celular/Pessoal	1,102685064
TOTAL	205,743854

4.4.2 Bairro da Praça 14 de Janeiro

Nessa área, o resultado do somatório da medição dos valores das potências dos sinais de Radiodifusão (Tabela 4.25) revelou que os mesmos são em torno de 110,958 μW enquanto que o valor do somatório da potência dos sinais dos serviços de Telefonia Móvel (Tabela 4.28), é de 0,34 μW .

Estatisticamente naquela área, o somatório da potência dos sinais de Radiodifusão é de aproximadamente 352 vezes superior ao somatório da potência dos sinais de Telefonia Móvel. O somatório de todas as medições é de um pouco mais que 111,3 μW (Tabela 4.31).

Tabela 4.31 - Resumo das Medições - Praça 14 de Janeiro.

Banda	Valor Médio (μW)
Radiodifusão	1,10958E+02
Telefonia Móvel Celular/Pessoal	0,341147796
TOTAL	111,299469

4.4.3 Centro da Cidade

No Centro da Cidade, o somatório da medição dos sinais de Radiodifusão (Tabela 4.26) teve como resultado um valor aproximado de 22,994 μW enquanto que o valor da potência do somatório dos sinais dos serviços de Telefonia Móvel (Tabela 4.26), resultou em apenas 0,706 μW (Tabela 4.29).

Comprova-se que naquela área, a intensidade da potência dos sinais de Radiodifusão é de aproximadamente 32 vezes superior a intensidade da potência dos sinais de Telefonia Móvel. O somatório de todas as medições realizadas no Centro da Cidade é de um pouco mais que 23,7 μW (Tabela 4.32).

Tabela 4.32 - Resumo das Medições - Centro da Cidade.

Bandas	Valor Médio (μW)
Radiodifusão	2,29948E+01
Telefonia Móvel Celular/Pessoal	0,706287611
TOTAL	23,70105282

Capítulo 5

Estudo da Propagação dos Sinais Medidos

5.1 Introdução

A propagação do sinal tem sido alvo de diversos estudos, os quais resultaram em modelos matemáticos denominados de modelos de propagação.

No presente capítulo aborda-se a propagação dos sinais de telefonia móvel medidos em pesquisa de campo, emitidos por uma antena transmissora fixa, que se desloca até alcançar a antena receptora da estação móvel.

Neste estudo propõe-se a elaboração de um modelo teórico de propagação de sinais na faixa de 800 MHz capaz de prever o valor do sinal recebido dentro da área de cobertura da antena de um setor de uma célula do SMC.

5.2 Correção dos Valores Medidos

O objetivo de se obter valores corrigidos é o de se aproximar qualquer valor medido na pesquisa, ao nível de 1,5 do solo, para valores encontrados naquela mesma posição em relação à abertura horizontal do diagrama de radiação da antena Tx, porém na mesma altura da antena.

A Figura 5.1 exemplifica um cenário para esta condição.

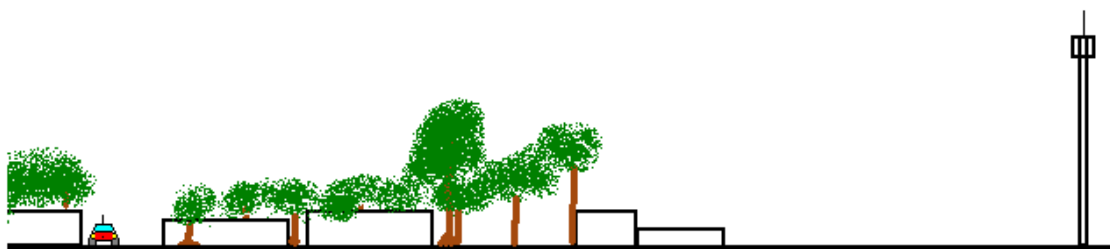


Figura 5.1 - Cenário de medições da área do bairro de Petrópolis.

5.2.1 Definição dos Parâmetros

Inicialmente, define-se como:

$$m_{\alpha,\phi}(\text{dBm}) = \text{valor medido da potência}; \quad (5.1)$$

$$m'_{\alpha,0^\circ}(\text{dBm}) = \text{valor corrigido da potência}. \quad (5.2)$$

O valor medido agrega as contribuições dos ganhos horizontal e vertical da antena Tx, na posição (α, ϕ) , assim como também agrega a contribuição do ganho da antena Rx.

Para os cálculos dos parâmetros, defini-se como α o ângulo da posição horizontal do móvel em relação ao eixo de 0° do diagrama de radiação horizontal da antena Tx, assim como ϕ sendo o ângulo da posição vertical do móvel em relação ao eixo de 0° do diagrama de radiação vertical da antena Tx. As variações dos ganhos nos ângulos horizontal α e vertical ϕ , são obtidas no *cell plan* da antena fornecido pelo fabricante conforme consta no Apêndice E. O azimuth β é a posição geográfica da ERB em relação ao norte verdadeiro. A Figura 5.2 apresenta o cenário vertical da área de medição do bairro de Petrópolis, com os parâmetros verticais até aqui definidos.

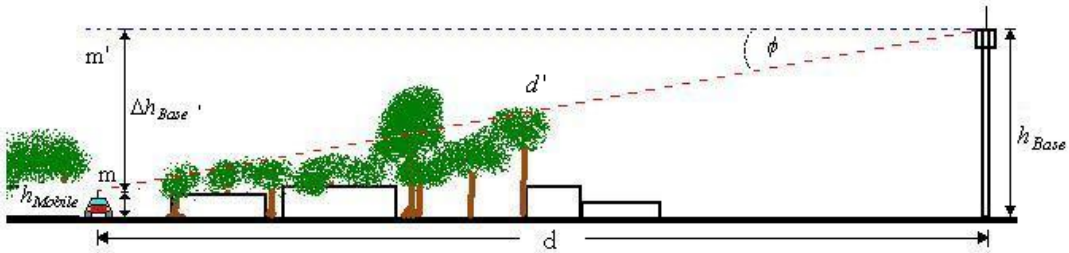


Figura 5.2 - Cenário de medições no bairro de Petrópolis e a definição dos parâmetros.

O valor de $\Delta h_{Base}'$ é definido por

$$\Delta h_{Base}' = h_{Base} - h_{Móvel}, \quad (5.3)$$

em que:

h_{Base} = altura da torre da ERB + antena, em m;

$h_{Móvel}$ = altura do veículo em m.

A distância d é definida como a distância entre da ERB e o móvel.

O valor da potência de um sinal radioelétrico recebido $P_{Rcalc}(\text{dBm})$ sob a hipótese da ausência de obstáculos é calculado pela fórmula de Friis [32] adaptada para a medição de valores de potência em dBm, distância em quilômetro e frequência em megahertz [31], tem a forma

$$P_{Rcalc}(dBm) = P_T(dBm) + G_T(dB) + G_R(dBi) - 20 \log d(km) - 20 \log f(MHz) - 32,44, \quad (5.4)$$

em que:

$P_{Rcalc}(dBm)$ = Potência do sinal recebido (calculado) ;

$P_T(dBm)$ = Potência do sinal transmitido ;

$G_T(dB)$ = ganho da antena transmissora ;

$G_R(dBi)$ = ganho da antena receptora ;

Partindo-se da hipótese de que o valor de (5.1) pode ser calculado por meio de (5.4), iguala-se

$$m_{\alpha,\phi}(dBm) = P_{Rcalc}(dBm). \quad (5.5)$$

O valor de $G_T(dB)$ em (5.4) é composto por:

$$G_T(dB) = G_{T DH \alpha}(dB) + G_{T DV \phi}(dB). \quad (5.6)$$

em que:

$$G_{T DH \alpha}(dB) = \text{ganho da antena transmissora no diagrama horizontal no ângulo } \alpha. \quad (5.7)$$

$$G_{T DV \phi}(dB) = \text{ganho da antena transmissora no diagrama vertical no ângulo } \phi. \quad (5.8)$$

No Apêndice E tem-se que o ganho da antena Tx está na unidade dBd. Em [33] temos que:

$$dBi = dBd + 2,15 \quad (5.9)$$

Ajustando (5.6), obtém-se:

$$G_T(dBi) = G_{T DH \alpha}(dB) + 2,15 + G_{T DV \phi}(dB) + 2,15 \quad (5.10)$$

Ao inserir (5.10) em (5.4), pode-se redefinir a expressão para a potência recebida, usando a definição do valor de $m_{\alpha,\phi}(dBm)$

$$m_{\alpha,\phi}(dBm) = P_T(dBm) + G_{T DH \alpha}(dBd) + 2,15 + G_{T DV \phi}(dBd) + 2,15 + G_R(dBi) - 20 \log d(km) - 20 \log f(MHz) - 32,44. \quad (5.11)$$

Observando a Figura 5.2, conclui-se que o valor de $m'_{\alpha,0^\circ}(dBm)$ é o valor de $m_{\alpha,\phi}(dBm)$ quando medido no ângulo de $\phi = 0^\circ$ no diagrama de radiação vertical da antena Tx. Adaptando-se (5.11) para o valor corrigido, obtém-se:

$$m'_{\alpha,0^\circ}(dBm) = P_T(dBm) + G_{T DH \alpha}(dBd) + 2,15 + G_{T DV 0^\circ}(dBd) + 2,15 + G_R(dBi) - 20 \log d(km) - 20 \log f(MHz) - 32,44. \quad (5.12)$$

5.3 Aplicação dos Parâmetros

Para a correção dos valores da pesquisa, foram utilizados os resultados obtidos na medição do sinal de *down link* da telefonia móvel celular, banda A, no bairro de Petrópolis, em Manaus. A escolha do bairro está relacionada ao fato do mesmo ter uma altitude média de 80 m em relação ao nível do mar, relevo de maior altitude da cidade e assim sendo, concentra o maior número de emissoras de radiodifusão.

5.3.1 Parâmetros da Área 1: Petrópolis

$$\text{Azimute da ERB:} \quad \beta = 120^\circ \quad (5.13)$$

$$\text{Latitude da ERB:} \quad 03^\circ 05' 51,1''$$

$$\text{Longitude da ERB:} \quad 59^\circ 59' 31,9''$$

$$\text{Tipo de antena Tx:} \quad \text{Log periódica}$$

$$\text{Impedância da antena Tx:} \quad Z = 50 \, \Omega . \quad (5.14)$$

$$\text{Polarização da antena Tx:} \quad \text{vertical}$$

$$\text{Ganho da antena Tx:} \quad G_T = 14 \, \text{dBd} . \quad (5.15)$$

$$\text{Faixa de frequência de operação:} \quad 806 \, \text{MHz} \leq f \leq 960 \, \text{MHz}$$

$$\text{Abertura no lóbulo horizontal:} \quad \alpha = 60^\circ . \quad (5.16)$$

$$\text{Abertura no lóbulo vertical:} \quad \phi = 13^\circ . \quad (5.17)$$

$$P_T = 10 \, \text{W} \, (40 \, \text{dBm}) . \quad (5.18)$$

$$h_{\text{Base}} = 30 \, \text{m} . \quad (5.19)$$

$$h_{\text{Móvel}} = 1,5 \, \text{m} . \quad (5.20)$$

$$d = 0,400 \, \text{km} . \quad (5.21)$$

Obs: Para esse estudo foram desconsiderados os valores do *down tilt* (elétrico e mecânico) da antena.

Os sinais recebidos foram medidos por uma antena omnidirecional [34] com as seguintes características:

$$\text{Tipo de antena Rx:} \quad \text{omnidirecional}$$

$$\text{Impedância da antena Rx:} \quad Z = 50 \, \Omega . \quad (5.22)$$

$$\text{Polarização da antena Rx:} \quad \text{vertical.}$$

$$\text{Ganho da antena Rx:} \quad G_R = 3 \, \text{dBi} . \quad (5.23)$$

O valor de f foi definido pelas frequências apresentadas na Figura 4.16 com valores de amplitudes mais aproximados:

$$\text{Frequência:} \quad f = 879 \text{ MHz} . \quad (5.24)$$

$$\text{Potência medida:} \quad P_R = -40,7 \text{ dBm} . \quad (5.25)$$

A representação gráfica dos parâmetros horizontais envolvidos no cálculo do valor corrigido do sinal no nível da antena é mostrada na Figura 5.3.



Figura 5.3 - Cenário de medições com parâmetros horizontais para cálculo do valor corrigido.

A representação gráfica dos parâmetros verticais envolvidos no cálculo do valor corrigido do sinal no nível da antena é mostrada na Figura 5.4.

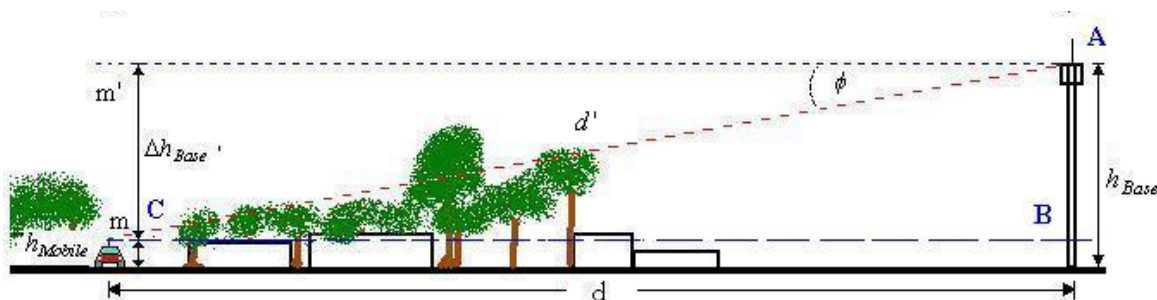


Figura 5.4 - Cenário de medições com parâmetros verticais para cálculo do valor corrigido.

O parâmetro d' , distância entre os pontos A e C da Figura 5.4, foi desconsiderado nos cálculos dada a sua proximidade com o valor medido de d (5.21). A Figura 5.5 apresenta os diagramas de radiação horizontal e vertical da antena Tx. Vale ressaltar que nos diagramas de radiação o fabricante estabelece valores positivos para os graus a partir de 0° (no sentido anti-horário) e valores negativos para os graus a partir de 0° (no sentido horário), porém, no *cell plan* do fabricante os valores dos graus são todos considerados no sentido anti-horário a partir do eixo de 0° , conforme mostrado no Apêndice E.

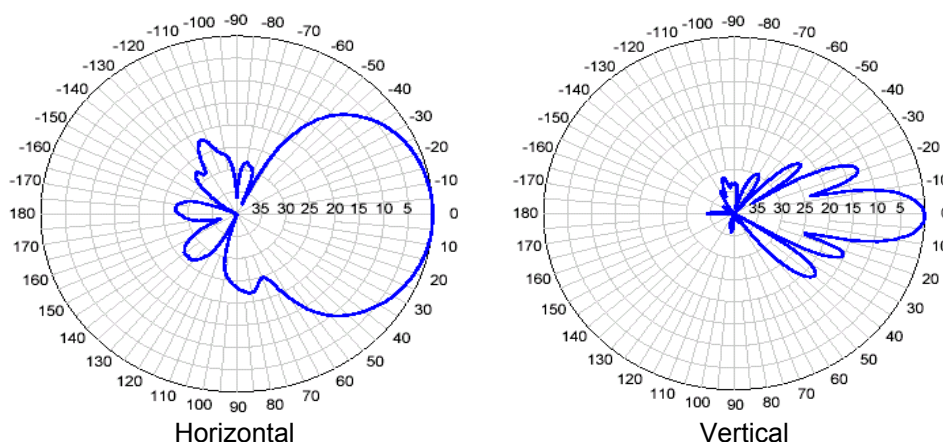


Figura 5.5 - Diagramas de radiação horizontal e vertical da antena Tx.

5.3.2 Cálculo para os Valores Medidos em m

Cálculo do valor de $G_{TDH\alpha}$

Na Figura 5.3 a linha apontada para o ângulo $\beta = 120^\circ$ em relação ao norte verdadeiro representa o eixo 0° do diagrama de radiação da antena Tx. Na mesma figura há uma linha apontada para o ângulo $\alpha = 290^\circ$ em relação à linha do eixo de 0° do diagrama de radiação da antena Tx, que representa a linha de visada da ERB em direção ao móvel. Consultando o *cell plan* da antena, encontra-se o valor correspondente a

$$G_{TDH\alpha=290^\circ} = -17,1 \text{ dBd}. \quad (5.26)$$

Cálculo do valor de $G_{TDV\phi}$

Na Figura 4.14 encontra-se o mapa com as curvas de níveis do bairro de Petrópolis. Pelas curvas de níveis na área observa-se que não há desnível entre a posição do móvel e a posição da ERB. Na Figura 5.4 vê-se que os pontos A, B e C formam um triângulo retângulo, onde:

$$\overline{AB} = \Delta h_{Base}'; \quad (5.27)$$

$$\Delta h_{Base}' = h_{Base} - h_{Movel} \Rightarrow \Delta h_{Base}' = 30 - 1,5 \Rightarrow \Delta h_{Base}' = 28,5 \text{ m}. \quad (5.28)$$

$$\overline{BC} = d = 400 \text{ m}; \quad (5.29)$$

$$\tan \phi = \frac{\Delta h_{Base}'}{d} \Rightarrow \tan \phi = \frac{28,5}{400} \Rightarrow \tan \phi = 0,071; \quad (5.30)$$

$$\arctan \phi = 4,07^\circ. \quad (5.31)$$

Pelo Teorema de Tales, sabe-se que quando duas retas paralelas são cortadas por uma reta transversal formam-se os ângulos denominados de alternos internos, e, assim sendo, o ângulo formado entre B e A é o mesmo ângulo formado entre m e m' (Figura 5.4). Consultando o *cell plan* da antena, tem-se que para o valor de 4° na vertical o ganho de:

$$G_{TDV \phi=4,07^\circ} = 13,3 \text{ dBd}. \quad (5.32)$$

Cálculo do valor de $m_{\alpha,\phi}$ (dBm)

Inserindo-se os valores de (5.18) (5.26) (5.32) (5.23) (5.21) e (5.24) em (5.11), obtém-se:

$$\begin{aligned} m_{\alpha,\phi} &= 40 - 17,1 + 2,15 + 13,3 + 2,15 + 3 - 20 \log 0,400 - 20 \log 879 - 32,44 \\ m_{\alpha,\phi} &= -39,85 \text{ dBm}. \end{aligned} \quad (5.33)$$

Na Figura 4.16 está representada a intensidade dos valores das potências dos sinais recebidos nessa faixa de frequência, onde tem-se para a frequência de 879 MHz:

$$P_{Rm} = -40,7 \text{ dBm} \quad (5.34)$$

5.3.3 Cálculo para os Valores Corrigidos em m'

Cálculo do valor de $G_{TDV \phi=0^\circ}$

Consultando o *cell plan* da antena, temos que o valor de:

$$G_{TDV \phi=0^\circ} = 14 \text{ dBd}. \quad (5.35)$$

Inserindo os valores de (5.18) (5.26) (5.35) (5.23) (5.21) e (5.24) em (5.12), temos:

$$\begin{aligned} m'_{\alpha,0^\circ} &= 40 - 17,1 + 2,15 + 14 + 2,15 + 3 - 20 \log 0,400 - 20 \log 879 - 32,44 \\ m'_{\alpha,0^\circ} &= -39,15 \text{ dBm}. \end{aligned} \quad (5.36)$$

5.4 Comparação entre os resultados Calculado x Medido

Aplicando os valores das demais frequências dos sinais de *down link* da Banda A medidos no bairro de Petrópolis em (5.8), obtém-se a Tabela 5.1:

Tabela 5.1 - Comparação entre o resultados medidos e calculados dos valores m .

f (MHz)	calculado (dBm)	medido (dBm)	diferença (dBm)
869	-39,76159536	-51,7	-11,938
870	-39,77158488	-43,5	-3,728
872	-39,79152953	-51,9	-12,108
873	-39,8014847	-39,2	0,601
874	-39,81142848	-36,5	3,311
879	-39,86097733	-40,7	-0,839

Por meio da Tabela 5.1 pode-se comparar os valores das potências dos sinais medidos, mostrados na Figura 4.16, em relação às potências dos sinais calculados das portadoras de *down link* da Banda A no bairro de Petrópolis. Observa-se que o valor calculado na frequência de 879 MHz apresenta uma diferença de apenas - 0,839 dBm em relação ao valor medido.

5.5 Modelos de Propagação

Os modelos de propagação classificam-se, quanto à sua natureza, como empíricos, semi-empíricos ou semi-determinísticos e determinísticos [35][36].

Tais modelos são aplicados de acordo com os ambientes, como rurais ou suburbanos (macrocélulas), urbanos (microcélulas), ambientes fechados (picocélulas) ou túneis [37].

Os modelos são necessários para a implantação de um sistema de rádio móvel a fim de que se possa determinar as características de propagação. As predições (cálculos das perdas) são necessárias para propor o planejamento de cobertura, a determinação dos efeitos de multi-percursos assim como para os cálculos de interferência e de célula, que são as bases para o planejamento de uma rede eficiente.

5.5.1 Modelos de Propagação para Ambientes Urbanos

Por se tratar de uma pesquisa feita dentro do perímetro urbano, faz-se necessário o estudo dos modelos de propagação mais apropriados para os cenários das medições efetuadas. Além disso, os diferentes ambientes (por exemplo macro e microcélulas) não devem ser tratados separadamente, desde que os resultados de todos os tipos de células tenham que ser considerados simultaneamente para os cálculos da interferência e do planejamento de *handoff*. Portanto, para o completo planejamento do sistema celular a ser implantado em uma grande cidade, o modelamento de todos os efeitos juntos com dados de alta resolução não é apropriado em uma implementação prática, pois implica em um elevado tempo de processamento computacional. Assim sendo, diversas aproximações são consideradas para reduzir a complexidade computacional.

5.5.1.1 Modelo COST 231 - Walfisch-Ikegami

Este é um modelo semi-determinístico utilizado em ambientes urbanos [35]. É baseado na combinação dos modelos de Walfisch [38] e Ikegami [39] obtidos a partir do trabalho do Subgrupo de Modelos de Propagação do COST 231 [40]. O modelo considera somente os edifícios no plano vertical entre o transmissor e o receptor. Tem alta precisão em ambientes urbanos principalmente no que se refere às difrações múltiplas que ocorrem na propagação sobre o topo dos prédios. Este modelo desconsidera os efeitos de guia de onda devido às reflexões múltiplas e permite melhorar as estimativas sobre as perdas por multi-percursos pela consideração de importantes parâmetros que descrevem as características do ambiente urbano, tais como os valores de:

- Altura média dos edifícios $\Rightarrow h_{roof}$
- Largura média das ruas $\Rightarrow w$
- Distância média entre edifícios $\Rightarrow b$
- Direção (em radianos) entre a pista e a linha de Tx-Rx $\Rightarrow \varphi$

É um modelo estatístico que distingue entre duas situações:

- Propagação em visada direta (LOS) e
- Propagação sem visada direta (NLOS)

Na situação de visada direta, a predição L_p é calculada por

$$L_p (dB) = 42.6 + 26 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f). \quad (5.37)$$

para $d > 20$ m, em que:

d = distância entre a ERB e o móvel em km e

f = frequência em MHz.

Este modelo é restrito a frequências na faixa de $800 \text{ MHz} \leq f \leq 2.000 \text{ MHz}$, a torre e antena com altura entre $4 \text{ m} \leq h_{\text{Base}} \leq 50 \text{ m}$, a altura da antena no móvel entre $1 \text{ m} \leq h_{\text{Móvel}} \leq 3 \text{ m}$ e a distância entre a estação Rádio Base e o móvel entre $0,02 \text{ km} \leq d \leq 5 \text{ km}$.

5.5.1.2 Modelo COST 231 - Hata

Este é um modelo semi-determinístico válido para terrenos planos, baseado nos estudos desenvolvidos por Hata [41].

A perda do sinal L_B é calculada pela expressão

$$L_B = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log h_{\text{Base}} - a(h_{\text{Móvel}}) + (44,9 - 6,55 \log h_{\text{Base}}) \cdot \log(d); \quad (5.38)$$

Sendo

$$a(h_{\text{Móvel}}) = (1,1 \log f - 0,7) h_{\text{Móvel}} - (1,56 \log f - 0,8) \quad (5.39)$$

em que:

$\log \Rightarrow \log_{10}$

$f \Rightarrow$ frequência em MHz

$h_B \Rightarrow$ altura da torre da ERB+antena em m

$d \Rightarrow$ distância em km

$a \Rightarrow$ atenuação em dB

$h_{\text{Móvel}} \Rightarrow$ altura do veículo em m.

Este modelo é restrito às frequências na faixa de $150 \text{ MHz} \leq f \leq 1.000 \text{ MHz}$, a torre e antena com alturas entre $30 \text{ m} \leq h_{\text{Base}} \leq 200 \text{ m}$, a altura da antena no móvel entre $1 \text{ m} \leq h_{\text{Móvel}} \leq 10 \text{ m}$ e a distância entre a torre e o móvel entre $1 \text{ km} \leq d \leq 10 \text{ km}$, embora também possa ser estendido à faixa de $1500 \text{ MHz} \leq f \leq 2.000 \text{ MHz}$ pela análise das curvas de propagação de Okumura [41] na faixa de frequência superior.

5.5.2 Aplicação dos Modelos de Propagação

Tendo em vista que a área de medição é um ambiente urbano e observando-se os parâmetros definidos no item 5.3.1, aplica-se inicialmente o modelo COST 231 - Walfisch-Ikegami.

Pelo cenário mostrado nas Figuras 5.3 e 5.4 observa-se que se trata de uma situação LOS, logo a perda L_p é calculada por (5.37)

$$\begin{aligned} L_p &= 42.6 + 26 \log_{10} (0,400) + 20 \log_{10} (879) \\ L_p &= 91,13 \text{ dB.} \end{aligned} \quad (5.40)$$

Considerando que o sinal recebido deve ser o sinal transmitido menos as perdas, ou seja:

$$P_{Rcalc} \text{ (dBm)} = P_T - \text{Perdas} \quad (5.41)$$

Inserindo os valores de (5.18) e de (5.40) em (5.41), têm-se:

$$\begin{aligned} P_{Rcalc} &= 40 \text{ (dBm)} - 91,13 \text{ (dB)} \\ P_{Rcalc} &= -51,13 \text{ dBm} \end{aligned} \quad (5.42)$$

Comparando o valor calculado em (5.42) com o valor medido disponível na Tabela 5.1 na frequência de 879 MHz, é constatado que o valor calculado pelo modelo COST 231-Walfisch-Ikegami apresenta um resultado de aproximadamente -11 dBm abaixo do valor medido.

Aplicando o modelo de predição COST 231-Hata, faz-se necessário que seja feito o cálculo do valor de a (h_M). Inserindo-se (5.24) e (5.20) em (5.39), obtêm-se:

$$\begin{aligned} a(h_{Movel}) &= (1,1 \log 879 - 0,7) 1,5 - (1,56 \log 879 - 0,8) \\ a(h_{Movel}) &= 0,07 \text{ m.} \end{aligned} \quad (5.43)$$

Inserindo os valores de (5.24), (5.19), (5.43) e (5.21) em (5.38), têm-se:

$$\begin{aligned} L_B &= 69,55 + 26,16 \log (879) - 13,82 \log 30 - 0,07 + (44,9 - 6,55 \log 30) \cdot \log (0,400) \\ L_B &= 105,19 \text{ dB.} \end{aligned} \quad (5.44)$$

Agora, inserindo os valores de (5.18) e de (5.44) em (5.41), resulta-se:

$$\begin{aligned} P_{Rc} &= 40 \text{ (dBm)} - 105,19 \text{ (dB)} \\ P_{Rc} &= -65,19 \text{ dBm.} \end{aligned} \quad (5.45)$$

Fazendo a comparação entre o valor calculado em (5.45) com o valor medido da Tabela 5.1, na frequência de 879 MHz, é constatado que o valor calculado pelo modelo COST 231-Hata apresenta um resultado de aproximadamente -24,5 dBm abaixo do valor

medido. O erro apresentado no resultado acima também é justificado pelo fato do modelo COST 231-Hata ter sido desenvolvido para $1 \text{ km} \leq d \leq 10 \text{ km}$. Na pesquisa de campo, a medida realizada foi na distância de $d = 0,4 \text{ km}$.

5.6 Modelamento Matemático

Para a elaboração do modelo matemático foram ampliados os cálculos até então feitos na frequência $f = 879 \text{ MHz}$, com relação ao ângulo de medição $\alpha = 320^\circ$ na distância $d = 0,4 \text{ km}$ entre a ERB e o móvel para toda a região de cobertura da antena Tx.

Os sinais emitidos pela antena do setor 1 da ERB são captados, com boa qualidade, até numa distância $d = 0,6 \text{ km}$. Em (5.16) temos que a antena Tx tem uma abertura de $\alpha = 60^\circ$.

Para o estudo da propagação do sinal da antena do setor 1 da ERB, a área de cobertura da antena foi sub-dividida em nove sub-setores por radiais com $0,6 \text{ km}$ de comprimento, distanciados em 15° a partir da linha de referência que indica $\alpha=0^\circ$, $\beta=120^\circ$. Foram criados quatro sub-setores no sentido anti-horário e cinco sub-setores no sentido horário. A partir da base da ERB, a área também foi sub-setorizada em doze arcos, um a cada 50 m . Essas ações foram tomadas na tentativa de aproximar ao máximo o desenho (Figura 5.6) em relação ao diagrama de radiação horizontal da antena Tx (Figura 5.5)

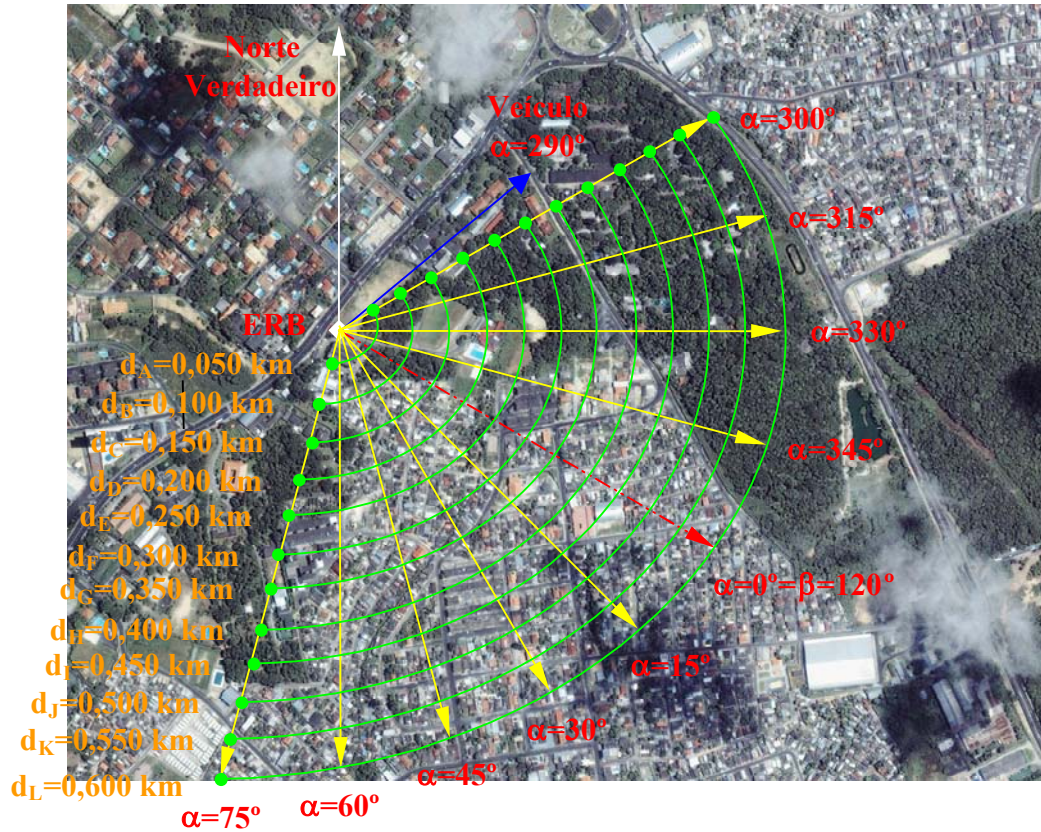


Figura 5.6 - Área de cobertura do setor 1 da antena Tx do site estudado no bairro de Petrópolis.

Aplicando o mesmo diagrama de radiais e arcos mostrado na Figura 5.6 à Figura 4.2, tem-se a Figura 5.7 que mostra as curvas de níveis da área, na qual as faixas do relevo apresentam diferentes níveis de altitude em relação ao nível do mar. Cada ponto de intersecção entre um raio α e um arco d , representa o valor de um nível h_{Nivel} que, quando considerado no triângulo A, B e C da Figura 5.4, determina o valor do $G_{TDV\phi}$.

Tabela 5.2 - Altimetria ($h_{Nível}$) da área com valores em metro.

d (Km)	h_{Level} (300°)	h_{Level} (315°)	h_{Level} (330°)	h_{Level} (345°)	h_{Level} (0°)	h_{Level} (15°)	h_{Level} (30°)	h_{Level} (45°)	h_{Level} (60°)	h_{Level} (75°)
0,050	0	0	-8	-8	-8	-8	-8	0	0	0
0,100	0	-8	-21	-21	-21	-21	-21	-8	-8	-8
0,150	-8	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-8	-8
0,200	0	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-8	-8
0,250	0	-21	-21	-33	-33	-21	-21	-21	-8	-21
0,300	0	-21	-21	-21	-21	-33	-33	-21	-21	-21
0,350	0	0	-21	-21	-21	-21	-33	-21	-21	-21
0,400	3	0	0	-8	-21	-21	-33	-33	-21	-21
0,450	3	0	0	0	-21	-33	-33	-33	-33	-21
0,500	3	0	0	-8	-21	-21	-21	-33	-33	-33
0,550	3	0	0	-21	-21	-21	-21	-21	-33	-33
0,600	3	0	0	-21	-21	-21	-21	-21	-33	-33

Para esta nova situação é necessário o ajuste de (5.3), ficando

$$\Delta h_{Base} = h_{Base} - \Delta h_{Móvel} \quad (5.46)$$

em que:

h_{Base} = altura da torre da ERB + antena, em m,

$$\Delta h_{Móvel} = h_{Móvel} + h_{Nível} \quad (5.47)$$

sendo:

$h_{Móvel}$ = altura do veículo em m,

$h_{Nível}$ = o nível da posição da medição em relação ao nível do mar.

O valor de $\Delta h_{Nível}$ define o valor do ângulo ϕ e, conseqüentemente, também define o valor do ganho da antena naquele ponto de medição.

Aplicando os valores da Tabela 5.2 aos parâmetros correspondentes em (5.11) e (5.12), para a frequência $f = 879$ MHz e a abertura $\alpha = 300^\circ$, tem-se o resultado mostrado na Figuras 5.8.

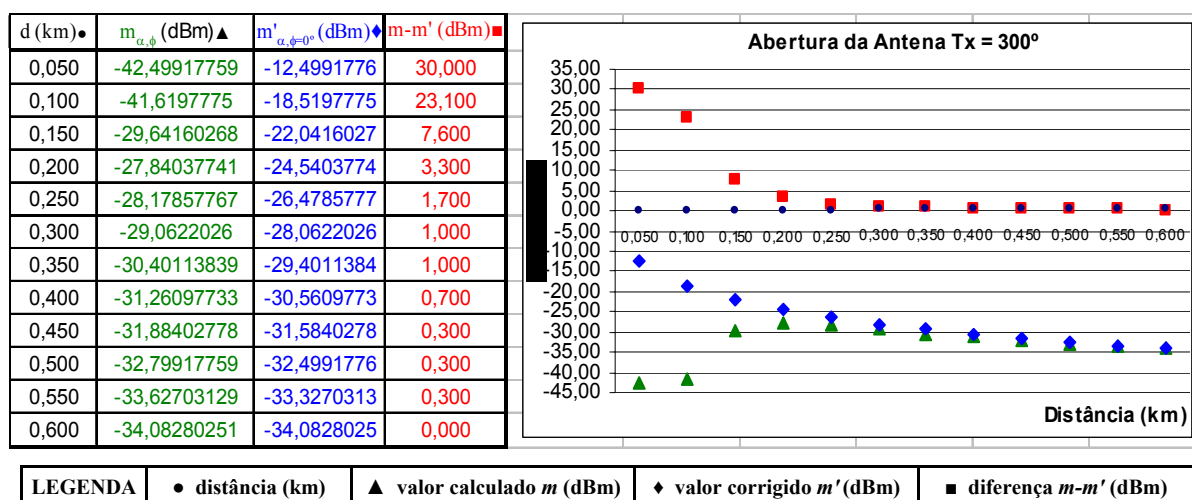


Figura 5.8 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 300^\circ$.

Os valores das distâncias de afastamento da ERB presentes na primeira coluna da esquerda das tabelas, formam a linha de referência horizontal dos gráficos das figuras. O gráfico dos valores calculados de m tem comportamento irregular em função dos desníveis do relevo da área. O gráfico dos valores corrigidos m' tem um decréscimo suave ao longo do percurso, tendo valores praticamente estáveis nas distâncias mais longas. A diferença $m' - m$ se torna mínima a partir de uma determinada distância. Na Figura 5.8 esta situação ocorre a partir de 350 m.

Os resultados dos outros valores da Tabela 5.2 aplicados aos parâmetros correspondentes em (5.11) e (5.12), para a frequência $f = 879$ MHz nas aberturas de $\alpha = 315^\circ$ até $\alpha = 75^\circ$ estão presentes nas tabelas e gráficos das Figuras 5.9 até 5.17.

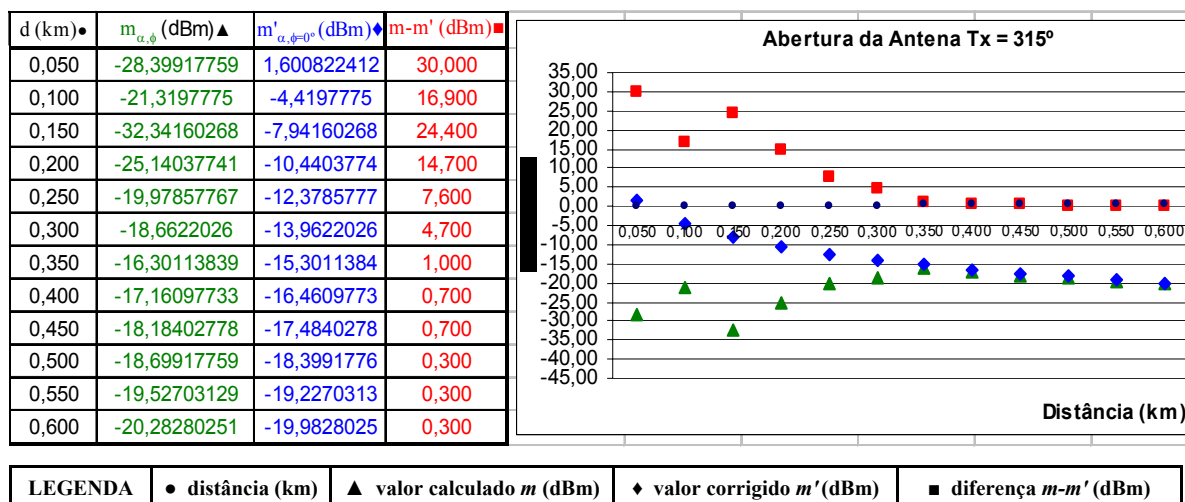


Figura 5.9 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 315^\circ$.

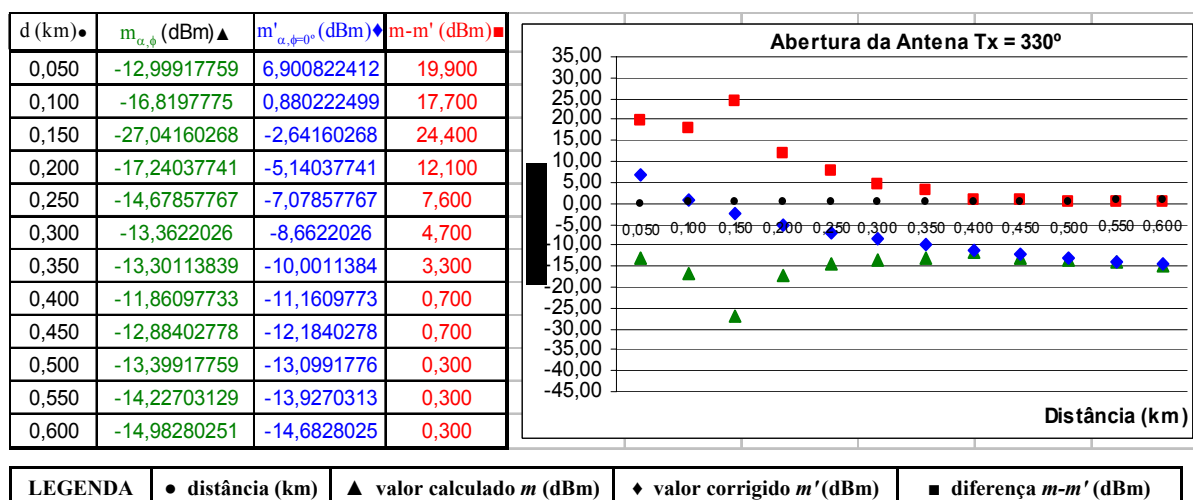


Figura 5.10 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 330^\circ$.

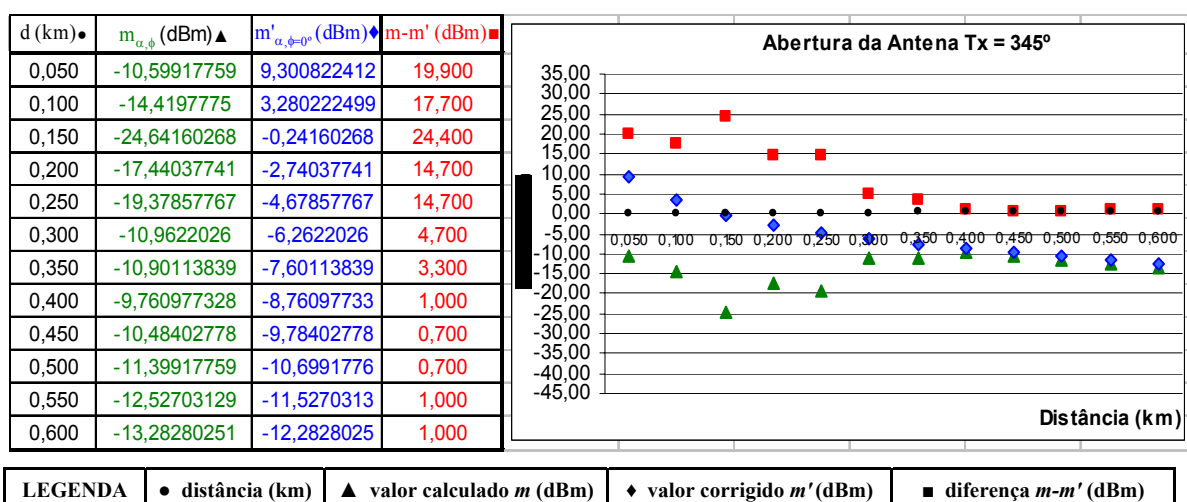


Figura 5.11 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 345^\circ$.

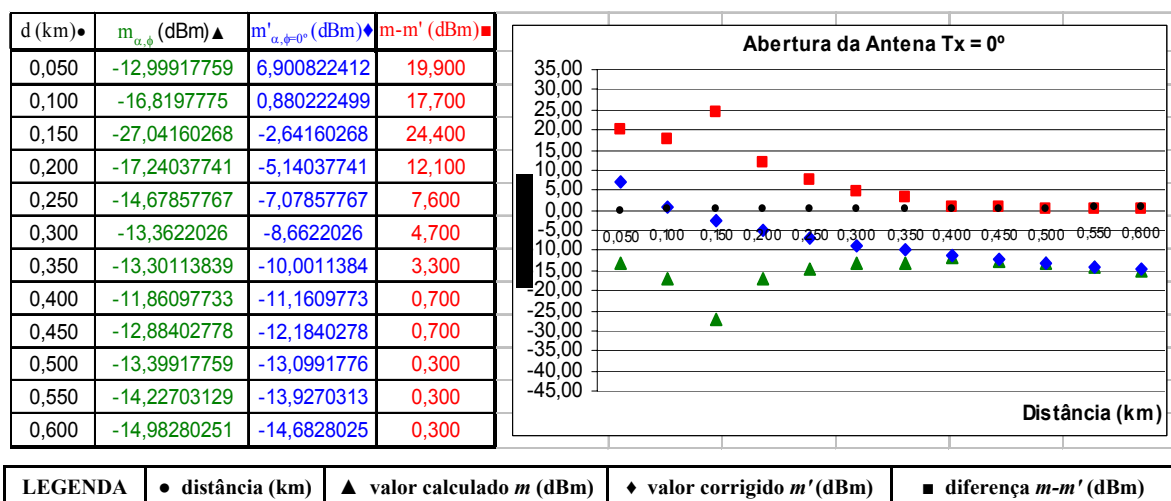


Figura 5.12 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 0^\circ$.

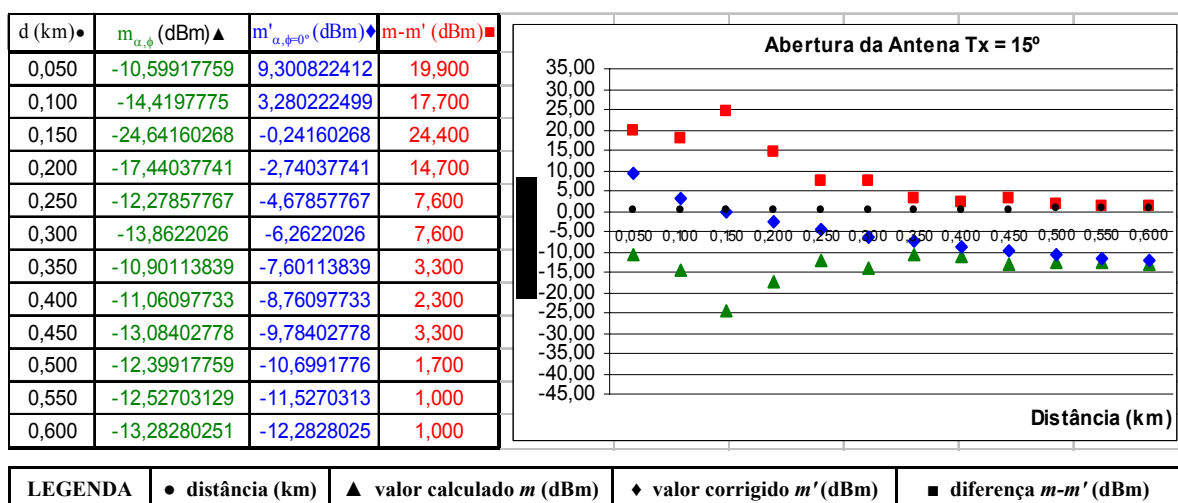


Figura 5.13 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 15^\circ$.

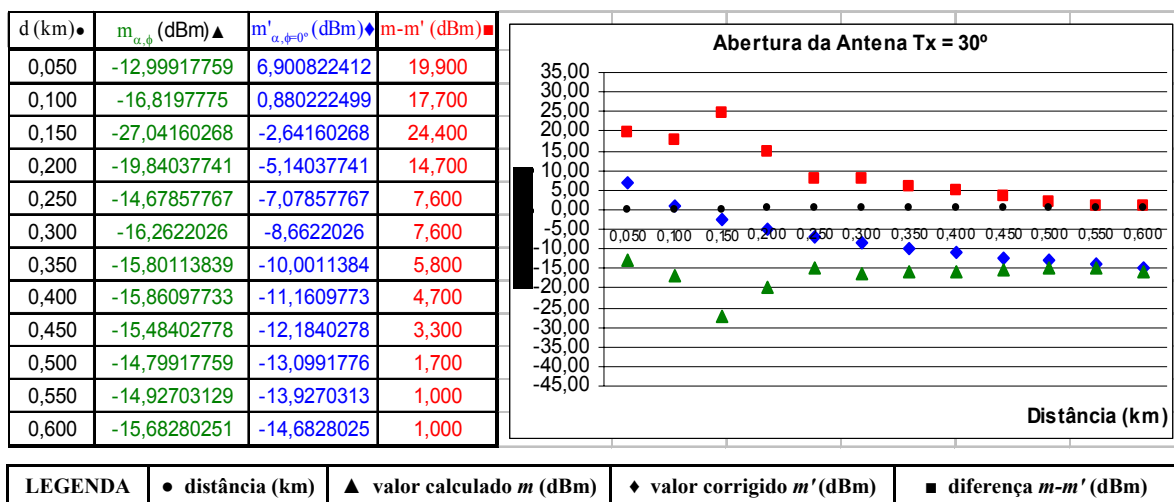


Figura 5.14 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 30^\circ$.

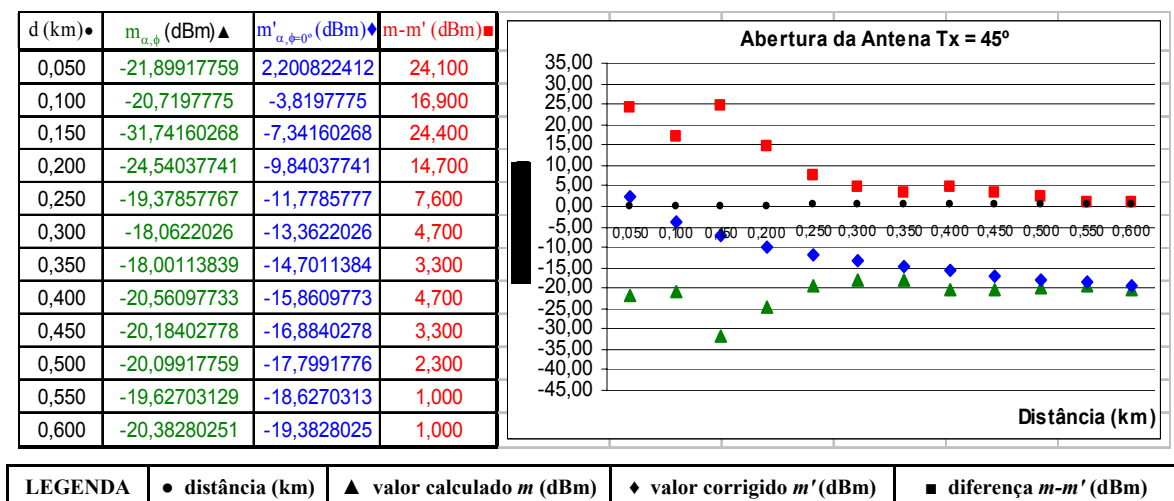


Figura 5.15 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 45^\circ$.

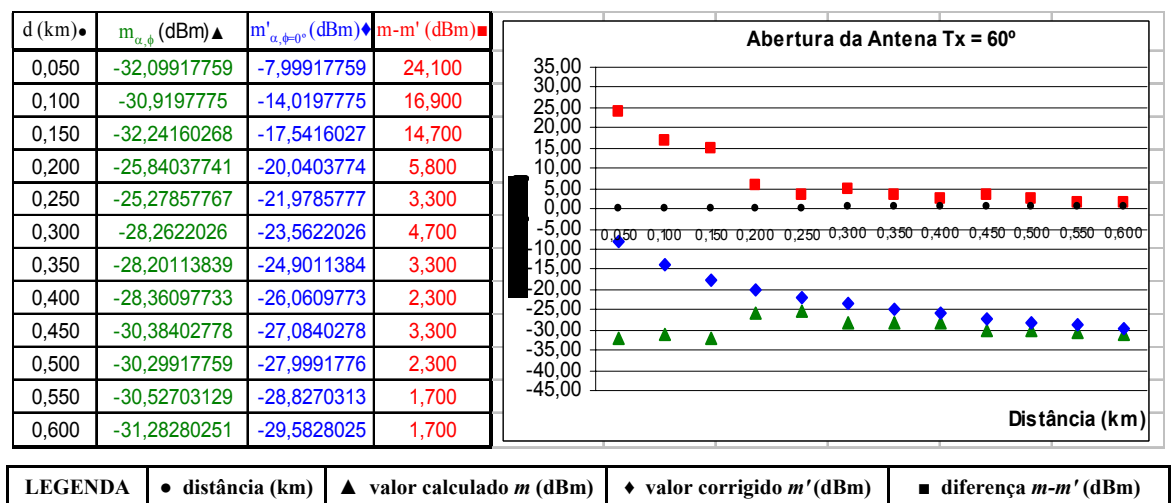


Figura 5.16 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 60^\circ$.

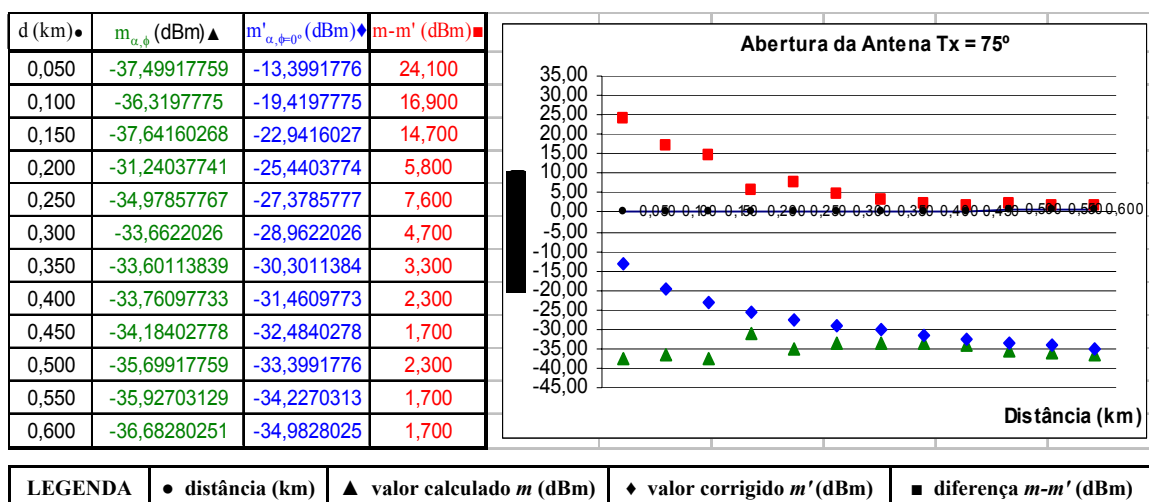


Figura 5.17 - Tabela e gráfico do comportamento da potência do sinal x distância em $\alpha = 75^\circ$.

Agrupando os valores calculados de m' , desde o ângulo $\alpha=300^\circ$ até $\alpha=75^\circ$, tem-se a Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Agrupamento dos valores de m' .

d (km)	$m'_{\alpha=300^\circ}$ (dBm)	$m'_{\alpha=315^\circ}$ (dBm)	$m'_{\alpha=330^\circ}$ (dBm)	$m'_{\alpha=345^\circ}$ (dBm)	$m'_{\alpha=0^\circ}$ (dBm)	$m'_{\alpha=15^\circ}$ (dBm)	$m'_{\alpha=30^\circ}$ (dBm)	$m'_{\alpha=45^\circ}$ (dBm)	$m'_{\alpha=60^\circ}$ (dBm)	$m'_{\alpha=75^\circ}$ (dBm)
0,050	-12,49917759	1,60082241	6,90082241	9,30082241	6,90082241	9,30082241	6,90082241	2,20082241	-7,99917759	-13,3991776
0,100	-18,5197775	-4,4197775	0,8802225	3,2802225	0,8802225	3,2802225	0,88022249	-3,8197775	-14,0197775	-19,4197775
0,150	-22,04160268	-7,94160268	-2,64160268	-0,24160268	-2,64160268	-0,24160268	-2,64160268	-7,34160268	-17,5416027	-22,9416027
0,200	-24,54037741	-10,4403774	-5,14037741	-2,74037741	-5,14037741	-2,74037741	-5,14037741	-9,84037741	-20,0403774	-25,4403774
0,250	-26,47857767	-12,3785777	-7,07857767	-4,67857767	-7,07857767	-4,67857767	-7,07857767	-11,7785777	-21,9785777	-27,3785777
0,300	-28,0622026	-13,9622026	-8,6622026	-6,2622026	-8,6622026	-6,2622026	-8,66220259	-13,3622026	-23,5622026	-28,9622026
0,350	-29,40113839	-15,3011384	-10,0011384	-7,60113839	-10,0011384	-7,60113839	-10,00113839	-14,7011384	-24,9011384	-30,3011384
0,400	-30,56097733	-16,4609773	-11,1609773	-8,76097733	-11,1609773	-8,76097733	-11,16097733	-15,8609773	-26,0609773	-31,4609773
0,450	-31,58402778	-17,4840278	-12,1840278	-9,78402778	-12,1840278	-9,78402778	-12,18402778	-16,8840278	-27,0840278	-32,4840278
0,500	-32,49917759	-18,3991776	-13,0991776	-10,6991776	-13,0991776	-10,6991776	-13,09917759	-17,7991776	-27,9991776	-33,3991776
0,550	-33,32703129	-19,2270313	-13,9270313	-11,5270313	-13,9270313	-11,5270313	-13,92703129	-18,6270313	-28,8270313	-34,2270313
0,600	-34,08280251	-19,9828025	-14,6828025	-12,2828025	-14,6828025	-12,2828025	-14,68280251	-19,3828025	-29,5828025	-34,9828025

Representando-se os valores de m' da Tabela 5.3 em um gráfico, tem-se como resultado o mostrado na Figura 5.18.

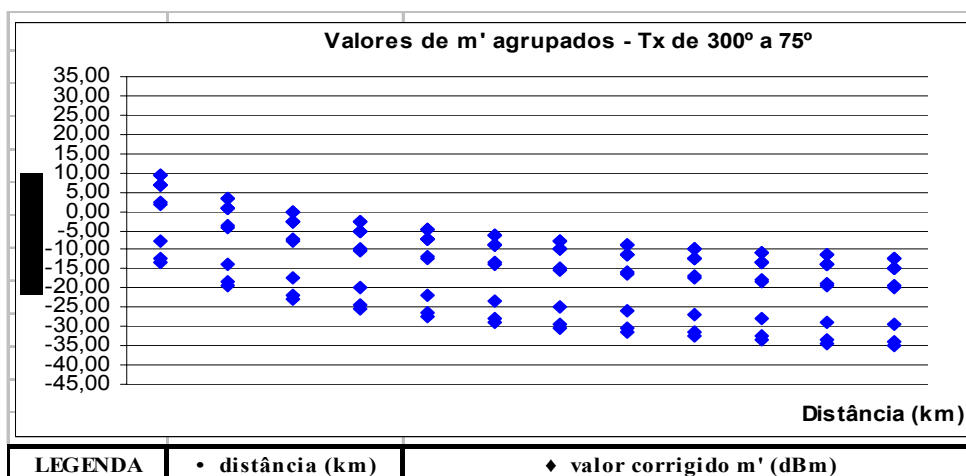


Figura 5.18 - Gráfico que reúne os valores m' .

Por meio dos gráficos da Figura 5.18 observa-se que os valores de m' têm pequenas diferenças de amplitudes em cada uma das distâncias, porém, apresentam o mesmo comportamento independente do ângulo. Ajustando os valores de m' para valores positivos por meio da soma do valor obtido para cada ângulo e em cada distância ao valor positivo da potência do sinal na distância de 0,6 km com + 0,5, obtém-se a Tabela 5.4. O valor adicional + 0,5 é para evitar que qualquer ponto do gráfico fique com o valor igual a zero.

Tabela 5.4 - Diagrama de dispersão dos valores de m' ajustados para valores positivos.

d (km)	m' ajustado (dBm)	m' ajustado (dBm)	m' ajustado (dBm)	m' ajustado (dBm)	m' ajustado (dBm)	m' ajustado (dBm)	m' ajustado (dBm)	m' ajustado (dBm)	m' ajustado (dBm)	m' ajustado (dBm)
0,050	22,081	22,081	22,081	22,081	22,081	18,981	22,081	22,081	22,081	22,081
0,100	16,060	16,060	16,060	16,060	16,060	12,960	16,060	16,060	16,060	16,060
0,150	12,538	12,538	12,538	12,538	12,538	9,438	12,538	12,538	12,538	12,538
0,200	10,040	10,040	10,040	10,040	10,040	6,940	10,040	10,040	10,040	10,040
0,250	8,101	8,101	8,101	8,101	8,101	5,001	8,101	8,101	8,101	8,101
0,300	6,518	6,518	6,518	6,518	6,518	3,418	6,518	6,518	6,518	6,518
0,350	5,179	5,179	5,179	5,179	5,179	2,079	5,179	5,179	5,179	5,179
0,400	4,019	4,019	4,019	4,019	4,019	0,919	4,019	4,019	4,019	4,019
0,450	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	-0,104	2,996	2,996	2,996	2,996
0,500	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	-1,019	2,081	2,081	2,081	2,081
0,550	1,253	1,253	1,253	1,253	1,253	-1,847	1,253	1,253	1,253	1,253
0,600	0,497	0,497	0,497	0,497	0,497	-2,603	0,497	0,497	0,497	0,497

Dispondo os valores da Tabela 5.4 em um gráfico, tem-se a Figura 5.19.

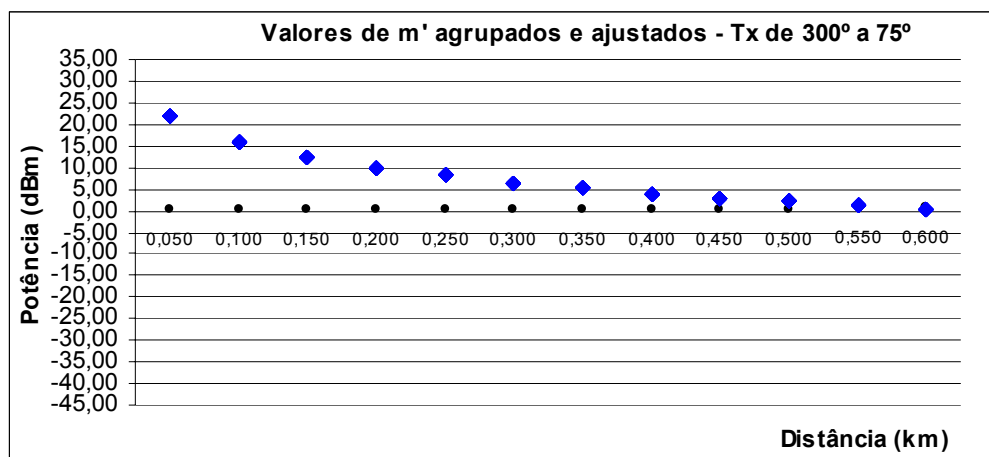


Figura 5.19 - Gráfico de dispersão de m' ajustado para valores positivos.

O gráfico da Figura 5.19 apresenta apenas uma linha, comportamento já esperado tendo em vista que na Tabela 5.4 para cada distância os sinais apresentam a mesma amplitude, independentemente do ângulo de medição. Analisando este gráfico, tem-se que o mesmo descreve uma função do tipo

$$f(x) = k_1 \cdot x^{-\rho} \quad (5.48)$$

em que os valores de k_1 e de ρ são posteriormente definidos.

Para se obter o valor final de m' não ajustado é necessário agregar o parâmetro k_2 , gerando a função

$$\varphi(x) = k_2 + k_1 \cdot x^{-\rho}. \quad (5.49)$$

Agrupando os valores inicial e final das potências dos sinais listados na Tabela 5.3, para os ângulos e distâncias estudados, tem-se a Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Valores inicial e final das potências dos sinais listados na Tabela 5.3.

d (km)	0,050	0,100	0,150	...	0,500	0,550	0,600
$\alpha=300^\circ$	-12,49	-18,51	-22,04	...	-32,49	-33,27	-34,08
$\alpha=315^\circ$	1,6	-4,41	-7,94	...	-18,39	-19,22	-19,98
$\alpha=330^\circ$	6,9	0,88	-2,64	...	-13,09	-13,92	-14,68
$\alpha=345^\circ$	9,3	3,28	-0,24		-10,69	-11,52	-12,28
$\alpha=0^\circ$	10	3,98	0,45	...	-9,99	-10,82	-11,58
$\alpha=15^\circ$	9,3	3,28	-0,24		-10,69	-11,52	-12,28
$\alpha=30^\circ$	6,9	0,88	-2,64	...	-13,09	-13,92	-14,68
$\alpha=45^\circ$	2,2	-3,81	-7,34	...	-17,79	-18,62	-19,38
$\alpha=60^\circ$	-7,99	-14,01	-17,54	...	-27,99	-28,82	-29,58
$\alpha=75^\circ$	-13,39	-19,41	-22,94	...	-33,39	-34,22	-34,98

Observando a Tabela 5.5, constata-se que há uma correspondência, por aproximação, entre os valores inicial e final em determinados ângulos. Esses valores quando agrupados, formam as classes dos valores de k_2 , que definem o posicionamento da curva no gráfico sem a correção do valor de m' . Na Tabela 5.6 mostram-se os valores definidos para k_2 .

Tabela 5.6 - Definição dos valores de k_2 .

α	k_2
$\alpha=300^\circ$	a = -31,83
$\alpha=60^\circ$	
$\alpha=75^\circ$	
$\alpha=315^\circ$	b = -19,68
$\alpha=45^\circ$	
$\alpha=330^\circ$	c = -12,84
$\alpha=345^\circ$	
$\alpha=0^\circ$	
$\alpha=15^\circ$	
$\alpha=30^\circ$	

Como os valores que se busca são função da distância d , então tem-se:

$$g(d) = k_1 \cdot d^{-\rho} . \quad (5.50)$$

Sendo $g(d)$ uma função cuja expressão substitui "m' corrigido".

O valor de ρ é definido por

$$-\rho = \frac{\log g(d)}{\log(d)} . \quad (5.51)$$

Na busca dos possíveis valores de ρ utiliza-se a Tabela 5.4. Como resultado tem-se o que mostra a Figura 5.20.

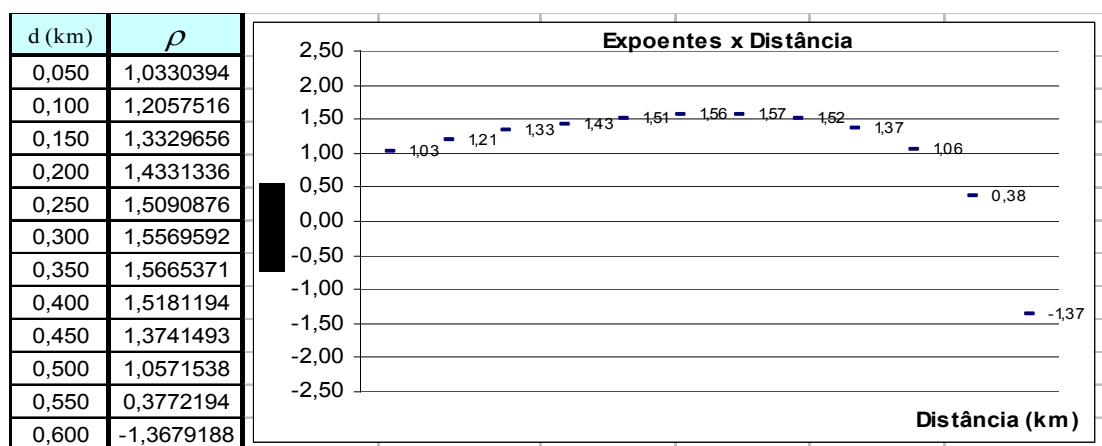


Figura 5.20 - Valores de ρ para as distâncias de 0,05 a 0,6 km e seu gráfico.

Os valores de ρ apresentam uma diferença de até 2,93 entre o valor máximo e o valor mínimo. A aplicação de qualquer um valor escolhido na tabela da Figura 5.20 aplicado em (5.48) proporciona uma curva com erro acentuado em alguma distância.

Pela necessidade de se ajustar os valores da Figura 5.20 a uma função que seja a melhor aproximação para os valores tabelados e que permita extrapolar com uma certa margem de segurança, aplica-se o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)[42].

Colocando (5.50) na forma logarítmica de base 10, obtêm-se:

$$\log g(d) = \log(k_1 \cdot d^{-\rho}) . \quad (5.52)$$

Admitindo que $\bar{g}(d)$ seja uma expressão que represente qualquer valor de m' e em qualquer distância, calcula-se o valor de m' por meio de

$$\bar{g}(d) = \log k_1 - \rho \cdot \log d . \quad (5.53)$$

Considerando $K = \log k_1$, tem-se:

$$\bar{g}(d) = K - \rho \cdot \log d . \quad (5.54)$$

A expressão final para o cálculo do valor de m' não ajustado para valor positivo, ou seja, na sua posição original no gráfico como mostrado nas Figuras 5.8 a 5.17, tem a forma

$$\bar{g}(d) = k_{2(\alpha)} + K - \rho \log(d) \quad (5.55)$$

O objetivo da aplicação do MMQ é encontrar os coeficientes K e ρ , de modo que a função de (5.49) aproxime-se ao máximo de (5.48).

Na Figura 5.20 vê-se que existem pelo menos doze diferentes valores de ρ . Para o cálculo de qualquer valor de m' , sempre surge um valor de erro \mathcal{E} . Inserindo-se esse erro em (5.54), tem-se:

$$g_i = K - \rho \cdot \log d + \varepsilon_i. \quad (5.56)$$

Em que g_i é qualquer valor de m' e $i = 1, 2, \dots, 12$.

$$\varepsilon_i = g_i - K + \rho \cdot \log d. \quad (5.57)$$

O MMQ consiste em uma ferramenta matemática que auxilia na escolha dos coeficientes K e ρ de tal forma que a soma dos quadrados dos erros seja mínima. Denominando o quadrado do somatório dos erros de J , tem-se:

$$J = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i)^2. \quad (5.58)$$

$$J = \sum_{i=1}^n (g_i - K + \rho \cdot \log d)^2. \quad (5.59)$$

Para minimizar o erro deve-se obter um ponto de mínimo da função para encontrar seus pontos críticos. Inicialmente deriva-se a função J em relação a K e a ρ .

$$\begin{cases} \frac{\partial J}{\partial K} = -2 \sum_{i=1}^n (g_i - K + \rho \cdot \log d) \\ \frac{\partial J}{\partial \rho} = 2 \sum_{i=1}^n (g_i - K + \rho \cdot \log d) \cdot \log d \end{cases} \quad (5.60)$$

Em seguida, iguala-se $\frac{\partial J}{\partial K} = 0$ e $\frac{\partial J}{\partial \rho} = 0$ e obtêm-se:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (g_i - K + \rho \cdot \log d) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (g_i \cdot \log d - K \cdot \log d + \rho \cdot \log^2 d) = 0 \end{cases} \quad (5.61)$$

Considerando-se $\sum_{i=1}^n K = n.K$, tem-se:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n g_i - n.K + \rho \cdot \sum_{i=1}^n \log d = 0 \\ \sum_{i=1}^n g_i \cdot \log d - K \cdot \sum_{i=1}^n \log d + \rho \cdot \sum_{i=1}^n \log^2 d = 0 \end{cases} \quad (5.62)$$

$$\begin{cases} \rho \cdot \sum_{i=1}^n \log d - n.K = -\sum_{i=1}^n g_i \\ \rho \cdot \sum_{i=1}^n \log^2 d - K \sum_{i=1}^n \log d = -\sum_{i=1}^n g_i \log d. \end{cases} \quad (5.63)$$

Diante do sistema de equações de (5.63), o valor de K é obtido multiplicando-se a primeira equação por $-\log d$, obtendo:

$$\rho = \frac{n.K - \sum_{i=1}^n g_i}{\sum_{i=1}^n \log d}. \quad (5.64)$$

Substituindo (5.63) na segunda equação de (5.62), tem-se:

$$\frac{n.K - \sum_{i=1}^n g_i}{\sum_{i=1}^n \log d} \cdot \sum_{i=1}^n \log^2 d - K \sum_{i=1}^n \log d = -\sum_{i=1}^n g_i \log d. \quad (5.65)$$

Multiplicando (5.65) por $\sum_{i=1}^n \log d$, tem-se:

$$n.K \cdot \sum_{i=1}^n \log^2 d - \sum_{i=1}^n g_i \cdot \sum_{i=1}^n \log^2 d - K \left(\sum_{i=1}^n \log d \right)^2 = - \left(\sum_{i=1}^n g_i \cdot \log d \right) \left(\sum_{i=1}^n \log d \right). \quad (5.66)$$

$$K \left[n \cdot \sum_{i=1}^n \log^2 d - \left(\sum_{i=1}^n \log d \right)^2 \right] = \sum_{i=1}^n g_i \cdot \sum_{i=1}^n \log^2 d - \left(\sum_{i=1}^n g_i \cdot \log d \right) \left(\sum_{i=1}^n \log d \right). \quad (5.67)$$

O melhor valor de K a ser aplicado é definido por:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot \sum_{i=1}^n \log^2 d - \left(\sum_{i=1}^n g_i \cdot \log d \right) \left(\sum_{i=1}^n \log d \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n \log^2 d - \left(\sum_{i=1}^n \log d \right)^2}. \quad (5.68)$$

Substituindo o valor de (5.68) em (5.64), encontra-se o melhor valor de ρ a ser aplicado

$$\hat{\rho} = \frac{n \cdot \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot \sum_{i=1}^n \log^2 d - \left(\sum_{i=1}^n g_i \cdot \log d \right) \left(\sum_{i=1}^n \log d \right)}{\sum_{i=1}^n \log^2 d - \left(\sum_{i=1}^n \log d \right)^2} - \sum_{i=1}^n g_i}{\sum_{i=1}^n \log d} \quad (5.69)$$

Os valores obtidos através dos cálculos de (5.68) e (5.69), demonstrados no Apêndice E, foram:

$$\hat{K} = -3,93. \quad (5.70)$$

$$\hat{\rho} = 20. \quad (5.71)$$

Inserindo em (5.55) os valores a Tabela 5.6 e os calculados por meio de (5.70) e (5.71), tem-se:

$$g(d) = \begin{cases} -31,83 - 3,93 - 20 \log(d) & \text{para } \alpha = 60^\circ, 75^\circ \text{ e } 300^\circ \\ -19,68 - 3,93 - 20 \log(d) & \text{para } \alpha = 45^\circ \text{ e } 315^\circ \\ -12,84 - 3,93 - 20 \log(d) & \text{para } \alpha = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 330^\circ \text{ e } 345^\circ \end{cases} \quad (5.72)$$

Fazendo uma simulação dos valores para as três condições de (5.72), tem-se os valores de m' conforme o resultado mostrado na Figura 5.21.

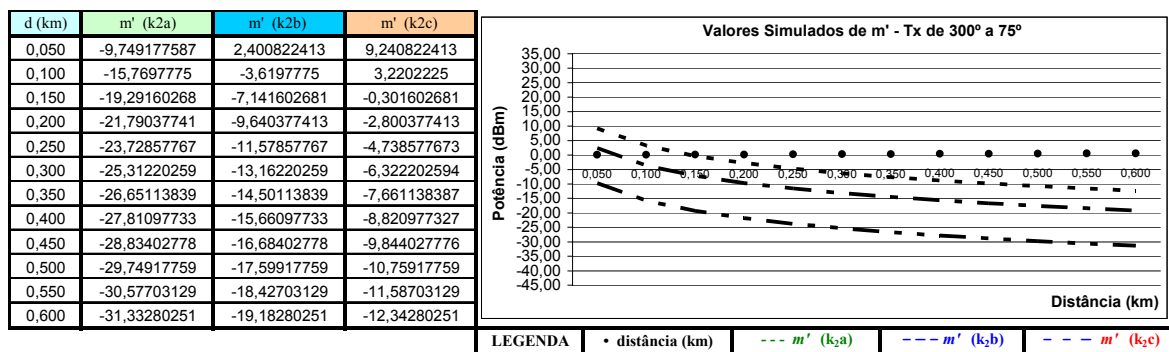


Figura 5.21 - Demonstração da simulação do cálculo de m' .

Fazendo uma comparação entre os valores de m' simulados pela expressão (5.72) e os valores anteriormente calculados, pode-se fazer uma avaliação da aproximação dos resultados encontrados pela simulação.

A Figura 5.22 mostra a comparação entre os valores simulados de m' , onde é usado o valor de k_{2a} , e os valores mostrados nas Figuras 5.8, 5.16 e 5.17, correspondentes aos valores de m' nos ângulos $\alpha = 300^\circ, 60^\circ$ e 75° . A curva dos valores simulados de m' se adapta perfeitamente à curva dos valores de m' .

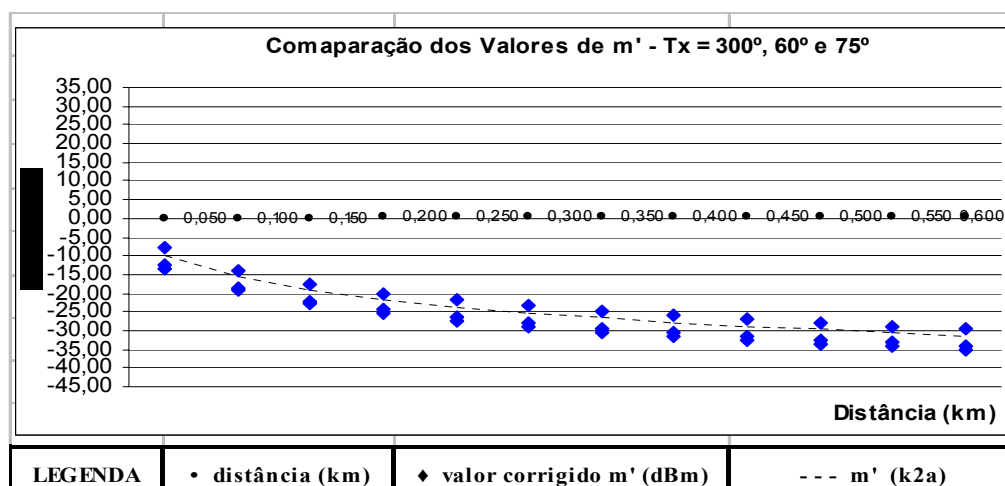


Figura 5.22 - Comparação dos valores de m' para $\alpha = 300^\circ, 60^\circ$ e 75° .

Na Figura 5.23 a comparação é feita entre o valor simulado de m' e os dados anteriores de m' nos ângulos $\alpha = 315^\circ$ e 45° . O valor simulado é confundido com os valores de m' .

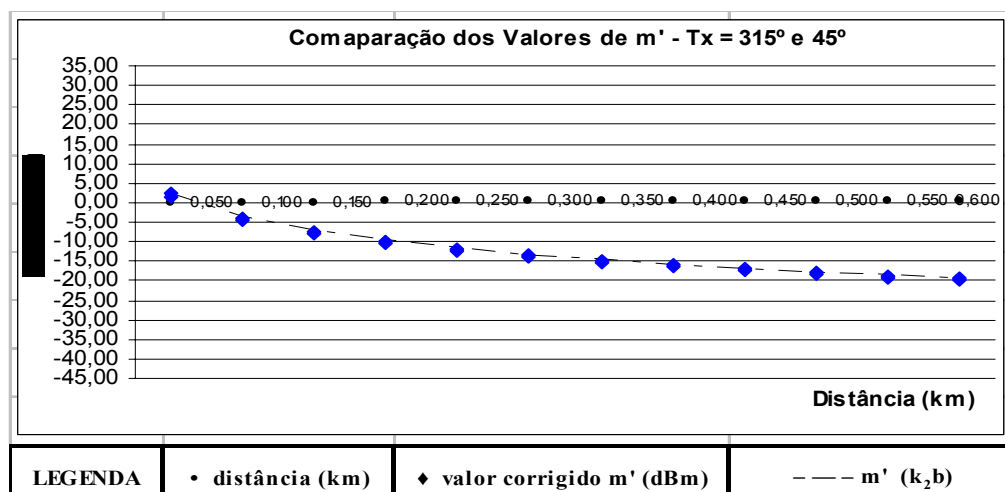


Figura 5.23 - Comparação dos valores de m' para $\alpha = 315^\circ$ e 45° .

Na Figura 5.24 os valores simulados de m' para $\alpha = 330^\circ, 345^\circ, 0^\circ, 15^\circ$ e 30° também se confundem com os valores de m' já existentes no gráfico.

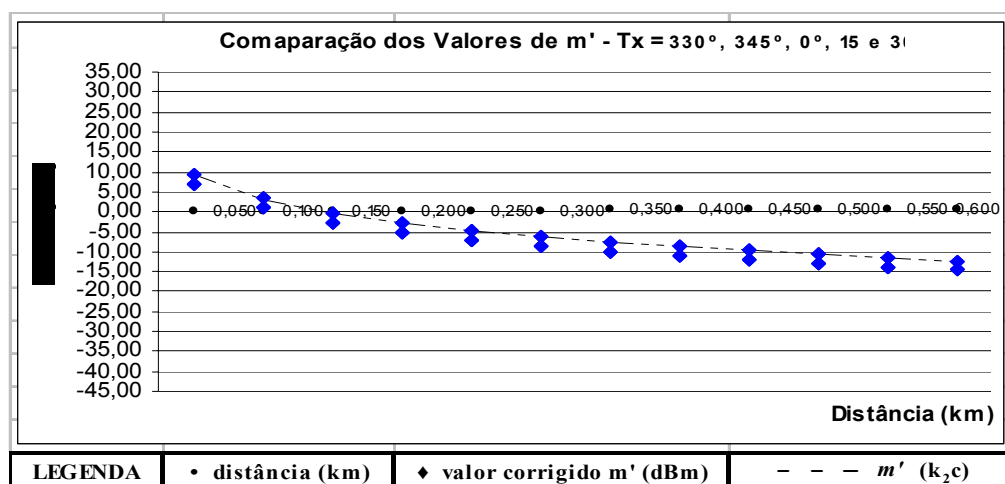


Figura 5.24 - Comparação dos valores de m' para $\alpha = 330^\circ, 345^\circ, 0^\circ, 15^\circ$ e 30° .

A mesma simulação pode ser feita para qualquer ângulo e qualquer frequência nas faixas de 869 a 880 MHz e de 890 a 891,5 MHz, conforme programa do Apêndice H.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Considerações Finais

Foi observado que as antenas transmissoras das estações dos serviços de Radiodifusão Sonora (OM-OT-OC/AM) encontram-se, na maioria dos casos, localizadas nas regiões periféricas da cidade, enquanto que as antenas transmissoras das estações dos serviços de Radiodifusão Sonora (VHF/FM) e as antenas transmissoras das estações dos serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens (VHF-UHF/TV), estão, geralmente, localizadas nas regiões mais elevadas da cidade, ou até mesmo, instaladas no topo de edifícios, ou seja, dentro de um determinado distanciamento entre o usuário e o equipamento transmissor. Além disso, o número de estações transmissoras aumenta numa velocidade que pouco desperta a atenção do público.

As antenas Tx/Rx das estações Rádio Base da telefonia móvel situam-se, de maneira geral, mais próximas das pessoas, em sítios reservados em espaços adjacentes às residências e em alguns casos nos topos dos prédios. O número dessas antenas aumenta significativamente a cada seis meses ou para atender a demanda nos serviços já existentes ou pela entrada em operação de um novo serviço e esses fatos agradam a uns pelas comodidades oferecidas pelos serviços, porém, desagradam a outros, principalmente aqueles que residem ou trabalham próximos às torres dos citados serviços, pela desconfiança dos efeitos biológicos que as microondas que transitam no sistema possam lhe causar, trazendo problemas de saúde [43].

Durante a pesquisa de campo, mais exatamente durante o mapeamento das antenas, observou-se que as pessoas, de maneira geral, revelam pouca preocupação em relação às antenas das estações de radiodifusão, embora convivam próximos delas. Porém, tal preocupação é muito presente em relação às antenas das estações Rádio Base das prestadoras dos serviços de telefonia móvel. Foi um fato curioso que, por diversas vezes, a

equipe foi confundida com "agentes do governo fazendo fiscalização", provavelmente pela observação de um carro coberto de equipamentos eletrônicos e antenas. As pessoas se aproximavam e faziam relatos interessantes, como, por exemplo, o de um cidadão, cuja residência situa-se numa elevação do bairro e que, numa área muito próxima à essa elevação, foi instalada uma torre de uma operadora de telefonia móvel, cujas antenas ficaram próximas de sua residência. Segundo o morador, todas as vezes que sua neta de quatro anos ficava, no fim de semana, em sua companhia, ela adoecia, fato que não ocorria antes da instalação da antena. Outro relato interessante ocorreu, em outro local, quando a equipe foi procurada por uma líder comunitária solicitando a subscrição a um abaixo-assinado preparado pela comunidade, solicitando a imediata remoção de uma torre com antenas de uma operadora de telefonia móvel, pois, segundo ela, após cinco anos de sua instalação, três moradores das proximidades haviam falecido de câncer e já havia novos casos diagnosticados.

6.2 Contribuições do trabalho

- O mapeamento elaborado conforme consta no Capítulo 3, pelo seu grau de precisão e pelo seu conjunto de informações, auxiliou uma prestadora de serviços de telefonia móvel na correção e complementação do mapeamento das suas ERB.
- No Capítulo 4 foi constatado que, estatisticamente, em nenhuma área estudada o somatório da medição dos valores dos níveis de potência dos sinais de telefonia móvel é superior ao somatório dos níveis dos sinais de radiodifusão;
- No Capítulo 5 foi proposto um modelo para a predição de sinais na faixa de 800 MHz para ambientes urbanos.

6.3 Sugestões

- A falta de informação ao público em geral sobre os efeitos causados pelas microondas existentes na telefonia celular tem sido um assunto pouco explorado pela mídia. Exatamente pela falta de informação tem sido inevitável a comparação deste fato com as microondas geradas nos fornos

domésticos, que operam com potências de radiação superior ao que pode ser emitido por um aparelho celular. Há, portanto, uma urgente necessidade de esclarecimento geral, até então, omitido pelas prestadoras de serviços e também pela agência reguladora do mesmo [44].

- Uma forma de se evitar o elevado crescimento da instalação de torres para suportar as antenas da telefonia móvel, seria a de intensificar o compartilhamento das mesmas entre as operadoras.

6.4 Perspectivas Futuras

Sugere-se que pesquisas semelhantes a esta sejam realizadas em outros centros urbanos e que os resultados sejam estudados, comparados, enfim, investigados com maior intensidade.

Apêndice A

A.1 Pesquisa de Campo

Curso de Mestrado em Telecomunicações
Departamento de Eletrônica e Sistemas - UFPE

Orientador: Prof. Valdemar Cardoso da Rocha Jr.
Prof. Marcelo Sampaio de Alencar

Mestrando: João Renato Aguiar

Tema: Sistemas de Telefonia Móvel Celular operando
na Cidade de Manaus

Assunto: Pesquisa de Campo

Atividade: Questionário

QUESTIONÁRIO - Banda

01 - Qual a potência média de cada antena omnidirecional?

R -

02 - Qual a potência média de cada antena de uma ERB setorizada em 120°?

R -

03 - Qual a potência média de cada antena de uma ERB setorizada em 60°?

R -

04 - Qual o raio média de cada célula?

R -

05 - Qual a distância média entre as ERB?

R -

06 - Qual a porcentagem aproximada do mecanismo de comunicação entre CCC \Leftrightarrow ERB?

- Link de microondas%
- Cabos ópticos%
- Cabos coaxiais%

07 - Qual a porcentagem aproximada do mecanismo de comunicação entre ERB \Leftrightarrow ERB?

- Link de microondas%
- Cabos ópticos%
- Cabos coaxiais%

08 - Qual a altura média da torre da ERB?

R -

09 - Quais as interferências mais frequentes ao sistema? Classifique-as pela porcentagem aproximada de ocorrência:

-%
-%
-%

10 - Qual o número aproximado de usuários por ERB? Classifique-os pela quantidade aproximada de usuários nos clusters:

- Metropolitanos:usuários
- Urbanos:usuários
- Sub-urbanosusuários
- Ruraisusuários

Número aproximado de usuários do sistema:

Apêndice B

B.1 Ferramentas de Medição

Para as medições dos sinais elétricos, foram utilizados equipamentos como analisador de espectro de RF, receptores de RF, microcomputadores, monitores, baterias, inversores, antenas e impressora.

Equipamentos Utilizados na Medição de Radiodifusão Sonora (OM-OT-OC/AM)

Conjunto Receptor (Radiodifusão Sonora - AM)

Instrumentos instalados na Unidade Móvel de Fiscalização da Anatel:

- Receptor Thomson modelo Ryan F6987 (9 kHz a 300 MHz)
- Software Thomson LG Esmeralda
- Antena Loop Thomson modelo RN 4203
- Computador Kontron Eletronics, Pentium II, 330 MHz, 110 V
- Monitor Nokia 14"
- Bateria 12 V_{DC}
- Inversor 12 V_{DC}/127 V_{AC}

Equipamentos Utilizados na Medição de Sinais de Radiodifusão Sonora (VHF/FM) e Radiodifusão de Sons e Imagens (VHF/TV)

Analisador de Espectro

Instrumento modelo HP 8594E da Hewlett Packard. É um analisador de espectro portátil, versátil capaz de medir sinais de RF, microondas e de aplicações digitais. Dispõe das seguintes características [25]:

- Largura de banda para a faixa de recepção de 9 kHz até 26,5 GHz
- Impedância de entrada de 50 Ω
- Antena omnidirecional (ajustável) 50 Ω
- Alimentação

⇒ 115 V em 50 / 60 Hz

⇒ 220 V em 50 / 60 Hz

Impressora

Instrumento modelo HP Deskjet 640P da Hewlett Packard. Trabalha com jato de tinta, sendo alimentada por 24V, 140mA, 12 Watts.

Equipamentos Utilizados na Medição de Sinais de Radiodifusão de Sons e Imagens (UHF/TV)

Analizador de Espectro

Instrumento modelo HP 8594E da Hewlett Packard. É portátil e versátil, capaz de medir sinais de RF, microondas e de aplicações digitais. Tem as seguintes características [25]:

- Largura de banda para a faixa de recepção de 9 kHz até 26,5 GHz
- Impedância de entrada de 50 Ω
- Alimentação

⇒ 115 V em 50 / 60 Hz

⇒ 220 V em 50 / 60 Hz

Impressora

Instrumento modelo HP Deskjet 640P da Hewlett Packard. Trabalha com jato de tinta, sendo alimentada por 24 V_{DC}, 140 mA, 12 W.

Antena Direcional

Antena modelo Mini Parabólica Externa da Indusat Indústria e Comércio Ltda. Tem as seguintes características:

- Ganho de 3 dB na sintonia de sinais de Radiodifusão em FM
- Ganho de 3 dB na sintonia de sinais dos canais 2 a 13
- Ganho de 9 dB na sintonia de sinais dos canais 14 a 83
- R.O.E. < 1,70 em FM
- R.O.E. < 1,70 em TV/VHF
- R.O.E. < 1,25 em TV/UHF

- Impedância de 75Ω FM, TV/VHF e TV/UHF
- Comprimento de 425 mm
- Diâmetro de 795 mm

Equipamentos Utilizados na Medição de Sinais de Telefonia Móvel UHF/SMC

Receptor SMC

Instrumento modelo HPE 7474A da Hewlett Packard. Tem os seguintes acessórios e características:

- Antena telescópica com ganho de 3dB
- Antena GPS da marca Trimble
- Cabo coaxial com atenuação de 0,25 dB/m, com 3 metros
- Alimentação 12 V_{DC}

Microcomputador portátil

Computador modelo EVO N600 da Compac. Tem as seguintes características:

- Utiliza Software Agilent E74XX, para faixa de SMC
- Alimentação 110 volts

Inversor

Inversor DC/AC modelo PROVAT 12/250V da Stat Power. Tem as seguintes características:

- Frequência: 60 Hz
- Corrente: 1,3 A
- Potência: 150 W

Equipamentos Utilizados na Medição de Sinais de Telefonia Móvel UHF/SMP

Receptor SMP

Instrumento modelo HPE 7474A da Hewlett Packard. Tem os seguintes acessórios e características:

- Antena telescópica com ganho de 3dB
- Cabo coaxial com atenuação de 0,25 dB/m, com 3 metros
- Alimentação 12 V_{DC}

Microcomputador portátil

Computador modelo 1200 da Compac Pressario. Tem as seguintes características:

- Utiliza Software Agilent E74XX, para faixa de SMP
- Alimentação 110 V_{AC}

Inversor

Inversor modelo PROVAT 150 da Stat Power. Tem as seguintes características:

- Frequência: 60 Hz
- Corrente: 1,3 A
- Potência: 150 W

Apêndice C

C.1 Técnicas de Medições

Para a realização das medições foram aplicadas várias técnicas, dependendo dos equipamentos descritos no Apêndice B mais adequados e disponíveis para fazê-las, conforme as que se seguem.

Medições de sinais de Radiodifusão

a. Faixa OM/AM - OT/AM - OC/AM

Essas medições foram realizadas utilizando-se a Unidade Móvel de Fiscalização da Anatel. Trata-se de um veículo estilo Van, da marca Mercedes, adaptado.

Equipamentos e Acessórios utilizados:

- ✓ Receptor *Thomson* modelo *Ryan F 6987* (9 kHz a 300 MHz)
- ✓ *Software Thomson LG Esmeralda*
- ✓ Antena *Loop Thomson* modelo RN 4203
- ✓ Bateria 12 V_{DC}
- ✓ Inversor 12 V_{DC}/127 V_{AC}
- ✓ Computador *Kontron Eletroniks, Pentium II*, 330MHz, 110 V_{AC}
- ✓ Monitor *Nokia 14"*

Instalação dos equipamentos e acessórios:

Os equipamentos e acessórios instalados conforme o diagrama apresentado na Figura C.1.

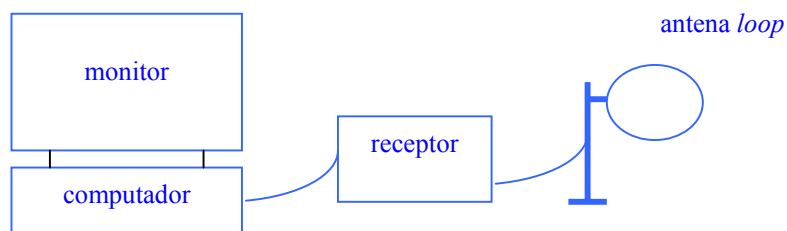


Figura C.1 - Diagrama de medição na faixa de OM - OT - OC / AM.

A bateria e o inversor foram propositadamente omitidos no diagrama.

Procedimentos para as medidas dos sinais sintonizados em OM/AM:

O *software* foi programado para que o receptor efetuasse 50 medidas na frequência de 930 kHz (Rede Evangélica Boas Novas) com filtro de 600 Hz, obtendo como resultado médio da medição o gráfico mostrado na Figura C.2:

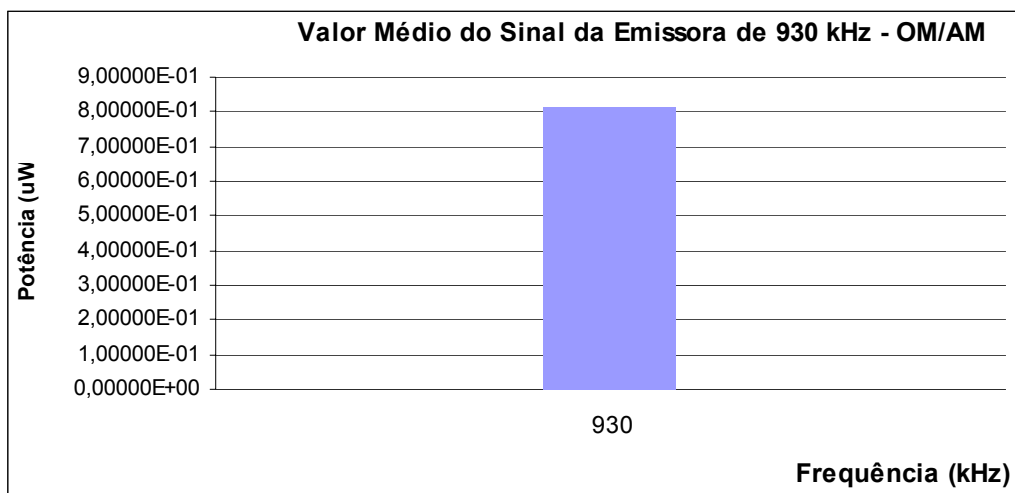


Figura C.2 - Valor médio de potência em 930 kHz - OM/AM.

O mesmo procedimento foi adotado para a medição dos sinais das outras emissoras da faixa.

Procedimentos para as medidas dos sinais sintonizados em OT/AM:

Em seguida, o *software* foi programado para que o receptor efetuasse 50 medidas na frequência de 4.805 kHz (Rádio Difusora do Amazonas Ltda.) utilizando filtro de 600 Hz, obtendo como resultado médio da medição o gráfico mostrado na Figura C.3:

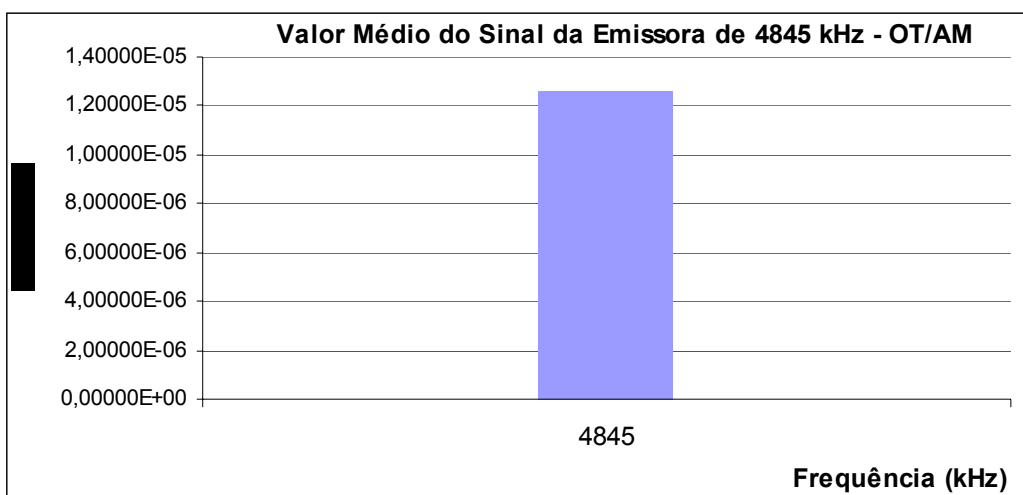


Figura C.3 - Valor médio de potência em 4.845 kHz - OT/AM.

Procedimentos semelhantes utilizam-se para a medição dos sinais das outras emissoras da faixa.

Procedimentos para as medidas dos sinais sintonizados em OC/AM:

Para essa medição, o *software* foi programado para que o receptor efetuasse 50 medidas na frequência de 6.160 kHz (Rádio Rio Mar Ltda.) com filtro de 600 Hz, obtendo como resultado médio da medição o gráfico mostrado na Figura C.4.

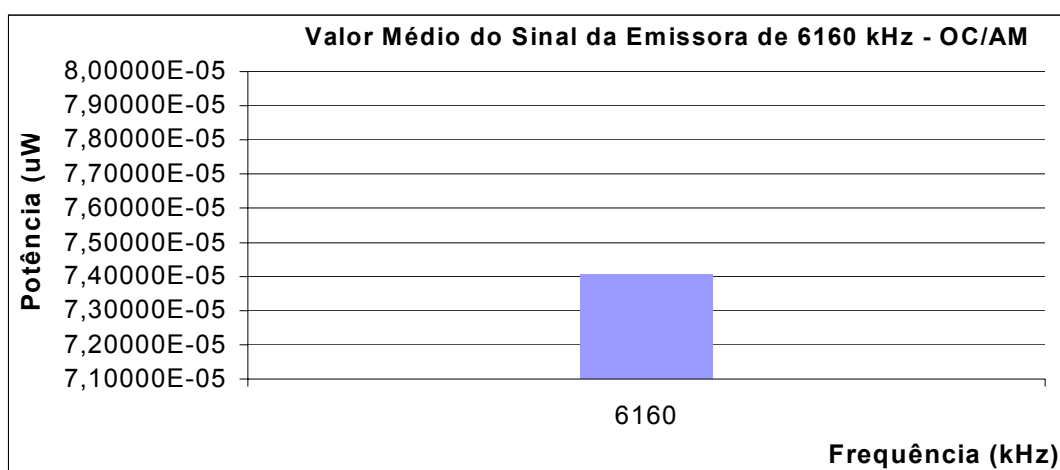


Figura C.4 - Valor médio de potência em 6.160 kHz - OC/AM.

Para a medição dos sinais das outras emissoras da faixa foram utilizados procedimentos semelhantes.

b. Faixa VHF/FM

Essas medições foram realizadas utilizando um Analisador de Espectro. Antes de serem iniciadas as medições, foram realizados os cálculos para as definições de alguns parâmetros.

A faixa de frequência atribuída ao serviço de radiodifusão sonora para VHF/FM tem os seguintes limites [8]:

- Limite inferior: 87,5 MHz
- Limite superior: 108 MHz

Levando em consideração que os recursos disponíveis no analisador em uso possibilitam a medição simultânea, usando marcas de apenas quatro curvas de sintonia, essas medições foram feitas de quatro em quatro emissoras.

Cálculos para a sintonia da faixa:

- Faixa de sintonia:

$$\text{Faixa} = \text{Lim. sup.} - \text{Lim. inf.} = 108 \times 10^6 - 87,5 \times 10^6 = 20,5 \text{ MHz.} \quad (4.1)$$

- Frequência central:

$$f = \text{Lim. inf.} + \frac{\text{faixa de sintonia}}{2} = 87,5 \times 10^6 + \frac{20,5 \times 10^6}{2} = 97,75 \text{ MHz.} \quad (4.2)$$

- Comprimento de onda da frequência central:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{97,75 \times 10^6} = 3,06 \text{ m.} \quad (4.3)$$

- Comprimento físico da antena receptora:

$$\text{Antena} = \frac{\lambda}{4} = \frac{3,06}{4} = 0,76 \text{ m.} \quad (4.4)$$

Equipamentos e Acessórios utilizados:

- ✓ Analisador de Espectro HP 8594E
- ✓ Cabo de Força HP 8120-1378
- ✓ Régua com 5 tomadas de força
- ✓ Conector Adaptador N/BNC Coaxial
- ✓ Antena Omnidirecional
- ✓ Impressora HP Deskjet 640

- ✓ Cabo paralelo HP C2950
- ✓ Adaptador de Rede HP 0950-3490
- ✓ Cabo de Força HP 8120-8330

Instalação dos equipamentos e acessórios:

Conector Adaptador N/BNC Coaxial conectado à entrada *INPUT* 50 Ω do Analisador de Espectro HP 8594E;

Antena receptora ajustada em $1/4 \lambda$ conectada ao Conector Adaptador N/BNC instalada na posição vertical sobre o teto de um automóvel de passeio;

Cabo de Força HP 8120-1378 com a ponta fêmea conectado à entrada LINE 300 V/A do Analisador de Espectro HP 8594E e com a ponta macho conectado à régua ligada à rede elétrica 115V_{AC}, 60 Hz;

Cabo paralelo (IEEE 1284) com a ponta do conector com grampos conectado à entrada paralela da Impressora HP *Deskjet* 640 e com a outra ponta com parafusos conectado à saída do Analisador de Espectro HP 8594E;

Adaptador de Rede HP 0950-3490 com ponta com conector P5 ligado à entrada de força da Impressora HP *Deskjet* 640 e por meio do Cabo de Força HP 8120-8330 com ponta macho conectado à régua que está ligada à rede elétrica 115V_{AC}, 60 Hz;

A Figura C.5 apresenta o diagrama de medição desta faixa.

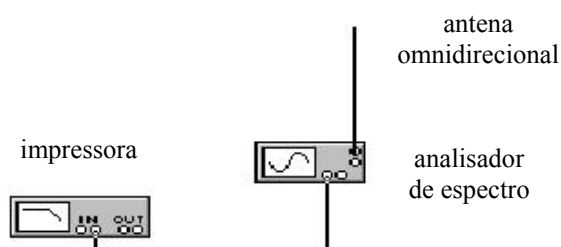


Figura C.5 - Diagrama de medição na faixa de VHF/FM.

Procedimentos para as medidas:

Conectados os equipamentos e os acessórios conforme o diagrama da Figura C.5, foram ligados à rede e aguardou-se 30 minutos para o início das medições, condição esta exigida para o *warm-up time* do Analisador de Espectro [45];

Atendendo à condição estabelecida pelo cálculo anteriormente efetuado, a antena receptora foi ajustada no comprimento de 0,76 metro;

Passados os 30 minutos iniciais, o Analisador de Espectro estando na condição de *SPECTRUM ANALYSER*, foi programado na frequência central de 97,75 MHz;

No passo seguinte programou-se o SPAN do Analisador onde foi estabelecida a faixa de sintonia de 22,0 MHz, ou seja, $97,75 \text{ MHz} \pm 11 \text{ MHz}$, largura suficiente para que fossem preservados os limites de frequência de sintonia da faixa disponibilizada para este serviço que são 87,50 a 108,0 MHz;

A tela do Analisador mostrou oito curvas de sintonia;

Após acionar-se a tecla de marca MKR do analisador, foram posicionadas as quatro marcas disponíveis no equipamento nas cristas das curvas das frequências de sintonia das emissoras da parte baixa do espectro, ficando:

- Marca 1: 93,1 MHz (Rádio Jornal A Crítica Ltda.);
- Marca 2: 94,3 MHz (Sociedade de Radiodifusão Pacheco Ltda.);
- Marca 3: 95,1 MHz (Sociedade de Televisão Manauara Ltda.);
- Marca 4: 96,9 MHz (Rádio Difusora do Amazonas Ltda.).

Por meio da tecla de função de marca MKR FCTN, foi disponibilizada na tela do Analisador a função de tabela *MARK TABLE*, que, ao ser acionada, a tela do analisador dividiu-se em duas partes, ficando a parte superior com as curvas e suas respectivas marcas e na parte inferior o valor da frequência de cada uma das curvas de sintonia e suas respectivas amplitudes, medidas em dBm;

A seguir, foi acionada a tecla *COPY* para imprimir o resultado obtido, conforme mostra a Figura C.6.

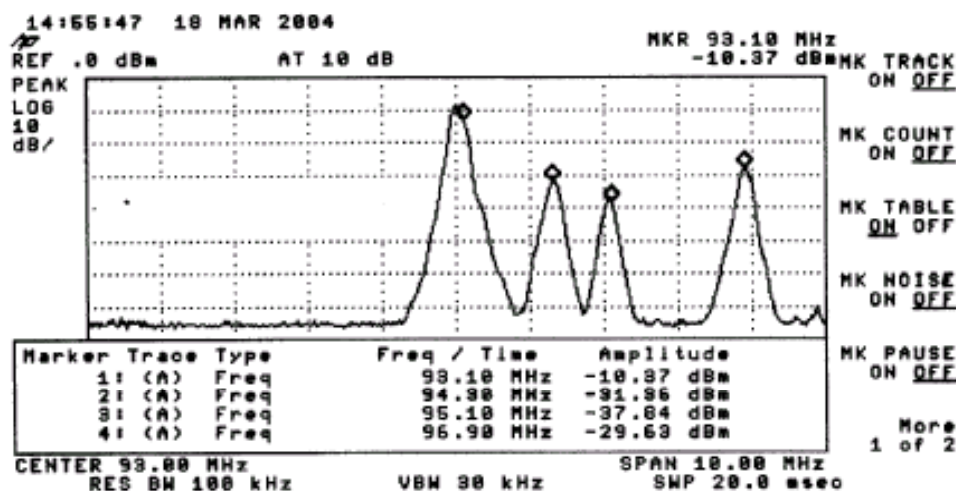


Figura C.6 - Níveis da potência de sinais na faixa de VHF/FM .

O mesmo procedimento foi adotado para a medição dos sinais das outras emissoras da faixa.

c. Faixa VHF/TV

As medições na faixa de VHF/TV também foram realizadas utilizando o Analisador de Espectro. Antes de serem iniciadas, foram realizados os cálculos para as definições de alguns parâmetros.

A faixa de frequência atribuída ao serviço de radiodifusão sonora para VHF/TV tem os limites de [21]:

- Limite inferior: 54 MHz (Canal 2)
- Limite superior: 216 MHz (Canal 13)

Considerando-se que os recursos disponíveis no analisador em uso possibilitam a medição simultânea usando no máximo quatro marcas, e, sabendo-se que cada estação emissora de canal de televisão fornece pelo menos duas curvas de sintonia, sendo uma relativa à portadora de vídeo e a outra relativa à portadora de som, procedeu-se as medições de dois em dois canais.

Cálculos para a sintonia dos canais 2 e 4:

- Faixa de sintonia:

$$Faixa = Lim. sup. - Lim. inf. = 72 \times 10^6 - 54 \times 10^6 = 18 \text{ MHz.} \quad (4.5)$$

- Frequência central:

$$f = Lim. inf. + \frac{faixa \text{ de sintonia}}{2} = 54 \times 10^6 + \frac{18 \times 10^6}{2} = 63,00 \text{ MHz.} \quad (4.6)$$

- Comprimento de onda da frequência central:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{63 \times 10^6} = 4,76 \text{ m.} \quad (4.7)$$

- Comprimento físico da antena receptora:

$$Antena = \frac{\lambda}{4} = \frac{4,76}{4} = 1,19 \text{ m.} \quad (4.8)$$

Equipamentos e Acessórios utilizados:

- ✓ Analisador de Espectro HP 8594E

- ✓ Cabo de Força HP 8120-1378
- ✓ Régua com 5 tomadas de força
- ✓ Conector Adaptador N/BNC Coaxial
- ✓ Antena Omnidirecional
- ✓ Impressora HP *Deskjet* 640
- ✓ Cabo paralelo HP C2950
- ✓ Adaptador de Rede HP 0950-3490
- ✓ Cabo de Força HP 8120-8330

Instalação dos equipamentos e acessórios:

Conector Adaptador N/BNC Coaxial conectado à entrada INPUT 50 Ω do Analisador de Espectro HP 8594E;

Antena receptora ajustada em $1/4 \lambda$ conectada ao Conector Adaptador N/BNC instalada na posição vertical sobre o teto de um automóvel de passeio;

Cabo de Força HP 8120-1378 com a ponta fêmea conectado à entrada *LINE* 300 V/A do Analisador de Espectro HP 8594E e com a ponta macho conectado à régua ligada à rede elétrica 115V, 60 Hz;

Cabo paralelo (IEEE 1284) com a ponta do conector com grampos conectado à entrada paralela da Impressora HP *Deskjet* 640 e com a outra ponta com parafusos conectados à saída paralela do Analisador de Espectro HP 8594E;

Adaptador de Rede HP 0950-3490 com ponta com conector P5 ligado à entrada de força da Impressora HP *Deskjet* 640 e por meio do Cabo de Força HP 8120-8330 com ponta macho conectado à régua que está ligada à rede elétrica 115V_{AC}, 60 Hz.

A Figura C.7 apresenta o diagrama de medição desta faixa.

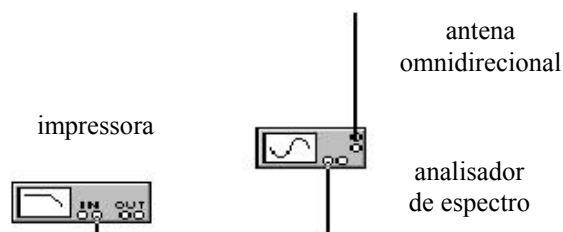


Figura C.7 - Diagrama de medição na faixa de VHF/TV.

Procedimentos para as medidas:

Conectados os equipamentos e acessórios de acordo com o diagrama da Figura C.7, ligados à rede elétrica e aquecidos, foram feitas as medidas dos sinais sintonizados em VHF/TV;

A Antena Telescópica foi ajustada no comprimento de 1,19 metro, dimensão esta justificada pelo cálculo anteriormente realizado;

Estando o Analisador de Espectro na condição de *SPECTRUM ANALYSER*, o mesmo foi programado na frequência central de 63,0 MHz;

Posteriormente, o *SPAN* do Analisador de Espectro foi programado para a faixa de sintonia de 20,0 MHz, ou seja, $63,0\text{ MHz} \pm 10\text{ MHz}$, largura suficiente para que fossem visualizados os limites das frequências a serem medidas de 54 a 72 MHz;

A tela do Analisador mostrou quatro curvas de sintonia;

Ao ser acionada a tecla de marca MKR, foram posicionadas as quatro marcas disponíveis nas cristas das curvas das seguintes sintonias, ficando:

- Marca 1: 55,25 MHz (Portadora de Vídeo – Canal 2);
- Marca 2: 59,75 MHz (Portadora de Som – Canal 2);
- Marca 3: 67,25 MHz (Portadora de Vídeo – Canal 4);
- Marca 4: 71,75 MHz (Portadora de Som – Canal 4).

Acionada a tecla de função de marca MKR FCTN, o analisador disponibilizou na tela a função de tabela *MARK TABLE*, que ao ser acionada, a tela do analisador dividiu-se em duas partes, ficando a parte superior com as curvas e suas respectivas marcas e na parte inferior o valor da frequência de cada uma das curvas de sintonia e suas respectivas amplitudes, medidas em dBm;

Ao ser acionada a tecla *COPY*, foi impresso o resultado, conforme mostra a Figura C.8.

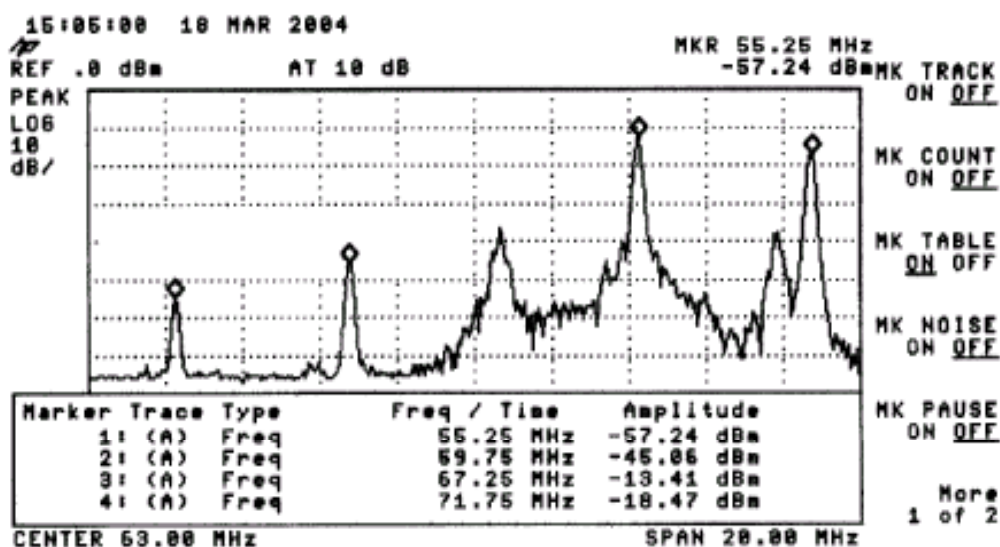


Figura C.8 - Níveis da potência de sinais na faixa de VHF/TV.

As medições posteriores desta faixa do espectro seguiram este mesmo procedimento.

d. Faixa UHF/TV

Medições realizadas com o Analisador de Espectro. Os cálculos foram realizados antes de serem iniciadas as medições para as definições de alguns parâmetros.

Os limites da faixa de frequência atribuída ao serviço de radiodifusão sonora para UHF/TV, são [21]:

- ❑ Limite inferior: 470 MHz (Canal 14)
- ❑ Limite superior: 890 MHz (Canal 83)

Novamente foi considerado que o analisador disponibiliza quatro marcas simultâneas e que cada estação emissora de canal de televisão apresenta pelo menos duas curvas de sintonia, assim sendo, as medições foram feitas de dois em dois canais.

Cálculos para sintonia dos canais 18 e 20:

- Faixa de sintonia:

$$Faixa = Lim. sup. - Lim. inf. = 512 \text{ MHz} - 494 \text{ MHz} = 18 \text{ MHz.} \quad (4.9)$$

- Frequência central:

$$f = \text{Lim. inf.} + \frac{\text{faixa de sintonia}}{2} = 494.000.000 + \frac{18.000.000}{2} = 503,00 \text{ MHz. (4.10)}$$

Comprimento de onda da frequência central:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{503 \times 10^6} = 0,59 \text{ m. (4.11)}$$

Equipamentos e Acessórios utilizados:

- ✓ Analisador de Espectro HP 8594E
- ✓ Cabo de Força HP 8120-1378
- ✓ Régua com 5 tomadas de força
- ✓ Conector Adaptador N/BNC Coaxial
- ✓ Conector Adaptador 75 Ω / 50 Ω
- ✓ Cabo Coaxial 75 Ω - 2,5 m
- ✓ Antena Direcional Mini Parabólica UHF/VHF - FM
- ✓ Impressora HP *Deskjet* 640
- ✓ Cabo paralelo HP C2950
- ✓ Adaptador de Rede HP 0950-3490
- ✓ Cabo de Força HP 8120-8330

Instalação dos equipamentos e acessórios:

Conector Adaptador N/BNC Coaxial conectado à entrada *INPUT* 50 Ω do Analisador de Espectro HP 8594E;

Conector Adaptador 75 Ω / 50 Ω com lado de 50 Ω ligado ao Conector Adaptador N/BNC Coaxial e com o lado de 75 Ω ligado ao Cabo Coaxial 75 Ω - 2,5 m;

Antena Mini Parabólica conectada na outra ponta BNC do Cabo Coaxial 75 Ω - 2,5 m, instalada sobre o teto de um automóvel de passeio;

Cabo de Força HP 8120-1378 com a ponta fêmea conectado à entrada *LINE* 300 V/A do Analisador de Espectro HP 8594E e com a ponta macho conectado à régua ligada à rede elétrica 115V_{AC}, 60 Hz;

Cabo paralelo (IEEE 1284) com a ponta do conector com grampos conectado à entrada paralela da Impressora HP Deskjet 640 e com a outra ponta com parafusos conectado à saída *PARALELA* do Analisador de Espectro HP 8594E;

Adaptador de Rede HP 0950-3490 com ponta com conector P5 ligado à entrada de força da Impressora HP Deskjet 640 por meio do Cabo de Força HP 8120-8330 com ponta macho conectado à régua ligada à rede elétrica 115V_{AC}, 60 Hz;

A Figura C.9 apresenta o diagrama de medição desta faixa.

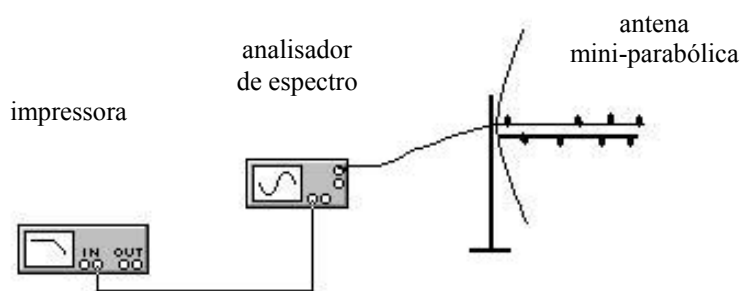


Figura C.9 - Diagrama de medição na faixa de UHF/TV.

Procedimentos para as medidas:

Instalados os equipamentos e acessórios conforme o diagrama mostrado na Figura C.9 e estando ligados à rede elétrica e aquecidos, foram feitas as medidas dos sinais sintonizados em UHF/TV;

Foi ajustada a posição da Antena Mini Parabólica para o ângulo que proporcionasse a máxima amplitude dos sinais na tela do analisador;

O Analisador de Espectro foi pré-posicionado na condição de *SPECTRUM ANALYSER* e programado na frequência central de 503 MHz;

Em seguida, o SPAN do Analisador de Espectro foi programado para a faixa de sintonia de 20,0 MHz, ou seja, $503\text{ MHz} \pm 10\text{ MHz}$, largura suficiente para que fossem visualizados os limites das frequências a serem medidas de 512 MHz a 494 MHz;

A tela do Analisador apresentou quatro curvas de sintonia;

Ao ser acionada a tecla de marca MKR, foram posicionadas as quatro marcas disponíveis nas cristas das curvas das seguintes frequências de sintonias, ficando:

- Marca 1: 495,25 MHz (Portadora de Vídeo – Canal 18);
- Marca 2: 499,75 MHz (Portadora de Som – Canal 18);

- Marca 3: 507,25 MHz (Portadora de Vídeo – Canal 20);
- Marca 4: 511,75 MHz (Portadora de Som – Canal 20).

Acionada a tecla com a função de marca MKR FCTN, o Analisador disponibilizou na tela a função de tabela *MARK TABLE*, que ao ser pressionada a tela dividiu-se em duas partes, ficando a parte superior com as curvas e suas respectivas marcas e na parte inferior o valor da frequência de cada uma das curvas de sintonia e suas respectivas amplitudes, medidas em dBm;

Na sequência, foi acionada a tecla *COPY* para imprimir o resultado, conforme mostra a Figura C.10.

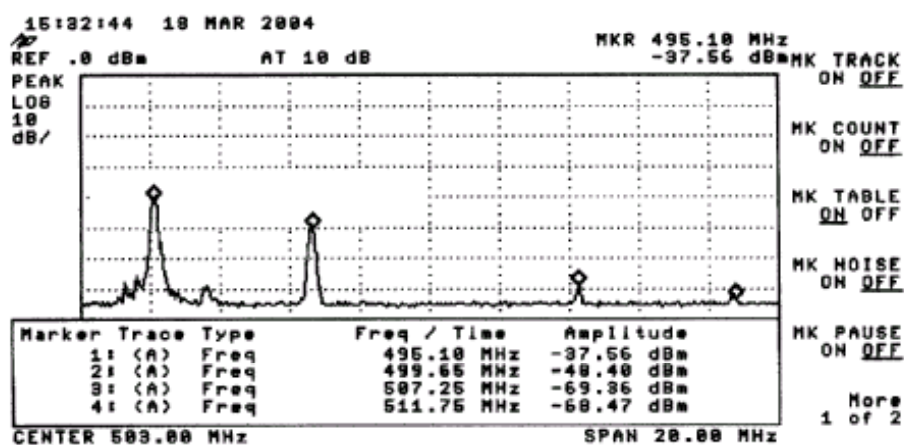


Figura C.10 - Níveis da potência de sinais na faixa de UHF/TV .

O mesmo procedimento foi adotado para as outras medições na faixa.

Medições de sinais de Telefonia Móvel

a. Faixa UHF/ SMC - SMP

Medições realizadas com os recursos técnicos das operadoras dos Serviços A e E.

A faixa de frequência atribuída ao serviço de telefonia móvel celular para UHF/SMC (Banda A) tem os seguintes limites [22]:

- ❑ Transmissão da Estação Móvel: 824 MHz a 835 MHz e 845 MHz a 846,5 MHz (*Up Link*)
- ❑ Transmissão da Estação Radio-base: 869 MHz a 880 MHz e 890 MHz a 891,5 MHz (*Down Link*)

A faixa de frequência atribuída ao serviço de telefonia móvel celular para UHF/SMC (Banda B) tem os seguintes limites [22]:

- ❑ Transmissão da Estação Móvel: 835 MHz a 845 MHz e 846,5 MHz a 849 MHz (*Up Link*)
- ❑ Transmissão da Estação Radio-base: 880 MHz a 890 MHz e 891,5 MHz a 894 MHz (*Down Link*)

Equipamentos e Acessórios utilizados:

- ✓ Receptor HP E7474 A
- ✓ Antena receptora omnidirecional com ganho de 3dB
- ✓ Cabo coaxial com atenuação de 0,25 dB/m, com 3 metros
- ✓ Microcomputador portátil *Compac* modelo EVO N600
- ✓ *Software Agilent E74XX*, para faixa de SMC
- ✓ Inversor DC-AC modelo *PROVAT 12/250V Stat Power*
- ✓ Bateria 12 V_{DC}

Instalação dos equipamentos e acessórios:

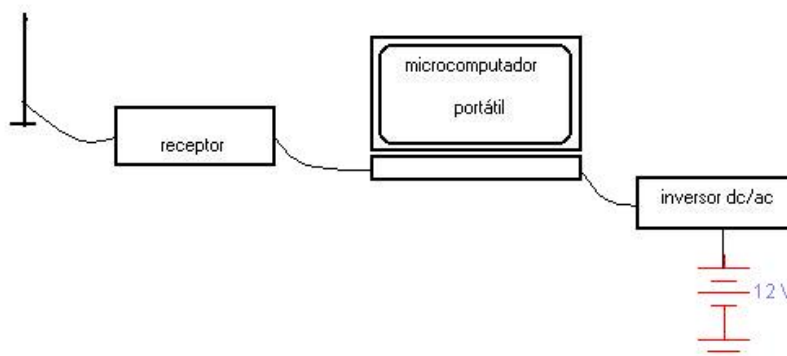
Antena telescópica na posição vertical localizada sobre o teto de um automóvel conectada à entrada do Receptor HP E7474 A;

Saída do Receptor HP E7474 A ligada à entrada do Microcomputador portátil;

Receptor HP E7474 A alimentado por 12 V_{DC} da bateria;

Microcomputador portátil alimentado por 125 V_{AC} do inversor DC/AC que está ligado à bateria de 12V_{DC}.

A Figura C.11 apresenta o diagrama de medição desta faixa.



Procedimentos para as medidas:

Estando os equipamentos e acessórios conectados, programou-se o *software* do computador para que o receptor efetuasse as medidas das amplitudes dos sinais de maior potência das portadoras na faixa de *up link* dos canais de voz daquela ERB. Obteve-se como resultado médio o gráfico mostrado na Figura C.12:

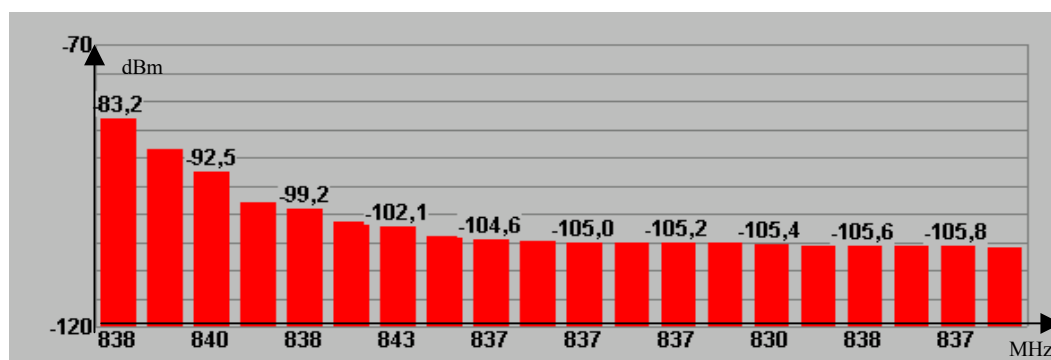


Figura C.12 - Níveis da potência de sinais na faixa de UHF/SMC-SMP.

O mesmo procedimento foi adotado para as medições dos outros sinais de *down link* e *up link* das bandas A, B, D e E.

Para as medições dos sinais elétricos, foram utilizados equipamentos como analisador de espectro de RF, receptores de RF, microcomputadores, monitores, baterias, inversores, antenas e impressora.

Apêndice D

D.1 Mapas Cartográficos

D.1.1 Curvas de Níveis da Área 1 - Aleixo

D.1.2 Curvas de Níveis das Área 2 - Praça 14 de Janeiro**D.1.3 Curvas de Níveis das Área 3 - Centro da Cidade**

Apêndice E

E.1 CelPlan ANTEL Antena Modelo: LPD-7908-4

Dsc: V-Pol, Log Periodic, 806-900 MHz, 60° HBW, 14 dBd, 16 dBi Gain, 1.25° EDT

Ngn: 14 dBd

Hbw: 60°

Vbw: 13°

Mnf: 806 MHz

Mxf: 900 MHz

Siz: 1.2 m

Inc: 1°

Han Hgn (parcial) 0 14

15	13.3	60	-4	315	5.6
30	10.9	75	-9.4	330	10.9
45	6.2	300	-8.5	345	13.3

Van Vgn

0	14	11	6.4	22	-1.3	33	-12.6
1	14	12	4.7	23	-1.3	34	-9.1
2	14	13	1.9	24	-1.5	35	-7.5
3	13.7	14	-0.7	25	-2.3	36	-5.9
4	13.3	15	-5.8	26	-3.7	37	-4.9
5	13	16	-9.1	27	-4.9	38	-4.4
6	12.3	17	-10.4	28	-7.5	39	-4.1
7	11.7	18	-10.4	29	-10.1	40	-4
8	10.7	19	-6	30	-16	41	-4.2
9	9.3	20	-2.9	31	-32.9	42	-4.5
10	8.2	21	-1.7	32	-20.4	43	-4.9

44	-5.5	56	-30.3	68	-24.8	80	-26.2
45	-6.5	57	-29.8	69	-25	81	-25.5
46	-7.4	58	-27.9	70	-25.9	82	-26.1
47	-8.6	59	-26.5	71	-27.8	83	-26.1
48	-10.2	60	-26.3	72	-30	84	-27
49	-11.6	61	-25.8	73	-31.5	85	-27.1
50	-13.5	62	-26.3	74	-34	86	-28.2
51	-15.2	63	-25.8	75	-31.8	87	-29.7
52	-18.2	64	-24.6	76	-32.4	88	-30
53	-20.2	65	-24	77	-30.5	89	-28.9
54	-24.4	66	-23.6	78	-28.1	90	-27.8
55	-28.2	67	-23.9	79	-27.4		

Apêndice F

F.1 Planilhas de Cálculos

F.1.1 Cálculo dos valores de m e de m' (Exemplo: $\alpha=300^\circ$ e $f = 879$ MHz)

d (km)•	h_{Base} (m)	h_{Movel} (m)	$h_{Nivel + 300^\circ}$	$h_{Movel} - h_{Movel}'$ (m)	$\Delta h_{Base}'$ (m)	$\tan \phi$	arc tan (graus)	$G_{TDV\phi}$ (dBd)	P_T (dBm)
0,050	30	1,5	0	1,5	28,5	0,570	29,683	-16	40
0,100	30	1,5	0	1,5	28,5	0,285	15,908	-9,1	40
0,150	30	1,5	-8	-6,5	36,5	0,243	13,676	6,4	40
0,200	30	1,5	0	1,5	28,5	0,143	8,110	10,7	40
0,250	30	1,5	0	1,5	28,5	0,114	6,504	12,3	40
0,300	30	1,5	0	1,5	28,5	0,095	5,427	13	40
0,350	30	1,5	0	1,5	28,5	0,081	4,655	13	40
0,400	30	1,5	3	4,5	25,5	0,064	3,648	13,3	40
0,450	30	1,5	3	4,5	25,5	0,057	3,243	13,7	40
0,500	30	1,5	3	4,5	25,5	0,051	2,920	13,7	40
0,550	30	1,5	3	4,5	25,5	0,046	2,655	13,7	40
0,600	30	1,5	3	4,5	25,5	0,043	2,434	14	40

Cálculo dos valores de m e de m' (Exemplo: $\alpha=300^\circ$ e $f = 879$ MHz) (continuação)

$G_{TDH \alpha=300^\circ}$ (dBc)	conv. dBi	$G_{TDV \phi=0^\circ}$ (dBd)	G_R (dBm)	$-20 \text{ Log}_{10}(d)$	f (MHz)	$-20 \text{ Log}_{10}(f)$	const.	$m_{\alpha,\phi}$ (dBm)▲	$m'_{\alpha,\phi=0^\circ}$ (dBm)◆	$m-m'$ (dBm)■
-8,5	4,3	14	3	26,02059991	879	-58,8797775	-32,44	-42,49917759	-12,49917759	30,000
-8,5	4,3	14	3	20	879	-58,8797775	-32,44	-41,6197775	-18,5197775	23,100
-8,5	4,3	14	3	16,47817482	879	-58,8797775	-32,44	-29,64160268	-22,04160268	7,600
-8,5	4,3	14	3	13,97940009	879	-58,8797775	-32,44	-27,84037741	-24,54037741	3,300
-8,5	4,3	14	3	12,04119983	879	-58,8797775	-32,44	-28,17857767	-26,47857767	1,700
-8,5	4,3	14	3	10,45757491	879	-58,8797775	-32,44	-29,0622026	-28,0622026	1,000
-8,5	4,3	14	3	9,118639113	879	-58,8797775	-32,44	-30,40113839	-29,40113839	1,000
-8,5	4,3	14	3	7,958800173	879	-58,8797775	-32,44	-31,26097733	-30,56097733	0,700
-8,5	4,3	14	3	6,935749724	879	-58,8797775	-32,44	-31,88402778	-31,58402778	0,300
-8,5	4,3	14	3	6,020599913	879	-58,8797775	-32,44	-32,79917759	-32,49917759	0,300
-8,5	4,3	14	3	5,19274621	879	-58,8797775	-32,44	-33,62703129	-33,32703129	0,300
-8,5	4,3	14	3	4,436974992	879	-58,8797775	-32,44	-34,08280251	-34,08280251	0,000

F.1.2 Cálculo de $\bar{g}(d)$ (Exemplo: $\alpha=300^\circ$ e $f = 879$ MHz)

d (km)	Soma m' ajustado	log d	log2 d	gi.log d	soma log d2	K	K	EXP	EXP	g(d)
0,050	22,08082241	-1,30103	1,69267905	-28,72781229			-3,9397775		-20,000	26,0205999
0,100	16,0602225	-1	1	-16,0602225			-3,9397775		-20,000	20
0,150	12,53839732	-0,82390874	0,67882561	-10,33049515			-3,9397775		-20,000	16,4781748
0,200	10,03962259	-0,69897	0,48855907	-7,017395042			-3,9397775		-20,000	13,9794001
0,250	8,101422325	-0,60205999	0,36247623	-4,877542255			-3,9397775		-20,000	12,0411998
0,300	6,517797404	-0,52287875	0,27340218	-3,408017729			-3,9397775		-20,000	10,4575749
0,350	5,178861612	-0,45593196	0,20787395	-2,361208503			-3,9397775		-20,000	9,11863911
0,400	4,019022672	-0,39794001	0,15835625	-1,599329917			-3,9397775		-20,000	7,95880017
0,450	2,995972223	-0,34678749	0,12026156	-1,038965676			-3,9397775		-20,000	6,93574972
0,500	2,080822412	-0,30103	0,09061906	-0,626389962			-3,9397775		-20,000	6,02059991
0,550	1,252968709	-0,25963731	0,06741153	-0,325317426			-3,9397775		-20,000	5,19274621
0,600	0,497197491	-0,22184875	0,04921687	-0,110302642			-3,9397775		-20,000	4,43697499
	91,363	-6,93202298	5,18968136	-76,48299908	48,0529426	-3,9397775		20		

Apêndice G

G.1 Alocação dos Canais de *Down Link* - Banda A (869 a 880 MHz)

869,00	870,41	871,82	873,23
869,03	870,44	871,85	873,26
869,06	870,47	871,88	873,29
869,09	870,50	871,91	873,32
869,12	870,53	871,94	873,35
869,15	870,56	871,97	873,38
869,18	870,59	872,00	873,41
869,21	870,62	872,03	873,44
869,24	870,65	872,06	873,47
869,27	870,68	872,09	873,50
869,30	870,71	872,12	873,53
869,33	870,74	872,15	873,56
869,36	870,77	872,18	873,59
869,39	870,80	872,21	873,62
869,42	870,83	872,24	873,65
869,45	870,86	872,27	873,68
869,48	870,89	872,30	873,71
869,51	870,92	872,33	873,74
869,54	870,95	872,36	873,77
869,57	870,98	872,39	873,80
869,60	871,01	872,42	873,83
869,63	871,04	872,45	873,86
869,66	871,07	872,48	873,89
869,69	871,10	872,51	873,92
869,72	871,13	872,54	873,95
869,75	871,16	872,57	873,98
869,78	871,19	872,60	874,01
869,81	871,22	872,63	874,04
869,84	871,25	872,66	874,07
869,87	871,28	872,69	874,10
869,90	871,31	872,72	874,13
869,93	871,34	872,75	874,16
869,96	871,37	872,78	874,19
869,99	871,40	872,81	874,22
870,02	871,43	872,84	874,25
870,05	871,46	872,87	874,28
870,08	871,49	872,90	874,31
870,11	871,52	872,93	874,34
870,14	871,55	872,96	874,37
870,17	871,58	872,99	874,40
870,20	871,61	873,02	874,43
870,23	871,64	873,05	874,46
870,26	871,67	873,08	874,49
870,29	871,70	873,11	874,52
870,32	871,73	873,14	874,55
870,35	871,76	873,17	874,58
870,38	871,79	873,20	874,61

874,64	876,02	877,40	878,78
874,67	876,05	877,43	878,81
874,70	876,08	877,46	878,84
874,73	876,11	877,49	878,87
874,76	876,14	877,52	878,90
874,79	876,17	877,55	878,93
874,82	876,20	877,58	878,96
874,85	876,23	877,61	878,99
874,88	876,26	877,64	879,02
874,91	876,29	877,67	879,05
874,94	876,32	877,70	879,08
874,97	876,35	877,73	879,11
875,00	876,38	877,76	879,14
875,03	876,41	877,79	879,17
875,06	876,44	877,82	879,20
875,09	876,47	877,85	879,23
875,12	876,50	877,88	879,26
875,15	876,53	877,91	879,29
875,18	876,56	877,94	879,32
875,21	876,59	877,97	879,35
875,24	876,62	878,00	879,38
875,27	876,65	878,03	879,41
875,30	876,68	878,06	879,44
875,33	876,71	878,09	879,47
875,36	876,74	878,12	879,50
875,39	876,77	878,15	879,53
875,42	876,80	878,18	879,56
875,45	876,83	878,21	879,59
875,48	876,86	878,24	879,62
875,51	876,89	878,27	879,65
875,54	876,92	878,30	879,68
875,57	876,95	878,33	879,71
875,60	876,98	878,36	879,74
875,63	877,01	878,39	879,77
875,66	877,04	878,42	879,80
875,69	877,07	878,45	879,83
875,72	877,10	878,48	879,86
875,75	877,13	878,51	879,89
875,78	877,16	878,54	879,92
875,81	877,19	878,57	879,95
875,84	877,22	878,60	879,98
875,87	877,25	878,63	
875,90	877,28	878,66	
875,93	877,31	878,69	
875,96	877,34	878,72	
875,99	877,37	878,75	

Apêndice G

G.2 Alocação dos Canais de *Down Link* - Banda A Expansão da Faixa (890 a 891,5 MHz)

890,00	890,39	890,78	891,17
890,03	890,42	890,81	891,20
890,06	890,45	890,84	891,23
890,09	890,48	890,87	891,26
890,12	890,51	890,90	891,29
890,15	890,54	890,93	891,32
890,18	890,57	890,96	891,35
890,21	890,60	890,99	891,38
890,24	890,63	891,02	891,41
890,27	890,66	891,05	891,44
890,30	890,69	891,08	891,47
890,33	890,72	891,11	891,50
890,36	890,75	891,14	

Apêndice H

H.1 Programa de implementação do modelo

```

/* p67.c calcula PRcalc e PRcoor para todas as distancias d */

/*      K , ro e g(d) e mostra o gráfico */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <graphics.h>

main()
{ int cont                                ;/* contador */

    float  alfa                          ,/* angulo */

    f      ,/* frequencia */

    d      ,/* km */

    DhMobile      ,

    hMobile      = 1.5 ,/* metros */

    hLevel      ,

    DhBase      ,

    hBase      = 30 ,/* metros */

    tgfi      ,/* tangente de fi */

    arcTanfiRad      ,/* arco cuja tangente , fi(rad)

*/

    arcTanfiGaus      ,

    arcTanfiGausAj,

    GTDVFfi      ,

```

```

GTDHalfa          ,
PRcalc            ,
PRcalc12[12]      ,/* cadeia que armazena */
PRcoor            ,
PRcoor12[12]      ,/* cadeia que armazena */
maior,menor       ,/* ajuste de arcTanfiGraus */
gi[12]            ,
gi06              ,/* armazena m'

para d=0.6 */

SOMATgi           ,/* somatorio de gi */
SOMATLogQuadd     ,/* somatorio do quadrado de
log10(d) */

SOMATGiLogd       ,/* Somatorio de gi *
log10(d) */

SOMATLogd         ,/* Somatorio de log10(d) */
K                  ,
Ro                ,
g[12];/* g(d) para angulos diferentes */

float d1=0.05, d2=0.10, d3=0.15, d4=0.20, d5=0.25,
      d6=0.30, d7=0.35, d8=0.40, d9=0.45, d10=0.50,
      d11=0.55, d12= 0.60;

int x,y,x1,y1,z,v,x2,y2;
int gdriver=DETECT,gmode,errorcode;

cont=1;
while( cont != 0 )
{

```

```

clrscr();

/* Ler o angulo alfa */
alfa=1;
while( alfa!=300 && alfa!=315 && alfa!=330 &&
      alfa!=345 && alfa!=0  && alfa!=15 &&
      alfa!=30 && alfa!=45 && alfa!=60 &&
      alfa!=75 )

{ clrscr();
  gotoxy(10,10);printf("Angulos(graus) de abertura da antena
disponiveis:\n");
  gotoxy(10,11);printf("0, 15, 30, 45, 60, 75, 300, 315, 330, 345\n\n");
  gotoxy(10,13);printf("Digite o angulo e tecle <enter>: ");
  scanf("%f",&alfa);
};

/* Ler frequ^ncia */
f=1;
while( f<869 || (f>880 && f<890) || f>891.5)
{ clrscr();
  gotoxy(10,10);printf("Intervalos de frequ^ncias(Mhz) disponiveis:\n");
  gotoxy(10,11);printf("[869 a 880] e [890 a 891.5]\n\n");
  gotoxy(10,13);printf("Digite a frequencia e tecle <enter>: ");
  scanf("%f",&f);
};

/* mostrar dados lidos */
clrscr();

```

```

gotoxy(10,5);printf("Angulo de abertura da antena: %6.2f",alfa);
printf(" graus\n");
gotoxy(10,6);printf("Frequencia          : %6.2f",f);
printf(" Mhz\n");

/* printf("d      tg\t arc\t arcaj\t GTDVfi GTDHalfa PRcalc  PRcoor\n"); */

```

```

d=0;
for(cont=0;cont<=11;++cont)
{
    d=d+0.05;
    /* calculo de hLevel */
    if (alfa==300)
    { if(d==d1 ){hLevel= 0;};
      if(d==d2 ){hLevel= 0;};
      if(d==d3 ){hLevel=-8;};
      if(d==d4 ){hLevel= 0;};
      if(d==d5 ){hLevel= 0;};
      if(d==d6 ){hLevel= 0;};
      if(d==d7 ){hLevel= 0;};
      if(d==d8 ){hLevel= 3;};
      if(d==d9 ){hLevel= 3;};
      if(d==d10){hLevel= 3;};
      if(d==d11){hLevel= 3;};
      if(d==d12){hLevel= 3;};
    };
    if (alfa==315)
    {      if(d==d1){hLevel= 0;};
           if(d==d2){hLevel= -8;};
    }
}

```

```

        if(d==d3){hLevel=-21;};
        if(d==d4){hLevel=-21;};
        if(d==d5){hLevel=-21;};
        if(d==d6){hLevel=-21;};
        if(d==d7){hLevel= 0;};
        if(d==d8){hLevel= 0;};
        if(d==d9){hLevel= 0;};
        if(d==d10){hLevel= 0;};
        if(d==d11){hLevel= 0;};
        if(d==d12){hLevel= 0;};
    };

    if (alfa==330)
    {
        if(d==d1){hLevel= -8;};
        if(d==d2){hLevel=-21;};
        if(d==d3){hLevel=-21;};
        if(d==d4){hLevel=-21;};
        if(d==d5){hLevel=-21;};
        if(d==d6){hLevel=-21;};
        if(d==d7){hLevel=-21;};
        if(d==d8){hLevel= 0;};
        if(d==d9){hLevel= 0;};
        if(d==d10){hLevel= 0;};
        if(d==d11){hLevel= 0;};
        if(d==d12){hLevel= 0;};
    };

    if (alfa==345)
    {
        if(d==d1){hLevel= -8;};
        if(d==d2){hLevel=-21;};
        if(d==d3){hLevel=-21;};

```

```

        if(d==d4){hLevel=-21;};
        if(d==d5){hLevel=-33;};
        if(d==d6){hLevel=-21;};
        if(d==d7){hLevel=-21;};
        if(d==d8){hLevel=-8;};
        if(d==d9){hLevel= 0;};
        if(d==d10){hLevel=-8;};
        if(d==d11){hLevel=-21;};
        if(d==d12){hLevel=-21;};
    };
    if (alfa==0)
    {
        if(d==d1){hLevel=-8;};
        if(d==d2){hLevel=-21;};
        if(d==d3){hLevel=-21;};
        if(d==d4){hLevel=-21;};
        if(d==d5){hLevel=-33;};
        if(d==d6){hLevel=-21;};
        if(d==d7){hLevel=-21;};
        if(d==d8){hLevel=-21;};
        if(d==d9){hLevel=-21;};
        if(d==d10){hLevel=-21;};
        if(d==d11){hLevel=-21;};
        if(d==d12){hLevel=-21;};
    };
    if (alfa==15)
    {
        if(d==d1){hLevel=-8;};
        if(d==d1){hLevel=-21;};
        if(d==d2){hLevel=-21;};
        if(d==d3){hLevel=-21;};

```

```

        if(d==d4){hLevel=-21;};
        if(d==d5){hLevel=-33;};
        if(d==d6){hLevel=-21;};
        if(d==d7){hLevel=-21;};
        if(d==d8){hLevel=-33;};
        if(d==d9){hLevel=-21;};
        if(d==d10){hLevel=-21;};
        if(d==d11){hLevel=-21;};
    };

    if (alfa==30)
    {
        if(d==d1){hLevel= -8;};
        if(d==d2){hLevel=-21;};
        if(d==d3){hLevel=-21;};
        if(d==d4){hLevel=-21;};
        if(d==d5){hLevel=-21;};
        if(d==d6){hLevel=-33;};
        if(d==d7){hLevel=-33;};
        if(d==d8){hLevel=-33;};
        if(d==d9){hLevel=-33;};
        if(d==d10){hLevel=-21;};
        if(d==d11){hLevel=-21;};
        if(d==d12){hLevel=-21;};
    };

    if (alfa==45)
    {
        if(d==d1){hLevel= 0;};
        if(d==d2){hLevel= -8;};
        if(d==d3){hLevel=-21;};
        if(d==d4){hLevel=-21;};
        if(d==d5){hLevel=-21;};

```

```

        if(d==d6){hLevel=-21;};
        if(d==d7){hLevel=-21;};
        if(d==d8){hLevel=-33;};
        if(d==d9){hLevel=-33;};
        if(d==d10){hLevel=-33;};
        if(d==d11){hLevel=-21;};
        if(d==d12){hLevel=-21;};

};

if (alfa==60)
{
    if(d==d1){hLevel= 0;};
    if(d==d2){hLevel= -8;};
    if(d==d3){hLevel= -8;};
    if(d==d4){hLevel= -8;};
    if(d==d5){hLevel= -8;};
    if(d==d6){hLevel=-21;};
    if(d==d7){hLevel=-21;};
    if(d==d8){hLevel=-21;};
    if(d==d9){hLevel=-33;};
    if(d==d10){hLevel=-33;};
    if(d==d11){hLevel=-33;};
    if(d==d12){hLevel=-33;};

};

if (alfa==75)
{
    if(d==d1){hLevel= 0;};
    if(d==d2){hLevel= -8;};
    if(d==d3){hLevel= -8;};
    if(d==d4){hLevel= -8;};
    if(d==d5){hLevel=-21;};
    if(d==d6){hLevel=-21;};

```

```

        if(d==d7){hLevel=-21;};
        if(d==d8){hLevel=-21;};
        if(d==d9){hLevel=-21;};
        if(d==d10){hLevel=-33;};
        if(d==d11){hLevel=-33;};
        if(d==d12){hLevel=-33;};
    };

    /* printf("hLevel=%f\n",hLevel); */

    DhMobile=hMobile+hLevel;
    DhBase=hBase-DhMobile;
    tgfi=DhBase / (d*1000);/* metro/metro */
    arcTanfiRad = atan(tgfi);
    arcTanfiGraus=(arcTanfiRad * 180) / 3.141592654;
    /* printf("arcTanfiGraus = %f\n",arcTanfiGraus); */

    /* calculo GTDVfi */
    /* Arredondamento de arcTanfiGraus */
    menor=floor(arcTanfiGraus);
    maior=ceil(arcTanfiGraus);
    if( (arcTanfiGraus-menor) >= 0.5 )
        arcTanfiGrausAj=maior;
    else
        arcTanfiGrausAj=menor;
    /* printf("arcTanfiGraus(ajustado) = %f\n",arcTanfiGrausAj); */

    /* Selecionar GRDVfi */
    /* printf("arcTanfiGrausAj = %d\n",(int)(arcTanfiGrausAj)); */
    switch((int)arcTanfiGrausAj)

```

```

{ case 0:GTDVfi= 14 ;break;
    case 1:GTDVfi= 14 ;break;
    case 2:GTDVfi= 14 ;break;
    case 3:GTDVfi= 13.7;break;
    case 4:GTDVfi= 13.3;break;
    case 5:GTDVfi= 13 ;break;
    case 6:GTDVfi= 12.3;break;
    case 7:GTDVfi= 11.7;break;
    case 8:GTDVfi= 10.7;break;
    case 9:GTDVfi= 9.3;break;
    case 10:GTDVfi= 8.2;break;
    case 11:GTDVfi= 6.4;break;
    case 12:GTDVfi= 4.7;break;
    case 13:GTDVfi= 1.9;break;
    case 14:GTDVfi= -0.7;break;
    case 15:GTDVfi= -5.8;break;
    case 16:GTDVfi= -9.1;break;
    case 17:GTDVfi= -10.4;break;
    case 18:GTDVfi= -10.4;break;
    case 19:GTDVfi= -6 ;break;
    case 20:GTDVfi= -2.9;break;
    case 21:GTDVfi= -1.7;break;
    case 22:GTDVfi= -1.3;break;
    case 23:GTDVfi= -1.3;break;
    case 24:GTDVfi= -1.5;break;
    case 25:GTDVfi= -2.3;break;
    case 26:GTDVfi= -3.7;break;
    case 27:GTDVfi= -4.9;break;
    case 28:GTDVfi= -7.5;break;

```

case 29:GTDVfi= -10.1;break;
case 30:GTDVfi= -16 ;break;
case 31:GTDVfi= -32.9;break;
case 32:GTDVfi= -20.4;break;
case 33:GTDVfi= -12.6;break;
case 34:GTDVfi= -9.1;break;
case 35:GTDVfi= -7.5;break;
case 36:GTDVfi= -5.9;break;
case 37:GTDVfi= -4.9;break;
case 38:GTDVfi= -4.4;break;
case 39:GTDVfi= -4.1;break;
case 40:GTDVfi= -4 ;break;
case 41:GTDVfi= -4.2;break;
case 42:GTDVfi= -4.5;break;
case 43:GTDVfi= -4.9;break;
case 44:GTDVfi= -5.5;break;
case 45:GTDVfi= -6.5;break;
case 46:GTDVfi= -7.4;break;
case 47:GTDVfi= -8.6;break;
case 48:GTDVfi= -10.2;break;
case 49:GTDVfi= -11.6;break;
case 50:GTDVfi= -13.5;break;
case 51:GTDVfi= -15.2;break;
case 52:GTDVfi= -18.2;break;
case 53:GTDVfi= -20.2;break;
case 54:GTDVfi= -24.4;break;
case 55:GTDVfi= -28.2;break;
case 56:GTDVfi= -30.3;break;
case 57:GTDVfi= -29.8;break;

case 58:GTDVfi= -27.9;break;
case 59:GTDVfi= -26.5;break;
case 60:GTDVfi= -26.3;break;
case 61:GTDVfi= -25.8;break;
case 62:GTDVfi= -26.3;break;
case 63:GTDVfi= -25.8;break;
case 64:GTDVfi= -24.6;break;
case 65:GTDVfi= -24 ;break;
case 66:GTDVfi= -23.6;break;
case 67:GTDVfi= -23.9;break;
case 68:GTDVfi= -24.8;break;
case 69:GTDVfi= -25 ;break;
case 70:GTDVfi= -25.9;break;
case 71:GTDVfi= -27.8;break;
case 72:GTDVfi= 30 ;break;
case 73:GTDVfi= -31.5;break;
case 74:GTDVfi= 34 ;break;
case 75:GTDVfi= -31.8;break;
case 76:GTDVfi= -32.4;break;
case 77:GTDVfi= -30.5;break;
case 78:GTDVfi= -28.1;break;
case 79:GTDVfi= -27.4;break;
case 80:GTDVfi= -26.2;break;
case 81:GTDVfi= -25.5;break;
case 82:GTDVfi= -26.1;break;
case 83:GTDVfi= -26.1;break;
case 84:GTDVfi= -27 ;break;
case 85:GTDVfi= -27.1;break;
case 86:GTDVfi= -28.2;break;

case 87:GTDVfi= -29.7;break;
case 88:GTDVfi= -30 ;break;
case 89:GTDVfi= -28.9;break;
case 90:GTDVfi= -27.8;break;
case 91:GTDVfi= -26.1;break;
case 92:GTDVfi= -24.5;break;
case 93:GTDVfi= -24.1;break;
case 94:GTDVfi= -23.6;break;
case 95:GTDVfi= -23 ;break;
case 96:GTDVfi= -22.2;break;
case 97:GTDVfi= -22.4;break;
case 98:GTDVfi= -22.2;break;
case 99:GTDVfi= -21.7;break;
case 100:GTDVfi= -21.7;break;
case 101:GTDVfi= -22.3;break;
case 102:GTDVfi= -22.4;break;
case 103:GTDVfi= -22.6;break;
case 104:GTDVfi= -22.9;break;
case 105:GTDVfi= -22.7;break;
case 106:GTDVfi= -23.7;break;
case 107:GTDVfi= -23.4;break;
case 108:GTDVfi= -23.4;break;
case 109:GTDVfi= -23.5;break;
case 110:GTDVfi= -24.6;break;
case 111:GTDVfi= -24.4;break;
case 112:GTDVfi= -24.8;break;
case 113:GTDVfi= -25.3;break;
case 114:GTDVfi= -25.7;break;
case 115:GTDVfi= -26.4;break;

case 116:GTDVfi= -26.2;break;
case 117:GTDVfi= -26.4;break;
case 118:GTDVfi= -26.5;break;
case 119:GTDVfi= -27.8;break;
case 120:GTDVfi= -27.1;break;
case 121:GTDVfi= -28.7;break;
case 122:GTDVfi= -29.1;break;
case 123:GTDVfi= -32.4;break;
case 124:GTDVfi= -32.3;break;
case 125:GTDVfi= -35.7;break;
case 126:GTDVfi= -37.9;break;
case 127:GTDVfi= -35.7;break;
case 128:GTDVfi= -32.4;break;
case 129:GTDVfi= -30.2;break;
case 130:GTDVfi= -28.9;break;
case 131:GTDVfi= -28.3;break;
case 132:GTDVfi= -27.1;break;
case 133:GTDVfi= -27.2;break;
case 134:GTDVfi= -26.8;break;
case 135:GTDVfi= -26.5;break;
case 136:GTDVfi= -27.7;break;
case 137:GTDVfi= -27.1;break;
case 138:GTDVfi= -27.3;break;
case 139:GTDVfi= -27.9;break;
case 140:GTDVfi= -28.7;break;
case 141:GTDVfi= -28.7;break;
case 142:GTDVfi= -29.2;break;
case 143:GTDVfi= -28.8;break;
case 144:GTDVfi= -28.1;break;

case 145:GTDVfi= -27.6;break;
case 146:GTDVfi= -26.3;break;
case 147:GTDVfi= -26.5;break;
case 148:GTDVfi= -26.7;break;
case 149:GTDVfi= -25.8;break;
case 150:GTDVfi= -26.1;break;
case 151:GTDVfi= -27.1;break;
case 152:GTDVfi= -26.6;break;
case 153:GTDVfi= -27.2;break;
case 154:GTDVfi= -28.4;break;
case 155:GTDVfi= -28.5;break;
case 156:GTDVfi= -30.6;break;
case 157:GTDVfi= -32.7;break;
case 158:GTDVfi= -34.8;break;
case 159:GTDVfi= -39.2;break;
case 160:GTDVfi= -40.7;break;
case 161:GTDVfi= -37.4;break;
case 162:GTDVfi= -34.7;break;
case 163:GTDVfi= -33.9;break;
case 164:GTDVfi= -32.1;break;
case 165:GTDVfi= -30.8;break;
case 166:GTDVfi= -29.4;break;
case 167:GTDVfi= -29.6;break;
case 168:GTDVfi= -30.7;break;
case 169:GTDVfi= -29 ;break;
case 170:GTDVfi= -29.3;break;
case 171:GTDVfi= -28 ;break;
case 172:GTDVfi= -27 ;break;
case 173:GTDVfi= -26.7;break;

```

        case 174:GTDVfi= -25.4;break;
        case 175:GTDVfi= -24.2;break;
        case 176:GTDVfi= -22.9;break;
        case 177:GTDVfi= -22 ;break;
        case 178:GTDVfi= -21.4;break;
        case 179:GTDVfi= -21.1;break;
        case 180:GTDVfi= -20.3;break;

};

/* printf("GTDVfi=%f\n",GTDVfi);*/

/* calculo de Hgn */
switch((int)alfa)
{ case 0: GTDHalfa= 14.0;break;
  case 15: GTDHalfa= 13.3;break;
  case 30: GTDHalfa= 10.9;break;
  case 45: GTDHalfa= 6.2;break;
  case 60: GTDHalfa= -4.0;break;
  case 75: GTDHalfa= -9.4;break;
  case 300: GTDHalfa= -8.5;break;
  case 315: GTDHalfa= 5.6;break;
  case 330: GTDHalfa= 10.9;break;
  case 345: GTDHalfa= 13.3;break;
};

/* printf("GTDHalfa=%f\n\n",GTDHalfa); */

/* calculo de PRcalc */
PRcalc = 40 + GTDHalfa + 2.15 + GTDVfi + 2.15 + 3 -
          20 * (log10(d)) - 20 * (log10(f)) - 32.44;

```

```

PRcalc12[cont]=PRcalc;

/* calculo de PRcoor */

PRcoor = 40 + GTDHalfa + 2.15 + 14 + 2.15 + 3 -
                20 * (log10(d)) - 20 * (log10(f)) - 32.44;

PRcoor12[cont]=PRcoor;

gi[cont]=PRcoor;

if(cont==11)gi06=PRcoor;

/*      printf("%1.3f %8.3f %8.3f %8.2f %8.2f %8.2f %8.3f
%+8.3f\n",d,tgfi,arcTanfiGraus,arcTanfiGrausAj,GTDVfi,GTDHalfa,PRcalc,PRcoor); */
}

/* printf("gi06 = %+8.3f\t",gi06); */

/* calcular o moduglo de gi06 */
if(gi06<0){ gi06=gi06*(-1);}

/* printf("gi06 = %+8.3f\n",gi06); */

/* a */

SOMATgi=0; /* Somatorio de m' ajustado */
for(cont=0;cont<=11;++cont)
{
    /* printf("%+8.3f\t",gi[cont]); */
    gi[cont] = gi[cont] + gi06 + 0.5;
    SOMATgi=SOMATgi + gi[cont];
    /*      printf("%+8.3f\n",gi[cont]); */
}

/* printf("SOMATgi = %+8.3f\n",SOMATgi); */

```

```

/* d */

SOMATLogd = 0;
for(cont=0,d=d1;cont<=11;++cont,d=d+0.05)
{ SOMATLogd = SOMATLogd + log10(d);
  /* printf("%+8.3f...log d = %+8.3f\n",d,log10(d)); */
}
/* printf("SOMATLogd = %+8.3f\n",SOMATLogd); */

/* b */

SOMATLogQuadd=0;
for(cont=0,d=d1;cont<=11;++cont,d=d+0.05)
{ SOMATLogQuadd = SOMATLogQuadd + (log10(d)*log10(d));
  /* printf("log 2 (d) = %+8.3f\n",log10(d)*log10(d) ); */
};
/* printf("SOMATLogQuadd = %+8.3f\n",SOMATLogQuadd); */

/* c */

SOMATGiLogd=0;
for(cont=0,d=d1;cont<=11;d=d+0.05,++cont)
{ SOMATGiLogd = SOMATGiLogd + gi[cont] * log10(d);
  /* printf("%+8.3f ---- %+8.3f\n",d,gi[cont]*log10(d)); */
};
/* printf("SOMATGiLogd = %+8.3f\n",SOMATGiLogd); */

K=( (SOMATgi * SOMATLogQuadd) - (SOMATGiLogd * SOMATLogd) ) /
    ( (12 * SOMATLogQuadd) - (SOMATLogd * SOMATLogd) );

/* gotoxy(10,8);printf("K = %+10.6ft",K); */

```

```

Ro = ( (12 * K) - SOMATgi ) / SOMATLogd;

/*      printf("Ro = %+8.3f\n",Ro) */

/* calculo de g1 */
if(alfa==60 || alfa==75 || alfa==300)
{
    for(cont=0,d=d1; cont<=11;++cont,d=d+0.05)
    {
        g[cont] = -31.93 + K - (Ro * log10(d));
        /* printf("g[%6.3f]...%+8.3f\n",d,g1[cont]); */
    }
}

if(alfa==45 || alfa==315)
{
    for(cont=0,d=d1; cont<=11;++cont,d=d+0.05)
    {
        g[cont] = -19.68 + K - (Ro * log10(d));
        /* printf("g[%6.3f]...%+8.3f\n",d,g2[cont]); */
    }
}

if(alfa==0 || alfa==15 || alfa==30 || alfa==345 || alfa==330)
{
    for(cont=0,d=d1; cont<=11;++cont,d=d+0.05)
    {
        g[cont] = -12.84 + K - (Ro * log10(d));
        /* printf("g[%6.3f]...%+8.3f\n",d,g3[cont]); */
    }
}

/* mostrar resultados */
printf("\n      d(km)   m(dBm)   m'(dBm)   g(d)\n");
for(cont=0,d=d1; cont<=11;++cont,d=d+0.05)

```

```

        { printf("      %6.3f  %+8.3f  %+8.3f
%+8.3f\n",d,PRcalc12[cont],PRcoor12[cont],g[cont]);
        }

printf("\n      Tecle e aguarde para visualizar o grafico.");
getch();

/* parte grafica */

initgraph(&gdriver,&gmode,"");
errorcode = graphresult();
if(errorcode!=grOk)
{ printf("erro gr fico: %s\n",grapherrormsg(errorcode));
  printf("tecle para fim...\n");getch();exit(1); }

/* Prepara o fundo */

setbkcolor(DARKGRAY);/* limpa o fundo */
setcolor(WHITE);/* .....retangulo */
rectangle(0,0,639,479);/*top,right,botton,left*/

x=100;y=35;

/* Titulo do gr fico */
outtextxy(x+75,y-15,"Abertura da antena TX: ");
moveto(360,20);
switch((int)(alfa))
{
    case 0: {outtextxy(360,20," 0");break;}
    case 15: {outtextxy(360,20," 15");break;}
    case 30: {outtextxy(360,20," 30");break;}
    case 45: {outtextxy(360,20," 45");break;}
    case 60: {outtextxy(360,20," 60");break;}

```

```

        case 75: {outtextxy(360,20," 75");break;}
        case 300: {outtextxy(360,20,"300");break;}
        case 315: {outtextxy(360,20,"315");break;}
        case 330: {outtextxy(360,20,"330");break;}
        case 345: {outtextxy(360,20,"345");break;}
    };

```

```

/* Título eixo vertical */

```

```

settextstyle(SMALL_FONT, VERT_DIR, 1);
outtextxy(x-70, y+115, "Potência (dBm) ");

```

```

/* Rodap, */

```

```

setcolor(WHITE);
settextstyle(SMALL_FONT, HORIZ_DIR, 1);

```

```

outtextxy(x, y+330, " .100 .200 .300 .400 .500 .600");
outtextxy(x, y+340, ".050 .150 .250 .350 .450 .550 ");
outtextxy(x, y+360, "          Distância (km)");
outtextxy(x+330, y+410, "Tecle para continuar.");

```

```

/* Fundo do grafico */

```

```

setfillstyle(SOLID_FILL, BLUE); /* retangulo preenchido */
bar(x, y, x+405, y+320);

```

```

/* eixos dos graficos */

```

```

setcolor(YELLOW); setlinestyle(SOLID_LINE, 1, 1);
line(x, y-4, x, y+320+4);
line(x, y+140, x+405+4, y+140); moveto(43, y+140-3); outtext(" 0.00");

```

```

/* linhas horizontais */
setcolor(WHITE);
setlinestyle(DOTTED_LINE,1,1);
settextstyle(SMALL_FONT, HORIZ_DIR,1);
for(cont=0;cont<=320;cont=cont+20)
{
    line(x,y+cont,x+405,y+cont); }

outtextxy(43,y+ 0-3," 35.00");
outtextxy(43,y+ 20-3," 30.00");
outtextxy(43,y+ 40-3," 25.00");
outtextxy(43,y+ 60-3," 20.00");
outtextxy(43,y+ 80-3," 15.00");
outtextxy(43,y+100-3," 10.00");
outtextxy(43,y+120-3," 5.00");

outtextxy(43,y+160-3," -5.00");
outtextxy(43,y+180-3,"-10.00");
outtextxy(43,y+200-3,"-15.00");
outtextxy(43,y+220-3,"-20.00");
outtextxy(43,y+240-3,"-25.00");
outtextxy(43,y+260-3,"-30.00");
outtextxy(43,y+280-3,"-35.00");
outtextxy(43,y+300-3,"-40.00");
outtextxy(43,y+320-3,"-45.00");

z=173; /* nivelando pelo meio */

/* PRcalc ----- */

```

```

/*          setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTRED);*/
          setcolor(LIGHTRED);

/* d=0.050 */
          v=PRcalc12[0];
          if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
          x1=118;          y1=z+v;
          outtextxy(x1,y1,"x");/*bar(x1,y1,x1+5,y1+5);*/

/* d=0.100 */
          v=PRcalc12[1];
          if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
          x1=149;y1=z+v;
          outtextxy(x1,y1,"x");

/* d=0.150 */
          v=PRcalc12[2];
          if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
          x1=180;y1=z+v;
          outtextxy(x1,y1,"x");

/* d=0.200 */
          v=PRcalc12[3];
          if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
          x1=211;y1=z+v;
          outtextxy(x1,y1,"x");

/* d=0.250 */
          v=PRcalc12[4];

```

```

if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=245;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"x");

```

```

/* d=0.300 */
v=PRcalc12[5];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=277;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"x");

```

```

/* d=0.350 */
v=PRcalc12[6];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=309;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"x");

```

```

/* d=0.400 */
v=PRcalc12[7];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=340;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"x");

```

```

/* d=0.450 */
v=PRcalc12[8];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=372;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"x");

```

```

/* d=0.500 */

```

```

v=PRcalc12[9];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=405;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"x");

/* d=0.550 */
v=PRcalc12[10];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=435;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"x");

/* d=0.600 */
v=PRcalc12[11];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=467;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"x");

/* PRcoor -----*/
setcolor(LIGHTGREEN);

/* d=0.050 */
v=PRcoor12[0];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=118;          y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");/*bar(x1,y1,x1+5,y1+5);*/

/* d=0.100 */
v=PRcoor12[1];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);

```

```

x1=149;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

/* d=0.150 */
v=PRcoor12[2];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=180;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

/* d=0.200 */
v=PRcoor12[3];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=211;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

/* d=0.250 */
v=PRcoor12[4];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=245;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

/* d=0.300 */
v=PRcoor12[5];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=277;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

/* d=0.350 */
v=PRcoor12[6];

```

```

if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=309;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

```

```

/* d=0.400 */
v=PRcoor12[7];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=340;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

```

```

/* d=0.450 */
v=PRcoor12[8];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=372;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

```

```

/* d=0.500 */
v=PRcoor12[9];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=405;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

```

```

/* d=0.550 */
v=PRcoor12[10];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=435;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

```

```

/* d=0.600 */

```

```

v=PRcoor12[11];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=467;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"");

/* g() */
/* PRcoor */
setcolor(LIGHTCYAN);

/* d=0.050 */
v=g[0];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=118;          y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");/*bar(x1,y1,x1+5,y1+5);*/

/* d=0.100 */
v=g[1];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=149;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

/* d=0.150 */
v=g[2];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=180;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

/* d=0.200 */
v=g[3];

```

```

if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=211;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

```

```

/* d=0.250 */
v=g[4];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=245;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

```

```

/* d=0.300 */
v=g[5];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=277;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

```

```

/* d=0.350 */
v=g[6];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=309;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

```

```

/* d=0.400 */
v=g[7];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=340;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

```

```

/* d=0.450 */

```

```

v=g[8];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=372;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

/* d=0.500 */
v=g[9];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=405;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

/* d=0.550 */
v=g[10];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=435;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

/* d=0.600 */
v=g[11];
if(v>0)v=(-1)*(4*v);else v=(-1)*(4*v);
x1=467;y1=z+v;
outtextxy(x1,y1,"+");

/* legendas PRcalc, PRcoor e g(d) */
setcolor(LIGHTRED );x2=520;y2= 50;outtextxy(x2,y2,"x ... m (dBm)");
setcolor(LIGHTGREEN);x2=520;y2= 70;outtextxy(x2,y2,"* ... m` (dBm)");
setcolor(LIGHTCYAN );x2=520;y2= 90;outtextxy(x2,y2,"+ ... g ( d )");

getch();

```

```
closegraph();
clrscr();
cont =3;
while(cont!=0 && cont!=1)
{
    clrscr();
    gotoxy(10,10);printf("Digite sua opcao e tecla <enter>:\n");
    gotoxy(10,11);printf(" 0 ... sair do programa.\n");
    gotoxy(10,12);printf(" 1 ... executar o programa novamente.\n");
    gotoxy(10,14);printf("Opcao: ");
    scanf("%d",&cont);

};
}/* while que finaliza o programa. */
/* fim */
return 0;
}
```

Referências Bibliográficas

- [1] MILER, G. M. *Modern Electronic Communication*. 5TH ed. New Jersey : Prentice-Hall, 1996.
- [2] NETO, V. S.; PETRUCCI, L. A.; TEIXEIRA, P. S. de A. *Telecomunicações: Sistemas de Propagação e Rádio Enlace*. São Paulo : Érica, 1999.
- [3] SMIT, J. *Ondas e Antenas*. 2 Ed. São Paulo : Érica, 1987.
- [4] *Guia Prático de Antenas*, 3 Ed. Kathrein, 1999.
- [5] FESSENDEN, R.A. *Biografia*. Disponível em: <[http: www.radiocom.net/fessenden](http://www.radiocom.net/fessenden)>. Acesso em: 29 nov. 2004.
- [6] CARSON, A. B. *Communication Systems*. 3TH ed. Singapore : McGraw-Hill, 1986.
- [7] BARRADAS, O. *Você e as Telecomunicações*. Rio de Janeiro : Interciência, 1995.
- [8] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, *Aprova o Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada*. Resolução N.º 067, de 12 de Dezembro de 1998. Brasília. Disponível em: <[http: www.anatel.gov.br/radiodifusão](http://www.anatel.gov.br/radiodifusão)>. Acesso em: 29 nov. 2004.
- [9] Lei Geral das Telecomunicações Brasileiras. Disponível em <http://www.anatel.gov.br>. Acesso em: 29 nov. 2004.
- [10] ITU. *History*. Disponível em: <[http: www.itu.int/home](http://www.itu.int/home)>. Acesso em: 29 nov. 2004.
- [11] SILVA, A.M. e. *O Que Fazem os Dee-Jays nos Rádios de Manaus?* Manaus, 1977. Dissertação (Mestrado em Comunicação Social) – Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas.
- [12] GIL, A.G.X. *Muito Além do Jardim Botânico e dos Sorrisos da Vila Guilherme: A Relação do Rádio e da Televisão com a Política de Manaus*. Manaus, 1996. Dissertação (Mestrado em Comunicação Social) – Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas.
- [13] TOLEDANO, M. S. A; FORTES, M. As Categorias da Ciência Geográfica. *Revista de Geografia da U. A*, Manaus, v.2, n. 1 – 2, p.49 – 62, jan. – dez. 2000.
- [14] AGUIAR, F.O. E. *As Alterações Climáticas em Manaus no Século XX*. Rio de Janeiro, 1995. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1995.
- [15] IBGE, *Censo Demográfico 2000 – Resultados Preliminares*.
- [16] *Guia de Manaus*. Lista Telefônica. Manaus, 2002.

- [17] GUIMARÃES JÚNIOR, M. *Efeitos Biológicos da Radiação Eletromagnética não Ionizante Emitida Pelo Sistema Móvel de Telefonia Celular em Seres Humanos*. Tecnia, Goiânia, p. 4 - 23. jan. - jun. 2003.
- [18] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, *Rádiodifusão*. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/rádiodifusão>>. Acesso em: 29 nov. 2004.
- [19] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, *Comunicação Móvel*. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/comunicacao_movel>. Acesso em: 29 nov. 2004.
- [20] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, *Aprova o Regulamento Técnico para a Prestação do Serviço de Rádiodifusão Sonora em Onda Média e em Onda Tropical (faixa de 120 metros)*. Resolução N.º 116, de 25 de Março de 1999. Brasília. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/rádiodifusão>>. Acesso em: 29 nov. 2004.
- [21] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, *Regulamento Técnico para a Prestação do Serviço de Rádiodifusão de Sons e Imagens e do Serviço de Retransmissão de Televisão*. Resolução N.º 284, de 7 de dezembro de 2001. Brasília. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/rádiodifusão>>. Acesso em: 29 nov. 2004.
- [22] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, *Aprova a alteração do Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências nas Faixas de 800 MHz, 900 MHz e 1.800 MHz para prestação do Serviço Móvel Pessoal*. Resolução N.º 376, de 2 de setembro de 2004. Brasília. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/comunicacao_movel>. Acesso em: 29 nov. 2004.
- [23] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, Resposta ao Ofício 018 de 09 Ago. 2002.
- [24] ALENCAR, M. S. de. *Telefonia Digital*. 3 Ed. São Paulo : Érica, 2000.
- [25] EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE, *ETSI TS 29.002 V4.14.0*. Standard 2004-03. França. Disponível em: <http://www.etsi.org>. Acesso em: 29 nov. 2004.
- [26] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, *Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz*. Resolução nº 303 de 02 Julho de 2002. Brasília. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Radiofrequencia>. Acesso em: 29 nov. 2004.

- [27] COLLIN, R. E. *Antennas and Radiowave Propagation*. New York : McGraw-Hill, 1985.
- [28] Portaria do Ministério das Comunicações N.º 25 de 24 FEV 1983.
- [29] PICQUENARD, A. *Complementos de Telecomunicações*. São Paulo : Companhia Editora Nacional, 1976.
- [30] Mapa digitalizado da cidade de Manaus fornecido pelo NPGU/ULBRA.
- [31] SAUNDERS, S. R. *Antennas and Propagation For Wireless Communications System*. New York : John Wiley & Sons, LTD.
- [32] KRAUSS, J. D. *Antenas*. Rio de Janeiro : Guanabara Dois, 1983.
- [33] Guia Prático *Kathrein Mobilcom*.do Brasil. São Paulo : 2000.
- [34] SCHELKUNOFF, S. A.; FRISS, H. T. *Antennas Theory and Practice*. New York : John Wiley & Sons, 1952.
- [35] CÁTEDRA, M. F.; PÉREZ-ARRIAGA, J. *Cell Planning for Wireless Communications*. Boston : Artech House, 1999.
- [36] COST 259 - *European Co-operation in Mobile Radio Research*.
- [37] LEE, W. C. Y. *Mobile Communications Engineering*. 2TH Edition. New York : McGraw-Hill, 1998.
- [38] WALFISCH, J., BERTONI, H. L. "A theoretical model of UHF propagation in urban environments," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 36, no. 12, pp. 1788-1796, December 1988.
- [39] IKEGAMI, F., UMEHIRA, S. Y. M., "Propagation factors controlling mean field strength on urban streets," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 32, no. 8, pp. 822-829, August 1984.
- [40] COST 231 - "Urban transmission loss models for mobile radio in the 900 and 1,800 MHz bands (Revision 2)," *COST 231 TD (90)119 Rev. 2*, The Hague, The Netherlands, September 1981.
- [41] COST 231 - "Digital mobile radio towards future generation systems" *COST 231 Walfisch-Ikegami-Model*, 1999.
- [42] RUGGIERO, M. A. G., LOPES, Vera Lúcia da Rocha. *Cálculo Numérico: aspectos teóricos e computacionais*. 2 Ed. São Paulo: Makron Books, 1996.
- [43] DIAS, M. H. C.; SIQUEIRA, G. L. "Considerações sobre os Efeitos à Saúde Humana da Irradiação Emitida por Antenas de Estações Rádio-base de Sistemas Celulares". *Revista Científica Periódica - Telecomunicações*, v. 05, n. 01, p. 41-54, jun. 2002.

- [44] Antenna Book, 19th Edition, ARRL Amateur Radio, cap. 23, p. 23-1, 2002.
- [45] *HP 8590 E-Series and L-Series Spectrum Analyzer User's Guide.*