



João Felipe Buenaga Cavalcanti

**Medidas de Rádio Propagação em UHF em Ambientes
Suburbanos para TV Digital: Estudo de Cobertura para
Recepção Fixa**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento
de Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Gláucio Lima Siqueira

Rio de Janeiro
Setembro de 2005



João Felipe Buenaga Cavalcanti

**Medidas de Rádio Propagação em UHF em Ambientes
Suburbanos para TV Digital: Estudo de Cobertura para
Recepção Fixa**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Dr. Gláucio Lima Siqueira

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Dr. Julio Cesar Rodrigues Dal Bello

UFF

Dr. Eduardo Javier Arancibia Vásquez

Claro

Dr. Rodolfo Sabóia Lima de Souza

PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de setembro de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

João Felipe Buenaga Cavalcanti

Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações pela UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 2003.

Ficha Catalográfica

Cavalcanti, João Felipe Buenaga

Medidas de rádio propagação em UHF em ambientes suburbanos para TV digital : estudo de cobertura para recepção fixa / João Felipe Buenaga Cavalcanti ; orientador: Gláucio Lima Siqueira. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

135 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Propagação em UHF. 3. TV digital. 4. Rádio propagação. 5. Recepção fixa. I. Siqueira, Gláucio Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Dedico essa conquista a Deus, arquiteto da minha vida.
Aos meus pais e irmãos, apoios nos momentos mais difíceis.

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Gláucio Lima Siqueira, pela condução clara e objetiva durante todo o trabalho.

Ao Departamento de Engenharia da TV Globo pelo apoio financeiro e intelectual no planejamento e execução das medidas. Agradecimento especial ao Engenheiro Francisco Peres pela grande dedicação prestada.

A CAPES e a PUC, órgãos financiadores.

A todos os Amigos do CETUC, Sidney, Fabrício, Marco Aurélio, Pedro, por toda ajuda prestada nas medidas, e em especial a Eduardo da Silva Leão, maior companheiro nos dias de trabalho.

Ao Amigo Eduardo Klein, pela importante contribuição no desenvolvimento do programa de aquisição de dados através do Matlab.

A Janaina Cunha e Silva Arteaga pela ajuda prestada e pelo afeto a mim dedicado.

Aos meus pais pelo carinho e atenção que sempre me dedicaram.

Resumo

Cavalcanti, João Felipe Buenaga; Siqueira, Gláucio Lima (Orientador). **Medidas de Rádio Propagação em UHF em Ambientes Suburbanos para TV Digital: Estudo de Cobertura para Recepção Fixa.** Rio de Janeiro, 2005, 135p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A previsão da perda de propagação na faixa de UHF tem grande importância para o dimensionamento dos sistemas de TV Digital. Com base em uma grande campanha de medidas na cidade do Rio de Janeiro pretende-se, com esse trabalho, descrever o comportamento do sinal, assim como verificar a existência de modelos adequados para caracterizá-lo.

Palavras-chave

Propagação em UHF, TV Digital, Rádio Propagação, Recepção Fixa.

Abstract

Cavalcanti, João Felipe Buenaga; Siqueira, Gláucio Lima (Orientador).
UHF Radio Propagation Measurements in Suburban Environments for Digital TV: Study of Coverage for Fixed Reception. Rio de Janeiro, 2005, 135p. Msc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Methods for prediction of propagation loss in the UHF band have great importance for the Digital TV systems sizing. With basis of a great measures campaign in Rio de Janeiro city, this work intendeds to describe the behavior of the signal end to verify the existence of adjusted models to characterize it.

Palavras-chave

Propagation at UHF; Digital TV; Radio Propagation, Fixed Reception.

Sumário

1 Introdução	15
1.1. Avanço da Televisão	15
1.2. Propagação e Modelo de Cobertura	16
1.3. Objetivo	16
1.4. Estrutura	17
2 TV Digital	18
2.1. Modulações Digitais	19
2.2. Padrão Americano (ATSC)	21
2.3. Padrão Europeu	22
2.4. Padrão Japonês	24
3 Propagação	25
3.1. Introdução	25
3.2. Propagação no espaço Livre	26
3.3. Propagação em Terra Plana	28
3.4. Propagação em obstrução	29
3.4.1. Difração devido a obstáculo isolado do tipo “gume-de-faca”	29
3.4.2. Difração devido a obstáculo isolado arredondado	32
3.4.3 Difração por Múltiplos Obstáculos	34
3.5. Efeito de Multipercurso	35
3.6. Campo Elétrico	36
4 Modelos de Predição de Cobertura	38
4.1 Introdução	38
4.2. Modelo de Okumura	38
4.3. Expressão de Hata	41
4.4. Modelo ITU-R p.1546	42
4.4.1. Interpolação de intensidade de campo em função da distância	43
4.4.2. Aplicação da altura da antena transmissora	43
4.4.3. Interpolação de intensidade de campo em função da frequência	46
4.4.4. Interpolação de intensidade de campo em função da porcentagem de	

tempo	47
4.5. Modelo Walfish Bertoni	49
4.6. Modelo Ibrahim Parsons	50
4.6.1. Modelo empírico:	51
4.6.2. Modelo semi-empírico	51
5 <i>Setup</i> de Medidas	53
5.1. Introdução	53
5.2. Sistema de Medidas	54
5.2.1. Bloco de Transmissão	54
5.2.2. Bloco de Recepção	56
5.2.3. Bloco de Aquisição e Controle	61
5.3. Unidade Móvel	62
5.4. Balanço de Potência	63
5.4.1. Potência Isotrópica Efetivamente Irradiada (EIRP)	64
5.4.2. Perda de Propagação no Percurso	64
5.4.3. Mínimo sinal detectável	65
6 Campanha de Medidas	67
6.1. Ambiente de Medidas	67
6.1.1. Setor Jacarepaguá	69
6.1.2. Setor Barra da Tijuca	70
6.1.3. Setor Recreio dos Bandeirantes	71
6.2. Metodologia de Medida	72
6.3. Resultado das Medidas	73
7 Análise dos Resultados	75
7.1. Seleção dos pontos	75
7.2. Dependência com a distância	76
7.3. Modelos ponto-área	80
7.4. Modelo ponto-a-ponto	99
7.5. Variabilidade Temporal	104
7.6. Variação com a Altura	112
7.7. Cobertura	117
8 Conclusões	121
8.1. Análise da Perda de Percurso	122

8.2. Comportamento estatístico	122
8.3. Variação com a altura	123
8.4. Sugestões para trabalhos futuros	123
9 Referências Bibliográficas	125
Apêndice A Programas de simulação dos modelos de cobertura ponto-área	128
Apêndice B Programa para obtenção das funções densidade de probabilidade e cumulativa da distribuição de probabilidade	134

Lista de figuras

Figura 1: Modelo de referência em blocos de um transmissor de TV Digital qualquer	18
Figura 2: Diagrama em blocos do Padrão ATSC	22
Figura 3: Diagrama em blocos simplificado do DVB-T	23
Figura 4: Propagação sobre terra Plana	28
Figura 5: Difração por gume de faca	31
Figura 6: Perda por gume de faca	32
Figura 7: Representação de um obstáculo arredondado	33
Figura 8: Método da corda esticada	35
Figura 9: Fenômeno de Multipercurso	36
Figura 10: Curva de atenuação média relativa ao espaço livre em área urbana sobre terreno quase plano	40
Figura 11: Fator de correção para diferentes tipos de terreno	40
Figura 12: Ângulo de desobstrução do terreno	46
Figura 13: Correção para ângulo de desobstrução do terreno	46
Figura 14: Geometria do modelo Walfish e Bertoni	50
Figura 15: Diagrama de blocos do sistema básico de operação.	53
Figura 16: Antena transmissora TTSL4UA	55
Figura 17: Diagrama horizontal da antena TSL4UA, escala E/Emáx	55
Figura 18: Diagrama de Radiação Vertical da antena TTSL4UA, escala E/Emáx	56
Figura 19: Fixação do Casador 75/50 Ω e do LNA junto a antena	58
Figura 20: Haste com a antena receptora	59
Figura 21: Antena receptora	59
Figura 22: Diagrama de radiação horizontal da antena receptora [25]	60
Figura 23: Interface gráfica do programa de aquisição em MATLAB	61
Figura 24: Região de Medidas	68
Figura 25: Perfis de relevo do setor Jacarepaguá	69
Figura 26: Perfis de relevo do setor Barra da Tijuca	70
Figura 27: Urbanização do setor Barra da Tijuca.	71
Figura 28: Perfis de relevo do setor Recreio dos Bandeirantes	71
Figura 29: Urbanização do setor Receio dos Bandeirantes	72
Figura 30: Mapa com os pontos de medidas	74

Figura 31: Distância mínima de cobertura	76
Figura 32: Atenuação por percurso – Região como um todo	77
Figura 33: Atenuação por percurso – Setor Jacarepaguá	78
Figura 34: Atenuação por percurso – Setor Barra da Tijuca	78
Figura 35: Atenuação por percurso – Setor Recreio dos Bandeirantes	79
Figura 36: Comparação com o modelo Okumura-Hata	83
Figura 37: Comparação com o modelo Ibrahim-Parsons	85
Figura 38: Comparação com o modelo Walfish-Bertoni	87
Figura 39: Comparação com o modelo ITU-R p.1546	89
Figura 40: Curvas de dispersão para toda a região	93
Figura 41: Curvas de dispersão para o setor Jacarepaguá	94
Figura 42: Curvas de dispersão para o setor Barra da Tijuca	95
Figura 43: Curvas de dispersão para o setor Recreio dos Bandeirantes	96
Figura 44: Comparação com o modelo Deygout-Assis	101
Figura 45: Curvas de dispersão para o modelo Deygout-Assis	103
Figura 46: Comportamento do nível médio	105
Figura 47: Comportamento do desvio padrão	106
Figura 48: Funções cumulativas para o setor Jacarepaguá	108
Figura 49: Funções cumulativas para o setor Barra da Tijuca	109
Figura 50: Funções cumulativas para o setor Recreio dos Bandeirantes (Radiais 240° a 270°)	110
Figura 51: Funções cumulativas para o setor Recreio dos Bandeirantes (Radiais 200° a 230°)	111
Figura 52: Variação do campo medido com a altura	114
Figura 53: Contagem do número de ocorrência da perda do Campo Elétrico com a redução de altura	114
Figura 54: Contagem do número de ocorrência da perda do Campo Elétrico com a redução de altura (considerando somente os valores positivos)	115
Figura 55: Cobertura prevista pelo modelo Deygout-Assis	119

Lista de tabelas

Tabela 1: Padrão de qualidade de imagem	19
Tabela 2: Características dos padrões de TV Digital	20
Tabela 3: Modos de operação COFDM do DVB	23
Tabela 4: Valores aproximados da distribuição cumulativa normal complementar inversa	49
Tabela 5: Especificações da antena transmissora TTSL4UA [22]	55
Tabela 6: Especificações da antena receptora [24]	60
Tabela 7: Valores dos parâmetros de simulação dos modelos Okumura-Hata, Ibrahim-Parsons e Walfish-Bertoni.	81
Tabela 8: Expressões matemáticas para os modelos Okumura-Hata	82
Tabela 9: Expressões matemáticas para os modelos Ibrahim-Parsons	82
Tabela 10: Erro médio, erro absoluto, desvio padrão e erro RMS para a região em geral.	92
Tabela 11: Erro médio, erro absoluto, desvio padrão e erro RMS para o setor Jacarepaguá	92
Tabela 12: Erro médio, erro absoluto, desvio padrão e erro RMS para o Setor Barra da Tijuca	92
Tabela 13: Erro médio, erro absoluto, desvio padrão e erro RMS para o Setor Recreio dos Bandeirantes	92
Tabela 14: Erros médios para o modelo Ibrahim-Parsons em função dos seus parâmetros de simulação	98
Tabela 15: Erro médio para o modelo Walfish-Bertoni em função dos seus parâmetros de simulação.	99
Tabela 16: Erro médio, erro absoluto, desvio padrão e erro RMS para ao modelo Deygout-Assis	103
Tabela 17: Fator de correção para a altura da antena receptora	113
Tabela 18: Erro médio, erro absoluto, desvio padrão e erro RMS para toda a região (recepção a 1,8 m de altura)	116
Tabela 19: Erro médio, erro absoluto, desvio padrão e erro RMS para o setor Jacarepaguá (recepção a 1,8 m de altura)	116
Tabela 20: Erro médio, erro absoluto, desvio padrão e erro RMS para o setor Barra da Tijuca (recepção a 1,8 m de altura)	116
Tabela 21: Erro médio, erro absoluto, desvio padrão e erro RMS para o setor	

Recreio dos Bandeirantes (recepção a 1,8 m de altura) 117

Tabela 22: Limiares de cobertura especificados pelos modelos ITU-R p.1546,
Okumura-Hata e pelas regressões lineares das medidas 119