

Johnderson Nogueira de Carvalho

**Propagação em áreas urbanas na faixa de UHF
Aplicação ao planejamento de sistemas de TV digital**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Luiz Alencar Reis da Silva Mello

Rio de Janeiro, agosto de 2003.



Johnderson Nogueira de Carvalho

Propagação em áreas urbanas na faixa de UHF

Aplicação ao planejamento de sistemas de TV digital

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

Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello

Orientador
CETUC - PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

CETUC - PUC-Rio

Prof. Erasmus Couto Brasil de Miranda

UCP

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 01 de agosto de 2003.

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

Johnderson Nogueira de Carvalho

Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Eletrônicos pela UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 1995. Trabalhou por dois anos com automação industrial utilizando CLPs e Supervisórios à distância.

Ficha Catalográfica

Carvalho, Johnderson Nogueira de

Propagação em áreas urbanas na faixa de UHF: aplicação ao planejamento de sistemas de TV digital / Johnderson Nogueira de Carvalho; orientador: Luiz Alencar Reis da Silva Mello. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2003.

121 f. : il. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Propagações em regiões urbanas em UHF 3. TV digital. 4. Rádio propagação. I. Mello, Luiz Alencar Reis da Silva. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

A Deus o autor da minha vida.
Aos meus pais pela confiança e apoio depositados.

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Luiz Alencar Reis da Silva Mello pelo estímulo e parceria para a realização deste trabalho.

A CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus pais, pela educação, atenção e carinho de todas as horas.

Ao meu professor Antonio Romeiro Sapienza pelo encaminhamento e orientação na escolha do meu curso de mestrado.

A Fábia pelo carinho e estímulo sempre presente.

A Marcela, Luciana, Marta, Gustavo, Mariana, colegas da PUC por todo o apoio.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

Resumo

Carvalho, Johnderson Nogueira de. **Propagação em áreas urbanas na faixa de UHF. Aplicação ao planejamento de sistemas de TV digital.** Rio de Janeiro, 2003. 121p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A previsão da perda de propagação em áreas urbanas na faixa de UHF tem crescente importância por suas amplas aplicações em novos sistemas de telecomunicações. Neste trabalho o problema é analisado com ênfase em sistemas de TV digital. Dados disponíveis de testes de propagação em cerca de 600 pontos na região da Grande São Paulo foram utilizados para testar modelos de previsão de aplicação geral propostos na literatura técnica. A partir dos dados é proposto um ajuste destes modelos para a região em questão e realizada uma previsão do desempenho de três sistemas atualmente propostos para implementação da TV digital no Brasil.

Palavras-chave

Propagação em regiões urbanas em UHF; TV Digital; Rádio propagação.

Abstract

Carvalho, Johnderson Nogueira. **Propagation over urban areas in UHF. Application to the Digital's TV systems planning.** Rio de Janeiro, 2003. 121p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Methods for the prediction of propagation loss in the UHF band in urban areas are increasingly important for its application in new telecommunication systems. In this work, the problem is analyzed with focus on digital TV systems. Available data from propagation measurements at 593 MHz for about 600 sites in the Great São Paulo region are used to test recommended general purpose prediction methods. Based on this data base, a model fitting applicable for the measurements regions is proposed. The method derived is used to predict the performance of the three digital TV technologies currently under consideration for adoption in Brazil.

Keywords

Propagation in urban areas at UHF; Digital TV; Radio propagation.

Sumário

1	Introdução	15
1.1.	A importância da TV Digital	15
1.2.	Propagação de sinais de TV Digital em áreas Urbanas em VHF e UHF	17
1.3.	Organização do trabalho	17
2	Padrões de TV Digital	19
2.1.	Padrões de TV digital	19
2.1.1.	Padrão ATSC (Norte-americano) [9]	21
2.1.2.	Padrão DVB-T (Europeu) [9]	23
2.1.3.	Padrão ISDB (japonês) [9]	26
3	Mecanismos e Efeitos de Propagação em VHF e UHF	31
3.1.	Mecanismos básicos	32
3.1.1.	Propagação no espaço livre – visibilidade	32
3.1.2.	Propagação sobre Terra Plana	34
3.1.3.	Propagação por Difração	37
3.1.4.	Tropodifusão	43
3.2.	Efeitos da atmosfera e relevo	45
3.2.1.	Refração	45
3.2.2.	Efeitos de Multipercurso	47
3.2.3.	Obstruções pelo Relevo	48
4	Métodos de previsão cobertura em áreas urbanas	49
4.1.	Introdução	49
4.2.	Método de Okumura [3]	49
4.3.	Método de Hata (Okumura-Hata) [3]	51
4.4.	Método de Walfish Ikegami [3, 8]	52
4.5.	Método ITU-R P.1546 [2]	55

5 Modelo para previsão de cobertura em regiões urbanas na faixa de TV Digital	59
5.1. Banco de dados de medidas disponível	59
5.2. Software de previsão de cobertura	60
5.3. Testes do modelo de Okumura-Hata	62
5.3.1. Okumura – Hata	63
5.3.2. Okumura – Hata com Difração Simples	65
5.3.3. Okumura – Hata com Difrações Múltiplas	67
5.4. Comparação dos erros	69
5.5. Ajustes do Modelo	70
5.6. Okumura – Hata com mapa de 2 m de resolução	76
5.6.1. Okumura – Hata sem difração	76
5.6.2. Okumura – Hata com Difração simples	77
5.6.3. Okumura – Hata com múltiplas difrações	77
6 Cálculo de cobertura de sistemas de TV Digital	83
6.1. Aspectos Gerais	83
6.2. Cobertura [17]	85
6.2.1. Tipos de Antenas [17]	85
6.2.2. Área de Cobertura [17]	87
6.3. Limiares de Cobertura	87
6.4. Previsão da cobertura para São Paulo	89
6.4.1. Okumura-Hata com difração	89
6.4.2. Modelo ajustado com difração	91
7 Conclusões	93
8 Referências bibliográficas	95

Lista de figuras

Figura 2.1 – Modelo OSI de camadas	20
Figura 2.2 – Modelo de referência ITU para a Televisão Digital	21
Figura 2.3 – Sistema ATSC	22
Figura 2.4 – Modulação 8-VSB	22
Figura 2.5 – Sistema DVB	23
Figura 2.6 – Diagrama funcional do DVB-T	26
Figura 2.7 – Sistema ISDB	27
Figura 2.8 – Segmentação de banda no ISDB-T	28
Figura 3.1 – Reflexão sobre Terra Plana	34
Figura 3.2 – Reflexão em superfície rugosa (espalhamento)	35
Figura 3.3 – Determinação da diferença de fase entre raios refletidos em superfície rugosa	35
Figura 3.4 – Difração por obstáculo tipo gume de faca	38
Figura 3.5 – Campo difratado por obstáculo gume de faca	39
Figura 3.6 – Aproximação cilíndrica para um obstáculo isolado	40
Figura 3.7 – Enlace com difração múltipla: classificação dos obstáculos	42
Figura 3.8 – Tropodifusão	44
Figura 3.9 – Cenário de multipercurso por reflexão	47
Figura 4.1 – Fatores do método de Okumura: (a) atenuação adicional média para área urbana; (b) correções para outras morfologias.	50
Figura 4.2 – Fatores de correção do método de Okumura: (a) para a altura da antena transmissora; (b) para a altura da antena receptora.	51
Figura 4.3 – Parâmetros do modelo de Walfish-Ikegami	53
Figura 5.1(a) – Base de dados topográfica (vista 3D)	61
Figura 5.1(b) – Base de dados topográfica (vista 2D) e pontos de medida	61
Figura 5.2 – Diagramas horizontal e vertical da antena utilizada	62
Figura 5.3 – Dados de configuração do transmissor	62
Figura 5.4 – Nível de sinal recebido: método de Okumura-Hata com altura real	64
Figura 5.5 – Nível de sinal recebido: método de Okumura-Hata com altura	

absoluta	64
Figura 5.6 – Nível de sinal recebido: método de Okumura-Hata com altura efetiva	65
Figura 5.7 – Nível de sinal recebido: Okumura-Hata com altura real e difração simples	66
Figura 5.8 – Nível de sinal recebido: Okumura-Hata com altura absoluta e difração simples	66
Figura 5.9 – Nível de sinal recebido: Okumura-Hata com altura efetiva e difração simples	67
Figura 5.10 – Nível de sinal recebido: Okumura-Hata com altura real e múltiplas difrações	68
Figura 5.11 – Nível de sinal recebido: Okumura-Hata com altura absoluta e múltiplas difrações	68
Figura 5.12 – Nível de sinal recebido: Okumura-Hata com altura efetiva e múltiplas difrações	69
Figura 5.13 – Gráfico da Perda x distância	70
Figura 5.14 – Gráfico da Perda x altura efetiva	71
Figura 5.15 – Histograma de erros para o modelo	72
Figura 5.16 – Comparação da perda medida e prevista pelo modelo x distância	72
Figura 5.17 – Gráfico da Perda x distância com $d > 3$ Km	73
Figura 5.18 – Gráfico da Perda x altura efetiva com $d > 3$ Km	73
Figura 5.19 – Histograma de erros para o modelo com $d > 3$ km	74
Figura 5.20 – Comparação da perda medida e prevista pelo modelo x distância para $d > 3$ km	74
Figura 5.21 – Histograma de erros para o modelo para $d > 3$ km e difração simples	75
Figura 5.22 – Comparação da perda medida e prevista pelo modelo x distância para $d > 3$ km e difração simples	75
Figura 5.23 – Nível de sinal recebido: Okumura-Hata com altura efetiva (2m)	76
Figura 5.24 – Nível de sinal recebido: Okumura-Hata com altura efetiva e simples difração (2m)	77
Figura 5.25 – Nível de sinal recebido: Okumura-Hata com altura efetiva e múltiplas difrações (2m)	78

Figura 5.26 – Gráfica da Perda x distância com $d > 3$ Km	79
Figura 5.27 – Gráfica da Perda x altura efetiva com $d > 3$ Km	79
Figura 5.28 – Histograma de erros para o modelo com $d > 3$ km	80
Figura 5.29 – Comparação da perda medida e prevista pelo modelo x distância para $d > 3$ km	80
Figura 5.30 – Histograma de erros para o modelo para $d > 3$ km e difração simples	81
Figura 5.31 – Comparação da perda medida e prevista pelo modelo x distância para $d > 3$ km e difração simples	81
Figura 6.1 – Lay-out básico das medidas do Limiar da relação C/N	88
Figura 6.2 – Análise da intensidade de cobertura utilizando o modelo de OH	90
Figura 6.3 – Análise da cobertura utilizando o modelo de OH	90
Figura 6.4 – Análise de intensidade de campo com o modelo de múltiplas difrações	91
Figura 6.5 – Análise de cobertura utilizando o modelo de múltiplas difrações	91
Figura 6.6 – Análise de intensidade de campo utilizando o modelo de difração simples	92
Figura 6.7 – Análise de cobertura utilizando o modelo de difração simples	92

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Modos de operação COFDM do DVB	24
Tabela 2.2 – Modos de operação do ISDB-T	27
Tabela 2.3 – Codificação de áudio	29
Tabela 3.1 – Características de propagação por faixa de frequência	32
Tabela 4.1 – Desvio padrão da variação da localização em 100 MHz	56
Tabela 4.2 – Desvio padrão da variação da localização em 600 MHz	56
Tabela 4.3 – Desvio padrão da variação da localização em 2000 MHz	56
Tabela 5.1 – Resumo da comparação dos erros	69
Tabela 5.2 – Resumo da comparação dos erros para o novo modelo	76
Tabela 5.3 – Resumo da comparação dos erros	78
Tabela 5.4 – Resumo da comparação dos erros para o novo modelo	82
Tabela 6.1 – Ganho da antena e perda por alimentação	86
Tabela 6.2 – Valor médio de perda devido à penetração dos edifícios	86
Tabela 6.3 – Variação da localização em macro escala	87
Tabela 6.4 – Relação portadora – ruído de limiar	88
Tabela 6.5 – Limiares da relação C/N dos padrões de TV	89

Lista de Abreviaturas

VHF – *Very High Frequency*
UHF – *Ultra High Frequency*
ITU – *International Telecommunication Union*
SHF – *Super High Frequency*
PCS – *Personal Communication System*
DVB – *Digital Video Broadcasting*
ISDB – *Integrated Services Digital Broadcasting*
ATSC – *Advanced Television Systems Committee*
CDMA – *Coded Division Multiple Access*
TDMA – *Time Division Multiple Access*
NTSC – *National Television System Committee*
PAL – *Phase Alternating Line*
SECAM – *SEquential Couleur Avec Memoire*
SFN – *Single Frequency Network*
COFDM – *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*
ATM – *Asynchronous Time Division Multiplexing*
SDH – *Synchronous Digital Hierarchy*
PDH – *Plesiochronous Digital Hierarchy*
OSI – *Open System Interconnection*
ISDN – *Integrated Services Digital Network*
MPEG – *Motion Picture Experts Group*
QAM – *Quadrature Amplitude Modulation*
VSB – *Vestigial Side Band*
DTH – *Direct To Home*
MMDS – *Multichannel, Multipoint Distribution System*
LMDS – *Local Multipoint Distribution System*
FEC – *Forward Error Correction*
QPSK – *Quadrature Phase Shift Keying*