



Francisco de Assis Campos Peres

**Estudo de Modelos de Radiopropagação para
Recepção Fixa de TV Digital na Faixa de UHF**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau 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

Julho de 2011



Francisco de Assis Campos Peres

**Estudo de Modelos de Radiopropagação para
Recepção Fixa de TV Digital na Faixa de UHF**

Dissertação de Mestrado 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.

Prof. Gláucio Lima Siqueira
Orientador

Centro de Estudos de Telecomunicações – PUC-Rio

Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello

Centro de Estudos de Telecomunicações – PUC-Rio

Profa. Leni Joaquim de Matos
UFF

Prof. Rodolfo Saboia Lima de Souza
Inmetro

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de julho de 2011

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

Francisco de Assis Campos Peres

Graduou-se em Engenharia de Telecomunicações pela UFF (Universidade Federal Fluminense) em 2011. É engenheiro de projetos da TV Globo do Rio de Janeiro. Participou dos projetos de TV digital e do dimensionamento das redes de frequência única das principais cidades brasileiras.

Ficha Catalográfica

Peres, Francisco de Assis Campos

Estudo de modelos de radiopropagação para recepção fixa de TV digital na faixa de UHF / Francisco de Assis Campos Peres; orientador: Gláucio Lima Siqueira. – 2011.

111 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Propagação em UHF. 3. TV digital. 4. Radio propagação. 5. Deygout-Assis. 6. Atenuação de obstáculos. 7. ITU-R. 8. CRC-Predict. I. Siqueira, Gláucio Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Para meus colegas de trabalho e minha família,
Pelo enorme apoio e paciência.
Para todos que possam aproveitar estes resultados para seus trabalhos futuros e
evoluam a ciência no nosso país.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, aos santos e todos os anjos, que estão caminhando comigo desde meus primeiros passos e fazem com que eu não desista frente às dificuldades.

Ao professor Gláucio Lima Siqueira por ter apoiado este trabalho desde o início e ter conduzido seu desenvolvimento durante todo o processo.

Aos funcionários dos departamentos de engenharia da TV Globo do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, que executaram um trabalho de altíssima qualidade na execução das medidas nestas 3 cidades.

Aos meus amigos, que se foram sem que este trabalho ficasse pronto, mas que desempenharam um papel fundamental para que ele fosse concluído.

Aos meus pais, pelo amor incondicional que sempre me dedicaram.

Resumo

Peres, Francisco de Assis Campos; Siqueira, Gláucio Lima (Orientador). **Estudo de Modelos de Radiopropagação para Recepção Fixa de TV Digital na Faixa de UHF**. Rio de Janeiro, 2011. 111p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Com o advento da TV digital no Brasil, a necessidade de reuso dos canais para diferentes entidades, e a importância das emissoras oferecerem a melhor qualidade de serviço para seus usuários, dentre outros fatores, criam um ambiente propício para o estudo de modelos de predição de cobertura para que tanto as emissoras possam dimensionar corretamente suas estações, como os órgãos reguladores possam distribuir os canais de forma harmoniosa. Este trabalho apresenta medidas de campo realizadas nas cidades do Rio de Janeiro, Belo Horizonte e São Paulo e as compara com valores calculados usando os modelos de Deygout-Assis, CRC-Predict, ITU-R P.526 e ITU-R P.1546.

Palavras-chave

Propagação em UHF; TV Digital; Rádio Propagação; Deygout-Assis; atenuação de obstáculos; ITU-R; CRC-Predict.

Abstract

Peres, Francisco de Assis Campos; Siqueira, Gláucio Lima (Advisor). **Evaluation of Radio Propagation Models for Fixed Reception of Digital TV Signals on UHF Band.** Rio de Janeiro, 2011. 111p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Since the beginning of Digital TV in Brazil, the need of channel reuse for different broadcasters, the importance to offer a service with good quality, among other issues, created a good environment for studying prediction methods for RF coverage, so that broadcasters can correctly specify its stations and also the government regulators can allocate channels without interference. This work presents field measurements made in Rio de Janeiro, Belo Horizonte and São Paulo and compare them with predicted values using the methods of Deygout-Assis, CRC-Predict, ITU-R P.526 e ITU-R P.1546.

Keywords

UHF Propagation; Digital TV; Radio Propagation; Deygout-Assis; obstacle attenuation; ITU-R; CRC-Predict.

Sumário

1. Introdução	14
2. Sistema Brasileiro de TV Digital – SBTVD / ISDB-T	19
2.1. O padrão SBTVD / ISDB-T	19
2.2. Parâmetros de codificação de canal	20
3. Modelos de radiopropagação	24
3.1. Difração por obstáculos isolados	24
3.1.1. Obstáculo tipo Gume de faca	24
3.1.2. Obstáculos do tipo arredondados	27
3.2. Modelo de Deygout-Assis	29
3.2.1. Conceito	29
3.2.2. Método de cálculo do modelo	30
3.2.3. Variações estudadas do modelo	34
3.3. Modelo ITU-R P.526	34
3.3.1. Múltiplos obstáculos isolados	35
3.3.2. Método de cilindros em cascata	35
3.4. Modelo CRC- <i>Predict</i>	39
3.4.1. Conceito	39
3.4.2. Cálculo	40
3.4.3. Reflexões na terra	43
3.4.4. Espalhamento troposférico	43
3.4.5. Variabilidade das localidades	43
3.4.6. Disponibilidade temporal	44
3.5. Modelo ITU-R P.1546	45
3.5.1. Interpolação da intensidade de campo em função da distância	46
3.5.2. Interpolação da intensidade de campo em função da altura da antena transmissora	47
3.5.3. Interpolação de intensidade de campo em função da frequência	50
4. Medições	52
4.1. Descrição do sistema de medições	52
4.1.1. Procedimentos da medida	54
4.1.1.1. Ponto de Calibração	55
4.1.1.2. Calibração	55
4.1.1.3. Caracterização dos pontos de medida	55
4.1.1.4. Medida de Radiofrequência	56
4.2. Características das estações	56
4.2.1. Sumaré – Rio de Janeiro, R.J.	57
4.2.2. Serra do Curral – Belo Horizonte, M.G.	60
4.2.3. Alameda Santos – São Paulo, S.P.	63
4.3. Resultados das medições	65
4.3.1. Medições em Belo Horizonte	65
4.3.2. Medições no Rio de Janeiro	70
4.3.3. Medições em São Paulo	73

5. Modelos de elevação utilizados	80
5.1. Rio de Janeiro	80
5.2. Belo Horizonte	81
5.3. São Paulo	82
6. Análise e tratamento dos resultados	85
6.1.1. Conversão de potência para campo elétrico	85
6.1.2. Cálculo do erro	87
6.1.3. Belo Horizonte	88
6.1.4. Rio de Janeiro	93
6.1.5. São Paulo	99
7. Conclusões	106
7.1. Ganho de precisão com o uso de modelos de elevação com edificações	106
7.2. Belo Horizonte	106
7.3. Rio de Janeiro	107
7.4. São Paulo	107
7.5. Resumo comparativo dos modelos e localidades	108
7.6. Trabalhos futuros	109
8. Referências bibliográficas	110

Lista de figuras

Figura 1 – Ilustração do sinal COFDM-BST.....	20
Figura 2 – Desenho mostrando o parâmetro h	26
Figura 3 – Gráfico de atenuação para obstáculos do tipo gume de faca	26
Figura 4 – Figura mostrando o parâmetro h	27
Figura 5 – Obstáculo arredondado com raio de curvatura equivalente	29
Figura 6 – Obstáculos de um perfil genérico.....	30
Figura 7 – Divisão do perfil no obstáculo principal	31
Figura 8 – Subdivisão 1 do obstáculo 1.....	31
Figura 9 – Subdivisão 2 do obstáculo 2.....	32
Figura 10 – Primeira subdivisão do subperfil 2.....	32
Figura 11 – Segunda subdivisão do subperfil 2.....	33
Figura 12 – Primeira subdivisão do subperfil 3.....	33
Figura 13 – Perfil de obstáculos cilíndricos	37
Figura 14 – Geometria de um obstáculo.....	38
Figura 15 – Integração em z para encontrar o campo.....	40
Figura 16 – Pontos em que o campo é encontrado ao longo de uma radial. O campo é mostrado em pontos na vertical.....	41
Figura 17 – Frentes de ondas a 50 MHz para 3 obstáculos do tipo gumes de faca na mesma altura que o transmissor	42
Figura 18 – Frentes de onda a 50 MHz para 3 obstáculos elevados.....	42
Figura 19 – Curva de predição de campo elétrico para 600 MHz.....	46
Figura 20 – Ângulo de desobstrução do terreno.....	50
Figura 21 – Correção para ângulo de desobstrução do terreno	50
Figura 22 – Fotos ilustrando o carro e o interior do veículo	52
Figura 23 – Diagrama em blocos do sistema de medições.....	53
Figura 24 – Medida de potência recebida.....	54
Figura 25 – Taxa de erro de modulação (MER) e perfil de retardo	54
Figura 26 – Diagramas de irradiação da antena transmissora	58
Figura 27 – Fotos da estação do Sumaré: Torre e sala dos transmissores.....	59
Figura 28 – Diagramas de irradiação da antena transmissora	61

Figura 29 – Fotos da estação da Serra do Curral: Antenas e transmissores	62
Figura 30 – Diagramas de irradiação da antena transmissora	64
Figura 31 – Fotos da estação de São Paulo: Torre e sala dos transmissores	64
Figura 32 – Pontos alocados em Belo Horizonte	66
Figura 33 – Pontos alocados no Rio de Janeiro	70
Figura 34 – Pontos de medida da região metropolitana de São Paulo	74
Figura 35 – Modelo de elevação com 30 m de resolução	80
Figura 36 – Modelo de elevação com 5 m de resolução	81
Figura 37 – Modelo de elevação de Belo Horizonte com 30 m de resolução	82
Figura 38 – Modelo de elevação de São Paulo com 30 m de resolução.....	83
Figura 39 – Modelo de elevação com edificações – SP, com 5 m de resolução ...	83
Figura 40 – Cálculo da altura sobre o nível médio do terreno (HSNMT).....	84
Figura 41 – Comparação entre o campo medido e o modelo Deygout-Assis - Gume de faca	88
Figura 42 – Comparação entre o medido e o modelo Deygout-Assis - obstáculos arredondados.....	89
Figura 43 – Comparação entre o medido e o modelo Deygout-Assis - principal arredondado	89
Figura 44 – Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.526	90
Figura 45 – Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546	90
Figura 46 – Comparação entre o campo medido e o modelo CRC-Predict	91
Figura 47 – Comparação entre o campo medido e os 6 modelos de predição	91
Figura 48 – Erro médio entre o campo teórico e o campo medido	92
Figura 49 – Comparação entre o campo medido e o modelo Deygout-Assis - Gume de faca	93
Figura 50 – Comparação entre o medido e o modelo Deygout-Assis - obstáculos arredondados.....	94
Figura 51 – Comparação entre o medido e o modelo Deygout-Assis - principal arredondado	94
Figura 52 – Comparação entre o medido e o modelo ITU-R P.526.....	95
Figura 53 – Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546	95
Figura 54 – Comparação entre o campo medido e o modelo CRC-Predict	96
Figura 55 – Comparação entre o campo medido e os 6 modelos estudados	96

Figura 56 – Gráfico do erro para os 6 modelos estudados com banco de dados sem edificações.....	97
Figura 57 – Erro entre os modelos de propagação - Banco de dados com edificações	97
Figura 58 – Comparação entre o campo medido e o modelo Deygout-Assis - Gume de faca	99
Figura 59 – Comparação entre o medido e o modelo Deygout-Assis - obstáculos arredondados.....	100
Figura 60 – Comparação entre o medido e o modelo Deygout-Assis - principal arredondado	100
Figura 61 – Comparação entre o medido e o modelo ITU-R P.526.....	101
Figura 62 – Comparação entre o campo medido e o modelo ITU-R P.1546	101
Figura 63 – Comparação entre o campo medido e o modelo CRC- <i>Predict</i>	102
Figura 64 – Comparação entre o campo medido e os 6 modelos estudados	102
Figura 65 – Erro entre os modelos de propagação - Banco de dados sem edificações	103
Figura 66 – Erro entre os modelos de propagação - Banco de dados com edificações	103
Figura 67 – Ponto 21 com relevo sem edificações	105
Figura 68 – Ponto 21 com relevo com edificações.....	105

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Parâmetros de codificação de canal do ISDB-T	22
Tabela 2 – Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão	57
Tabela 3 – Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão	60
Tabela 4 – Especificações técnicas da linha e da antena de transmissão	63
Tabela 5 – Número de pontos de medidos em cada cidade pesquisada	65
Tabela 6 – Lista de pontos medidos em Belo Horizonte	67
Tabela 7 – Lista de pontos medidos em Belo Horizonte.....	68
Tabela 8 – Lista de pontos medidos em Belo Horizonte.....	69
Tabela 9 – Lista de pontos medidos no Rio de Janeiro	71
Tabela 10 – Lista de pontos medidos no Rio de Janeiro	72
Tabela 11 – Lista de pontos medidos no Rio de Janeiro	73
Tabela 12 – Lista de pontos medidos em São Paulo	75
Tabela 13 – Lista de pontos medidos em São Paulo	76
Tabela 14 – Lista de pontos medidos em São Paulo	77
Tabela 15 – Lista de pontos medidos em São Paulo	78
Tabela 16 – Lista de pontos medidos em São Paulo	79
Tabela 17 – Comparação da HSNMT e desvio padrão para cada uma das 3 cidades	84
Tabela 18 – Comparação entre modelos de propagação para Belo Horizonte	92
Tabela 19 – Comparação entre modelos de propagação para o Rio de Janeiro - banco de dados sem edificações.	98
Tabela 20 – Comparação entre modelos de propagação para o Rio de Janeiro - banco de dados com edificações.....	98
Tabela 21 – Comparação entre modelos de propagação em São Paulo – banco de dados sem edificações.....	104
Tabela 22 – Comparação entre modelos de propagação em São Paulo - banco de dados com edificações	104
Tabela 23 – Resumo do desempenho dos modelos de propagação.....	108