

Análise do Sinal de TV Digital na Cidade de Belém do Pará

Rafaella C. da Silva, Josias Junior, Cynthia G. Moura, Gilvan S. Borges e Rômulo A. Oliveira.

Resumo—Este trabalho apresenta o estudo do comportamento do campo elétrico distribuído em 56 pontos de recepção dentro da região metropolitana de Belém, gerado por três emissoras de TV Digital: TV SBT Pará, TV Record e TV Liberal. Para isso, foram analisados os resultados da campanha de medições conduzida por pessoal técnico em uma unidade móvel pertencente à emissora SBT Pará. Foram, também, realizadas simulações computacionais de modelos de previsão de sinal de TV Digital em região florestal. Assim, foi possível fazer análise comparativa entre os resultados da campanha de medições e os valores obtidos, sendo o modelo de Okumura Hata o que melhor se destacou.

Palavras-Chave—*Campo Elétrico, Eletromagnetismo Aplicado, Modelos de Propagação, Telecomunicações, TV Digital.*

Abstract—This work presents the study of the behavior of the electric field distributed in 56 reception points within the metropolitan region of Belém, generated by three digital TV stations: TV SBT Pará, TV Record and TV Liberal. For this, the results of the measurement campaign conducted by technical personnel in a mobile unit belonging to the SBT Pará station were analyzed. Computational simulations of Digital TV signal prediction models in the forest region were also performed. Thus, it was possible to make a comparative analysis between the results of the measurement campaign and the values obtained, being the Okumura Hata model that stood out better.

Keywords—*Electric Field, Applied Electromagnetism, Propagation Models, Telecommunications, Digital TV.*

I. INTRODUÇÃO

A transição dos sistemas de TV analógica para a TV digital possibilita uma nova era de inclusão digital no Brasil, pois esta nova tecnologia oferece à população diversos mecanismos de acesso à informação e interatividade, que só foram possíveis graças ao surgimento desse novo sistema de televisão. No Brasil, o padrão escolhido para a mudança desses sistemas foi o ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*), pois este padrão atendia importantes requisitos como a flexibilidade de transmissão (transmissão de mais de um fluxo de vídeo) e mobilidade [1].

A implantação de TV digital terrestre em regiões arborizadas deve considerar características presentes que interferem fortemente na recepção do sinal eletromagnético, como: grandes distâncias geográficas, densa área florestal, etc. Isto se deve ao fato de que a propagação de ondas eletromagnéticas para essas regiões sofre efeitos que provocam grande atenuação no nível do sinal propagado, o qual varia de acordo com as mudanças das propriedades elétricas da

vegetação (nas folhas e troncos) e solo, representadas pela condutividade elétrica e permissividade relativa [2].

Tendo em vista o advento da padronização para o sistema de TV digital, estudos relacionados à análise de campo elétrico necessitam serem reaquecidos, entretanto, trabalhos encontrados semelhantes ao presente estudo desta região são poucos [3,4]. Assim, faz-se necessário o estudo do comportamento do campo elétrico gerado por emissoras de sinal de TV Digital na região metropolitana de Belém do Pará, pois esta é uma área que além de urbana, possui uma grande presença de árvores e outros fatores que impactam na recepção do sinal eletromagnético.

Para este trabalho, foi realizada uma campanha de medições de nível de sinal na faixa UHF (*Ultra High Frequency*) irradiado por três emissoras de TV Digital em 56 pontos da região metropolitana de Belém utilizando uma unidade móvel pertencente à emissora SBT Pará [5], como também uma análise comparativa entre os resultados obtidos.

Este trabalho está dividido em cinco seções. Na seção I é feita uma introdução a respeito do estudo realizado e à importância da campanha de medição para a referida região. Na seção II é feita uma descrição dos três modelos de propagação utilizados nesse estudo, sendo: Modelo Okumura Hata [6,7], Modelo Lee [8] e Modelo Multiraios [9,10]. Na seção III é descrito o Setup de Medições para a coleta de dados para três emissoras de sinal de TV Digital. Na seção IV são apresentados os resultados obtidos para cada emissora. E por fim, na seção V é feita a conclusão do estudo realizado.

II. MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Esta seção apresenta três modelos de propagação descritos na literatura utilizados para prever as perdas de propagação existentes, caracterizadas a partir de uma determinada área.

A. Modelo Okumura Hata

O modelo de Okumura Hata é baseado em formulações matemáticas obtidas empiricamente para prever níveis de perdas por propagação. A faixa de frequência de sua aplicação encontra-se entre 150MHz à 1500MHz. É um modelo bastante aplicável, pois suas fórmulas possuem variações de acordo com as características da região estudada, como por exemplo: cidades grandes, médias ou pequenas, áreas urbanas, suburbanas e rurais.

Rafaella C. da Silva, Josias Junior, Cynthia G. Moura, Gilvan S. Borges e Rômulo A. Oliveira, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA - Campus Belém), Belém-PA, Brasil, E-mails: rafaellacarneiro22@gmail.com, j.junior077@hotmail.com, cynthia.gomes20@gmail.com, gilvan.borges@ifpa.edu.br, romulo.oliveira@ifpa.edu.br.

A equação que define a atenuação para áreas urbanas é dada por [6,7]:

$$L_{(urbana)} = 69,55 + 26,16 \log_{10} f_c - 13,82 \log_{10} h_t - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log_{10} h_t) \log_{10} d. \quad (1)$$

Onde: L corresponde a atenuação (dB); f_c é a frequência de operação (MHz); h_t e h_r referem-se às alturas das antenas transmissora e receptora (m), d refere-se a distância entre essas antenas (Km) e $a(h_r)$ é o fator de correção (dB). Esse fator pode ser modificado para áreas de cidade média ou pequena e áreas de cidade grande, onde a equação é modificada de acordo com o valor de frequência. Para cidades médias ou pequenas:

$$a(h_r) = (1,1 \log_{10} f_c - 0,7) h_r - (1,56 \log_{10} f_c - 0,8). \quad (2)$$

Para cidades grandes com frequência menor que 300MHz o fator de correção é modificado para:

$$a(h_r) = 8,29 (\log_{10} 1,54 h_r)^2 - 1,1. \quad (3)$$

E para cidades grandes com frequência maior que 300MHz:

$$a(h_r) = 3,2 (\log_{10} 11,75 h_r)^2 - 4,97. \quad (4)$$

Tem a seguinte modificação para áreas suburbanas:

$$L_{(suburbana)} = L_{(urbana)} - \left[2 \log_{10} \left(\frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5,4. \quad (5)$$

E para áreas rurais:

$$L_{(rural)} = L_{(urbana)} - 4,78 (\log_{10} f_c)^2 + 18,33 \log_{10} f_c - 40,94. \quad (6)$$

B. Modelo Lee

O modelo de Lee é caracterizado por ser ponto a ponto obtido empiricamente com frequência de operação situada em torno de 900 MHz. As características de atenuação por propagação variam de acordo com os aspectos de terreno e vegetação presentes na região, tais como: área urbana densa, área urbana, área suburbana, vegetação densa, vegetação média, vegetação rasteira e água.

Para a obtenção dos valores de perdas por difração para este modelo, foram atribuídos parâmetros fundamentais de condição padrão e fator de correção, mostrados na Tabela I.

A partir desses parâmetros, pode-se calcular a perda por difração [8]:

$$L_d = 20 \log \left(\frac{0,255}{v} \right). \quad (7)$$

Onde o parâmetro de difração (v) é obtido por:

$$v = -\sqrt{2} \cdot (H - h_r) \cdot \sqrt{\frac{(d \cdot (\cos(\alpha))^2)}{(\lambda \cdot (d \cdot \cos(\alpha) - w) \cdot w)}}. \quad (8)$$

TABELA I. CONDIÇÃO PADRÃO E FATORES DE CORREÇÃO

	Condição Padrão	Fatores Corretivos
Transmissor	Potência (P_t)= 10W	$\alpha_1 = 10 \log (P_t^*/10)$
	Altura da Antena (h_t)= 30m	$\alpha_2 = 20 \log (h_t^*/h_t)$
	Ganho da antena (G_t)= 6dB	$\alpha_3 = G_t^* - 6$
Receptor	Altura da antena (h_r)= 3m	$\alpha_4 = 20 \log (h_r^*/h_r)$
	Ganho da antena (G_r)= 0dB	$\alpha_5 = G_r^*$

O cálculo para o valor da potência recebida (em dBm) em um percurso obstruído é dado por [5]:

$$P_r = P_o - \gamma \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + L + \alpha. \quad (9)$$

Em que, para as equações (8) e (9): H é a altura das árvores; h_r é a altura da antena receptora; w é a distância entre solo e antena receptora (em Km); P_o é dada como a potência do sinal recebido para uma distancia de 1Km (em dBm); γ refere-se ao decaimento da atenuação de propagação (em dB/década); d é a distância entre antena transmissora e receptora (em Km); d_0 é a distância entre os pontos de transmissão e recepção para distâncias de 1Km; L é o fator que perdas por difração no terreno (em dB) e α é o fator de ajuste do sinal.

C. Modelo Multiraios

Com o intuito de calcular a resposta simulada, foi usado neste artigo o modelo multiraios, que é baseado no estudo da difração em gume de faca considerando uma estrutura com descontinuidade abrupta de relevo, onde os fenômenos de reflexão e/ou difração encontram-se presentes [9,10].

Este ambiente pode ser descrito como uma floresta atravessada por uma rodovia aonde o sinal que chega a um receptor móvel é constituído por várias componentes de campo elétrico provenientes de diferentes direções. A intensidade média do campo elétrico produzida pelos dois principais raios que chegam ao receptor é dada por [10]:

$$E_{móvel} = 0,22 \cdot \frac{\sqrt{30 \cdot P_t \cdot G_t}}{d} \cdot \frac{(d_2 + w)}{(d_1 + w)} \cdot \sqrt{5 + \left(\frac{R_{solo}}{V_R} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{V_{BM}} \right)^2 + \left(\frac{R_{floresta}}{V_{BCM}} \right)^2}{\left(\frac{1}{V_{BM}} \right)^2 + \left(\frac{R_{floresta}}{V_{BCM}} \right)^2}}. \quad (10)$$

Onde $R_{floresta}$ e R_{solo} representam os coeficientes de reflexão para a floresta e solo da estrada, e V_R , V_{BM} , V_{BCM} , V_{BM} e V_{BCM} são os parâmetros de reflexão de Fresnel [4].

Na Seção III serão analisados os aspectos do ambiente de medições e alguns dos parâmetros utilizados nos modelos de propagação.

III. SETUP DE MEDIÇÕES

Com a finalidade de analisar o comportamento do campo elétrico gerado por três emissoras de TV Digital: TV Record, SBT Pará e TV Liberal, este trabalho utilizou os dados obtidos na campanha de medições conduzida em 56 pontos distribuídos na região metropolitana de Belém, conforme a Figura 1.

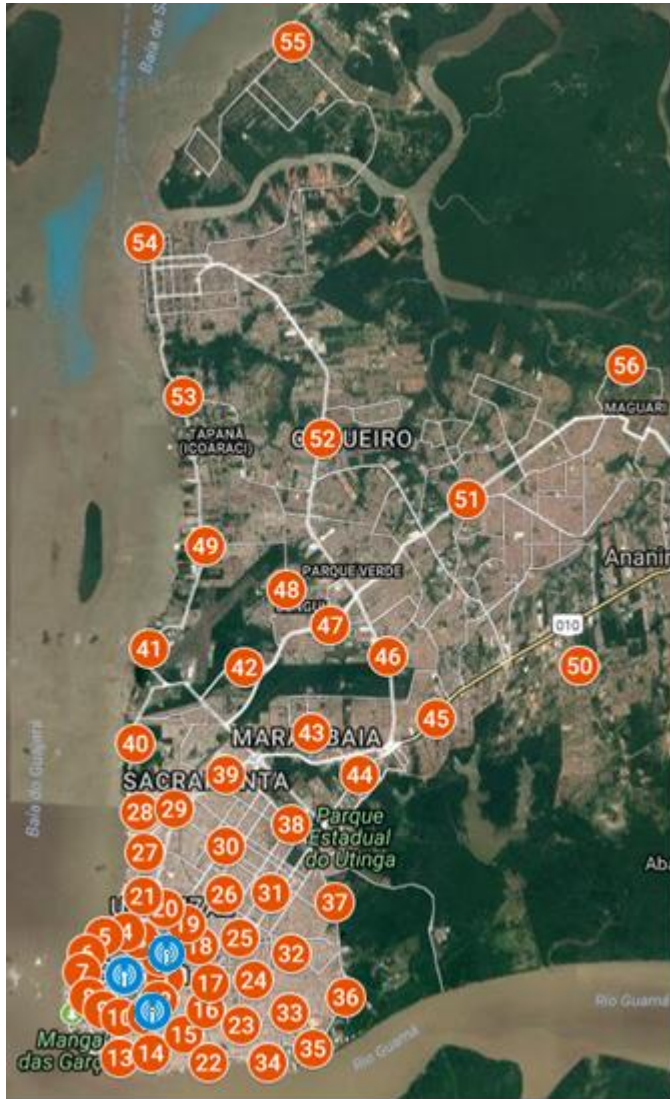


Fig 1 Distribuição cartográfica de 56 pontos na região metropolitana de Belém do Pará.

A parte responsável pela recepção e armazenamento do sinal foi instalada em uma unidade móvel pertencente à emissora SBT Pará, sendo composta por um medidor de sinal Leader modelo LF990, um GPS Garmin Modelo eTrex Summit, um televisor LED Sony 22”, modelo 22EX355 e uma antena para HDTV com ganho de 12dBi. Os valores obtidos através do medidor foram armazenados posteriormente em um pen drive afim da realização da análise e armazenamento dos dados.

Na Tabela II é feita a relação entre os parâmetros das três emissoras.

TABELA II. PARÂMETROS DAS EMISSORAS

Parâmetros	TV Record	SBT Pará	TV Liberal
Frequência central (MHz)	521,143	545,143	515,143
Canal virtual	10.1	5.1	7.1
Ganho da antena transmissora (dBi)	12	12,15	13,90
Altura da antena transmissora (m)	100	100	125
Potência do transmissor (kW)	6	10	10
Tipo de transmissor	Toshiba	Rhode	NEC

Os dados contidos na Tabela II foram utilizados pelos três modelos de propagação descritos na Seção II, utilizando os parâmetros de cada estação transmissora. Para o modelo de Okumura Hata foi considerado o cálculo de atenuação para áreas urbanas (1), seguido do fator de correção (4) para frequências acima de 300MHz. Para o modelo Lee, considerou-se para o cálculo do parâmetro de difração (8) a altura da árvore $H = 12m$ e distância entre solo e antena receptora $w = 7.75Km$. Para o modelo de multiraios (10) foram considerados os coeficientes de reflexão de Fresnel com permissividade relativa = 1.1 e condutividade do solo = $0.1 * 10^{-3}$, respectivamente.

IV. RESULTADOS

Nesta seção é feita a abordagem dos resultados obtidos através de campanha de medição de campo. Foram utilizados os parâmetros de cada uma das três emissoras (frequência de operação, altura da antena, etc.) de acordo com cada modelo. Na Tabela III é feita a comparação entre os resultados obtidos para as três emissoras.

No geral, o modelo de Okumura Hata mostrou-se como o melhor dos modelos testados, sendo o mais indicado tanto para a emissora SBT Pará quanto para a emissora TV Liberal, com erros médios absolutos de 6,04dB e 8,76dB, respectivamente. Apesar de que este não seja utilizado especificamente para regiões de floresta, as frequências de operação das medições estão dentro da faixa exigida por este modelo.

Embora o modelo de Lee seja adequado para regiões florestais, ele foi o que mais se distanciou dos outros modelos. Uma das causas para isso é devido este modelo ser desenvolvido para frequências em torno de 900MHz, sendo que as medições deste trabalho foram realizadas em frequências situadas em torno de 500MHz. Isso é um indicio de que para modelos de perdas de propagação a frequência de operação é um fator mais importante que as características da região.

TABELA III. COMPARAÇÃO ENTRE OS ERROS E O DESVIO PADRÃO PARA OS TRÊS MODELOS PARA TRÊS EMISSORAS.

Emissoras	Modelos	Erro Médio (dB)	Erro RMS (dB)	Desvio Padrão (dB)
TV Record	Okumura Hata	9,0	11,4	6,9
	Lee	16,8	19,08	9,0
	Multiraios	8,30	10,12	5,70
SBT Pará	Okumura Hata	6,04	8,03	5,28
	Lee	11,22	12,87	6,22
	Multiraios	8,0	10,49	6,78
TV Liberal	Okumura Hata	8,79	10,66	6,07
	Lee	11,93	14,70	8,58
	Multiraios	9,19	11,31	6,5

Para o caso da emissora TV Record, o modelo de multiraios foi o que apresentou melhores resultados, isso está relacionado às características dos parâmetros utilizados pelo mesmo, sendo este desenvolvido para regiões de florestas cortadas por rodovia, com frequências de operação dentro da faixa exigida. Esses resultados satisfatórios ocorrem também devido as medições terem sido realizadas em ruas de uma cidade bastante arborizada que apresenta características similares às do modelo utilizado. Para as outras duas emissoras, este modelo chegou a resultados próximos aos de Okumura Hata, pois ambos se enquadram aos valores de frequências atribuídos nos parâmetros.

Nas Figuras 2, 3 e 4 encontram-se os resultados experimentais e as simulações teóricas feitas através dos modelos para as três emissoras estudadas.

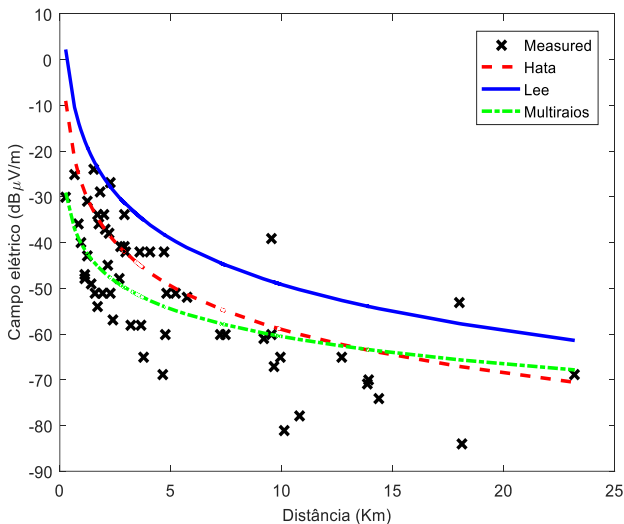


Fig 2 Gráfico das medidas e dos modelos de Okumura Hata, Lee e Multiraios – TV Record.

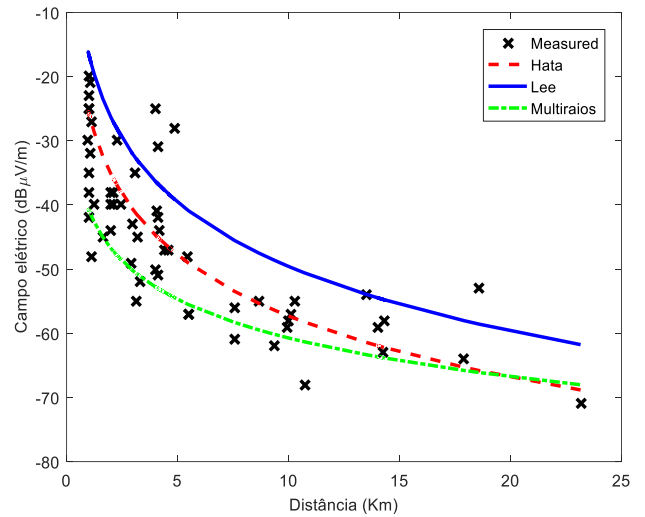


Fig 3 Gráfico das medidas e dos modelos de Okumura Hata, Lee e Multiraios – SBT Pará.

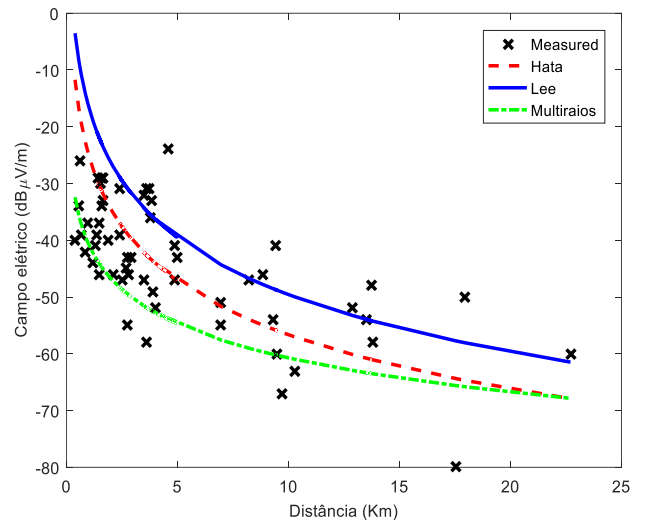


Fig 4 Gráfico das medidas e dos modelos de Okumura Hata, Lee e Multiraios – TV Liberal.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo do comportamento do sinal de TV Digital se propagando na região metropolitana de Belém. Para caracterizar essa região, usaram-se as medidas obtidas por unidade móvel pertencente à emissora SBT Pará com a participação de um aluno de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do IFPA (Instituto Federal do Pará), o qual se deslocou dentro da região metropolitana de Belém, atravessando ruas que cortam uma região com edificações e bastante vegetação, característica da região amazônica. Assim, foi possível realizar uma análise comparativa destas medidas com os resultados teóricos obtidos por alguns dos modelos clássicos de propagação. Através dessa análise comparativa foi possível determinar quais os modelos que melhor descreveriam o comportamento de um sinal típico de um sistema de TV

Digital se propagando em um ambiente característico da região norte.

Assim, concluiu-se neste trabalho que foi possível descrever o comportamento do campo elétrico para sistemas de transmissão de TV Digital terrestre se propagando na região metropolitana de Belém usando modelos clássicos da literatura com resultados satisfatórios.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará agradece a preciosa colaboração da emissora SBT Pará pela parceria que possibilitou a participação de um aluno do IFPA na campanha de medições de campo elétrico na região metropolitana de Belém.

REFERÊNCIAS

- [1] ALENCAR, M.S de. *Televisão Digital*. 1 ed. São Paulo: Editora Érica, 2007.
- [2] OLIVEIRA, Romulo Augusto Nascimento de, J. F. de SOUZA, F. N. B. MAGNO, K. COZZOLINO, G. P. S. CAVALCANTE, “*Inversion Method for Obtaining Electrical Parameters for Soil and Vegetation in the Amazon Region*”, 7 th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP) 2013.
- [3] ERAS, Leslye Estefania Castro. *Modelo de Propagação de Campo Elétrico para TV Digital em Percursos Mistos do tipo cidade-rio na Região Amazônica*. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.
- [4] OLIVEIRA, Romulo Augusto Nascimento de ; CAVALCANTE S, G. P. . A K-Ray *Model to Mobile Systems in Forest Environments*.In: ITS'98 - SBT/IEEE International Telecommunications Symposium, 1998, SÃO PAULO. ITS'98 - SBT/IEEE International Telecommunications Symposium, 1998. v. 1. p. 306-311.
- [5] JUNIOR, Josias . *Relatorio de medição de intensidade de sinal digital/HD*, SBT Pará. Belém, 2017
- [6] Okumura Y., Ohmori E., Kawano T., e Fukuda K.; “*Field Strength and its Variability in the VHF and UHF Land Mobile Radio Services*”- Review Elec. Comm. Labs, 16 , N 9-10, 1968.
- [7] Hata, M., “*Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services*” - IEEE Trans., VT - 29, N 3, 1980.
- [8] Lee W. C. Y. - “*Mobile Cellular Telecommunications Systems*”- McGraw Hill Bo. Co. - 1989.
- [9] PETERNELA, André Luís. *Modelo de Propagação Considerando Difração no Topo e nas Laterais dos Obstáculos*. 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações) - Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Pontifícia Universidade Católica de Campinas Grão-Chanceler, Campinas, 2009.
- [10] CAVALCANTE S, G. P. ; OLIVEIRA, Romulo Augusto Nascimento de ; SANCHES, M.A.R. . *Mobile Radio Propagation Along Mixed Path in Forest Environment*. Journal of Microwaves and Optoelectronics, v. 4, p. 1599, 1999.