

Modelo RA de Predição de Canal em Ambientes Suburbanos utilizando Redes Neurais Artificiais

Rosely dos Anjos Lima e Antonio de Almeida Neves

UFPA / TNL PCS S. A - Oi

Universidade Federal do Pará, Brasil.

Gervásio Protásio Cavalcante

Universidade Federal do Pará, Brasil.

Resumo — Este trabalho propõe um modelo de predição para o cálculo da perda de propagação, através da minimização do erro num canal de rádio em 1,8 GHz dentro de um ambiente suburbano. O modelo utiliza a técnica de Rede Neural Artificial através do Algoritmo de Levenberg-Marquardt. Os modelos de predição convencionais de Okumura-Hata Modificado e o de COST231-Hata foram escolhidos para comparar com o modelo proposto. O desempenho pode ser avaliado através da comparação dos valores de potência preditos e medidos na cidade de Belém-PA e Manaus-AM, baseados no erro médio absoluto, desvio padrão, erro rms.

Palavras-chaves — Ambientes suburbanos, Rede Neural, Levenberg-Marquardt, perda de percurso, caracterização do canal de propagação.

Abstract — This work considers a model of prediction for the calculation of the path loss, through the minimization of the error in a channel of radio in 1,8 GHz inside of a suburban environment. The model uses the technique of Artificial Neural Network through the Algorithm of Levenberg-Marquardt. The conventional models of prediction of Okumura-Hata Modified and of COST231-Hata had been chosen to compare with the considered model. The performance can be evaluated through the comparison of the predicted and measured values of power in the city of Belém-Pará and Manaus-AM, based in absolute average error, standard deviation, error rms.

Keywords — Suburban environments, Neural Network, Levenberg-Marquardt, path loss, characterization of the propagation channel.

I. INTRODUÇÃO

Em sistemas de comunicações de rádio móvel, o canal de propagação é um componente relevante e crítico. Logo, uma análise detalhada do mesmo é de suma importância para o desenvolvimento de projetos desses sistemas, assim como a otimização e expansão dos já existentes. Esta análise depende da complexidade do fenômeno de propagação e a natureza estatística do meio, desta forma uma caracterização confiável do canal deve ser baseada em procedimentos adequados de medição de campo do sinal para obtenção dos parâmetros de RF (Rádio Frequência) [1].

Rosely dos Anjos Lima, roselyanjos@yahoo.com.br, Antonio de Almeida Neves, antonio.neves@oi.net.br e Prof. Dr. Gervásio P.S.Cavalcante, gervasio@ufpa.br, Departamento de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica e Computação, UFPA, Belém, Brasil - Tel. +55-91-3183-1302.

O modelo proposto de predição que é a contribuição principal deste trabalho utiliza a técnica de Rede Neural Artificial (RNA) através do algoritmo de Levenberg-Marquardt, ao qual é comparado com os modelos empíricos convencionais de propagação em ambientes suburbanos, Okumura-Hata Modificado e COST231-Hata para a faixa de 1,8 GHz (bastante utilizados pelas operadoras de telefonia móvel celular) [2]. O uso da RNA deve-se a capacidade de abstração dos parâmetros necessários em outros modelos como largura de rua, base de dados do relevo, etc [3-4]. Desta forma, há uma melhor caracterização do canal de propagação estudado, já que as não-linearidades do canal são incorporadas no treinamento da rede neural. O objetivo principal é a minimização do erro de predição, fator preponderante para validação do modelo proposto que será apresentado na Seção III. Esse modelo caracteriza um ambiente suburbano da região amazônica, tendo como aplicabilidade fundamental a utilização em outros ambientes semelhantes.

II. MÉTODO DE COLETA DE DADOS

Os dados experimentais foram coletados em áreas com características suburbanas, com residências e prédios de 1-3 pavimentos, pouca vegetação e densidade média de prédios construídos [2], como exemplos têm-se as Figuras 1, 2 e 3.



Fig.1 - Vista do transmissor de sinal da Rota 1 (Belém - Pará).



Fig.2- Vista do transmissor de sinal da Rota 2 (Belém - Pará).



Fig.3- Vista do transmissor de sinal da Rota 3 (Manaus – Amazonas).

A antena base transmitiu sinais de ondas contínuas (CW) em uma frequência próxima a 1,8 GHz, sem interferências de frequências co-canais. A antena móvel (montada em uma altura de 1,6 m sobre o carro teste) tinha um diagrama azimutal omnidirecional com ganho de 0 dB.

TABELA I DADOS DAS BTS

Local	Potência (Tx) dBm	Ganho (Tx) (dBi)	Altura (m)
Humaitá Belém-PA	38	16,7	35
Lomas Belém-PA	38	16,7	35
Praça 14 Manaus-AM	47,78	17,5	40

O equipamento utilizado para a coleta dos dados foi o receptor TEMS (Sistema Móvel de Teste Ericsson), configurado para um tempo de amostragem de 3 s conforme o movimento do carro teste a uma velocidade média de 40 Km/h no ambiente de cobertura. Para obter com precisão a distância radial da BTS (Estação Base Transceptora) associada a cada medida de potência, fez-se necessário o uso do GPS (Sistema de Posicionamento Global).

Após a campanha de medições, realizou-se o tratamento dos dados para a utilização nos modelos citados. Para esta análise dividiu-se o mapa da área em anéis de 50 em 50 m percorrido pelo terminal móvel. Em cada faixa foi calculada a média do sinal recebido.

III. METODOLOGIA

A. Modelo RA proposto

O modelo proposto neste trabalho tem a forma geral de um modelo empírico para perda de propagação além de ser adicionado um fator de correção, f_c , obtido através da RNA.

$$L(dB) = A + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_{ref}}\right) + f_c \quad (1)$$

sendo A a perda medida na distância de referência (d_{ref}). O parâmetro α é denominado de expoente de perda de propagação. Esse parâmetro é utilizado como referência para implementação de vários modelos empíricos de predição e depende de parâmetros do sistema, tais como: altura das estações base transceptora e móvel, frequência de operação e características do ambiente em estudo.

O cálculo do expoente de perda de propagação através da técnica numérica do mínimo erro médio quadrático é dado pela seguinte expressão [5]:

$$\alpha_2 = \frac{M \cdot \sum_{i=1}^M [\log(d_i) \cdot Pr_i] - \sum_{i=1}^M \log(d_i) \cdot \sum_{i=1}^M Pr_i}{10 \cdot \left\{ M \cdot \sum_{i=1}^M \log^2(d_i) - \left[\sum_{i=1}^M \log(d_i) \right]^2 \right\}} \quad (2)$$

sendo Pr_i a predição de intensidade de sinal de um determinado modelo empírico para a distância d_i , M é o número de amostras.

B. Algoritmo de treinamento da Rede Neural – Levenberg-Marquardt (LM)

O algoritmo LM é eficiente em termos de alta velocidade de convergência e necessidade de uso de memória computacional reduzida. Em geral, com redes que contêm várias centenas de pesos, o algoritmo LM tem a convergência mais rápida [6-7]. Esta vantagem é especialmente notada quando se realiza um treinamento onde se requer uma alta precisão, como foi o caso realizado neste trabalho.

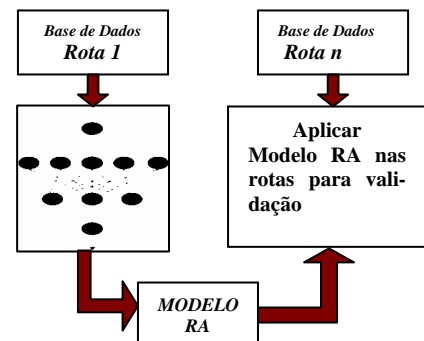


Fig.4 – Fluxo de aplicação do modelo RA

A Figura 4 ilustra a aplicação do modelo RA, sendo a perda no receptor móvel prevista dada pela expressão:

$$L(dB) = A + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_{ref}}\right) - \underbrace{[1,396\cos(4,98d) + 44,63]}_{f_c} \quad (3)$$

Sendo:

$$A = 32,44 + 20\log(1800) + 20\log(d_{ref}) \quad (4)$$

d_{ref} – distância de referência

Através do processamento do algoritmo da rede neural, pode-se obter uma melhora de desempenho e tempo de processamento.

A rede neural para obtenção do modelo RA de predição foi simulada no "Neural Network Toolbox" do Matlab 7.0. O conjunto de treinamento é formado pelos valores dos erros de predição de perda em relação aos valores de perdas obtidos em uma das rotas (Rota 1) da campanha de medições, e terá a função de obter o fator de correção (através da implementação do algoritmo de Levenberg-Marquardt) que irá compor o modelo RA. Para tanto, utilizou-se para treinamento a Rota 1 (Humaitá, Belém - Pará), treinou-se a rede neural utilizando como alvo a perda de propagação para obter uma função que caracterize o tipo de ambiente usado nos estudos, e assim testar em outras rotas com características semelhantes às áreas suburbanas que validaram o modelo.

Com o modelo RA associado a RNA pôde-se minimizar o erro entre os valores preditos e medidos, já que a mesma tem a capacidade de prever as não linearidades descritas pelos sinais de rádio, que são intrínsecas do meio e do próprio sistema de comunicação.

Ressalta-se que o modelo RA utiliza também valores de distância menores de 1 km, apresentando bom desempenho, pois na literatura os modelos convencionais utilizados para ambientes suburbanos têm como restrição o uso de distâncias a partir de 1 km [8].

C. Modelos Convencionais

C.1. Modelo Okumura-Hata Modificado

Este modelo é baseado no Modelo de Okumura-Hata com a incorporação de novos fatores. As equações modificadas de Hata são mostradas abaixo:

Funções de transição

$$F_1 = \frac{300^4}{f^4 + 300^4} \quad (5)$$

$$F_2 = \frac{f^4}{f^4 + 300^4} \quad (6)$$

Fator de correção da curvatura da terra

$$S_{KS} = \left(27 + \frac{f}{230}\right) \cdot \log \left[\frac{17 \cdot (h_b + 20)}{17 \cdot (h_b + 20) + d^2} \right] + 1,3 - \frac{|f - 55|}{750} \quad (7)$$

Fator de correção para áreas urbanas/suburbanas

$$S_o = (1 - U_r) [(1 - 2U_r) L_{po} + 4U_r L_{ps}] \quad (8)$$

Fator geral de correção da altura da antena móvel

$$a_x = (1 - U) a_m(h_m) + U [a_2(h_m) F_1 + a_4(h_m) F_2] \quad (9)$$

Sendo:

$a(h_m)$: fator de correção da altura da antena móvel

Cidade pequena-média:

$$a_m(h_m) = [1,1 \cdot \log(f) - 0,7] \cdot h_m - [1,56 \cdot \log(f) - 0,8] \quad (10)$$

Cidade grande:

$$a_2(h_m) = 8,29 \cdot [\log(1,54 \cdot h_m)]^2 - 1,10 (dB) \quad f \leq 200 MHz \quad (11)$$

$$a_4(h_m) = 3,2 \cdot [\log(1,75 \cdot h_m)]^2 - 4,97 (dB) \quad f \geq 400 MHz \quad (12)$$

Fator da porcentagem de prédios sobre o terreno

$$B_o = 25 \log(B_1) - 30 \quad (13)$$

Perda média de propagação para área urbana:

$$L_p (dB) = 69,55 + 26,16 \cdot \log(f) - 13,82 \cdot \log(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55 \log(h_b)] \cdot \log(d) \quad (14)$$

Perda média de propagação para área suburbana:

$$L_{ps} (dB) = L_p - 2 \cdot \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad (15)$$

sendo L_p a perda média de propagação prevista pelo Modelo de Okumura-Hata.

Perda média de propagação

$$L(dB) = -(L_p + S_o + a_x + S_{ks} + B_o) \quad (16)$$

O modelo empírico de Okumura-Hata possui expoente de perda de percurso dado por

$$\alpha = \frac{44,9 - 6,55 \cdot \log(h_b)}{10} \quad (17)$$

sendo h_b a altura da antena base.

O modelo de Okumura-Hata modificado é válido até 3 GHz.

C.2. Modelo de COST231-Hata

Esse modelo é baseado no Modelo de Okumura-Hata e pode ser utilizado para frequências no intervalo de 1,5 GHz - 2 GHz [9]. A seguir são mostradas as expressões deste modelo:

Perda média de propagação para área urbana:

$$L_p (dB) = 46,30 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_b + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log d - a(h_m) \quad (18)$$

Sendo:

$a(h_m)$: fator de correção da altura da antena móvel

IV. DADOS E RESULTADOS

As Figuras 6, 8 e 10 demonstram o resultado da predição da área de cobertura obtida através de uma ferramenta de planejamento de RF (Rádio Freqüência) ao qual serve de base para análise do comportamento de propagação do sinal. Observa-se que nas Figuras 7, 9 e 11, que representam os dados medidos, não há um retrato fiel da informação predita, já que as características do meio com suas devidas variabilidades interferem diretamente na perda de sinal. Logo, é de grande importância para os estudos de projetos de sistemas móveis celulares que se façam campanhas de medições.

Designou-se como Rota1, mostrada na Figura 7, os dados coletados da BTS Humaitá (Belém – Pará), a Rota2 Lomas (Belém – Pará) da Figura 9 e Rota3 Praça 14 (Manaus – Amazonas) da Figura 11. A legenda do nível de sinal das Figuras 6 a 11 é apresentada na Figura 5.

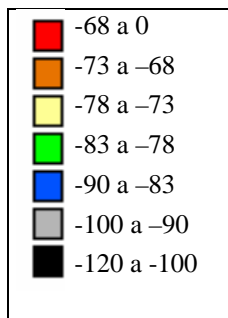


Fig. 5 - Legenda das Figuras 6 a 11 com seus níveis de sinal

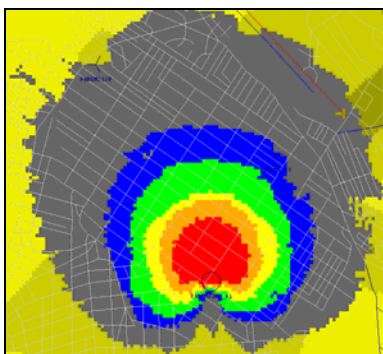


Fig.6 – Predição da área de cobertura da BTS da Humaitá

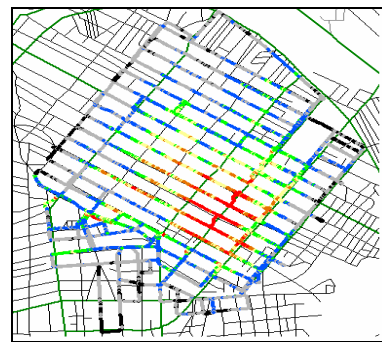


Fig. 7 - Rota1

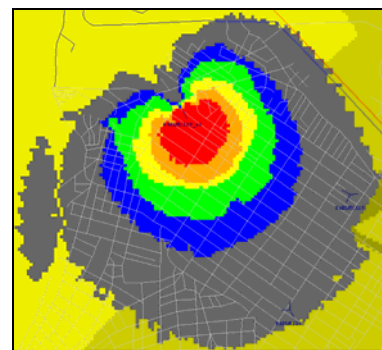


Fig. 8 – Predição da área de cobertura da BTS da Lomas

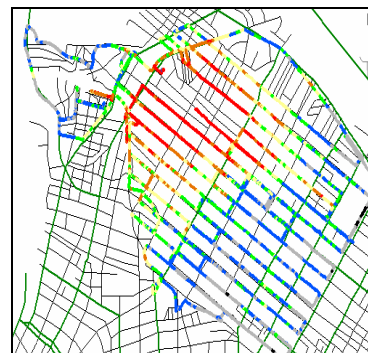


Fig.9 – Rota2

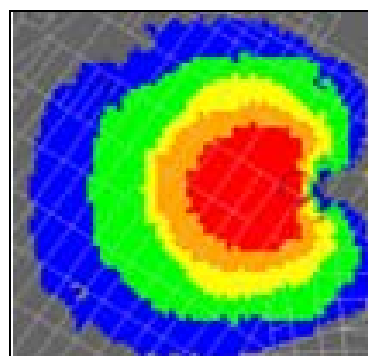


Fig.10 – Predição da área de cobertura da BTS da Praça 14



Fig. 11 – Rota3

V. DISCUSSÃO

Resultados obtidos através do uso dos modelos descritos estão apresentados nas tabelas abaixo:

TABELA II VALORES DE α PARA AS ROTAS 1, 2, 3

Rota 1 – Humaitá		
Dados	Equação	Alfa (α)
Okumura-Hata Modificado	(17)	3,4725
COST231-Hata	(2)	3,4786
Medidas	(2)	1,396
Rota 2 – Lomas		
Okumura-Hata Modificado	(17)	3,4727
COST231-Hata	(2)	3,4786
Medidas	(2)	1,2831
Rota 3 – Praça 14		
Okumura-Hata Modificado	(17)	3,4403
COST231-Hata	(2)	3,4407
Medidas	(2)	1,2160

TABELA III RESULTADOS

Rota 1 – Humaitá			
Modelos	Erro médio absoluto (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro rms (dB)
RA	2,3933	1,7791	2,9821
COST231-Hata	7,1507	6,8776	9,9214
O-H-M	34,1781	6,9657	34,8807
Rota 2 – Lomas			
RA	3,7791	2,9814	4,8135
COST231-Hata	7,2532	7,0367	10,1056
O-H-M	25,9332	10,0680	27,8190
Rota 3 – Praça 14			
RA	6,2236	3,9025	7,3460
COST231-Hata	17,2076	9,8646	19,8347
O-H-M	44,8038	9,8638	45,8767

O modelo RA resultante da RNA é implementado a partir das medições de campo da Rota1 que serve como base para treinamento, e posteriormente validado na Rota2 e Rota3, que apresentam as mesmas características de ambientes suburbanos [10].

A. Análise da Rota1:

Na Tabela II o expoente de perda de propagação de sinal (α) do modelo Okumura-Hata Modificado de valor igual a 3,4725 e COST231-Hata de 3,4786 se encontram dentro da faixa de valores esperados para um ambiente suburbano.

Na Rota1 comparando-se os modelos observa-se na Tabela III, um melhor desempenho no modelo RA, onde o erro médio absoluto é de 2,3933 dB, desvio padrão de 1,7791 dB e erro rms de 2,9821 dB, COST231-Hata o erro médio de 7,1507 dB, desvio padrão de 6,8776 e erro rms de 9,9214 dB e o do Okumura-Hata o erro médio de 34,1781 dB, desvio padrão de 6,9657 e erro rms de 34,8807 dB. O resultado gráfico dos modelos utilizados na Rota1 está na Figura 12.

B. Análise da Rota2:

Na Tabela II o expoente de perda de propagação de sinal (α) do modelo Okumura-Hata Modificado de valor igual a 3,4727 e COST231-Hata de 3,4786 se encontram dentro da faixa de valores esperados para um ambiente suburbano.

Na Rota2 de validação, o resultado do modelo RA, mostrado na Tabela III, apresentou um melhor desempenho, onde o erro médio absoluto é de 3,7791 dB, desvio padrão de 2,9814 dB e erro rms de 4,8135 dB, COST231-Hata o erro médio de 7,2532 dB, desvio padrão de 7,0367 dB e erro rms de 10,1056 dB e o do Okumura-Hata o erro médio de 25,9332 dB, desvio padrão de 10,0680 e erro rms de 27,8190 dB. O resultado gráfico dos modelos utilizados na Rota2 está na Figura 13.

C. Análise da Rota3:

Na Tabela II o expoente de perda de propagação de sinal (α) do modelo Okumura-Hata Modificado de valor igual a 3,4403 e COST231-Hata de 3,4407 se encontram dentro da faixa de valores esperados para um ambiente suburbano.

Na Rota3 o modelo RA, mostrado na Tabela III, também apresentou um melhor desempenho, onde o erro médio absoluto é de 6,2236 dB, desvio padrão de 3,9025 dB e erro rms de 7,3460 dB, COST231-Hata o erro médio de 17,2076 dB, desvio padrão de 9,8646 dB e erro rms de 19,8347 dB e o do Okumura-Hata o erro médio de 44,8038 dB, desvio padrão de 9,8638 e erro rms de 45,8767 dB. O resultado gráfico dos modelos utilizados na Rota3 está na Figura 14.

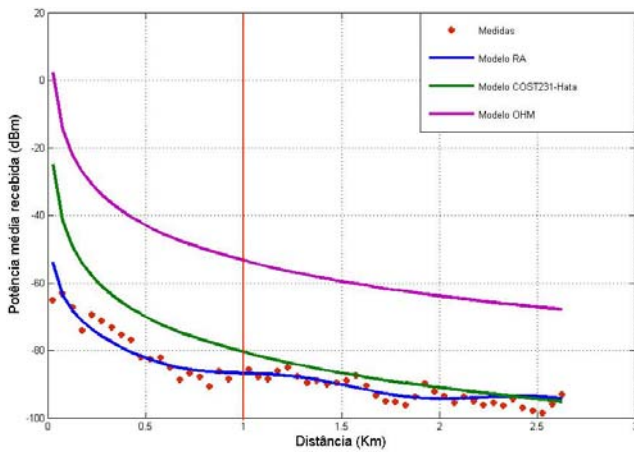


Fig. 12 - - Gráfico de comparação dos modelos empíricos RA, COST231-Hata e Okumura-Hata Modificado para a Rota1

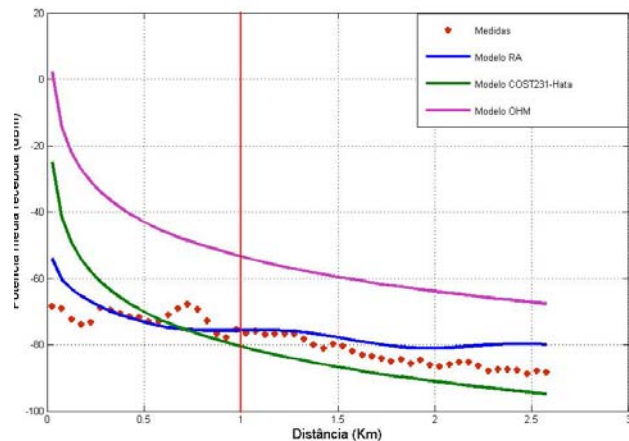


Fig. 13 - Gráfico de comparação dos modelos empíricos RA, COST231-Hata e Okumura-Hata Modificado para a Rota2

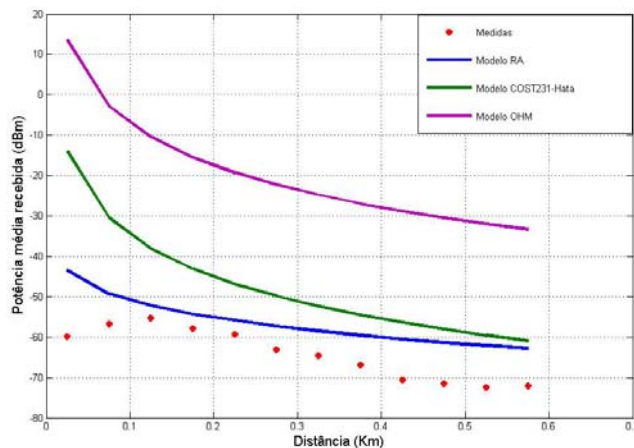


Fig. 14 - Gráfico de comparação dos modelos empíricos RA, COST231-Hata e Okumura-Hata Modificado para a Rota3

VI. CONCLUSÃO

Através das campanhas de medições realizadas no ambiente com características suburbanas o modelo que mais se adequou ao ambiente suburbano em estudo foi o modelo RA. Quanto ao expoente de perda de propagação de sinal (α), apresentado na Tabela II os valores calculados com relação às medidas apresentaram-se próximos ao α do espaço livre, igual a 2

(dois), comprovando que apresentaram percursos em linha de visada sem muitos obstáculos.

A utilização dos modelos convencionais é baseada em parâmetros de características do ambiente tais como base de dados do terreno, altura de prédios, largura de ruas.

O modelo RA proposto no trabalho é associado a uma RNA que abstrai esses parâmetros com base em uma rota de referência e assim pode ser validado posteriormente em outros ambientes com características semelhantes [11]. Como comprovado neste trabalho, onde se treinou a Rota1 (Belém - Pará), testaram-se na Rota2 (Belém - Pará) e Rota3 (Manaus - Amazonas), todas com características suburbanas e foram obtidos bons resultados baseados nas rotas de testes para validação. Ressalta-se, que houve convergência em faixas de distâncias não consideradas pelos modelos convencionais, que são restritos a valores a partir de 1 km. Os resultados reforçam que a perda de intensidade do sinal pode ser representada por um modelo RA sem restrições a faixas de distâncias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Engenheiros Marcelo, Luciano Oquendo e Rilton da TNL PCS S. A - Oi e Cleber da Amazônia Celular pela oportunidade dada para realizar este trabalho. Aos pesquisadores Hermínio, Simone e Josi da UFPA.

REFERÊNCIAS

- [1] E.F.T. Martijn and M.H.A.J. Herben, "Characterization of Radio Wave Propagation Into Buildings at 1800 MHz", 1536-1225/03 2003 IEEE.
- [2] Link Budget Calculations GSM1800 PROJECT - Radio Network Planning, Alcatel, 2001 v1.4
- [3] Vinco Erceg, Larry J. Greenstein, Sony Y. Tjandra, Seth R. Parkoff, Ajay Gupta, Boris Kulic, Arthur A. Julius and Renee Bianchi, "An Empirically Based Path Loss Model For Wireless Channel In Suburban Environments, IEEE Journal on selected Areas in Communication, Vol.17, n°7, July 1999.
- [4] Athanasios Kanatas, Philip Constantinou, Nektarios Moraitis, George Pantos, "Widebands Characterization of Microcellular Suburban Mobile Radio Channels at 1,89 GHz. IEEE 2002.
- [5] José Nilson Cordeiro de Oliveira, Estudo de Modelos de Predição para Telefonia Móvel Celular, TM2004, UFPE.
- [6] Neural Network Toolbox User's Guide, Copyright 1992-1998 by The Math Works, Inc. All Right Reserved.
- [7] Curve Fitting Toolbox User's Guide, Copyright 2001-2002 by The Math Works, Inc. All Right Reserved.
- [8] Michel Daoud Yacoub, "Wireless Technology", ed.CRC Press, 2002.
- [9] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications", Prentice-Hall, Inc. 2002.
- [10] Antonio de Almeida Neves, Rosely dos Anjos Lima, Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante, "Caracterização do Canal através de um Modelo Híbrido de Predição em Ambientes Suburbanos", MOMAG, 2004.
- [11] Fernando Mendes de Azevedo, Lourdes Mattos Brasil, Roberto Célio Limão de Oliveira, "Redes Neurais com Aplicações em Controle e em Sistemas Especialistas", Ed. Visual Books 2000.