

Modelagem Híbrida de Canal para Sistemas Móveis em Área Suburbana Densamente Arborizada

Antonio Paulo Bruno de Britto Freire e Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante

Resumo — Este trabalho propõe um modelo híbrido para a predição da potência recebida por estações móveis em áreas suburbanas densamente arborizadas, muito comuns na região amazônica. O modelo híbrido utiliza o método dos mínimos erros médios quadráticos para adaptação de um modelo convencional, cujos erros são estimados e corrigidos por uma rede neural artificial. O desempenho do modelo proposto foi avaliado por meio de medições realizadas na área suburbana da cidade de Marituba-PA.

Palavras-Chaves — modelo híbrido, áreas suburbanas densamente arborizadas, potência recebida, estações móveis.

Abstract — This work proposes a hybrid model to the prediction of the received power by mobile stations in densely foliated suburban areas, which are very common in the Amazon region. The hybrid model uses the method of the minimum mean square error to adapt a conventional model, whose errors are estimated and corrected by an artificial neural network. The performance of the proposed model was evaluated by measurements taken in the suburban area of Marituba city, Pará.

Keywords — hybrid model, densely foliated suburban areas, received power, mobile stations.

I. INTRODUÇÃO

O canal de propagação é um dos mais críticos componentes dos sistemas de comunicações móveis, o que torna imprescindível a sua análise detalhada, a fim de que sejam realizados projetos capazes de atender às demandas das mais diferentes áreas de cobertura [1-4].

O canal em estudo neste trabalho consiste na interface aérea de um sistema móvel terrestre em operação na cidade de Marituba-PA, caracterizada pela ocorrência de ruas estreitas e densa arborização de origem nativa, conforme visto na Fig. 1.

Esta interface foi modelada considerando-se a formulação empírica convencional que foi ajustada aos dados obtidos pelas medições realizadas, pelo método dos mínimos erros médios quadráticos. Este modelo ajustado foi então utilizado para estimar a potência recebida em uma das rotas de medições e os erros encontrados foram usados para treinar uma rede neural artificial (RNA) [5].

Antonio Paulo Bruno de Britto Freire e Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Pará, Belém - Pará, Brasil. E-mails: apbbfreire@yahoo.com.br, gervasio@ufpa.br.

Posteriormente, o modelo híbrido foi criado levando-se em consideração as predições do modelo convencional ajustado, corrigido pelas estimativas de erros encontradas pela rede.

Para avaliar o desempenho do modelo híbrido, os resultados de simulações em ambiente computacional foram comparados com dados medidos na área de cobertura, para diferentes alturas da antena transmissora, chegando-se então às conclusões sobre a sua validade.

II. MEDIDAS DE CAMPO

Os dados experimentais foram coletados em ruas da área de testes, sendo que, foram realizadas medidas sucessivas para diferentes alturas (70m, 44m e 14m – sendo esta ao nível da copa das árvores) de instalação da antena transmissora, que foi fixada na torre da operadora que oferece o serviço de comunicações móveis em Marituba. Esta antena possuía ganho de 2dBi e diagrama de irradiação omnidirecional, transmitindo um sinal CW de 22 dBm de potência na frequência de 890,43 MHz. A antena receptora utilizada possuía ganho de 3dBi, diagrama de irradiação omnidirecional e foi montada em um veículo que percorreu as ruas da cidade realizando as medições. Para aquisição e armazenamento dos dados obtidos foi usado um equipamento receptor dotado de geo-localizador (GPS) e programa de coleta de dados. Por fim, foram produzidos três bancos de dados de medidas, respectivamente para transmissões a 70m, 44m e 14m.



Fig. 1. – Vista a 70m do ambiente de medição.

III. MODELOS DE PREDIÇÃO

Partindo-se da equação de Friis e da lei da potência [4], obtém-se a expressão (3) para cálculo da potência recebida pela estação móvel:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 e_{cd\gamma}}{(4\pi)^2 d^2} \quad ; \text{ Eq. de Friis. (1)}$$

Sendo que P_r representa a potência recebida pela estação móvel, P_t a potência transmitida pela estação base, G_t e G_r os ganhos de transmissão e recepção respectivamente, λ é o comprimento de onda do sinal, d é a distância que separa as antenas e $e_{cd\gamma}$ a eficiência do sistema não relacionada ao canal.

$$L(d) = 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_{ref}}\right) + L_{ref} \quad ; \text{ Lei da potência. (2)}$$

Para a lei da potência, L_{ref} é a perda conhecida a uma distância de referência d_{ref} , medida em dB, assim como $L(d)$ representa a perda para a distância d , e γ é denominado expoente de perda de propagação.

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L(d) \quad ; \text{ Potência recebida em dB (3)}$$

No entanto, esta expressão só pode modelar a componente determinística da potência do sinal recebido, posto que também devem ser considerados os desvanecimentos abruptos devidos aos multipercursos do sinal transmitido, que acabam por adicionar um fator aleatório [6] ao modelo, resultando assim:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L(d) + X_\sigma \quad (4)$$

no qual X_σ é uma variável estocástica.

Para se estimar a componente determinística da potência recebida pela estação móvel, adaptou-se a expressão (3), de forma geral:

$$P_r = C_1 \log(d) + C_2, \quad (5)$$

aos dados obtidos com a antena transmissora a uma altura de 70m. Para tal, utilizou-se o método dos mínimos erros médios quadráticos, obtendo-se assim:

$$P_r = -35,2 \log(d) + 31,2 \quad (6)$$

$$\gamma = -\frac{C_1}{10}, \quad (7)$$

que representam o modelo convencional ajustado, e $\gamma = 3,52$; corresponde ao coeficiente de perda de propagação estimado para o canal.

Para a realização deste ajuste, foram utilizados um terço dos dados apurados com a antena transmissora a 70m, que foram selecionados pseudo-aleatoriamente por algoritmo criado para esta finalidade, melhorando assim a confiabilidade do modelo.

Apesar de ajustado, o modelo convencional ainda apresentou erros em relação aos valores medidos devido à existência dos multipercursos. Tais erros foram usados para treinar a rede neural artificial, a quem coube estimar os erros do modelo convencional para demais rotas da área de cobertura.

Assim, chegou-se ao modelo híbrido representado na Figura 2, cuja predição para a potência recebida é dada por:

$$P_{hib} = P_r - Erro_{RNA} \quad (8)$$

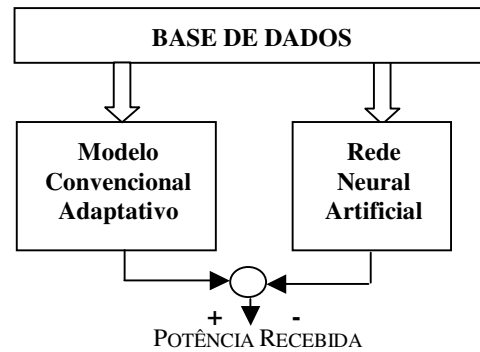


Fig. 2. Representação do Modelo Híbrido.

A rede neural utilizada para estimação do erro do modelo convencional ajustado foi do tipo *feedforward* com três camadas, treinada com algoritmo do tipo *backpropagation*, ambos criados no ambiente computacional *Neural Network Toolbox* do aplicativo Matlab 6.5 [7].

A utilização combinada do ajuste do modelo determinístico e da rede neural se mostrou capaz de melhorar o desempenho na predição da potência recebida, como provaram os resultados alcançados.

IV. DADOS COLETADOS

As Figuras 3, 4 e 5 representam as potências de recepção do sinal medidas para transmissões a 70m, 44m e 14m de altura respectivamente, enquanto que na Fig. 6, estão representados os resultados de ajuste dos modelos convencional e híbrido para transmissão a 70m.

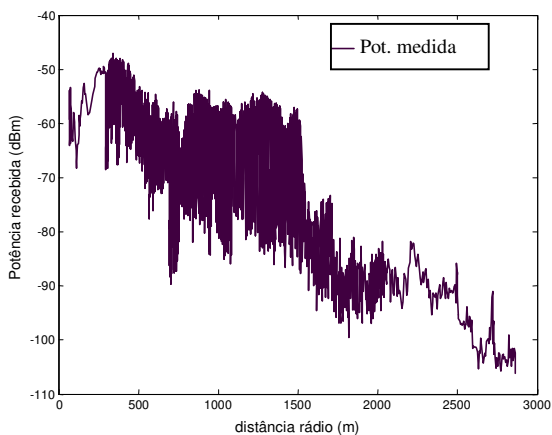


Fig. 3. Potência recebida para transmissão a 70m.

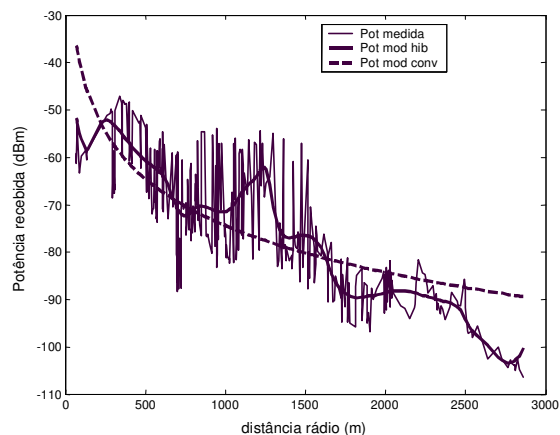


Fig. 6. Potências recebida e predita para transmissão a 70m para os dados de treino e ajuste dos modelos.

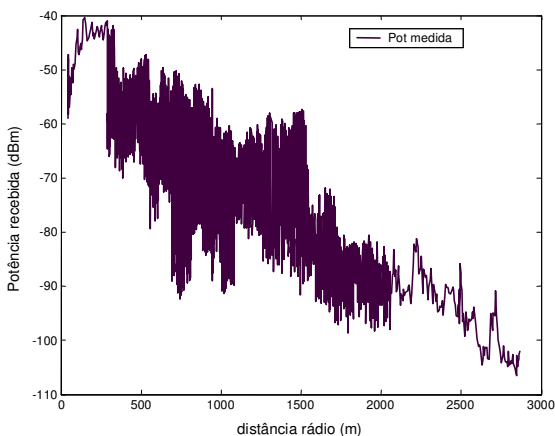


Fig. 4. Potência recebida para transmissão a 44 m.

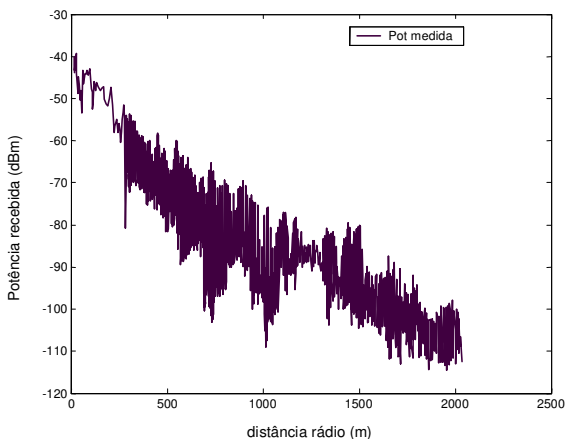


Fig. 5. Potência recebida para transmissão a 14 m.

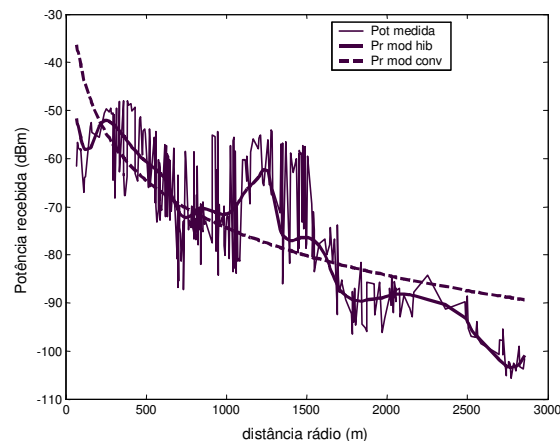


Fig. 7. Potências recebida e preditas para transmissão a 70m para os dados de teste dos modelos.

V. RESULTADOS

Os testes dos modelos híbrido e convencional foram realizados com dados diferentes daqueles usados para ajuste e treino, revelando considerável precisão do modelo híbrido para transmissões tanto a 70m, quanto a 44m, conforme pode ser observado nas Figuras 7 e 8. No entanto, para transmissões a 14m, ou seja, para a mesma altura média das copas das árvores, o modelo proposto não forneceu resultados satisfatórios, como se pode constatar no gráfico da Fig. 9.

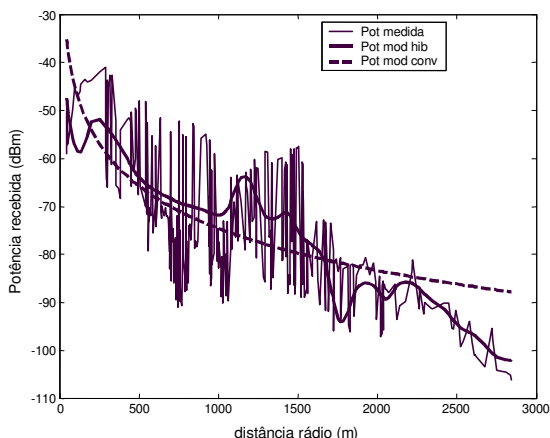


Fig. 8. Potências recebida e previstas para transmissão a 44 m para os dados de teste dos modelos.

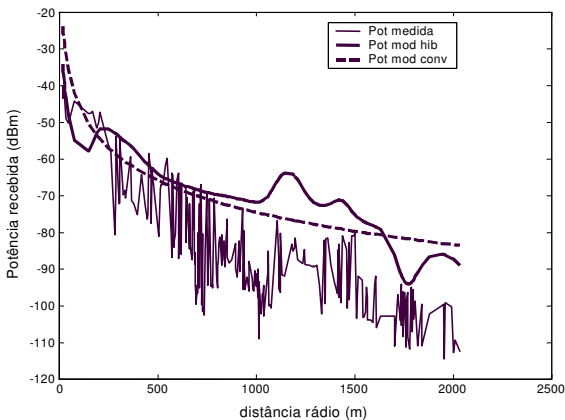


Fig. 9. Potências recebida e previstas para transmissão a 14 m para os dados de teste dos modelos.

Os resultados encontrados para os erros de predição constam da Tabela I, onde estão mostrados os valores dos erros médios dos modelos híbrido e convencional tanto para os dados de ajuste como para os de teste.

TABELA I.
ERROS E DESVIOS OBTIDOS PARA AMBOS OS MODELOS.

Altura de Tx	Modelo	Erro Médio Absoluto (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro Médio Quadrático (dB)
70m (*)	Conv.	5,8927	6,5964	8,8451
	Híbrido	1,0923	1,5413	1,8891
70m (**)	Conv.	7,2019	8,2245	10,9321
	Híbrido	2,8018	3,7417	4,6744
44m (**)	Conv.	5,7313	6,3004	8,5172
	Híbrido	2,6040	3,8493	4,6474
14m (**)	Conv.	13,0286	12,8777	18,3186
	Híbrido	15,4011	12,7832	20,0151

(*) - Valores obtidos com dados de treino (ajuste) dos modelos

(**) - Valores obtidos com dados de teste dos modelos

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs um modelo híbrido para a predição da potência recebida por uma estação móvel do sistema de comunicações móveis terrestre instalado na cidade de Marituba-PA, que possui densa vegetação nativa em sua área suburbana.

A análise dos resultados encontrados sugere a validade deste modelo para sinais transmitidos a partir de uma altura superior a altura média das copas das árvores, faixa em que se encontram as antenas das operadoras de telefonia celular. Isto se justifica devido aos baixos erros apresentados pelo modelo proposto, se comparados aos do modelo convencional ajustado.

No entanto, esta extrapolação não é válida para transmissões a baixas alturas, como ficou provado pelos resultados encontrados quando a antena transmissora foi instalada a 14m do solo. Este fato revela a forte influência da vegetação na perda de potência para sinais transmitidos próximo ao solo, portanto, abaixo da altura média das copas das árvores.

Deve-se considerar ainda, que a utilização da RNA na predição dos erros do modelo convencional exigiu a realização de medidas de campo e criterioso *data mining* a fim de se levantar valores adequados para que esta fosse treinada. Assim, foram ajustados os pesos de suas ligações sinápticas, tornando-a útil para realização de estimações e extrapolações.

Além disso, as previsões do modelo híbrido para outros ambientes serão tanto mais precisas quanto forem as semelhanças destes com aquele para o qual a rede foi treinada e o modelo convencional ajustado.

Conclui-se, por fim, que a utilização de redes neurais artificiais consiste em uma alternativa eficaz para modelagem de canais de comunicações em áreas suburbanas da Amazônia, respeitando-se, porém, os limites impostos pela altura em que for instalada a antena da estação rádio base e a simplicidade do modelo convencional usado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Amazônia Celular S/A, na pessoa da engenheira Daniela Pereira, pelo apoio às medições, e as doutorandas Josiane Rodrigues e Simone Fraiha, pelo tratamento dos dados obtidos nas medições realizadas.

REFERÊNCIAS

- [1] Rappaport, T. S., "Wireless Communications Principles and Practice", 2nd ed., New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [2] Lima, A. G. M., – "Comunicação Móveis do Analógico ao IMT 2000" – Editora Axel Books 2003.
- [3] Mehrotra, A., – "GSM System Engineering" – London Artech House Publishers, 1997.
- [4] Castro, J., – "The UMTS Network and Radio Access Technology" – 1^a Ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2001. 354 p.
- [5] Sanches, M. A. R.; Cavalcante, G. P. S., "Modelos Neuro-Adaptados para Predição de Radiopropagação em Sistemas Móveis Terrestres". Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Brasil, v. 16, n. 1, p. 11-15, 2001..
- [6] S.G. C. Fraiha, H. S. Gomes, J. C. Rodrigues, G. P. S. Cavalcante, "Statistical Path Loss Model for Mobile System Densely Arboreous Suburban Area" (in Portuguese), presented at the 21th Telecommunication Brazilian Symposium, Belém, Brazil, 2004.
- [7] Oliveira, R. C. L.; Azevedo, F. M.; Brasil, L. M., "Redes Neurais com Aplicações em Controle e em Sistemas Especialistas", 1^a ed. Florianópolis: Visual Books, 2000. v. 01. 401 p.