

MODELOS NEURO-ADAPTADOS PARA PREDIÇÃO DE RADIOPROPAÇÃO EM SISTEMAS MÓVEIS TERRESTRES

Mário Sanches e Gervásio Cavalcante

Resumo - Este trabalho propõe um modelo híbrido de predição para a determinação da perda de propagação em ambiente móvel celular urbano, constituído de uma rede neural artificial e um modelo adaptado. Estes modelos foram implementados e testados a partir de uma campanha de medições realizada na área urbana da cidade de Belém do Pará. Os valores da intensidade média do sinal recebido nesta campanha foram comparados com os valores previstos pelos modelos adaptados e seus respectivos modelos híbridos, tendo como enfoque a dependência do sinal recebido com a distância entre transmissor e receptor.

Abstract - This work proposes a hybrid model of prediction to the determination of the propagation loss in urban environment cellular mobile systems, constituted of an artificial neural network and an adapted model. These models were implemented and tested starting from a campaign of measurements accomplished in the urban area of Belém of Pará city. The mean intensity values of the received sign in this campaign were compared with the values foreseen by the adapted models and their respective hybrid models, having as focus the dependence of the sign received with the distance between transmitter and receiver.

Palavras chaves: modelos de propagação, redes neurais artificiais e sistema móvel celular.

1. INTRODUÇÃO

A predição da intensidade de campo é a base para muitos cálculos no planejamento de sistemas de comunicação móvel moderno.

Uma grande variedade de modelos empíricos de predição com fundamentos teóricos e experimentais, têm sido desenvolvidos para aplicações em cálculo de cobertura para sistemas de comunicações rádio-móveis. Entre eles estão os tradicionais modelos empíricos de Okumura - Hata, Walfisch - Bertoni, Maciel-Bertoni-Xia, Ibrahim-Parsons e uma classe de modelos mais recentemente desenvolvida, os modelos adaptados. Apesar de apresentarem um melhor desempenho em relação aos modelos empíricos tradicionais, estes modelos ainda apresentam uma deficiência, assim como os modelos empíricos tradicionais, estes modelos são expressos por funções que são monotonicamente decrescentes. Desta forma esses modelos não podem realizar o mapeamento não-linear dos sinais de rádio, que são aleatórios e não-lineares.

Neste contexto este trabalho propõe uma nova classe de modelos de predição, os modelos híbridos. Os quais são

constituídos de um modelo adaptado mais uma rede neural artificial operando em paralelo. A rede neural será treinada com os valores dos erros absolutos previstos por cada modelo adaptado em relação aos valores da intensidade média do sinal obtidos em uma das rotas (rota 1) da campanha de medições, e terá a função de compensar o erro do modelo adaptado. Dessa forma o modelo híbrido terá a capacidade de prever as não linearidades que são intrínsecas do ambiente e do próprio sistema de comunicação.

O desempenho dos modelos híbridos será comparado com os seus respectivos modelos adaptados de Okumura-Hata, Ibrahim-Parsons, Walfisch-Bertoni e Maciel-Bertoni-Xia, em termos de erro de predição (referido à campanha de medições) e tendo como enfoque a dependência do sinal recebido com a distância [1].

Na campanha de medições o terminal móvel se deslocou ao longo de duas rotas predefinidas na área central da cidade de Belém, chamadas de rota 1 e rota 2 e mostradas na Figura 1.

2. MODELOS ADAPTADOS

Os modelos adaptados foram implementados a partir dos modelos empíricos de Okumura-Hata, Walfisch-Bertoni, Maciel-Bertoni-Xia e Ibrahim-Parsons [2], [3], pela adaptação de seus coeficientes através da técnica do erro médio quadrático mínimo. Eles possuem uma vantagem, pois evitam o problema de classificações erradas ou de parâmetros mal definidos do local, que podem levar a erros consideráveis de predição.

Assim como os modelos empíricos convencionais eles possuem uma vantagem em relação ao tempo de computação e não requerem informações detalhadas da base de dados. Por outro lado não podem caracterizar precisamente o ambiente urbano devido à fatores não-lineares encontrados no meio.

A seguir são mostrados os modelos adaptados para área urbana utilizados neste trabalho:

Modelo de Okumura-Hata Adaptado

$$y = C_0 + C_1 \log(d) \quad (1)$$

Modelo de Walfisch-Bertoni Adaptado

$$y = C_0 + C_1 \log(d) + C_2 \cdot \log \left(1 + \frac{d^2}{17H} \right) \quad (2)$$

Modelo de Maciel-Bertoni-Xia Adaptado

$$y = C_0 + C_1 \log(d) + C_2 \log \left(1 + \frac{d^2}{17hb} \right) + C_3 \log(Gb - Q_e^2) \quad (3)$$

Mário Sanches está na Telegamma Brasil Ltda e Gervásio Cavalcante está na UFPA – CT – Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação. E-mail: m.sanches@telegamma.com.br, gervasio@ufpa.br

sendo Q_e dado por

$$Q_e = 2.35 \cdot \left[\arctan \left(\frac{hb}{1000 \cdot d} \right) \cdot \sqrt{\frac{s}{\lambda}} \right]^{0.9} \quad (4)$$

Modelo de Ibrahim-Parsons Adaptado

$$y = C_0 + C_1 \cdot \log(1000 \cdot d) + C_2 \cdot d + C_3 \cdot d^2 \quad (5)$$

sendo $C_0, C_1, C_2, \dots, C_n$ os coeficientes adaptativos.

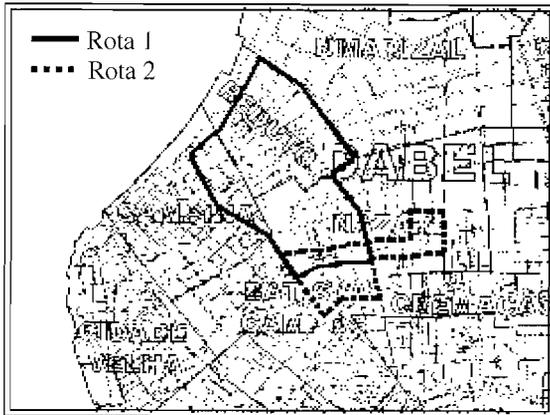


Figura 1. Rotas da campanha de medições.

A Tabela 1 mostra os parâmetros utilizados na campanha de medições.

Parâmetros	Símbolos	Valor
Frequência de operação	f	900 MHz
Altura da antena base	h_b	50 m
Altura da antena móvel	h_m	3 m
Diferença entre h_b e h	H	20 m
Largura da rua	s	20 m
Potência transmitida	P	30 dBm
Ganho da antena base	G_b	2,14 dBi
Ganho da antena móvel	G_m	2,14 dBi

Tabela 1. Parâmetros da Campanha de Medições.

A Tabela 2 mostra uma análise comparativa entre os modelos empíricos de predição tradicionais e seus respectivos modelos adaptados, simulados com os parâmetros da Tabela 1 e com as medidas da intensidade de média de sinal obtidas na rota de teste (rota 2).

Através da Tabela 2 observa-se que os modelos adaptados apresentam um melhor desempenho, principalmente os modelos adaptados de Ibrahim-Parsons e Maciel-Bertoni-Xia.

3. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

A partir de 1986 por ocasião da proposição do algoritmo de retropropagação de erro para treinamento de perceptrons de múltiplas camadas, as redes neurais artificiais passaram a ser utilizadas na síntese de mapeamentos complexos, ou

seja, para problemas que não podem ser tratados apropriadamente por métodos analíticos. Geralmente

MODELOS	Erro Médio Absoluto	Desvio Padrão	Erro Rms
Okumura-Hata	4,42	2,63	5,14
Okumura-Hata *	4,05	2,91	4,99
Maciel-Bertoni-Xia	4,63	3,58	5,85
Maciel-Bertoni-Xia *	3,09	3,36	4,57
Ibrahim-Parsons	5,65	4,97	7,52
Ibrahim-Parsons *	3,45	3,51	4,92
Walfisch-Bertoni	8,48	5,58	10,15
Walfisch-Bertoni *	3,57	3,73	5,16

*modelo adaptado

Tabela 2. Análise Estatística do Erro (em dB).

sistemas físicos e outros sistemas não-lineares são descritos por funções complexas, e no caso da propagação de ondas eletromagnéticas em meio urbano esta função é desconhecida. Neste contexto uma rede neural pode ser utilizada para aproximar essas funções a partir de medidas reais obtidas no meio de interesse, neste caso o ambiente urbano.

Uma rede neural é formada por um conjunto de elementos processadores denominados de neurônios. Esses neurônios são ligados por interconexões denominadas pesos. Esses pesos possibilitam o aprendizado de informações que são fornecidas através dos canais de entrada da rede neural, e as armazena. Cada modelo híbrido será constituído de um modelo adaptado e uma rede neural, que para efeito de comparação as redes possuem a mesma arquitetura, assim tem-se a seguinte arquitetura da rede neural: 36 neurônios de entrada, 6 neurônios na camada intermediária e 1 neurônio na camada de saída. Os 36 neurônios de entrada recebem informação da distância entre transmissor e receptor, enquanto a saída fornece a estimativa do erro do modelo adaptado considerado em relação às medidas de campo obtidas (rota 1). este será o par de treinamento da rede neural que será treinada com o algoritmo “backpropagation” [4]. A Figura 2 exemplifica a arquitetura da rede neural.

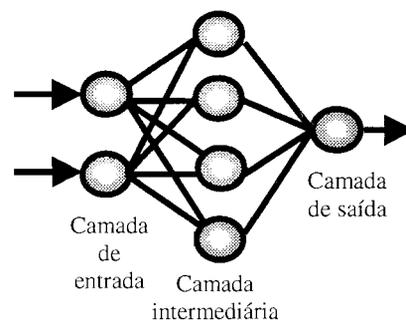


Figura 2. Rede Neural Artificial com 3 camadas.

Neste trabalho as redes neurais serão usadas para realizar o mapeamento não-linear dos erros de predição dos modelos adaptados em função da distância entre transmissor e receptor.

4. MODELOS HÍBRIDOS

Uma nova classe de modelos de predição é implementada através do processamento paralelo dos modelos adaptados e as redes neurais artificiais. Tanto os modelos adaptados quanto as redes neurais artificiais são modelos adaptativos, por isso neste trabalho os modelos híbridos serão implementados a partir das medidas de campo de uma das rotas (rota 1) da base de dados da campanha de medições e posteriormente testados com as medidas de uma outra rota (rota 2) da mesma base de dados

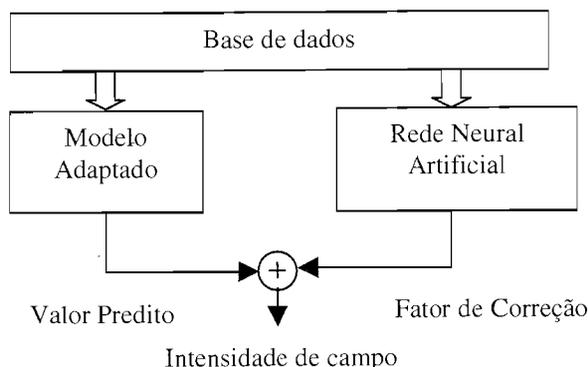


Figura 3. Estrutura do Modelo híbrido de predição.

da região de interesse. Um esquema representativo do modelo híbrido de predição é mostrado na Figura 3.

Os modelos de predição adaptados e as redes neurais artificiais quando operando isoladamente podem não apresentar um bom desempenho, estas por ficarem "miciadas" nos pontos de treinamento, aqueles pela incapacidade de realizarem o mapeamento não-linear que descrevem os sinais de rádio devido sua natureza estocástica.

Através do processamento paralelo dessas duas técnicas pode-se obter uma melhora de desempenho, unindo-se as vantagens de ambas.

5. RESULTADOS

A Tabela 3 mostra a análise estatística do erro (em dB) para a rota 1 (rota de treinamento). Foi comparado o desempenho de cada modelo adaptado e seu respectivo modelo híbrido de predição em função da distância entre transmissor e receptor.

Ainda não se pode avaliar o desempenho dos modelos

MODELOS	Erro médio absoluto	Desvio Padrão	Erro rms
Okumura-Hata*	2,78	2,05	3,45
Okumura-Hata Híbrido	0	0	0
Maciel-Bertoni-Xia*	1,87	1,38	2,32
Maciel-Bertoni-Xia Híbrido	0	0	0
Ibrahim-Parsons*	1,94	1,50	2,45
Ibrahim-Parsons Híbrido	0	0	0
Walfisch-Bertoni*	1,93	1,57	2,49
Walfisch-Bertoni Híbrido	0	0	0

* modelo adaptado

Tabela 3. Análise Estatística do Erro para Rota 1.

híbridos de predição a partir da Rota 1 (treinamento e adaptação), pois os dados desta rota foram usados como par de treinamento das redes neurais artificiais que compõem os modelos híbridos de predição e serviram como base de dados para a modelagem e determinação dos coeficientes dos modelos de predição adaptados.

A seguir são mostrados os gráficos para a rota 1 da intensidade média do sinal recebido previstas pelo modelo adaptado de Okumura-Hata, Maciel-Bertoni-Xia, Ibrahim-Parsons e Walfisch-Bertoni e seus respectivos modelos híbridos de predição em função da distância entre receptor e transmissor.

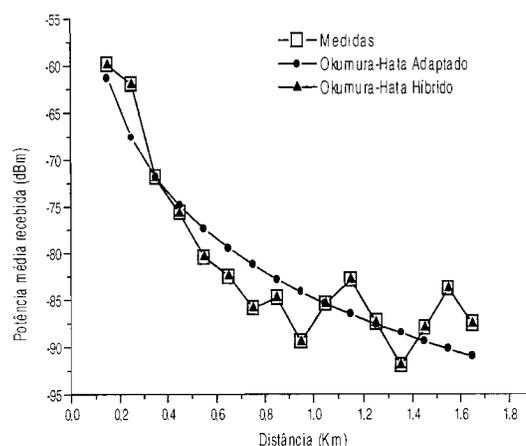


Figura 4. Modelo de Okumura-Hata.

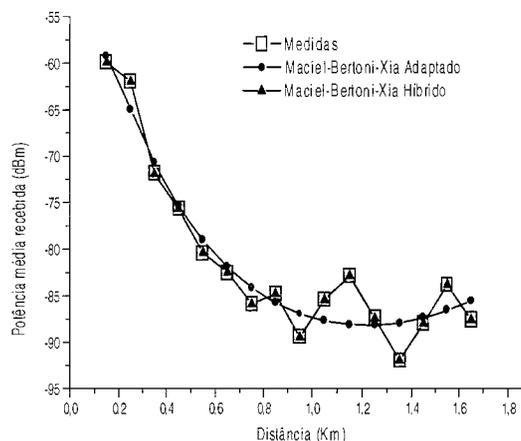


Figura 5. Modelo de Maciel-Bertoni-Xia.

Como pode-se observar na Tabela 3 e nos gráficos apresentados os modelos híbridos apresentaram um melhor desempenho em relação aos modelos adaptados, porém ainda não se pode validá-los, pois os mesmos foram treinados com a base de dados desta rota (rota 1). Para validá-los será feita uma análise estatística para uma segunda rota (rota 2), então será possível fazer uma análise comparativa do desempenho entre os modelos híbridos e os modelos adaptados de predição.

A Tabela 4 mostra a análise estatística do erro para a rota 2 (rota de teste). Foi comparado o desempenho de cada

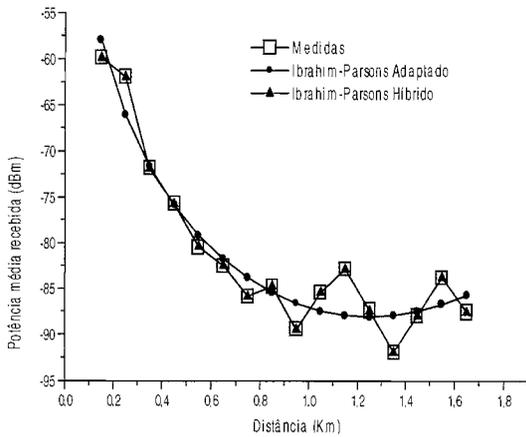


Figura 6. Modelo de Ibrahim-Parsons.

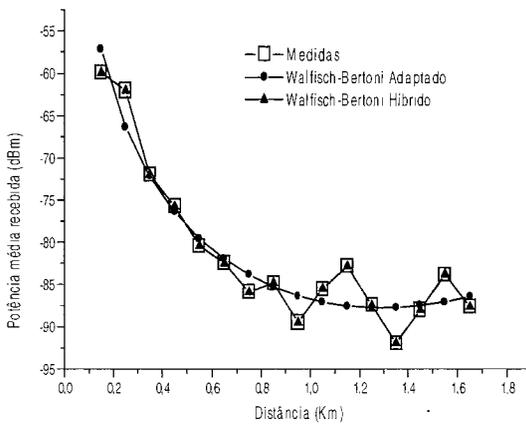


Figura 7. Modelo de Walfisch-Bertoni.

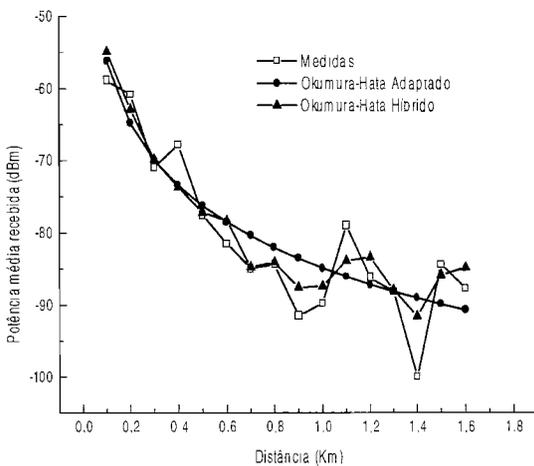


Figura 8. Modelo de Okumura-Hata.

modelo adaptado considerado e seu respectivo modelo híbrido em função da distância entre transmissor e receptor.

Através da Tabela 4 pode-se avaliar o desempenho dos modelos híbridos de predição, pois os dados dessa rota são totalmente desconhecidos para as redes neurais que compõem esses modelos. O melhor desempenho dos modelos híbridos de predição deve-se ao acréscimo das não-

linearidades aos modelos adaptados de predição através das redes neurais artificiais.

MODELOS	Erro médio absoluto	Desvio Padrão	Erro rms
Okumura-Hata*	4.05	2.91	4.99
Okumura-Hata Híbrido	2.75	2.30	3.59
Maciel-Bertoni-Xia*	3.09	3.36	4.57
Maciel-Bertoni-Xia Híbrido	2.81	2.96	4.08
Ibrahim-Parsons*	3.45	3.51	4.92
Ibrahim-Parsons Híbrido	2.93	2.70	3.99
Walfisch-Bertoni*	3.57	3.73	5.16
Walfisch-Bertoni Híbrido	3.21	3.06	4.44

Tabela 4. Análise Estatística do Erro (em dB) para a Rota 2 (* modelo adaptado).

A seguir são mostrados os gráficos para a rota 2 da intensidade média do sinal recebido na antena móvel previstas pelo modelo adaptado de Okumura-Hata, Maciel-Bertoni-Xia, Ibrahim-Parsons e Walfisch-Bertoni e seus respectivos modelos híbridos de predição em função da distância entre receptor e transmissor.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi implementado e simulado um modelo híbrido de predição de perda de propagação em ambiente móvel celular urbano utilizando uma rede neural artificial para cada um dos modelos adaptados. Este modelo foi comparado com o seu respectivo modelo adaptado de Okumura-Hata, Maciel-Bertoni-Xia, Ibrahim-Parsons e Walfisch-Bertoni. Os resultados obtidos apresentam predições mais próximas das medidas obtidas em ambiente real, sendo seu bom desempenho demonstrado através da comparação do resultado da predição dos diversos modelos por meio do erro médio absoluto, desvio padrão e erro rms.

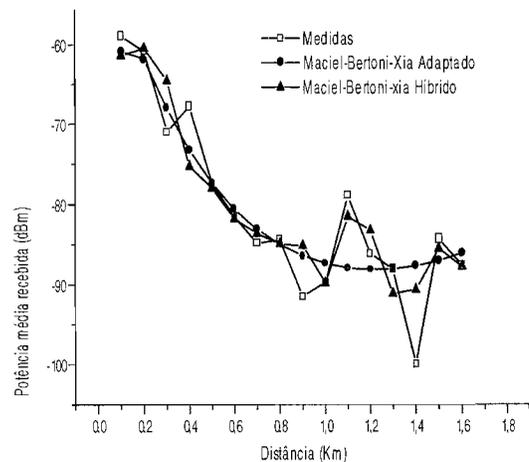


Figura 9. Modelo de Maciel-Bertoni-Xia.

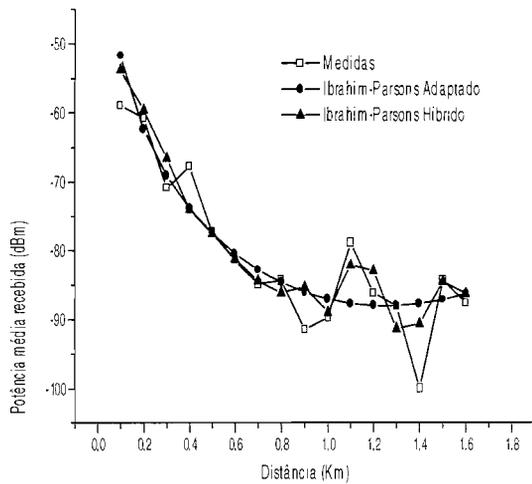


Figura 10. Modelo de Ibrahim-Parsons.

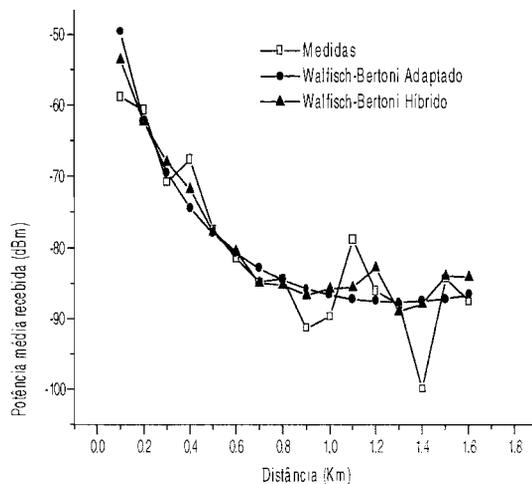


Figura 11. Modelo Walfisch-Bertoni.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Cavalcante, G. and Sanches, M., "Adaptive Propagation Prediction Models in Land Mobile Systems", 2000 IEEE AP-S International Symposium – Salt Lake City, Utah.
- [2] Siwak, K., "Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications". Artech House, Inc., 1995.
- [3] Walfisch, J. and Bertoni, H. L., "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments". IEEE Trans. Antennas Propag., 1998, 36, (12), pp. 1788-1796.
- [4] Demuth, H., Beale, M., "Neural Network Toolbox for use with Matlab – User's guide". The Mathworks, inc., June 1992.

Mário Sanches recebeu o título de Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Pará em Abril de 2001. Foi bolsista de iniciação científica do PIBIC/CNPq/UFGA no período de 1998-2001. É aluno especial, em nível de mestrado, do Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará. Atualmente trabalha na Telegamma Brasil empresa de Telecomunicações.

Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante é Engenheiro Eletricista (opção eletrônica) formado pelo Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará, em 1971. Recebeu o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFGA) em 1974 e o título de Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 1982. É Professor do Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da UFGA desde 1974, onde exerce atualmente a função de Professor Titular. Tem ministrado diversos cursos em nível de graduação e de pós-graduação nas áreas de microondas e telecomunicações. Tem atuado intensamente em pesquisa de sistemas irradiantes e radiopropagação em sistemas móveis. O professor Gervásio orientou várias teses de mestrado e está atualmente orientando várias de doutorado e possui inúmeras publicações em periódicos e congressos nacionais e internacionais.