

Método de Adaptação de Modelos para Ambiente *Indoor*

Josiane C. Rodrigues, Gervásio P. S. Cavalcante, Mário A. R. Sanches

UFPA –Av. Augusto Correa nº 1, CP:8619,CEP:66075-900, Belém-Pará-Brasil

RESUMO

No estudo de perda de percurso em ambiente *indoor*, muitas características importantes devem ser consideradas, por exemplo, o material utilizado na construção do prédio, a planta-baixa do mesmo, etc. Devido a isso, nenhum modelo apresentado até agora conseguiu caracterizar todas as perdas em ambiente *indoor*. Neste trabalho, a perda de penetração foi medida em materiais, tais como, concreto, tijolo, argamassa armada e madeira. Foram realizadas, também, medidas de perda de percurso na mesma frequência. As perdas medidas foram comparadas com as perdas obtidas por três modelos já consolidados. Com esta comparação foi possível criar modelos adaptativos para o ambiente em estudo.

1. INTRODUÇÃO

As pessoas passam grande parte do seu tempo dentro de prédios. Portanto, as perdas dentro dos mesmos são de importância fundamental no projeto de qualquer sistema *wireless*. Porém, as variáveis que influenciam essas perdas são tão numerosas que tornam a sua predição extremamente difícil. Vários modelos já foram desenvolvidos na tentativa de prever tais perdas, porém, nota-se que esses modelos caracterizam o ambiente apenas de forma geral. Faz-se, portanto, necessário um estudo mais profundo para cada prédio estudado, afim de se obter um modelo de perda de propagação específico para o mesmo. Esse modelo é obtido a partir de medidas realizadas no prédio em estudo e da análise dos modelos consolidados.

Neste trabalho, primeiramente, foram realizadas medidas de perda de penetração em alguns materiais (tijolo, madeira, concreto e argamassa armada). Posteriormente, foram realizadas medidas de perda de percurso em um prédio. A partir das perdas medidas foram encontrados os modelos adaptados que caracterizaram o ambiente estudado.

Josiane do Couto Rodrigues, josianecr@aol.com, Gervásio P. S. Cavalcante, gervasio@ufpa.br, Mário Alberto Sanches, m.sanches@telegamma.com.br, Tel +55-91-2111740, Tel +55-91-2111302, Fax +55-91-2111634.

Este trabalho recebeu apoio financeiro da FINEP/CNPq/UFPA

2. MEDIDA DA PERDA DE PENETRAÇÃO

A perda de penetração foi medida da seguinte forma: a antena transmissora, ligada a um gerador de varredura, foi colocada em um lado da parede a ser estudada a perda, no outro lado da mesma foi colocada uma antena receptora ligada a um analisador de espectro.

As antenas foram alinhadas e então o gerador de varredura foi ajustado para gerar um sinal CW de potência e frequência iguais a 15 dBm e 900 MHz, respectivamente. Com a antena transmissora fixa, a receptora foi movida em pequenos passos de 5 cm, aproximadamente, e a distância e a potência correspondentes foram anotadas [1]. Um total de 40 amostras foram obtidas. As perdas assim obtidas, foram comparadas com as perdas no espaço livre. Fornecendo, assim, as perdas de penetração de cada material estudado. Os resultados obtidos durante as medições estão mostrados na TABELA I.

TABELA I
Perda de Penetração

Material (espessura de paredes ou pisos)	Perda em relação ao espaço livre	
	Polarização Vertical	Polarização Horizontal
Tijolo (36 cm)	5,97 dB	0,97 dB
Madeira (3 cm)	6,11 dB	5,78 dB
Concreto (20 cm)	16,95 dB	13,84 dB
Argamassa Armada (5 cm)	46,09 dB	49,95 dB

3. MEDIDA DA PERDA DE PERCURSO DENTRO DE UM PRÉDIO

3.1. Ambiente de Propagação

A planta baixa do local de medida é mostrada na Fig. 1, que representa o segundo andar do prédio do Centro de Tecnológico da Universidade Federal de Pará. Quatro rotas de medidas foram consideradas para obter as características geométricas principais do corredor. O chão e o teto do corredor são feitos de concreto, as paredes laterais são basicamente construídas de madeira e vidro. As paredes que separam as salas são construídas de tijolos. As medidas foram realizadas na frequência de 900 MHz [2].

3.2. Procedimentos e Setup de Medidas

O conjunto transmissor foi fixado a uma altura de 1,40 m do chão, e formado por um Gerador de Varredura (HP 83752A) e uma antena monopolo que transmite um sinal de 15 dBm a uma frequência de 900 MHz.

O conjunto receptor é constituído por um Analizador de Espectro (HP 8593E), um veículo com uma quinta roda [3] (capaz de fornecer a distância percorrida pelo receptor móvel), e uma antena receptora (dipolo com ganho de 2,14 dB e a uma altura de 1,4 m do chão). O conjunto transmissor foi posicionado no meio do segundo andar para as rotas 1 e 2 e no meio do primeiro andar para rotas 3 e 4. O conjunto receptor é movido pelas rotas 1,2,3 e 4. Onde as rotas 1 e 3 são similares, assim como, as rotas 2 e 4. A diferença entre elas é a localização dos módulos de transmissão e recepção que se encontram em pavimentos diferentes para as rotas 3 e 4.

A Fig. 1 mostra a planta-baixa do segundo andar do prédio onde foram realizadas as medidas e mostra, também, as rotas utilizadas nas medições.

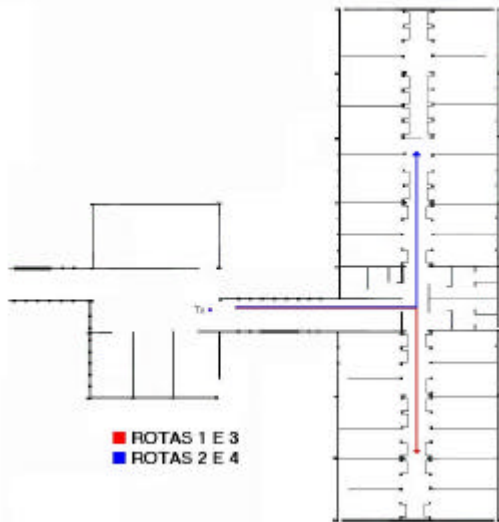


Fig. 1: Planta baixa do local de medidas. Tx (círculo azul) representa a posição do transmissor e as linhas em vermelho e em azul representam as rotas do receptor.

4. MODELOS EMPÍRICOS

Foram utilizados três modelos empíricos para analisar os dados obtidos durante as medições[4]:

4.1 Modelo do Fator de Piso e Parede

Nesse modelo, à perda no espaço livre é somado as perdas devido à penetração nas paredes e pisos. Assim:

$$L = L_1 + 20 \log d + n_f a_f + n_w a_w \quad (1)$$

onde a_f e a_w são os fatores de atenuação (em decibéis) por piso e por parede, respectivamente. L_1 é a perda a $d = 1m$.

4.2 Modelo ITU-R

Esse modelo é similar ao anterior, exceto que somente a perda no piso é considerada explicitamente, a perda entre pontos do mesmo andar é incluída implicitamente pela mudança no expoente de perda de percurso. Assim:

$$L_T = 20 \log f_c + 10n \log d + L_f(n_f) - 28 \quad (2)$$

onde n é o expoente de perda de percurso e $L_f(n_f)$ é a perda de penetração no piso, que varia com o número de pisos penetrados n_f .

4.3 Modelo de Multi Parede, COST 231

Esse modelo incorpora uma componente linear de perda, proporcional ao número de paredes penetradas, somada a um termo complexo que depende do número de pisos penetrados. Produzindo uma perda que aumenta lentamente com a adição de pisos depois que o primeiro foi adicionado:

$$L_T = L_F + L_C + \sum L_{wi} n_{wi} + L_f n_f^{((n_f+2)/(n_f+1)-b)} \quad (3)$$

Onde L_F é a perda no espaço livre, n_{wi} é o número de paredes do tipo i , atravessadas pelo percurso direto, w é o número de tipos de paredes, L_{wi} é a perda de penetração para uma parede de tipo i , n_f é o número de pisos atravessados pelo percurso de propagação, b e L_c são constantes encontradas empiricamente e L_f é a perda por piso [4].

Utilizando as perdas de penetração nos materiais para a polarização vertical, mostradas na TABELA I, e o sinal medido para a Rota 1, descrita na Fig. 1, onde o transmissor e o receptor estão no segundo andar do edifício. Pode-se ver a perda de percurso, Fig. 2, fornecida pelos modelos clássicos: Modelo do Fator de Piso e Parede, Modelo ITU-R e Modelo de Mult Parede, COST 231.

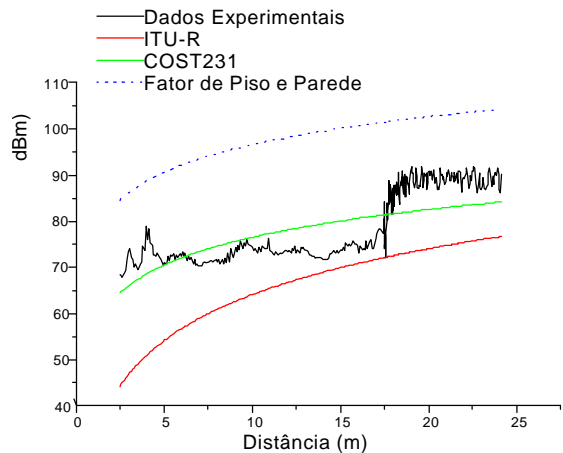


Fig. 2 - Curva dos dados experimentais e curvas dos modelos para Rota 1.

A TABELA II mostra os valores do erro médio, desvio absoluto e erro rms fornecidos pelos os modelos, sem nenhuma adaptação, para a Rota 1. Observe que os menores valores apresentados são do modelo COST231, pois o mesmo apresenta em sua formulação constantes obtidas empiricamente.

TABELA II
Comparação entre os modelos.

Modelo	Erro Médio	Desvio Absoluto	Erro RMS
ITU-R	11,8032	5,4825	13,0143
MFPP*	18,9872	5,1945	19,6849
COST231	4,7526	2,3487	5,3013

*Modelo do Fator de Piso e Parede

5. ADAPTAÇÃO DOS MODELOS

Observando-se os modelos acima descritos, é notório que todos têm a forma

$$L_T = C_0 + C_1 \cdot \log(d) \quad (4)$$

onde d é a distância entre transmissor e receptor, C_0 e C_1 são constantes. $n=C_1/10$ é o expoente de perda de percurso. Portanto, é necessário obter o valor dessas constantes que melhor se ajustam às medidas realizadas. Isso é feito com o método do mínimo erro quadrático [5]. Sobre os dados medidos foi aplicado o método acima mencionado, sendo obtido, dessa forma, os valores de C_0 e C_1 que melhor descrevem as medições. As constantes obtidas dessa forma foram comparados com os valores fornecidos por cada método, para cada rota. Os modelos, então, foram adaptados para representar a perda de percurso o mais próximo possível dos valores obtidos pelo método.

Os modelos, assim, foram modificados como a seguir:

- Modelo do Fator de Piso e Parede:

$$L = L_1 + 20 \log d + n_f (a_f - 12) + n_w (a_w - 10) \quad (5)$$

- Modelo ITU-R:

$$L_T = 20 \log f_C + 10 n \log d + L_f(n_f) - 0.75(n_w + 8.66n_f) \quad (6)$$

onde foi encontrado n igual a 2,07599. A $L_f(n_f)$ utilizada foi a sugerida por Saunders [4].

- Modelo Multi Parede, COST231:

$$L_T = L_F + L_C + \sum L_{wi} n_{wi} + L_f n_f^{((n_f+2)/(n_f+1)-b)} \quad (7)$$

Esse modelo é mais flexível pois apresenta b e L_c como parâmetros empíricos. Para essas medidas: $b=1$ e $L_c=136,1638$

A - Rota 1

Nesta rota o transmissor e o receptor encontram-se no mesmo piso.

Fazendo-se uso da perda de penetração e dos dados medidos para a Rota 1, descrita na Fig. 1, pode-se observar a perda de percurso na Fig. 3, que mostra as curvas dos modelos adaptados para melhor prever a perda de percurso e mais se aproximar da curva adaptativa dada pela equação 4.

Observa-se que as curvas dos modelos adaptados, ITU-R e Multi Parede COST231, estão muito mais próximo da curva adaptativa (equação 4). O erro médio, o desvio absoluto e o erro rms estão mostrados na TABELA III, para cada modelo já adaptado. Esses erros foram encontrados em relação aos dados experimentais.

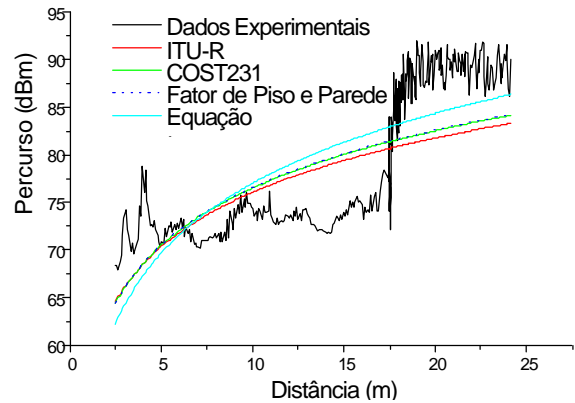


Fig. 3 - Curva dos dados experimentais, curva adaptativa (equação 4.) e as curvas dos modelos com adaptação para a Rota 1.

TABELA III
Comparação entre os modelos.

Modelo	Erro Médio	Desvio Absoluto	Erro RMS
Equação 4	4,4893	2,3924	5,0869
ITU-R	4,5993	2,4857	5,2281
MFPP*	4,7433	2,3354	5,2871
COST231	4,7526	2,3487	5,3013

*Modelo do Fator de Piso e Parede

B - Rota 2

Nesta rota o transmissor e o receptor encontram-se no mesmo piso.

A Fig. 4 mostra as curvas de todos os modelos adaptados para a Rota 2.

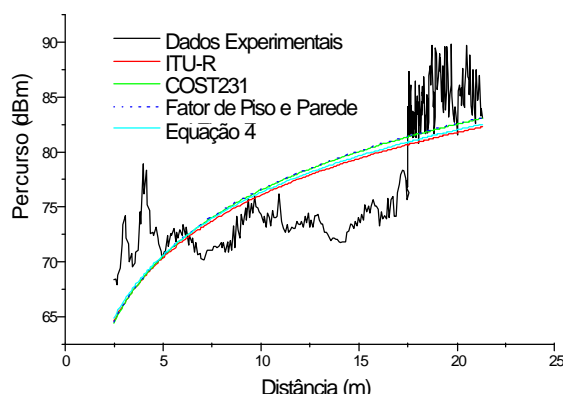


Fig. 4 – Curva dos dados experimentais, curva adaptativa (equação 4) e curvas dos modelos com adaptação para a Rota 2.

A TABELA IV mostra o erro médio, o desvio absoluto e o erro rms para cada modelo já adaptado, esse erros foram encontrados em relação aos dados experimentais.

TABELA IV
Comparação entre os modelos para a Rota 2.

Modelo	Erro Médio	Desvio Absoluto	Erro RMS
Equação 4	3,4831	2,0884	4,0612
ITU-R	3,7475	2,7548	4,6511
MFPP	3,4383	2,2084	4,0864
COST231	3,4405	2,1936	4,0803

Modelo do Fator de Piso e Parede

C - Rota 3

Nesta rota o transmissor e o receptor encontram-se em pisos diferentes.

A Fig. 5 mostra as curvas de todos os modelos adaptados para a Rota 3.

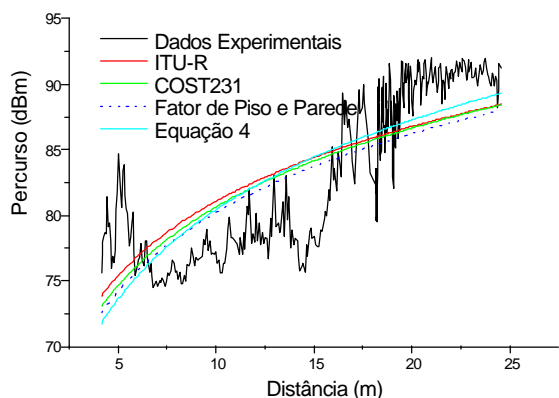


Fig. 5 – Curva dos dados experimentais, curva adaptativa (equação 4) e curvas dos modelos com adaptação para a Rota 3.

A TABELA V mostra o erro médio, o desvio absoluto e o erro rms para cada modelo já adaptado. Esse erros foram encontrados em relação aos dados experimentais.

TABELA V
Comparação entre os modelos para a rota 3.

Modelo	Erro Médio	Desvio Absoluto	Erro RMS
Equação 4	3,0520	1,8962	3,5931
ITU-R	3,1463	1,7868	3,6182
MFPP*	3,2891	1,6856	3,6958
COST231	3,2250	1,6971	3,6442

Modelo do Fator de Piso e Parede

D - Rota 4

Nesta rota o transmissor e o receptor encontram-se em pisos diferentes.

A Fig. 6 mostra as curvas para todos os modelos adaptados para a rota 4.

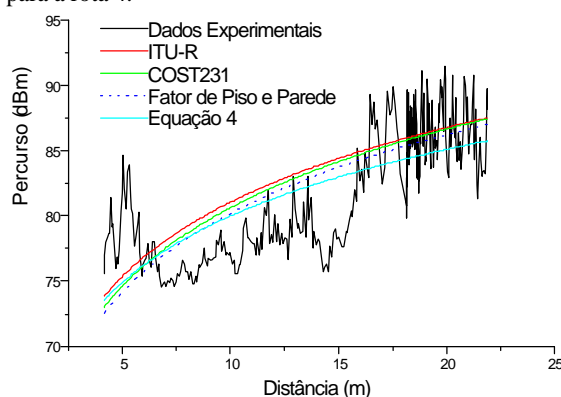


Fig. 6 – Curva dos dados experimentais, curva adaptativa (equação 4) e as curvas dos modelos com adaptação para a Rota 4.

A TABELA VI mostra o erro médio, o desvio absoluto e o erro rms para cada modelo já adaptado. Esses valores foram encontrados em relação aos dados experimentais.

TABELA VI
Comparação entre os modelos para a Rota 4.

Modelo	Erro Médio	Desvio Absoluto	Erro RMS
Equation 4	2,6928	1,7443	3,2083
ITU-R	2,9833	1,9433	3,5604
MFPP*	2,7483	1,8618	3,3196
COST231	2,8541	1,8869	3,4215

Modelo do Fator de Parede

7. CONCLUSÕES

Predizer a perda de percurso em um ambiente *indoor* não é uma tarefa fácil, porque cada edifício possui características próprias que influenciam nas perdas. Analisando os modelos ITU-R e Fator de Piso e Parede nota-se que os mesmos apresentam uma estimativa muito pobre das perdas para o edifício onde as medidas foram realizadas neste trabalho. O modelo COST231 é mais flexível pois sua adaptação baseia-se simplesmente em encontrar os valores das constantes b e L_c . Com essas constantes, obtidas empiricamente, pode-se incluir todas as características

particulares de cada prédio. Além do mais, os modelos ITU-R e Fator de Piso e Parede apresentam uma super estimativa da perda de percurso para o caso em que muitas paredes e pisos são atravessados.

Depois de adaptação, todos os modelos apresentaram um bom desempenho para todas as rotas escolhidas. Talvez as adaptações, aqui sugeridas, não se apliquem a outro edifício com características diferentes daquele onde as medidas foram realizadas, porém, o que seria interessante destacar é que os modelos ITU-R e Fator de Piso e Parede deveriam ser função de alguma constante obtida empiricamente, de tal forma a considerar as características particulares de cada prédio.

REFERÊNCIAS

- [1] J. C. Silva, A. G. Neto, J. N. Carvalho, M. S. Alencar, "Determining the Average Penetration Loss: Measurement Procedure and Results", proceedings of the 1999 IMOC, International Microwave and Optoelectronics Conference, pp. 240-242, Rio de Janeiro, Brazil, August, 1999.
- [2] J. H. Tarnag, W. R. Chang, B. J. Hsu, "Three-Dimensional Modeling of 900-MHz and 2.44-GHz Radio Propagation in Corridors", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.46, pp. 519-527, May, 1997.
- [3] J. C. Rodrigues, G. Cavalcante, Fábio N. Seguin, Protótipo de um Sistema Embarcado para Medição de Intensidade de Sinal em Sistemas Móveis Celulares, Anais do SBMO 2000, IX Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica, pp. 366-370, João Pessoa, Agosto, 2000.
- [4] S. R. Saunders, Antennas and Propagation - for Wireless Communication Systems, New York: Wiley, 1999.
- [5] E. Kreyszig, Advanced Engineering Mathematics, New York: Wiley, seventh edition, 1993.