

Comparação Entre Modelos Empíricos e Semi-empíricos de Predição de Cobertura Móvel Celular: Estudo de Caso em Ambiente Urbano

Marcelo E.P. Elias e Amílcar C. César

Resumo— Uma comparação entre medidas realizadas em ambiente urbano e *outdoor* de propagação de sinais para comunicações móveis celulares e resultados numéricos de simulação de modelos empíricos e semi-empíricos de predição é apresentada neste trabalho. As medidas foram realizadas por meio de veículo de teste na localidade de Conceição das Alagoas, MG, em sistema AMPS/TDMA operando na banda A. Particularmente, o modelo de Ikegami mostrou-se apropriado para predição de níveis de sinal recebido no ambiente estudado, apresentando desvio médio 5,811 dB em relação às medidas realizadas.

Palavras-chave— comunicações sem fio, comunicação móvel celular, modelos de propagação, ambiente de cobertura outdoor, medidas de potência de sinal recebido.

Abstract— A comparative analysis concerning empirical and semi-empirical propagation models for cellular mobile communications in urban area is presented. Outdoor coverage data has been collected at Conceição das Alagoas, MG, by means of a drive-test vehicle in A-band AMPS/TDMA system. Particularly, the Ikegami's model is suitable for prediction of received signal in the studied environment, presenting mean deviation of 5.811 dB in relation to the measures.

Index Terms— wireless communications, mobile cellular communication system, propagation prediction model, outdoor environment, received signal power measurements.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicações móveis celulares têm experimentado vigoroso desenvolvimento tecnológico e crescente aceitação entre usuários tanto que, no Brasil, o número de terminais móveis celulares equipara-se ao de terminais fixos. As redes de comunicações móveis celulares foram originariamente concebidas para oferecer serviços de voz mas, nos últimos tempos, tem sido possível identificar tendência para a convergência entre os sistemas de comunicação móveis e as atuais redes digitais fixas com o intuito de prover ao usuário final serviços em faixa larga. A migração para sistemas de comunicações móveis mais avançados, como os de terceira (3G) [1]-[3] e quarta (4G) [4] gerações, implica na utilização de portadoras com frequências

mais elevadas, não só por causa da imposição de uso limitado do espectro eletromagnético, mas também pela exigência de maior largura de faixa. A utilização de frequências mais elevadas (menores comprimentos de onda) acentua os problemas de propagação de ondas eletromagnéticas, como difração, atenuação no percurso e ao penetrar em estruturas físicas e áreas de sombra. Valores elevados da atenuação destes sinais em ambientes urbanos podem comprometer a qualidade de serviço. A necessidade de ferramentas de predição mais eficientes torna-se, portanto, imperiosa. Estas ferramentas devem, então, basear-se em modelos de propagação mais adequados ao novo e desfavorável cenário que se apresenta diante dos futuros sistemas móveis celulares, como uso de frequências mais elevadas associadas a ambientes mais complexos de propagação em regiões urbanas *indoor* e *outdoor*. A partir destes modelos, será possível garantir maior precisão e segurança no dimensionamento de cobertura das redes móveis do futuro, assegurando serviços de qualidade.

Desde o advento e disseminação dos sistemas de comunicações móveis celulares, alguns modelos propostos têm sido amplamente utilizados, como os de Okumura-Hata, Lee e Alsebrook, Walfisch-Bertoni, Ikegami e Walfisch-Ikegami [5]. Descrições destes modelos clássicos podem ser examinadas em [6], [7].

A escolha do modelo de predição mais adequado para cada ambiente de propagação é baseada em procedimento de medidas da potência de sinal recebido pelo terminal móvel. Depois, estas medidas são comparadas com resultados de simulações numéricas de modelos clássicos.

Neste trabalho, é apresentada uma comparação entre medidas realizadas em ambiente urbano e *outdoor* de propagação de sinais para comunicações móveis celular e resultados numéricos de simulação de modelos empíricos e semi-empíricos de predição. As medidas foram realizadas na localidade de Conceição das Alagoas, MG, por meio de equipamento instalado em veículo de teste equipado com sistema de posicionamento global (GPS). O sistema de comunicação móvel celular é do tipo AMPS/TDMA operando na banda A. Os resultados comparativos apresentados demonstram concordância adequada com os modelos clássicos de predição.

II. MODELOS DE PREDIÇÃO PARA REGIÕES URBANAS

Vários modelos de predição de sinais em ambientes de propagação urbanos têm sido propostos [1], [2], [8]-[10], [14], sendo que alguns deles fazem parte de softwares disponíveis no mercado, amplamente utilizados por operadoras no dimensionamento de cobertura de suas redes [15].

Os modelos de propagação são classificados em empíricos, semi-empíricos e determinísticos [12]. O grau de complexidade varia de acordo com o nível exigido de detalhes das informações do ambiente analisado.

Os modelos empíricos são propostos a partir de extensa coleta de informações de cobertura de sinal de uma determinada região e do uso de técnicas de interpolação, resultando em expressões que permitem calcular a atenuação média de percurso do sinal na área em questão. Os modelos de Okumura-Hata, Lee e Alsebrok [12] são exemplos de modelos empíricos.

Por outro lado, os modelos de propagação semi-empíricos são também obtidos a partir de coleta de informações de cobertura de uma determinada área e da teoria eletromagnética clássica, que considera fenômenos como reflexão em estruturas, refração e difração em bordas de obstáculos. Pertencem a esta classe os modelos de Walfisch-Bertoni, Ikegami e Walfisch-Ikegami, entre outros [12].

Por fim, os modelos determinísticos baseiam-se em métodos numéricos, teoria eletromagnética, óptica física e informações digitalizadas da região sob análise. Este tipo de modelo é freqüentemente utilizado na predição de coberturas *indoor* ou em regiões de microcélula/picocélula, dado o esforço computacional exigido [5].

Os atuais softwares comerciais de predição usados para ambiente *outdoor* são freqüentemente baseados em modelos empíricos e semi-empíricos, de comprovada eficiência em campo, ou em associação destes, compondo modelos híbridos proprietários. Os modelos de Okumura-Hata, Lee e Walfisch-Ikegami, entre outros, são tradicionalmente utilizados.

Visto que o ambiente de propagação de sinais de telefonia móvel celular da localidade selecionada é característico de macrocélula, os modelos de propagação empíricos e semi-empíricos são mais apropriados para sua análise e, por isto, são utilizados neste trabalho para comparação com as medições. Um resumo de tais modelos é apresentado a seguir.

A. Modelo de Lee

O modelo de Lee é empírico, usado na predição de sinais em macrocélulas em áreas urbanas e suburbanas, e proposto a partir de medições em ambientes de algumas cidades americanas e japonesas (Tokyo) [12]. O modelo baseia-se no princípio que estabelece que é possível prever a atenuação sobre uma região relativamente plana, sem conhecimento de particularidades da configuração do terreno. Se a previsão de cobertura ocorrer em uma região acidentada (morros), existe alta probabilidade de se obter grandes desvios entre os valores teóricos e aqueles obtidos por meio de medições. Mesmo em regiões consideradas planas, a atenuação obtida

também varia devido às diferenças existentes na ocupação da topografia local (morfologia). O modelo de Lee, também denominado de área-para-área [10], depende basicamente de 2 parâmetros: 1) Do nível de potência de sinal existente a 1,6 km (1 milha) do ponto de transmissão, P_{r0} ; 2) Da taxa de variação da atenuação com a distância, γ . Com base nestas informações, o nível médio de potência recebido, P_r , em um determinado ponto da região em questão, pode ser expresso por [10]

$$P_r = -61,7 - 38,4 \log(r_m) - n \log(f/900) + \alpha_0, \quad (1)$$

para ambiente suburbano,

$$P_r = -70 - 36,8 \log(r_m) - n \log(f/900) + \alpha_0, \quad (2)$$

para a região da Filadélfia, EUA, e

$$P_r = -64 - 43,1 \log(r_m) - n \log(f/900) + \alpha_0, \quad (3)$$

para região de Newark, EUA. Em (1)-(3), α_0 , em dBm, é dado por

$$\alpha_0 = 20 \log(h_b/30,48) + 10 \log(P_t/10) + g_1 - 6 + g_2 + 10 \log(h_m/3), \quad (4)$$

nas quais, P_r é a potência recebida pelo móvel, em dBm; P_t é a potência transmitida, em watts; h_b e h_m são as alturas das antenas da estação rádio-base (ERB) e do móvel, respectivamente, em metros; g_1 e g_2 são os ganhos das antenas da ERB e do móvel, em dBd; r_m é a distância entre a ERB e o móvel, em milhas e f é a freqüência de operação, em MHz.

O desvio padrão dos valores médios obtidos por meio de (1)-(4) em relação às medições de campo deve ser, no máximo, 8 dB acima ou abaixo dos valores teóricos de referência.

B. Modelo de Okumura-Hata

Para predição da potência média recebida por uma estação móvel em um ambiente urbano com relevo plano, Okumura obteve uma família de curvas, com base em extensivas medições feitas na cidade de Tóquio e imediações, que relacionam a atenuação média do sinal e a freqüência de operação de acordo com o tipo de ambiente [12]. Assim, a potência média recebida por um móvel, P_r , pode ser determinada por

$$P_r = P_0 - A_m(f, d) + H_b(h_b, d) + H_m(h_m, f), \quad (5)$$

na qual P_0 é a potência do sinal recebido em situação de espaço livre; $A_m(f, d)$ é a atenuação média relativa à propagação de onda eletromagnética em ambiente urbano, com terreno praticamente plano, considerando-se as antenas da ERB com altura de 200 m (referência) e a antena do móvel a uma altura de 3 m (referência); $H_b(h_b, d)$ é o fator de ajuste considerado quando a altura do sistema de antenas é diferente do valor de referência; $H_m(h_m, f)$ é o fator de ajuste para

alturas de antena da estação móvel diferentes do valor de referência.

Para tornar as expressões obtidas por Okumura adequadas à implementação computacional, Hata desenvolveu expressões analíticas, baseadas na técnica de Okumura, que permitem calcular a atenuação média de percurso, L_p , para áreas urbanas, suburbanas e abertas (rurais) [9]:

$$L_p(\text{dB}) = C_0 + C_1 + C_2 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + \left\{ \left[44,9 - 6,55 \log(h_b) \right] \log(r) \right\}, \quad (6)$$

para áreas urbanas,

$$L_p(\text{dB}) = L_p(\text{área urbana}) - 2 \left[\log(f/28) \right]^2 - 5,4, \quad (7)$$

para áreas suburbanas, e

$$L_p(\text{dB}) = L_p(\text{área urbana}) - 4,78 \left[\log(f) \right]^2 + 18,33 \log(f) - 40,94 \quad (8)$$

para áreas rurais. Em (5)-(8), r é a distância, em km, entre a ERB e a estação móvel; $a(h_m)$, C_0 , C_1 e C_2 são coeficientes de ajuste, obtidos para cada tipo de ambiente.

C. Modelo de Walfisch-Bertoni

O modelo de Walfisch-Bertoni é semi-empírico, desenvolvido para áreas urbanas e faixa de frequências de UHF. Permite calcular a atenuação de sinal mesmo em situações nas quais a linha de visada entre o equipamento transmissor (ERB) e receptor (móvel) esteja comprometida, ou seja, situações de NLOS (*no line of sight*). Tal modelo leva em consideração as características moderadas das construções em ambientes residenciais, comerciais e industriais, responsáveis pela composição da maior parte da morfologia urbana de uma cidade. O desenvolvimento deste modelo baseou-se nas premissas de que o sistema irradiante da ERB, mais elevado em relação ao nível das construções, irradia ondas eletromagnéticas que se propagam acima da linha do ambiente construído e que, por um processo de múltiplas difrações no topo destas, atingem o nível da rua, onde se localiza o equipamento móvel.

A expressão que permite calcular a atenuação excedente, L_{ex} , em dB, entre um sistema de antenas de transmissão elevado e um ponto de recepção móvel, separado por uma distância r , inseridos no ambiente proposto, é [13]

$$L_{ex} = 57,1 + A + \log(f) + 18 \log(H) - 18 \log \left[1 - r^2 / 17H \right], \quad (9)$$

na qual H é a diferença, em metros, entre o sistema de antenas da ERB e a altura média das construções.

A influência da geometria das construções é considerada no fator A , que pode ser calculado por [13]

$$A = 5 \log \left[\left(d/2 \right)^2 + \left(h - h_m \right)^2 \right] - 9 \log(d) + 20 \log \left\{ \text{tg}^{-1} \left[2 \left(h - h_m \right) / d \right] \right\}, \quad (10)$$

na qual h , e d são, respectivamente, a altura média das construções e distância entre as construções.

A atenuação global, L_p , em dB, é a soma da atenuação excedente (provocada pelo ambiente), calculada por (9), e da atenuação em espaço livre, L_0 ,

$$L_p(\text{dB}) = L_0(\text{dB}) + L_{ex}(\text{dB}). \quad (11)$$

D. Modelo de Ikegami

O modelo de Ikegami é semi-empírico, recomendado para ambientes urbanos que apresentam características homogêneas em relação à densidade e altura das construções [14]. Para a obtenção da expressão que permite calcular a atenuação média de percurso, foram empregadas óptica geométrica e teoria da difração, aplicadas a uma região urbana ideal, considerando construções, cujo espaçamento e altura exibem características uniformes. Neste contexto, uma situação de NLOS foi criada, na qual somente duas trajetórias possíveis para as ondas eletromagnéticas que chegam ao ponto obstruído são consideradas:

- Trajectoria percorrida por ondas eletromagnéticas que sofreram difração no topo do obstáculo mais próximo do ponto analisado, entre este e a ERB;
- Trajectoria proveniente da reflexão das ondas eletromagnéticas na edificação imediatamente posterior ao ponto analisado.

Com base nestas considerações, a atenuação média devido ao percurso pode ser calculada por

$$L_p(\text{dB}) = 26,65 + 30 \log(f) + 20 \log(r) - 10 \log \left[1 + \left(3/l_r^2 \right) \right] - 10 \log(W) + 20 \log(h - h_m) + 10 \log \left[\text{sen}(\phi) \right], \quad (12)$$

na qual W , em metros, é a largura da rua onde o móvel está localizado; ϕ é o ângulo entre o eixo da rua na qual o móvel encontra e a projeção horizontal da menor trajetória entre a ERB e o móvel; l_r , adimensional, é o parâmetro que depende do coeficiente de reflexão das paredes das construções. Para a faixa de UHF, valor típico de l_r é 3,2.

E. Modelo de Walfisch-Ikegami

O modelo de Walfisch-Ikegami é semi-empírico, cuja obtenção foi baseada em características de regiões urbanas, como a densidade e altura média das edificações, assim como a largura das ruas. Este modelo é eficiente nos casos em que a altura das antenas da ERB é menor que a altura média das construções, situação em que existe considerável guiamento de sinal de RF ao longo do arruamento [9]. Este modelo

prevê duas diferentes situações para cálculo da atenuação média de percurso entre a ERB e o móvel:

- Existência de visada direta (LOS—*line of sight*);
- Ausência de visada direta (NLOS).

Para ambientes urbanos de propagação de sinais em situações LOS entre ERB e o móvel, a atenuação de percurso, de acordo com o modelo, é calculada por

$$L_p(LOS) = 42,6 + 20 \log(f) + 26 \log(r). \quad (13)$$

Para situações de propagação na ausência de LOS, a atenuação de percurso, em dB, pode ser calculada da seguinte maneira:

$$L_p(NLOS) = 32,4 + 20 \log(f) + 20 \log(r) + L(diff) + L(mult), \quad (14)$$

na qual $L(diff)$ representa a atenuação do sinal devido à difração do mesmo no topo da construção mais próxima ao móvel; $L(mult)$ representa a atenuação devido à múltipla difração nas construções anteriores à edificação mais próxima do móvel.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E NUMÉRICOS

As medições realizadas na cidade de Conceição das Alagoas, MG, têm como objetivo comparar os níveis teóricos de sinal, obtidos a partir da manipulação dos modelos estudados, com informações de cobertura. A cidade está localizada no triângulo mineiro, próxima às cidades de Campo Florido (30 km), Planura (47 km) e Uberaba (58 km). A área urbana exibe grande regularidade em relação à disposição das vias, ou seja, estas se cruzam perpendicularmente em toda extensão urbana, além de apresentar uma topografia muito plana. Na cidade predominam construções residenciais baixas (no máximo 2 pavimentos). A Fig. 1 mostra uma vista de região típica da cidade. A região da cidade estudada representa uma área propícia à análise teórica de cobertura celular baseada em modelos de propagação empíricos e semi-empíricos, dada a dimensão da área analisada (macrocélula).



Fig. 1. Vista de Conceição das Alagoas, MG. A região urbana caracteriza-se por arruamento uniforme e edificações de, no máximo, dois pavimentos.

TABELA 1
DESCRIÇÃO DO ARRUAMENTO DA REGIÃO ESCOLHIDA PARA MEDIDAS DA CIDADE CONCEIÇÃO DAS ALAGOAS, MG.

Logradouro	Localização/equipamento
Benedito Lima	estação da operadora CTBC Celular
Jesus Marques Prata	à direita da rua Benedito Lima
Tupis	à esquerda da rua Benedito Lima
Rua da Saudade	Perpendicular a todas as vias anteriores, localizada aproximadamente 1,4 km da estação CTBC Celular

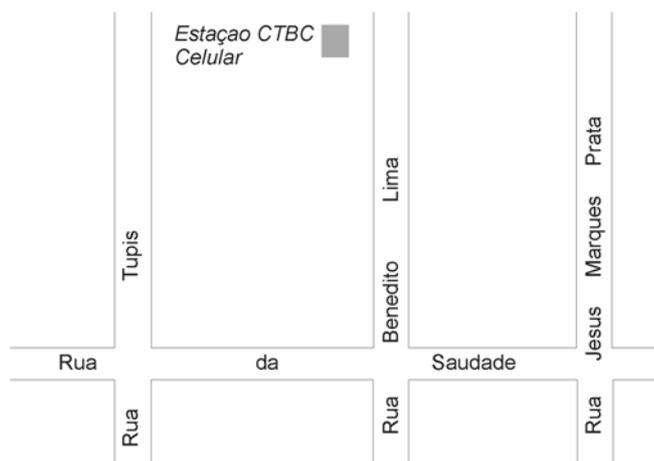


Fig. 2. Vias selecionadas para coleta de dados relativos à cobertura de sinal, proveniente da portadora de teste usada.

O nível de sinal recebido pelo móvel foi medido usando um veículo de teste, dotado de equipamento capaz de relacionar o nível de potência recebida, em dBm, com a coordenada geográfica, coletada por meio de um GPS integrado ao equipamento [17]. Desta forma, uma concordância melhor entre os valores teóricos e de campo pode ser alcançada. Devido à regularidade apresentada pelo arruamento da região urbana, decidimos pela amostragem de cobertura em quatro vias diferentes, conforme está descrito na Tabela 1 e mostrado na Fig. 2.

Na transmissão da portadora de teste foi usado o próprio canal de controle da estação local, de número 328 (de acordo com a tabela de alocação adotada pela concessionária), assim como o próprio sistema irradiante da ERB local, conforme localização mostrada na Fig. 2. A antena utilizada é onidirecional, modelo BCD 80010, fornecida pela Antel, posicionada a uma altura de 70 m em relação ao solo. A potência efetivamente irradiada pela antena, P_{ERP} , usada para determinação do nível de sinal recebido pelo móvel, foi obtida a partir da potência irradiada na saída do transmissor da ERB, devidamente medida, por meio de um equipamento *Cell site test set* modelo 8921 A, marca Hewlett Packard (HP), descontando-se todas as perdas de percurso do sinal de RF (atenuações em cabos e conectores) até a antena transmissora. Os testes e medições foram iniciados às 23 horas e 15 minutos do dia 27 de janeiro de 2003 (segunda-feira) que, de acordo com a experiência da equipe técnica da operadora, constituía um dia e horário de baixo tráfego. O valor teórico da potência de sinal recebido pelo móvel, em

dBm, foi determinado por

$$P_{móvel} = P_{ERP} + G_{ant(p)} - L_{meio}, \quad (15)$$

na qual P_{ERP} é a potência efetivamente irradiada pela antena transmissora, em dBm; $G_{ant(p)}$ é o ganho da antena em relação ao ponto analisado; L_{meio} , em dB, é a atenuação devido ao meio de transmissão, calculada por meio dos modelos de propagação abordados.

Cada modelo de propagação abordado apresenta variações em relação à classificação do ambiente analisado. No caso da localidade em análise, as simulações de todos os modelos foram feitas considerando o ambiente envolvido de características suburbanas, visto que neste predominam construções residenciais baixas (no máximo 2 pavimentos), inexistindo edificações verticais altas [12]. Os resultados do estudo são apresentados nas Fig. 2-5, correspondendo aos testes efetuados nas quatro vias selecionadas para o estudo. Os gráficos apresentados mostram a variação do nível de sinal recebido (simulado e medido) em função da distância em relação à antena transmissora, ao longo das ruas percorridas. Com o intuito de efetuar um estudo de desempenho mais criterioso de cada modelo, foram feitas, para cada arquivo de dados, análise estatística das medidas, com o intuito de mensurar os desvios existentes entre os valores simulados e medidos. Com isto, foi possível obter informações que fornecessem subsídio à escolha do modelo mais adequado para caracterizar o ambiente de propagação para comunicação móvel celular da localidade estudada. A Tabela 2 mostra o desvio em dB, em relação aos valores obtidos nas simulações, assim como a média obtida para estes parâmetros.

Pela análise dos gráficos e dos resultados mostrados na Tabela 2, pode-se depreender que o modelo semi-empírico de Ikegami é o que resulta em menor desvio médio quando comparado com as medições de campo. Para este modelo, o desvio médio em relação ao nível de potência teórico é inferior a 6 dB. Considerando que o desvio máximo aceitável para o nível de sinal recebido pelo móvel em relação à predição é 8 dB [11], nota-se que, além do modelo de Ikegami, os modelos de Walfisch-Bertoni e de Okumura-Hata também poderiam ser utilizados na predição de propagação na localidade analisada. Já os modelos de Walfisch-Ikegami e Lee deveriam passar por ajuste de seus coeficientes. Possivelmente o ambiente urbano analisado para a obtenção destes modelos não apresenta muitas similaridades com aquele encontrado na região estudada neste trabalho. Entretanto, para realizar tal ajuste de coeficientes há necessidade de mais informações relativas à cobertura real da localidade em questão, de forma que o ambiente analisado possa ser caracterizado com maior exatidão. Neste trabalho, as informações relativas à cobertura foram obtidas por meio de amostras em apenas algumas vias públicas da localidade.

IV. CONCLUSÕES

Uma comparação entre medidas realizadas em ambiente de propagação de sinais para comunicações móveis celular na localidade de Conceição das Alagoas, MG, e resultados numéricos de simulação de modelos clássicos de predição é apresentada neste trabalho. Os resultados comparativos demonstram concordância adequada com os modelos clássicos de predição utilizados para comparação. Particularmente, o modelo de Ikegami mostrou-se mais adequado para predição de níveis de sinal recebido no ambiente estudado, apresentando desvio médio 5,811 dB em relação às medidas realizadas.

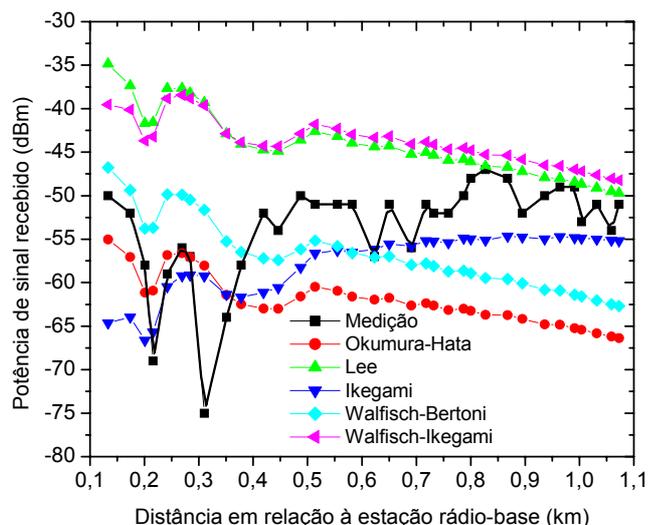


Fig. 3. Potência de sinal estimado e recebido pelo móvel em função da distância em relação à estação rádio-base e considerando o ganho da antena. Rua Benedito Lima, Conceição das Alagoas, MG.

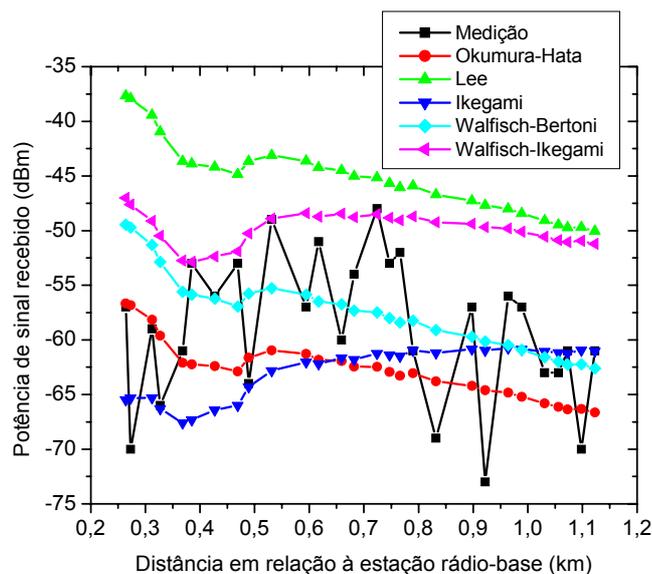


Fig. 4. Potência de sinal estimado e recebido pelo móvel em função da distância em relação à estação rádio-base e considerando o ganho da antena. Rua Jesus Marques Prata, Conceição das Alagoas, MG.

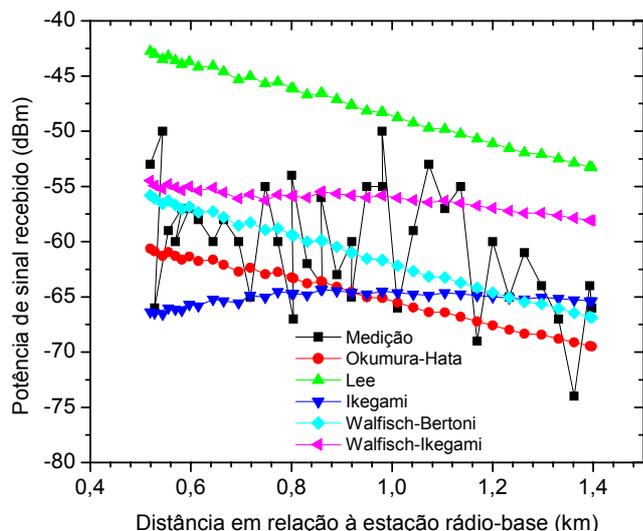


Fig. 5. Potência de sinal estimado e recebido pelo móvel em função da distância em relação à estação rádio-base e considerando o ganho da antena. Rua Tupis, Conceição das Alagoas, MG.

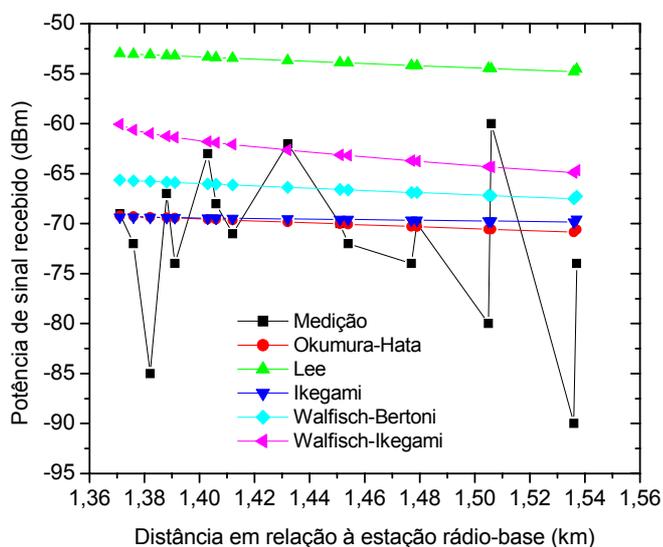


Fig. 5. Potência de sinal estimado e recebido pelo móvel em função da distância em relação à estação rádio-base e considerando o ganho da antena. Rua da Saudade, Conceição das Alagoas, MG.

TABELA 2
DESVIO MÉDIO DAS MEDIDAS EM RELAÇÃO AOS VALORES PREDITOS PELOS
VÁRIOS MODELOS (DB)

Rua	Modelo				
	Okumura-Hata (sub)	Lee (sub)	Ikegami	Walfisch-Bertoni	Walfisch-Ikegami
Benedito Lima	9,996	9,575	5,33	7,77	10,00
Jesus M. Prata	6,55	13,86	6,447	5,69	9,26
Tupis	5,32	12,67	5,899	4,056	5,296
Saudade	5,38	18,06	5,568	7,09	9,77
Desvio médio	6,811	13,54	5,811	6,151	8,582

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe técnica operacional da operadora CTBC Celular por tornar disponíveis equipamentos de medidas e dados, imprescindíveis para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Dixit, Y. Guo, Z. Antoniou, "Resource management and quality of service in third-generation wireless networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 125-133, fevereiro 2001.
- [2] D. Ralph, I. Bonner, "3G and beyond- The applications generation," IEE ...
- [3] J.A. Village, K.P. Worrall e D.L. Crawford, "3G shared infrastructure," IEE ...
- [4] M. Diniz e J. Fernandes, "Provision of sufficient transmission capacity for broadband mobile multimedia: A new step toward 4G," *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, pp. 46-54, agosto 2001.
- [5] M.F. Catedra e J.P. Ariaga, *Cell Planning for Wireless Communications*. Norwood: Artech House inc. 1999.
- [6] M.F. Iskander e Z. Yun, "Propagation Prediction Models for Wireless Communication Systems," *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, vol. 50, pp. 662-673, março 2002.
- [7] Yacoub, M. D., *Foundations of Mobile Radio Engineering*, New York, CRC Press, 1993.
- [8] Dayani A. Guimarães, "Introdução às Comunicações Móveis," *Revista Telecomunicações - Inatel*, volume 1, no. 1, pp. 1-22, agosto 1998.
- [9] S. Faruke, *Cellular mobile systems engineering*. Norwood: Artech House Inc., 1996.
- [10] A. Ephremides, T. Itoh, R. Pickholtz, M. Iskander, L. Katehi, R. Rao, W. Stark, J. Winters, "Wireless Technologies and Information Networks," *International Technology Research Institute-WTEC Division*, julho 2000.
- [11] W.Y.C. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications Systems*. New York: McGraw-Hill, 1989
- [12] A. Mehrotra, *Cellular Radio Performance Engineering*. Norwood: Artech House Inc. 1994.
- [13] J. Walfisch e H.L. Bertoni, "A theoretical model of UHF propagation in urban environment," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 36, pp. 1788-1796, dezembro 1988.
- [14] F. Ikegami, S. Yoshida, T. Takeuchi e M. Umehira, "Propagation factors controlling mean field strength on urban streets," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 32, pp.822-829, dezembro 1984.
- [15] Celplan®, "Celplaner suite 5.3-programa Universidades," Campinas, dezembro 2002.
- [16] Ikegami, F., Yoshida, S., "Analysis of multipath propagation structure in urban mobile radio environments," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-28, pp.531-537, 1980.
- [17] CTBC Celular S.A., "Módulo C-Sistema RBS 8800 BTS 882," Conceição das Alagoas, MG, janeiro 2002.