

# Metodologia para Estimativa da Altura Ótima de Estação Rádio Base

Simone G. C. Fraiha, Josiane C. Rodrigues, Hermínio S. Gomes, Gervásio P. S. Cavalcante.

**Resumo** — Este artigo apresenta uma metodologia para estimar a altura ótima de Estação Rádio Base em projetos de cobertura de sistemas móveis celulares. Baseada, de forma geral, na consideração de uma potência limiar de recepção e na probabilidade do sinal ser recebido na borda da célula nas operações de *handoff*. Considera, ainda, um modelo de perdas de rádio propagação e uma campanha de medições. Para avaliação dessa metodologia é proposto um modelo de perda de propagação. Foi realizada uma campanha de medições em três cidades do Estado do Pará, caracterizadas por baixa densidade populacional e grande cobertura de vegetação.

**Palavras - chaves** — Comunicações móveis, modelos de perda de propagação, difração, campanha de medição, distribuições de probabilidade.

**Abstract** — This article presents a methodology to estimate optimum height of Base Station in projects of covering areas for cellular mobile systems. It is based, in a general way, by considering reception threshold power and the probability of the signal received in the cell border in the handoff operations. It still considers a radio propagation loss model and a measurement campaign. For evaluation of this methodology, is proposed a propagation loss model, accomplished with measurements campaign in three cities of the State of Pará, characterized by low population density and great vegetation covering.

**Keywords** — Mobile communication, path loss models, diffraction, measurement campaign, probability distribution functions.

## I. INTRODUÇÃO

No projeto de implantação de um sistema celular em uma cidade, vários parâmetros devem ser calculados, entre eles cita-se: raio da célula, número de canais em cada célula, potência a ser irradiada, tipo de antena a ser utilizada, etc. Para se obter o raio da célula desejado é importante calcular a altura da ERB (Estação Rádio Base) necessária para atingir a área de cobertura desejada. Portanto, o projeto de redes celulares com alturas otimizadas permite um bom desempenho do sistema em termos de qualidade de cobertura e, por conseguinte, menores custos tanto de recursos de rádio como de implementação do sistema.

Simone G. C. Fraiha, Josiane C. Rodrigues, Hermínio S. Gomes, Gervásio P. S. Cavalcante, Universidade Federal do Pará - UFPA, Instituto de Estudos Superiores da Amazônia - IESAM (autora Josiane Rodrigues), Belém-PA, Brasil, E-mails: fraiha@ufpa.br, josi@ufpa.br, herminio@ufpa.br, gervasio@ufpa.br.

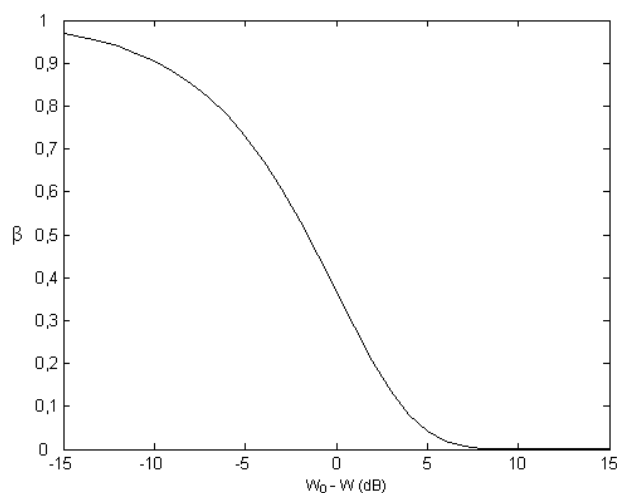
Este artigo apresenta uma metodologia para o cálculo da altura ótima da ERB, considerando a potência mínima necessária para comunicação (potência de limiar) na borda da célula e a probabilidade de cobertura nessa borda. Para esse cálculo é necessária, ainda, a utilização de um modelo de perda de propagação. O modelo utilizado neste artigo é o proposto em [1] e otimizado para este trabalho.

## II. CÁLCULO DA ALTURA DA ESTAÇÃO RÁDIO BASE

A estimativa da área de cobertura da célula pode ser calculada a partir de duas abordagens diferentes. Ou determina-se a probabilidade de uma área circular de raio  $R$  receber um sinal acima da potência de limiar do sistema, ou calcula-se a probabilidade de recebimento de uma potência superior a de limiar a uma distância  $R$  da ERB. Esta última probabilidade é dada por  $\beta$ , definida abaixo [2], [3].

$$\beta = \text{prob}(W \geq W_0) = \int_{W_0}^{\infty} p(W) dW \quad (1)$$

Sendo  $W$  a potência média recebida e  $W_0$  a potência de limiar, ambas em dB. A probabilidade  $\beta$  depende da função densidade de probabilidade (fdp) que melhor descreve o ambiente em estudo. A Figura 1, mostra o gráfico típico de  $\beta$  em função da diferença entre a potência de limiar e a potência recebida.



1. Gráfico de  $\beta$ .

Fig.

Com o auxílio do gráfico da Figura 1, pode-se calcular vários parâmetros. Por exemplo, para cada valor de  $\beta$  estipulado em um projeto de cobertura, é possível encontrar a potência média recebida, visto que a potência de limiar  $W_0$  é um valor previamente definido. Assim, a potência recebida predita por um determinado modelo é comparada com a fornecida pela curva da Figura 1. Para ajustar os dois valores de potência, pode-se variar algum parâmetro do modelo de propagação que está sendo considerado. Neste artigo, o parâmetro a ser ajustado foi a altura da antena transmissora ( $h_T$ ), feito através do processo de busca exaustiva. Na seção seguinte será descrito o modelo que foi utilizado para a comparação.

### III. MODELO

O modelo aqui utilizado para a predição da perda de propagação adiciona, ao modelo do espaço livre, a perda devido à difração em prédios, árvores, etc., um fator denominado de fator - altura, além de dois fatores que caracterizam a variabilidade do sinal. Esses fatores são uma função densidade de probabilidade e uma função senoidal associada às não homogeneidades presentes nos anéis em que a área medida é dividida (modelo ponto-área) [1]. A equação geral do modelo (em dB) é dada por:

$$L = L_0 + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + L_{DIF} + \chi + K + F_{ALTURA} + L_{ANEL} \quad (2)$$

Sendo  $L_0$  a perda no espaço livre,  $\gamma$  o coeficiente de perda,  $L_{DIF}$  a perda devido a obstáculos como prédios, árvores, etc sendo resultante do modelo de gume de faca para ambientes típicos de pequenas cidades [4]. Essa parcela é dada por:

$$L_{DIF} = 20 \log\left(\frac{0,225}{v_0}\right) \quad (3)$$

O parâmetro  $v_0$  é dado por [4]:

$$v_0 = \sqrt{2} \left[ (h_F - 2h_R) - \frac{w(h_T - h_R)}{(d+w)} \right] \sqrt{\frac{d \cos^2 \theta}{\lambda(d \cos \theta - w)w}} \quad (4)$$

$\chi$  é a variável aleatória que descreve cada ambiente estudado.  $K$ , é um termo de ajuste que depende da cidade sob estudo.

Os termos  $F_{ALTURA}$  e  $L_{ANEL}$  de (2), são definidos, neste artigo, de forma diferente daquela apresentada em [1]. Em (2)  $G_{ALTURA}$  é denominado de fator - altura. Esse termo representa uma relação entre as alturas da transmissora, receptora e obstáculos, cuja equação é dada por:

$$F_{ALTURA} = 20 \log \left[ 0,1208 \frac{h_R}{h_T} (h_T - h_R)(h_F - h_R) \right] \quad (5)$$

$L_{ANEL}$ , como descrito em [1], representa as não homogeneidades do ambiente em cada anel ao longo dos percursos medidos, esse termo é dado por:

$$L_{ANEL} = \sqrt{2} \sigma \sin(C d \theta) \quad (6)$$

Sendo  $\sigma$  o desvio padrão dos dados medidos,  $C$  é denominado de fator de cidade, dado por (7),  $d$  é a distância transmissor-receptor e  $\theta$  é o ângulo entre o azimute da antena e a localização do móvel. O fator  $C$  é dado por:

$$C = -0,008 \gamma + 0,0304 \text{ [m}^{-1}\text{]} \quad (7)$$

A função seno em (6) é justificada pelo comportamento aproximadamente oscilante da perda de propagação em cada anel [1].

Este modelo apresenta um melhor ajuste aos dados medidos, quanto mais igualmente distribuídos estiverem as medidas dentro da área estudada. Esse comportamento do modelo é função do seno presente no fator  $L_{ANEL}$ . A Figura 2 mostra um diagrama polar das rotas percorridas na cidade de Barcarena, exemplificando a situação onde os dados estão bem distribuídos dentro da área de cobertura das antenas.

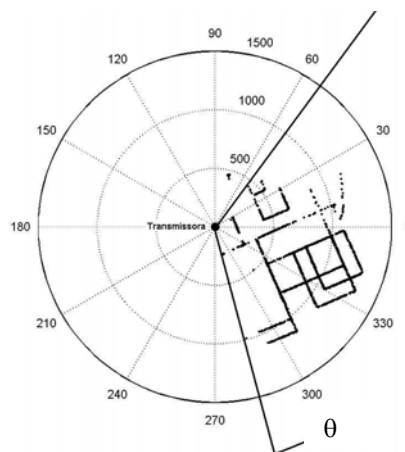


Fig. 2. Diagrama polar da medição realizada em Barcarena. Tendo ao centro a antena transmissora.

### IV. PROCEDIMENTO UTILIZADO

Objetivando encontrar a altura ótima da ERB para cobrir uma determinada área, uma campanha de medição deve ser realizada na área em questão. A antena transmissora deve ser posicionada em uma altura de teste onde será implantada a futura torre da ERB. Essa campanha é importante para a determinação da variável aleatória que descreve o ambiente em questão. Após a determinação da variável aleatória, fixados um valor de potência de limiar e um valor de  $\beta$  é possível determinar, por interpolação inversa no gráfico da Fig. 1, o valor de  $W$ , esse valor é a potência média recebida na borda da célula. De posse desse valor é possível encontrar

a perda de propagação experimentada pelo sinal na borda da célula.

Nesta etapa do procedimento o modelo descrito na seção II é utilizado. Em (2), o valor de  $L$  já foi obtido (através da relação entre a potência transmitida e a potência recebida), então o modelo é utilizado para encontrar o valor da altura  $h_T$  existente nas parcelas  $L_{DIF}$  e  $F_{ALTURA}$ . Esse valor de altura representa, desta forma, a altura ótima em que a antena transmissora deverá estar para se obter uma célula com determinado raio, com probabilidade  $\beta$  de receber uma potência maior ou igual à de limiar ( $W_0$ ).

## V. AMBIENTE DE MEDIÇÃO

Para a validação da metodologia proposta algumas campanhas de medição foram realizadas: a primeira campanha foi realizada em uma área suburbana da cidade de Marituba, à aproximadamente 20km de Belém-PA. Esse ambiente apresenta prédios baixos, ruas estreitas e áreas densamente arborizadas; com vegetação típica da Floresta Amazônica, Figura 3. Nesta campanha, a altura da antena transmissora foi variada usando-se 14, 44 e 70m.

A segunda e a terceira campanhas foram realizadas em duas cidades do interior do Estado do Pará. Essas cidades têm como características prédios baixos e um alto grau de arborização. Na cidade de Barcarena, veja Figura 4, a altura da transmissora é de 60m e na cidade de Abaetetuba é de 80m.



Fig. 3 – Vista, a 70 m de altura, do ambiente de medição.



Fig. 4. Vista da cidade de Barcarena.

## IV. SETUP DE MEDIÇÃO

A antena transmissora utilizada na medição na cidade de Marituba foi uma omnidirecional com ganho de 2dBi, que irradiava uma onda CW de 22dBm na frequência de 890,43MHz. Esta antena foi fixada em uma torre de uma operadora celular local e foram utilizadas três alturas para melhor estudar o efeito das árvores sobre a perda no sinal recebido.

A antena receptora móvel, omnidirecional de ganho 3dBi, foi fixada sobre um carro que percorreu algumas ruas da área de cobertura da Estação Rádio Base, a potência recebida e as coordenadas geográficas dos dados foram armazenados em um *notebook* equipado com um programa de aquisição e armazenamento de dados.

Nas cidades de Barcarena e Abaetetuba a antena transmissora era uma painel com ganho de 17,5dBi e a antena receptora era uma omnidirecional de ganho 0 dBd. Em ambas as cidades, a potência transmitida era de 44,5dBm na frequência de 1800MHz. O sistema receptor funcionou de forma semelhante ao utilizado em Marituba.

## VII. RESULTADOS

O modelo de perda de propagação utilizado neste artigo, descrito na seção III, apresentou uma boa concordância com os dados medidos na predição da perda nas cidades medidas, como mostra os erros descritos na Tabela I. Essa Tabela apresenta ainda os valores da constante de ajuste do modelo K (equação 2), presente no modelo, para cada cidade medida.

TABELA I  
ERRO MÉDIO E CONSTANTE DE AJUSTE PARA CADA CIDADE

Cidade	Erro Médio (dB)	K (dB)
Marituba	7,85	7,9
Abaetetuba	8,0	65,24
Barcarena	5,81	58,65

Em todas as regiões onde foram realizadas campanhas de medição, descritas na seção V, a função densidade de probabilidade (fdp) que descreveu os ambientes foi a Rayleigh. A Figuras 5 e 6, foram geradas usando esta distribuição e apresentam várias curvas para  $\beta$  igual a 85% e 90%, e para potência de limiar ( $W_0$ ) -85, -90 e -95dBm. A Figura 5 foi gerada com os dados obtidos na cidade de Marituba e altura de ERB de 70m, a Figura 6 são dados da mesma cidade, porém, com transmissora a 44m. Desses gráficos é possível obter a altura ótima da antena transmissora fixando um valor para  $\beta$  e  $W_0$ . Determinada a curva, pode-se encontrar a distância atingida pela ERB (cobertura celular) para cada valor de altura ótima.

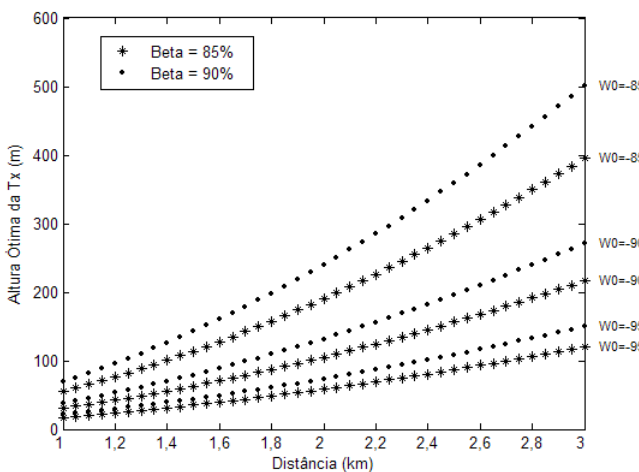


Fig. 5. Gráfico obtido com medidas realizadas na cidade de Marituba e altura de ERB de 70 m.

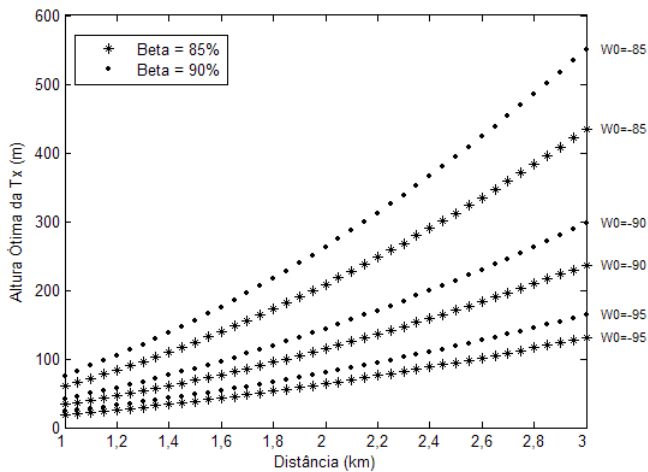


Fig. 6. Gráfico obtido com medidas realizadas na cidade de Marituba e altura de ERB de 44 m.

Para validar a metodologia empregada neste artigo, foram utilizados os valores da perda prevista pelo modelo, para a cidade de Marituba. A partir desses valores, a altura ótima da antena foi calculada para um raio de célula variando de 0,5 a

3km. No gráfico da Figura 7 foram utilizados os dados preditos quando a altura da antena transmissora era 70m,  $\beta = 85\%$  e  $W_0 = -90$ dBm. O objetivo, neste caso, é determinar o raio da célula para as condições citadas acima e estimar o raio que a célula teria se a altura da ERB fosse 44m. A Figura 8 é resultante da predição quando a transmissora estava a 44m e para os mesmos valores de  $\beta$  e  $W_0$ . Nessa figura o valor de raio determinado para a altura de 44m é comparado com aquele estimado pelo gráfico da Figura 6. Assim como é estimado um valor de raio para altura de 70m.

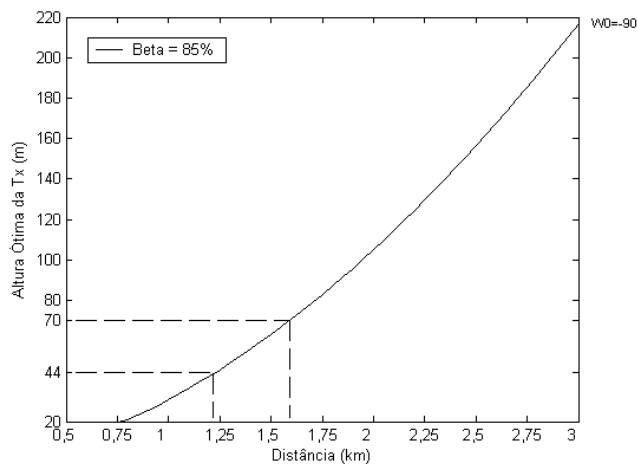


Fig. 7. Gráfico obtido com medidas realizadas na cidade de Marituba e altura de ERB de 70 m,  $\beta = 85\%$  e  $W_0 = -90$  dBm.

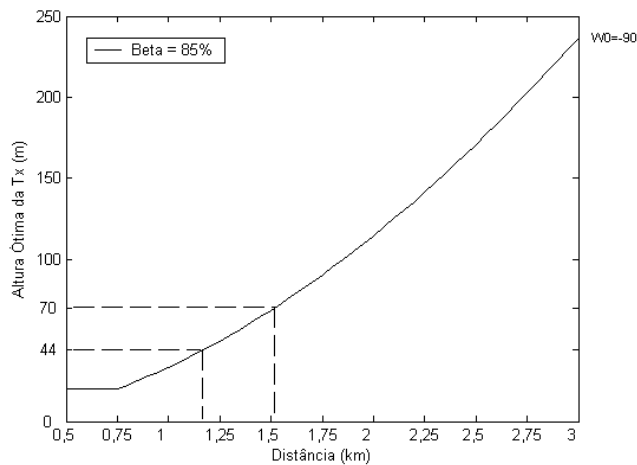


Fig. 8. Gráfico obtido com medidas realizadas na cidade de Marituba e altura de ERB de 44 m,  $\beta = 85\%$  e  $W_0 = -90$  dBm.

A Tabela II apresenta os valores de raio da ERB medido e predito nas Figuras 7 e 8, além do erro entre os raios determinados e estimados para as alturas de 70 e 44m foi de 50m, aproximadamente.

TABELA II  
RESULTADOS DAS FIGURAS 7 E 8.

Altura Efetiva da Antena (m)	Altura Preditada (m)	Varição do Raio Estimado (m)
70	70	1550 – 1600
	44	1200 – 1250
44	70	1500 – 1550
	44	1150 - 1200

Os resultados apresentados na Tabela II mostram que a metodologia descrita neste artigo está coerente com os dados medidos.

Com a metodologia validada, foi investigada a situação atual das torres instaladas em Marituba, Abaetetuba e Barcarena. Considerando a menor potência média recebida na campanha de medição. Dessa observação considerou-se uma potência de limiar  $W_0 = -90\text{dBm}$ . A Tabela III mostra os resultados obtidos para todas as cidades estudadas. Sendo  $h_T$  a altura da transmissora usada nas medições,  $W$  a potência média medida na distância máxima,  $d_{MAX}$  a distância máxima medida e  $\beta$  a probabilidade correspondente a  $W_0 - W$ .

TABELA III  
SITUAÇÃO MEDIDA e  $W_0 = -90\text{dBm}$ 

Parâmetros	Cidades Estudadas		
	Marituba	Abaetetuba	Barcarena
$h_T$ (m)	70	80	60
$W$ (dBm)	-89	-85	-75
$d_{MAX}$ (m)	2095	2500	1310
$\beta$ (%)	46	85	97

Da Tabela III observa-se que as potências médias mínimas, recebidas na área de cobertura das respectivas cidades, apresentam probabilidades de cobertura diferentes. No caso específico de Marituba com altura da transmissora igual a 70 m, o  $\beta$  foi de 46%.

Para manter uma boa qualidade do serviço através da cobertura celular, nas operações de *handoff*, considera-se, para efeito de simulação,  $\beta = 70\%$  e  $W_0 = -90\text{dBm}$  para todas as cidades. Nesse caso as alturas ótimas seriam as mostradas na Tabela IV.

TABELA IV  
SITUAÇÃO SIMULADA e  $W_0 = -90\text{ dBm}$ .

Parâmetros	Cidades Estudadas		
	Marituba	Abaetetuba	Barcarena
$h_T$ ótima (m)	76,4	58,5	20
$W$ (dBm)	-88	-83	-75
$d_{MAX}$ (m)	2095	2500	1310
$\beta$ padrão (%)	70	70	70

$\beta$  padrão: probabilidade tomada como padrão para obter  $h_T$  ótima

Os resultados apresentados nas Tabelas III e IV mostram que para a área de cobertura da ERB de Marituba, o projeto ótimo deveria considerar uma torre de 76,4m de altura. Nos casos de Abaetetuba e Barcarena observa-se que, para as condições simuladas de  $\beta$  e  $W_0$ , as alturas atuais das ERB's estão superdimensionadas evidenciando um alto custo na sua implantação.

## VI. CONCLUSÃO

Neste trabalho é apresentada uma metodologia para se calcular a altura ótima de uma Estação Rádio Base através de um procedimento de otimização baseado na probabilidade de uma potência de limiar ser recebida na borda da célula, além de considerar um modelo de propagação. Utilizando essa metodologia, as operadoras de telefonia móvel podem otimizar o custo de implantação de ERB's e promover uma melhoria na qualidade da cobertura. Os resultados apresentados mostram o bom desempenho desse procedimento, associado a um modelo adequado de perda de propagação em regiões com grande densidade de vegetação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Amazônia Celular S/A através dos engenheiros Ernesto Yoshida e Daniela Pereira pelo apoio às campanhas de medições e à TIM Brasil através do engenheiro Fábio Seguin pelos dados fornecidos.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. C. Rodrigues, S. G. C. Fraiha, H. S. Gomes, G. P. S. Cavalcante, *Path Loss Model for Densely Arboreous Cities in Amazon Region*, International Microwave and Optoelectronics Conference - IMOC2005, Brasília-Brasil, Jul. 2005, aceito para a conferência.
- [2] M. D. Yacoub, *Foundations of Mobile Radio Engineering*, São Paulo, Brasil, CRC Press, 1993.
- [3] J. D. Parsons, *Mobile Radio Propagation Channel*, New York, Wiley, 2000.
- [4] M. A. R. Sanches, G. P. S. Cavalcante, R. A. N. Oliveira, *Mobile Radio Propagation along Mixed Path in Forest Environments*, *Journal of Microwave on Opt.* UNB, Vol. 4, p.p. 42-52, 1999.