

## 4

# Métodos de previsão cobertura em áreas urbanas

### 4.1.

#### Introdução

Em regiões urbanas o terreno sobre o qual se dá à propagação apresenta topografia variada, vegetação e construções distribuídas de forma aleatória. Embora o cálculo da perda de propagação possa ser realizado, ainda que com precisão limitada, utilizando técnicas como a do traçado de raios ou soluções numéricas para aproximações da equação de onda (como a equação parabólica), os métodos mais utilizados para cálculo de cobertura são empíricos ou semi-empíricos.

Veremos neste capítulo os métodos de previsão da perda de propagação mais utilizados para a faixa de frequências de TV digital [2,10,11].

### 4.2.

#### Método de Okumura [3]

O modelo de Okumura foi desenvolvido com base em um grande número de medidas realizadas na região de Tóquio, em frequências na faixa de UHF e na faixa de SHF até 1920 MHz. O método de cálculo baseia-se na introdução de correções, obtidas graficamente, sobre o valor da atenuação de espaço livre. A expressão básica do método é

$$L(\text{dB}) = L_{\text{bf}} + A(f,d) - G_{\text{AREA}}(f, \text{morf}) - G_{\text{T}}(h_{\text{Te}}, d) - G_{\text{R}}(h_{\text{R}}, d) \quad (4.1)$$

para  $1 \leq d \leq 100 \text{ Km}$  e  $100 < f < 3000 \text{ MHz}$

O termo  $A(f,d)$  corresponde a uma atenuação adicional média para áreas urbanas, com altura efetiva da antena transmissora de 200 m e altura da antena receptora de 3m, função da frequência (limitada entre 100 e 3.000 MHz) e do comprimento do enlace (limitado entre 1 e 100 Km), dada pela figura 4.1a. O

ganho  $G_{AREA}(f, \text{morf})$  é uma correção também função da frequência para áreas de morfologia suburbana, quase-aberta e aberta (rural) e é dado pela figura 4.1b.

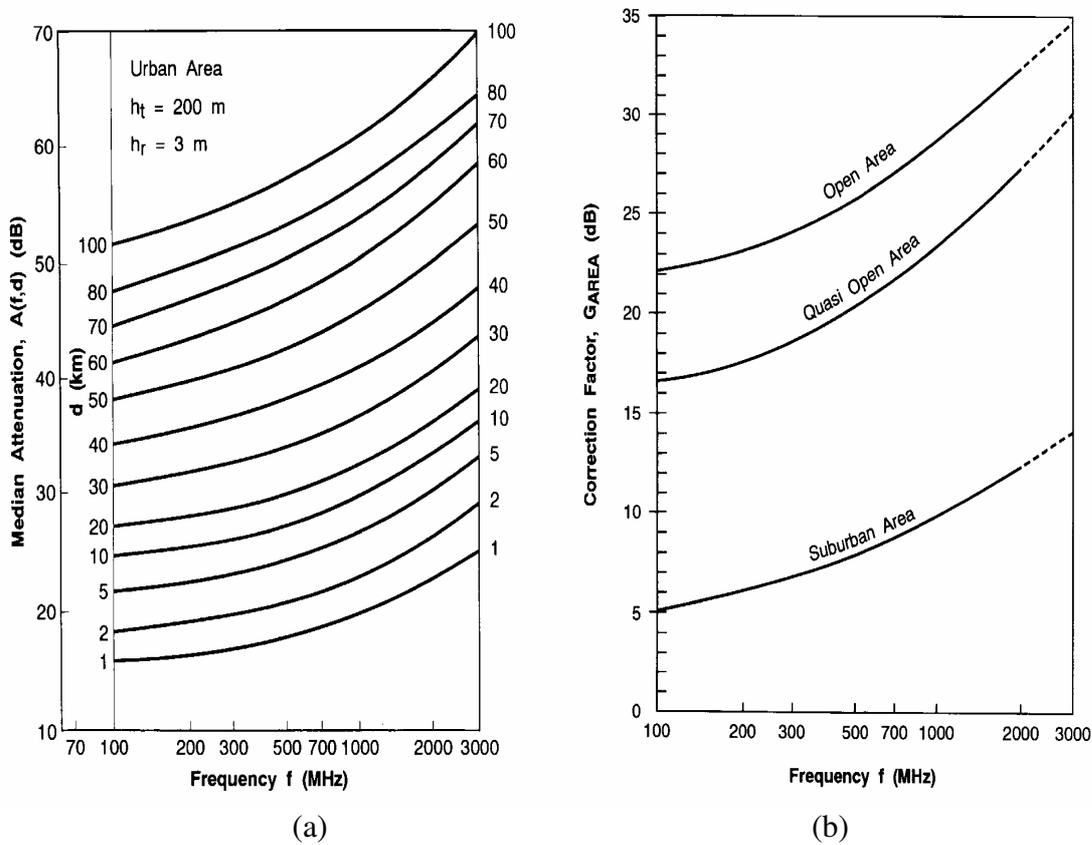


Figura 4.1 – Fatores do método de Okumura: (a) atenuação adicional média para área urbana; (b) correções para outras morfologias.

Os fatores  $G_T(h_{Te}, d)$  e  $G_R(h_R, d)$  são fatores de correção para antenas com alturas diferentes das de referência, funções também da distância e obtidos da figura 4.2, que mostra também como determinar a altura efetiva da antena de transmissão.

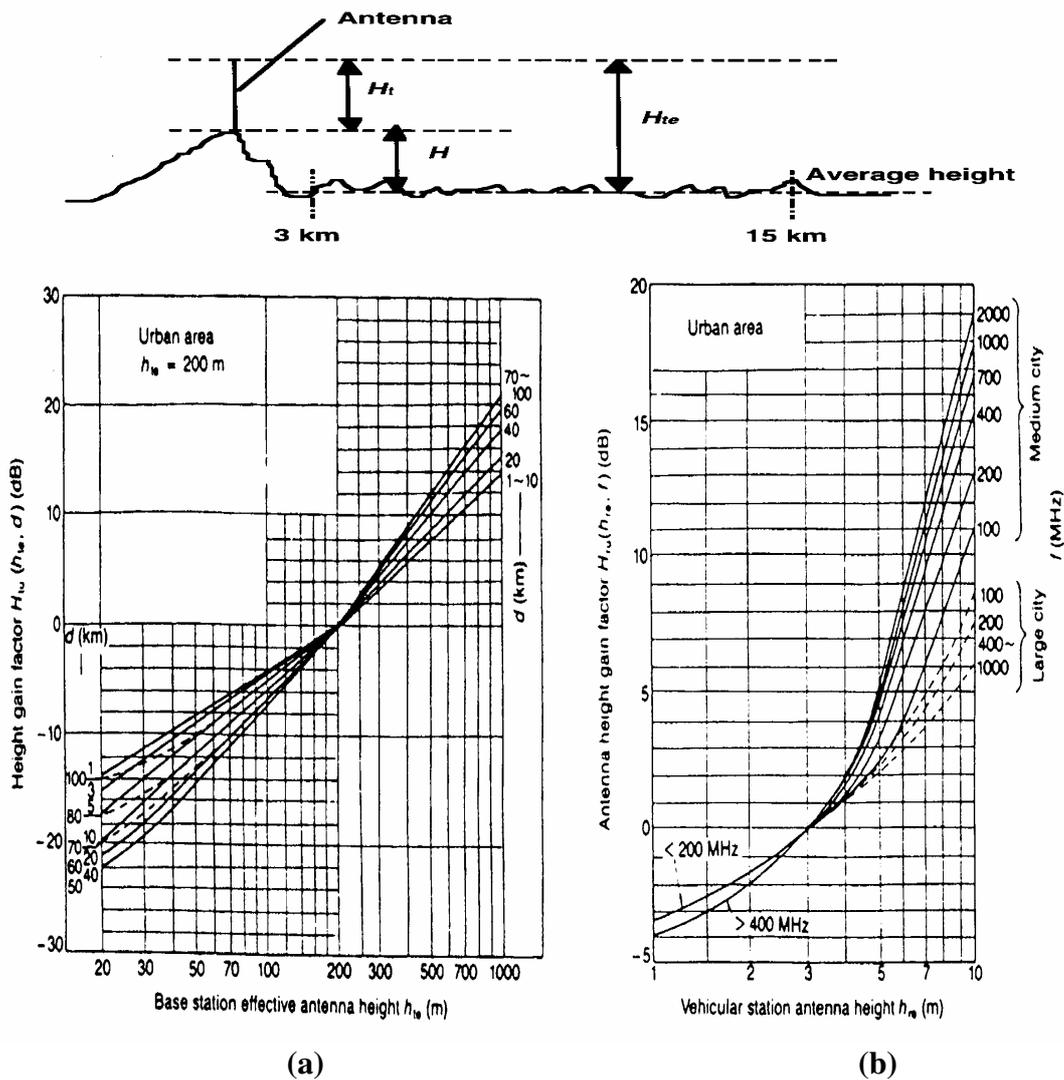


Figura 4.2 – Fatores de correção do método de Okumura: (a) para a altura da antena transmissora; (b) para a altura da antena receptora.

Okumura não é muito aplicado na prática, devido à sua natureza gráfica. Para se trabalhar melhor com este modelo utilizamos as expressões ajustadas por Hata.

#### 4.3. Método de Hata (Okumura-Hata) [3]

O modelo de Hata é uma formulação empírica do modelo gráfico de Okumura. A atenuação em áreas urbanas pode ser calculada por:

$$L_{\text{urbana}} = 69.55 + 26.16 \cdot \log f - 13.82 \cdot \log h_t - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \cdot \log h_t) \cdot \log d \quad (4.2)$$

onde :  $L$  = atenuação em dB

$f$  = frequência em MHz –  $150 \leq f \leq 1500$  MHz

$d$  = distância em km –  $1 \text{ km} \leq d \leq 20 \text{ km}$

$h_t$  = altura do transmissor em metros –  $30 \text{ m} \leq h_t \leq 200 \text{ m}$

$a(h_r)$  = fator de correção em dB

$h_r$  = altura do receptor em metros –  $1 \text{ m} \leq h_r \leq 10 \text{ m}$

- Fator de correção para cidades pequenas e médias:

$$a(h_r) = (1.1 \cdot \log f - 0.7)h_r - (1.56 \cdot \log f - 0.8) \quad (4.3)$$

- Fator de correção para cidades grandes

$$a(h_r) = 8.29(\log 1.54 \cdot h_r)^2 - 1.1 \quad \text{Para } f \leq 300 \text{ MHz} \quad (4.4)$$

$$a(h_r) = 3.2(\log 11.75 \cdot h_r)^2 - 4.97 \quad \text{Para } f \geq 300 \text{ MHz} \quad (4.5)$$

Para obter a perda de propagação em áreas suburbanas e rurais modifica-se a equação para área urbana das seguintes formas:

$$L_{\text{suburbana}} = L_{\text{urbana}} - 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad (4.6)$$

$$L_{\text{rural}} = L_{\text{urbana}} - 4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94 \quad (4.7)$$

O modelo de Okumura-Hata é muito semelhante com o modelo utilizado pelo ITU-R para a radiodifusão da TV digital. Por ser um modelo bastante utilizado servirá de base para o modelo ajustado localmente desenvolvido neste trabalho.

#### **4.4. Método de Walfish Ikegami [3, 8]**

Este modelo estatístico é aplicável tanto em macrocélulas quanto em microcélulas, em terrenos planos e urbanos.

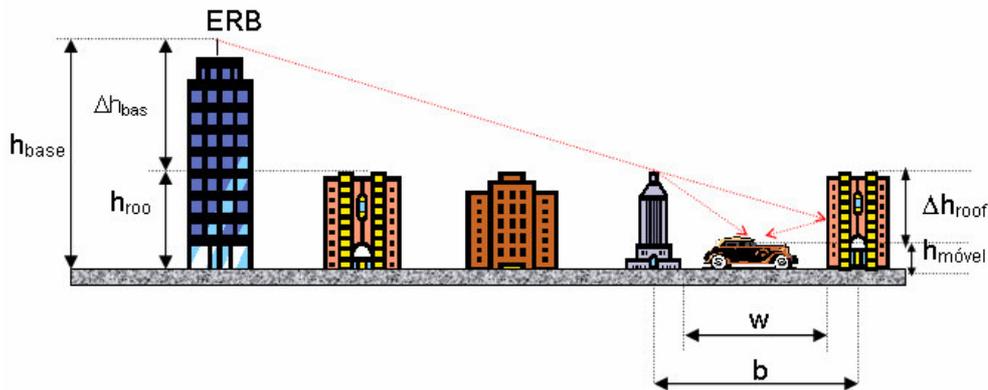


Figura 4.3 – Parâmetros do modelo de Walfish-Ikegami

Onde:  $h_{\text{roof}}$  = altura dos edifícios, em metros.

$h_{\text{movel}}$  = altura da antena do móvel, em metros

$w$  = largura das ruas, em metros.

$b$  = separação entre os edifícios, em metros.

$\varphi$  = orientação da estrada com relação ao enlace, em graus.

Se houver visada direta entre o móvel e a radio base o modelo de perda se resume à equação (4.8). Caso contrário à perda deve ser calculada pelas equações (4.9) a (4.29).

$$L_{\text{LOS}} = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f \quad (4.8)$$

Onde:  $f$  = frequência, em MHz,  $800 \text{ MHz} \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$

$d$  = distância da ERB ao móvel, em km,  $d \geq 20 \text{ m}$

$$L_{\text{NLOS}} = L_0 + L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}} \quad \text{para } L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}} \geq 0 \quad (4.9)$$

$$L_{\text{NLOS}} = L_0 \quad \text{para } L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}} < 0 \quad (4.10)$$

Onde:  $L_0$  = perda de propagação em espaço livre, em dB

$L_{rts}$  = perda devido à difração e espalhamento, em dB

$L_{msd}$  = perda devido a múltiplas difrações, em dB

$$L_0 = 32.4 + 20 \log d + 20 \log f + L_{ori} \quad (4.11)$$

$$L_{rts} = -16 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log \Delta h_{movel} \quad (4.12)$$

$$L_{rts} = 0 \quad \text{para} \quad L_{rts} < 0 \quad (4.13)$$

$$L_{ori} = -10 + 0.35\varphi \quad \text{para} \quad 0 \leq \varphi < 35^\circ \quad (4.14)$$

$$L_{ori} = 2.5 + 0.075(\varphi - 35^\circ) \quad \text{para} \quad 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \quad (4.15)$$

$$L_{ori} = 4 - 0.114(\varphi - 55^\circ) \quad \text{para} \quad 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \quad (4.16)$$

$$\Delta h_{movel} = h_{roof} - h_{movel} \quad (4.17)$$

$$\Delta h_{base} = h_{base} - h_{roof} \quad (4.18)$$

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log d + k_f \log d + k_f \log f - 9 \log b \quad (4.19)$$

$$L_{msd} = 0 \quad \text{para} \quad L_{msd} < 0 \quad (4.20)$$

$$L_{bsh} = -18 \log(1 + \Delta h_{base}) \quad \text{para} \quad h_{base} > h_{roof} \quad (4.21)$$

$$L_{bsh} = 0 \quad \text{para} \quad h_{base} \leq h_{roof} \quad (4.22)$$

$$k_a = 54 \quad \text{para} \quad h_{base} > h_{roof} \quad (4.23)$$

$$k_a = 54 - 0.8 \Delta h_{base} \quad \text{para} \quad d \geq 0.5 \text{ km e } h_{base} \leq h_{roof} \quad (4.24)$$

$$k_a = 54 - 1.6 \Delta h_{base} \cdot d \quad \text{para} \quad d < 0.5 \text{ km e } h_{base} \leq h_{roof} \quad (4.25)$$

$$k_d = 18 \quad \text{para} \quad h_{base} > h_{roof} \quad (4.26)$$

$$k_d = 18 - 15 \cdot \frac{\Delta h_{base}}{h_{roof}} \quad \text{para} \quad h_{base} \leq h_{roof} \quad (4.27)$$

Para cidades de tamanho médio e centros suburbanos com densidade moderada de árvores:

$$k_f = -4 + 0.7 \cdot \left( \frac{f}{925} - 1 \right) \quad (4.28)$$

Para centros metropolitanos

$$k_f = -4 + 1.5 \cdot \left( \frac{f}{925} - 1 \right) \quad (4.29)$$

Onde:  $k_a$  representa o aumento da perda de propagação devido a antenas das estações radio base localizadas abaixo do topo dos edifícios adjacentes

$k_d$  e  $k_f$  controlam a dependência da difração múltipla com a frequência.

Restrições do modelo:  $800 \text{ MHz} \leq f \leq 2 \text{ GHz}$

$$4 \text{ m} \leq h_{base} \leq 50 \text{ m}; \quad 1 \text{ m} \leq h_{movel} \leq 3 \text{ m}; \quad 20 \text{ m} \leq d \leq 5 \text{ km}$$

Por ser um modelo que envolve uma grande complexidade de detalhes da morfologia e um grande banco de dados, não utilizaremos em nosso estudo.

#### 4.5. Método ITU-R P.1546 [2]

O método recomendado pelo ITU-R para as faixas de TV digital de VHF e UHF, através da Recomendação P-1546, fornece resultados muito semelhantes aos do método Okumura – Hata.

Este método foi modelado através de curvas que permitem determinar a variação da intensidade de campo com a distância para uma dada porcentagem no tempo e frequência para diversos valores da altura da antena transmissora  $h_1$ . Para valores que não se encontram nas curvas a intensidade de campo pode ser obtida por interpolação.

As curvas foram levantadas para uma potência efetiva irradiada de 1 kW em frequências nominais de 100, 600 e 2000 MHz. Algumas curvas se referem a ambientes terrestres e outras a ambientes marítimos. As curvas são baseadas em levantamento de dados em regiões com variações climáticas de ambientes quentes e gelados como, por exemplo, o mar do Norte e o Mediterrâneo. Foram levantados dados da Europa e América do Norte.

As curvas, mostradas no anexo 1, são divididas em três faixas de frequências: 30 a 300MHz, de 300 a 1000 MHz e de 1000 a 3000 MHz. Estas curvas de intensidade de campo *versus* distância mostradas nestes gráficos são para a frequência de 100 MHz, 600 MHz e 1000 MHz, respectivamente. Elas podem ser usadas para frequências na faixa de 30 MHz até 3000 MHz. O mesmo procedimento deve ser usado quando valores tabulados de  $E \times d$  são empregados. As curvas representam a intensidade de campo em 50% da localização com qualquer área de aproximadamente 200 m por 200 m e para 50%, 10% e 1% do tempo para percursos terrestres.

A distribuição da intensidade de campo como uma função da porcentagem de localização pode ser calculada usando a informação do modelo. Valores de desvio padrão, que são representativos para diferentes tipos de serviço, são listados na tabela 1, 2 e 3. Os sistemas de radiodifusão digital tem bandas de, no mínimo, 1.5 MHz e são menos sujeitos a variações da frequência que os sistemas analógicos.

<b>Tipo de Serviço</b>	<b>Desvio Padrão (dB)</b>
Radiodifusão analógica	8.3
Radiodifusão digital	5.5
Sistemas móveis urbanos	5.3
Sistemas móveis suburbanos, e áreas abertas	6.7

Tabela 4.1 – Desvio padrão da variação da localização em 100 MHz

<b>Tipo de Serviço</b>	<b>Desvio Padrão (dB)</b>
Radiodifusão analógica	9.5
Radiodifusão digital	5.5
Sistemas móveis urbanos	6.2
Sistemas móveis suburbanos, e áreas abertas	7.9

Tabela 4.2 – Desvio padrão da variação da localização em 600 MHz

<b>Tipo de Serviço</b>	<b>Desvio Padrão (dB)</b>
Radiodifusão digital	5.5
Sistemas móveis urbanos	7.5
Sistemas móveis suburbanos, e áreas abertas	9.4

Tabela 4.3 – Desvio padrão da variação da localização em 2000 MHz

As curvas de intensidade de campo versus distância e as tabulações são dadas para os valores de  $h_1$  de 10, 20, 37.5, 75, 150, 300, 600 e 1 200 m. Para qualquer valor de  $h_1$  na faixa de 10 m a 3 000 m, fora dos valores mencionados deverá ser realizada uma interpolação ou extrapolação utilizando duas curvas escolhidas mais próximas do valor desejado. Para  $h_1$  abaixo de 10 m, o processo de extrapolação também pode ser aplicado.

A perda básica equivalente de transmissão para uma dada intensidade de campo é feita da seguinte forma:

$$L_b = 139 - E + 20 \log f \text{ dB} \quad (4.30)$$

Onde:

$L_b$  : Perda básica de transmissão (dB)

$E$  : Intensidade de campo (dB( $\mu$ V/m)) para 1 kW e.r.p.

$f$  : frequência (MHz).

As curvas desta recomendação são bem aproximadas pela expressão abaixo:

$$E = 69.82 - 6.16 \log f - 13.82 \log H_1 + a(H_2) - (44.9 - 6.55 \log H_1) (\log d)^b \quad (4.31)$$

Onde:

$E$ : intensidade de campo (dB( $\mu$ V/m)) para 1 kW e.r.p.

$f$ : frequência (MHz)

$H_1$ : Altura efetiva da antena da estação base (m) na faixa de 30 a 200 m

$H_2$ : Altura da antena da estação móvel (m) na faixa de 1 a 10 m

$d$ : distancia (km)

$$a(H_2) = (1.1 \log f - 0.7) H_2 - (1.56 \log f - 0.8)$$

$$b = 1 \text{ para } d \leq 20 \text{ km}$$

$$b = 1 - (0.14 - 0.000187 f - 0.00107 H_1') (\log [0.05 d])^{0.8}$$

para  $d > 20$  km

Onde:

$$H_1' = H_1 / \sqrt{1 + 0,000007 H_1^2} \quad (4.32)$$

De (4.36) e (4.37) temos

$$L = 69.18 + 26.16 \log f - 13.82 \log H_1 - a(H_2) + (44.9 - 6.55 \log H_1) (\log d)^b \quad (4.33)$$

A altura efetiva da estação base  $H_1$ , para pequenos percursos, é equivalente à altura real da antena. A altura da antena transmissora  $h_1$  usada nesta recomendação é acima da altura do clutter. Assumindo que os resultados de Okumura-Hata aplicam-se para uma representativa altura do clutter na estação base de 20 m, nas equações de Hata,  $H_1 = 30$  m é equivalente a  $h_1 = 10$  m (para  $d \leq 3$  km) nesta recomendação. Para alturas de antenas transmissoras é válida a faixa de Hata de  $30 \text{ m} \leq H_1 \leq 200 \text{ m}$  ( $10 \text{ m} \leq h_1 \leq 180 \text{ m}$ ). Os dois métodos fornecem essencialmente os mesmos resultados para percursos de até 20 Km.

Dentre todos os métodos aqui discutidos e observando as características da radiodifusão da TV Digital, bem como sua faixa de frequências de operação,

utilizamos o método de Okumura-Hata para os testes com dados experimentais e como base para o modelo ajustado localmente.