3
Modelos de predição de cobertura

A necessidade de predizer e planejar sistemas de comunicação na faixa de VHF e UHF fez surgir uma série de modelos de perda de propagação. Em geral esses modelos são propostos sobre critérios empíricos ou teóricos ou semi empíricos. Modelos empíricos são obtidos a partir de medições na área de interesse, em geral são precisos, ainda que pouco utilizáveis em situações diferentes das observadas no ambiente em que foram desenvolvidos. Métodos teóricos ou empíricos são formulados através de modelamento teórico sobre a propagação, e exigem boas informações e dados sobre o problema para obter uma boa predição do nível de sinal, o que os torna mais gerais em relação à utilização em ambientes diversos.

Os diferentes modelos de predição diferem na sua aplicabilidade, certamente nenhum modelo é universalmente adequado para todos os tipos de ambientes em que as ondas se propagam. Usualmente os modelos predizem a atenuação mediana do sinal, isto é, excedida em 50% do tempo.

Do ponto de vista de propagação em ambientes vegetados, em muitos modelos empíricos e semi-empíricos que não dispõe de um fator associado à perda em propagação sobre árvores, pode-se afirmar que o efeito da vegetação está incluído em suas equações, na medida em que as medições são feitas em espaços que contém vegetação, em variados graus. Vários modelos teóricos apresentam termos e fatores de correção associados à propagação em áreas arborizadas.

Neste capítulo serão abordados alguns modelos importantes e muito utilizados.

3.1
Modelo de Egli

Egli em 1957 lançou este modelo que foi bastante utilizado, formulado de dados obtidos em sistemas de transmissão de televisão. Tipicamente usado em transmissões em linha de visada, também pode ser usado em cenários de comunicação celular. Sua fórmula para a perda é:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

$$L_{50}\,(dB) = \frac{1}{G_t G_r}\left(\frac{d^2}{h_t h_r}\right)^2 \frac{1}{\beta} \tag{3.1}$$

Onde G_t *e* G_r são os ganhos das antenas de transmissão e recepção, respectivamente, e h_t *e* h_r são as alturas das antenas de transmissão e recepção, respectivamente. O fator de correção β é dado por:

$$\beta = \left(\frac{40}{f}\right)^2 \tag{3.2}$$

Onde f é a frequência em MHz.

O modelo de Egli prediz a perda em propagação média total, não dividindo em perda no espaço livre ou perdas por outros fatores. É um modelo bastante simples que serviu de ponto de partida para vários estudos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

3.2
Modelo de Okumura *et al.*

O modelo de Okumura [5] é um modelo empírico baseado em uma extensa campanha de medições realizada no Japão no fim dos anos sessenta. Foram cobertos vários tipos de ambientes na faixa de frequências entre 150 e 1920 MHz, e foi posteriormente extrapolado para até 3000 MHz.

Originalmente foi desenvolvido para distância entre antenas de 1 a 100 km e para altura de antenas de recepção e transmissão na ordem de 3 m e 200 m, respectivamente.

A perda em excesso ao espaço livre é tomada com o auxílio de curvas plotadas em escalas com diversos parâmetros.

Este modelo abrange vários tipos de ambientes: áreas urbanas, suburbanas e áreas rurais. A perda de propagação pode ser expressa como:

$$L = L_0 + A(f,d) - G_{área} - G(h_t) - G(h_r) \tag{2.3}$$

Onde L_0 é a perda de propagação em espaço livre. O termo $A(f,d)$ é uma atenuação adicional, motivada pela morfologia da área urbana e é obtida do gráfico abaixo (fig. 3.1):

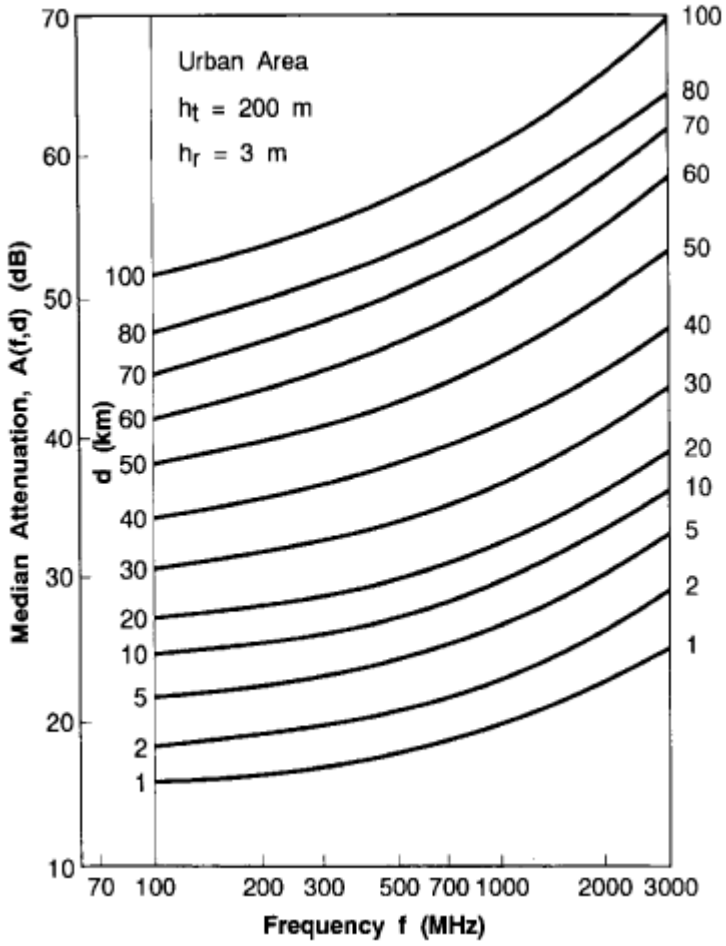

Figura 3.1 - Parâmetro A(f,d).

$G_{área}$ é um fator de correção, motivado pelas morfologias das áreas suburbanas e rural, e é obtida da figura 3.2, abaixo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

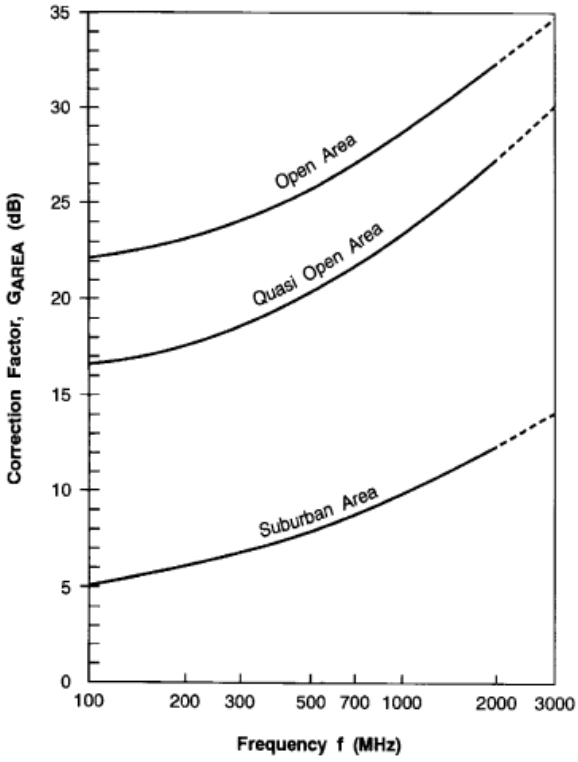

Figura 3.2 - Fator de correção $G_{área}$.

$G(h_t)$ e $G(h_r)$ são fatores de correção, para a altura relativa das antenas,e podem ser obtidas graficamente, de forma intuitiva pela figuras 3.3.

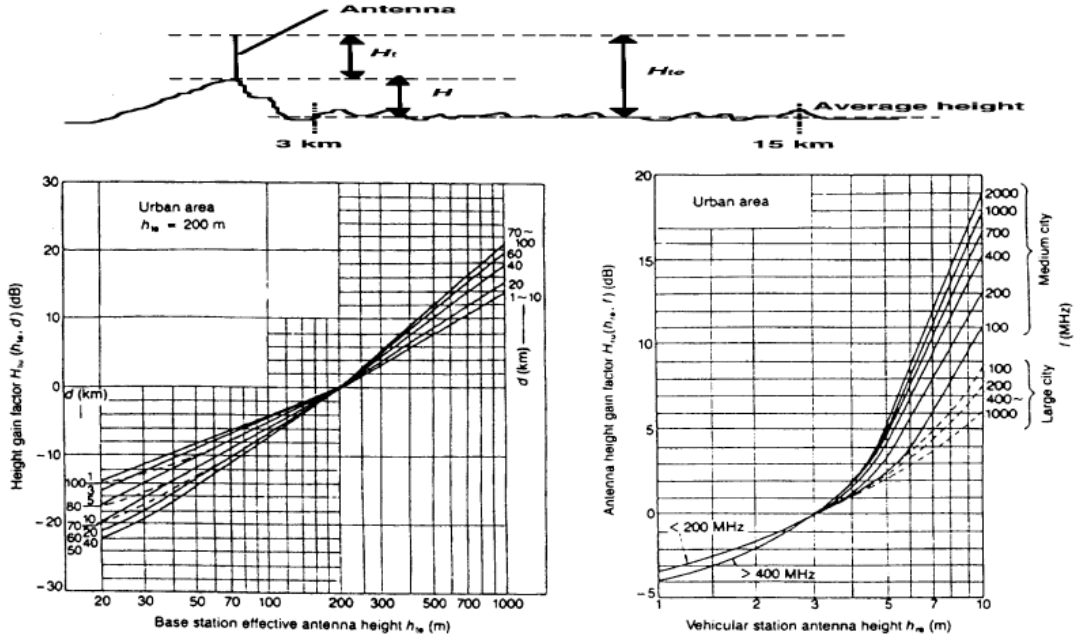

Figura 3.3 - Fatores $G(h_t)$ e $G(h_r)$ e modelo intuitivo para o cálculo das alturas efetivas das antenas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

3.3
Modelo de Okumura-Hata

Visando melhorar computacionalmente o modelo Okumura, Hata desenvolveu equações matemáticas para descrever as curvas de Okumura. As equações de Hata, contudo estão limitadas a uma faixa de frequências de 150 MHz a 1500 MHz, e para terrenos quase planos. As expressões analíticas para as curvas são:

- Áreas Urbanas

$$L_{urb}\,(dB) = 69{,}55 + 26{,}16\ log\ f_c - 13{,}83 \log h_t - A(h_r) + (44{,}9 - \\ - 6{,}55 \log h_r) \log d \qquad (3.4)$$

Onde:

f_c - frequência (150-1500 MHz);
h_t - altura da antena de transmissão (em metros);
h_r - altura da antena de recepção (em metros);
d - distância entre as antenas (1-20 km).

- Para cidades grandes:

$$A(h_r) = 8{,}29\ (\log 1{,}54\, h_r)^2 - 1{,}1 \quad , em\ dB, para\ f_c \leq 200\ MHz. \qquad (3.5)$$

$$A(h_r) = 3{,}2\ (\log 11{,}75\, h_r)^2 - 4{,}97 \quad , em\ dB, para\ f_c \geq 400\ MHz. \qquad (3.6)$$

- Para cidades médias e pequenas:

$$A(h_r) = (1{,}1 \log f_c - 0{,}7) h_r - (1{,}56 \log f_c - 0{,}8) \quad , em\ dB. \qquad (3.7)$$

- Áreas Suburbanas

$$L\ (dB) = L_{urb}\ - 2\left[\log\left(\frac{f_c}{28}\right)\right]^2 - 5{,}4 \qquad (3.8)$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

- Áreas Abertas (rural)

$$L\ (dB) = L_{urb}\ - 4{,}78(\log f_c)^2 + 18{,}33 \log f_c - 40{,}98 \qquad (3.9)$$

O modelo Okumura-Hata é bastante semelhante ao modelo ITU-R utilizado para TV digital e produz resultados equivalentes.

A função $A(h_r)$, para ambientes suburbanos e rurais, é a mesma para o caso cidades médias e pequenas em ambientes urbanos.

3.4
Modelo de Walfish-Ikegami

Este é um modelo aplicável em terrenos planos e urbanos, utiliza elementos geométricos no ambiente de propagação para obter melhores resultados, os parâmetros principais podem ser obtidos por inspeção das figuras 3.4 e 3.5 abaixo.

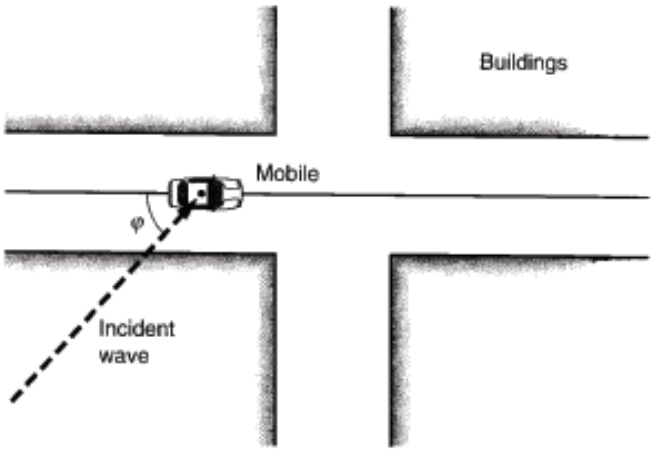

Figura 3.4 - Ângulo entre a onda incidente e a direção da rua.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

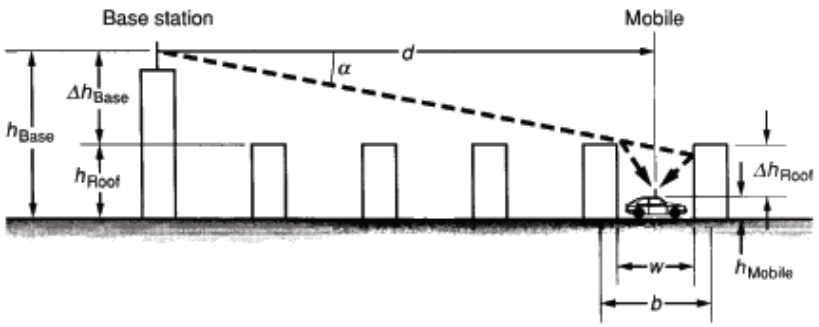

Figura 3.5 - Diversos parâmetros do modelo.

Onde:

h_{roof} = altura média dos prédios, em metros;

h_{mobile} = altura da antena de recepção (móvel), em metros;

w = largura das ruas em metros;

b = separação entre os prédios, em metros;

φ = ângulo da rua em relação ao raio direto, em graus.

Se houver visada direta entre as antenas, a equação da perda se resume em:

$$L_{los} = 42{,}6 + 26 \log d + 20 \log f \tag{3.10}$$

Onde:

f = frequência, em MHz, para 800≤ *f* ≤ *2000 MHz;*

d= distância entre as antenas, em km, para *d* ≥*20 metros.*

Para situações sem visada tem-se:

$$\begin{cases} L_{nlos} = L_0 + L_{rts} + L_{msd} & , para \;\; L_{rts} + L_{msd} \geq 0 \\ L_{nlos} = L_0 & , para \;\; L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases} \tag{3.11}$$

Onde:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

L_0 = perda de propagação em espaço livre, em dB;

L_{rts} = perda de propagação devido à difração e espalhamento, em dB;

L_{msd} = perda de propagação devido à múltiplas difrações, em dB.

E ainda:

$$L_0 = 32{,}4 + 20\log d + 20\log f + L_{ori} \tag{3.12}$$

$$\begin{cases} L_{rts} = -16 - 10\log w + 10\log f + 20\log \Delta h_{movel} \\ L_{rts} = 0 \quad , \; para \; L_{rts} < 0 \end{cases} \tag{3.13}$$

Onde:

$$\begin{cases} L_{ori} = -10 + 0{,}35\varphi & , para \; 0 \leq \varphi \leq 35° \\ L_{ori} = 2{,}5 + 0{,}075(\varphi - 35°) & , para \; 35° \leq \varphi \leq 55° \\ L_{ori} = 4 - 0{,}114(\varphi - 35°) & , para \; 55° \leq \varphi \leq 90° \end{cases} \tag{3.14}$$

$$\Delta h_{móvel} = h_{roof} - h_{móvel} \tag{3.15}$$

$$\Delta h_{base} = h_{base} - h_{roof} \tag{3.16}$$

$$\begin{cases} L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log d + K_f \log d + K_f \log f - 9\log b \\ L_{msd} = 0 \quad , para \; L_{msd} < 0 \end{cases} \tag{3.17}$$

$$\begin{cases} L_{bsh} = -18\log(1 + \nabla h_{base}) & , para \; h_{base} > h_{roof} \\ L_{bsh} = 0 & , para \; h_{base} \leq h_{roof} \end{cases} \tag{3.18}$$

E ainda:

$$\begin{cases} K_a = 54 & , para \; h_{base} > h_{roof} \\ K_a = 54 - 0{,}8\,\nabla h_{base} & , para \; d \geq 0{,}5 \; Km \; e \; h_{base} \leq h_{roof} \\ K_a = 54 - 1{,}6\,\nabla h_{base}.d & , para \; d < 0{,}5 \; Km \; e \; h_{base} \leq h_{roof} \end{cases} \tag{3.19}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

$$\begin{cases} K_d = 18 & ,para\ h_{base} > h_{roof} \\ K_d = 18 - 15\ \frac{\Delta h_{base}}{h_{roof}} & ,para\ h_{base} \leq h_{roof} \end{cases} \quad (3.20)$$

Para cidades de tamanho médio e centros suburbanos, com média densidade de árvores, tem-se:

$$K_f = -4 + 0{,}7\left(\frac{f}{925} - 1\right) \quad (3.21)$$

E para centros metropolitanos:

$$K_f = -4 + 1{,}5\left(\frac{f}{925} - 1\right) \quad (3.22)$$

Este modelo é válido para frequências entre 800 MHz e 2 GHz, com altura do receptor entre 1m e 3m e altura do transmissor entre 4m e 50m, para distâncias entre 20 m e 5 km.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA