

# Propagação em Larga Escala (Modelos Empíricos): Okumura, Hata e Cost231

CMS 60808 2016-1

Bruno William Wisintainer

[bruno.wisintainer@ifsc.edu.br](mailto:bruno.wisintainer@ifsc.edu.br)

# Modelo de Okumura

- É um modelo empírico baseado em testes feitos no Japão cobrindo vários tipos de ambientes nas frequências de 150-1920 MHz, ou em casos extremos de 3000 MHz.
- Foi publicado em 1968 e desenvolvido para células com raio de 1 a 100 km e para alturas da antena de transmissão e recepção entre 30 – 1000 m.
- Leva em consideração parâmetros como o tipo de ambiente e a irregularidade do terreno.
- Abrange diversos tipos de ambientes: áreas urbanas e suburbanas, áreas rurais e características do terreno, tais como, percurso inclinado, relevo irregular e trajetos mistos (terra-mar).

# Modelo de Okumura

- Para determinar a perda no caminho:
  - Calcular a perda do caminho no espaço livre entre os pontos de interesse;
  - Encontrar o valor de  $A_{mu}(f, d)$  lido pelas curvas;
  - Fatores de correção devem ser considerados, de acordo com o terreno.

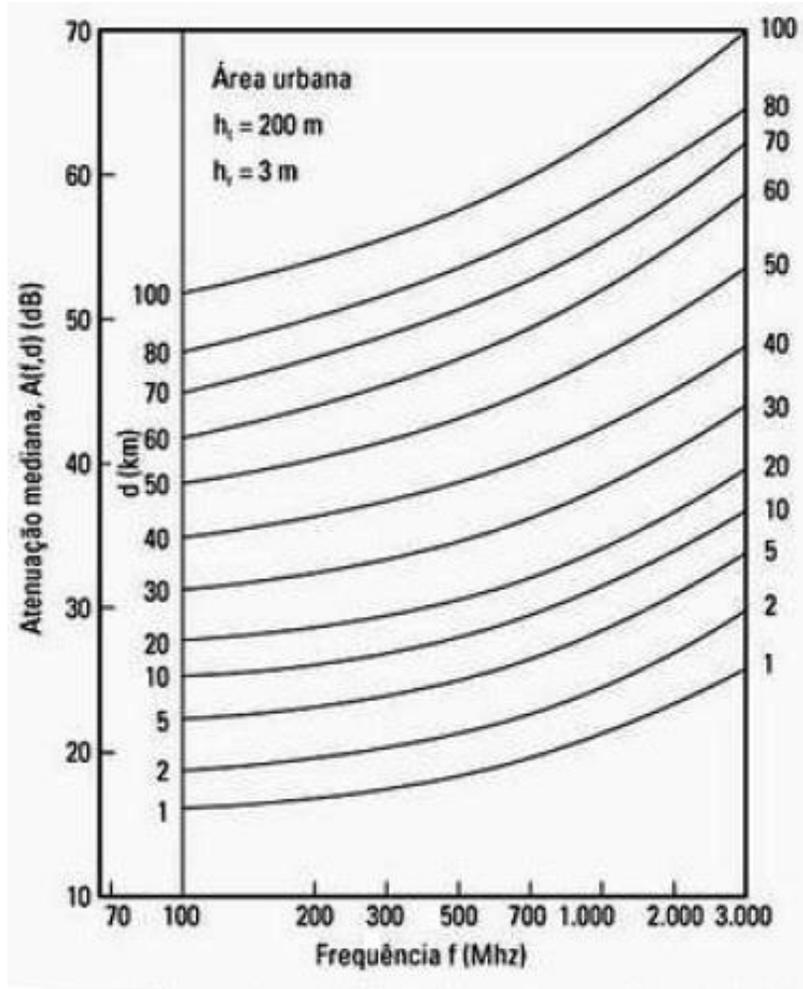
# Modelo de Okumura

- Expresso pela equação:

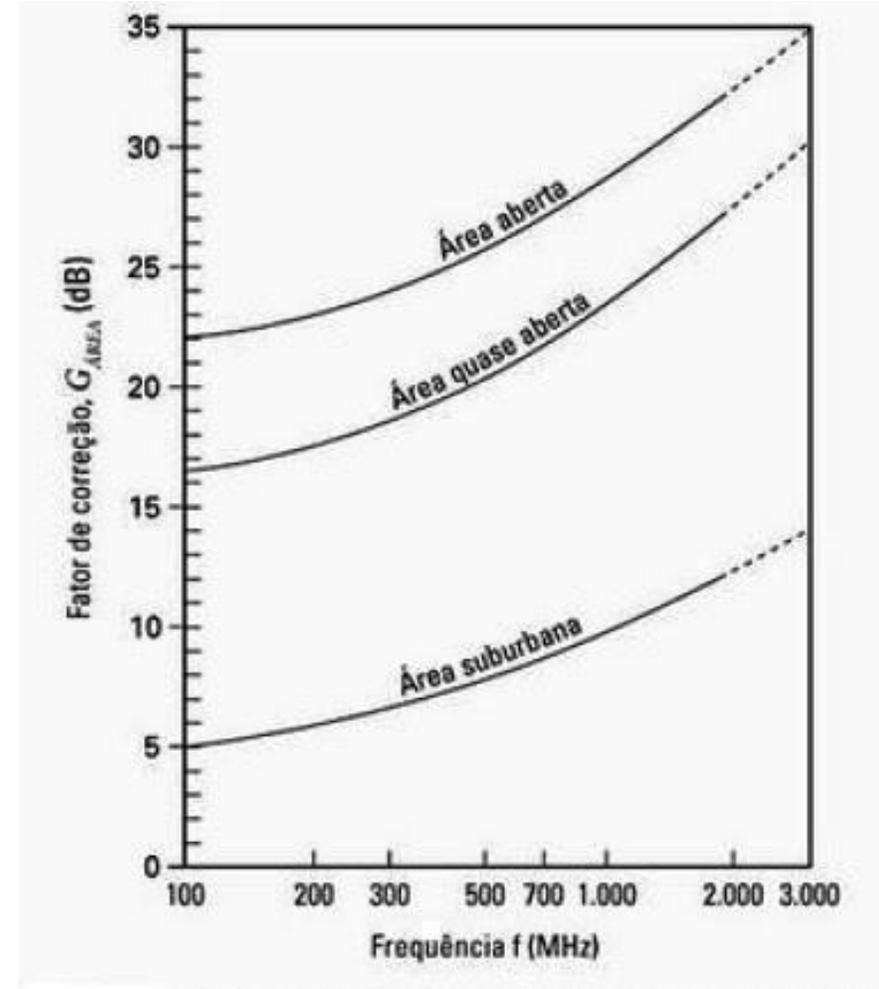
$$L_{50} (dB) = PL + A_{mu} (f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{\acute{A}REA}$$

- $L_{50}$ : Mediana da perda de propagação;
- $PL$ : Perda de propagação no espaço livre;
- $A_{mu}$ : Atenuação mediana relativa;
- $G(h_{te})$ : Fator de ganho da altura da antena transmissora;
- $G(h_{re})$ : Fator de ganho da altura da antena receptora;
- $G_{\acute{A}REA}$ : Ganho devido ao tipo do ambiente.

# Modelo de Okumura – Curvas



Atenuação mediana relativa ao espaço livre ( $A_m(f,d)$ ), para um terreno quase plano (de Okumura et al.<sup>36</sup> © IEEE).



Fator de correção,  $G_{AREA}$ , para diferentes tipos de terreno (de Okumura et al.<sup>37</sup> © IEEE).

# Modelo de Okumura – variações de $G$

$$G(h_{te}) = 20 \log \left( \frac{h_{te}}{200} \right) \quad 1000 \text{ m} > h_{te} > 30 \text{ m}$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left( \frac{h_{re}}{3} \right) \quad h_{re} \leq 3 \text{ m}$$

$$G(h_{re}) = 20 \log \left( \frac{h_{re}}{3} \right) \quad 3 \text{ m} < h_{re} \leq 10 \text{ m}$$

# Cálculo da potência recebida

- Todos devem estar em dB ou dBm:

$$P_r = P_t + G_r + G_t - L_{50}$$

- Lembre-se que dB + dBm = dBm

# Exercício

1) Calcule a perda média no caminho usando o modelo de Okumura para  $d= 50$  km,  $h_{te}= 100$  m,  $h_{re}= 10$  m em um ambiente suburbano. Se o transmissor irradia uma potência de 1 kW em uma frequência de portadora de 900 MHz, ache a potência no receptor (considere os ganhos das antenas unitário).

# Exercício

2) Use o modelo de Okumura para determinar o sinal recebido por uma antena que está a uma distância de 3,7 km da antena transmissora. O sistema opera em 870 MHz em uma área quase aberta. Dados:  $h_{te} = 68$  m,  $h_{re} = 3$  m,  $P_t = 19,5$  W,  $G_t = 10$  dBi,  $G_r = 0$  dBi.

# Modelo de Hata (Okumura-Hata)

- Formulação empírica dos dados de perda no caminho fornecidos por Okumura.
- Apresentou a perda de propagação em área urbana como uma fórmula-padrão.
- Forneceu equações de correção para aplicações em outras situações.

# Modelo de Hata – Fórmula-padrão

$$L_{50}(\text{urbano})(dB) = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_{te}$$

$$-a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d$$

- $f$ : Frequência (em MHz) de 150 MHz a 1500 MHz
- $h_{te}$ : Altura efetiva da antena transmissora (em m), de 30 m a 200 m;
- $h_{re}$ : Altura efetiva da antena receptora (em m), de 1 m a 10 m;
- $d$ : Distância de separação  $T_x$ - $R_x$  (em km).
- $a(h_{re})$ : Fator de correção para a altura efetiva da antena receptora, que é função do tamanho da área de cobertura.

# Modelo de Hata – Fator de correção

- Para uma cidade pequena:

$$a(h_{re}) = (1,1 \log f - 0,7 h_{re}) - (1,56 \log f - 0,8) \text{ dB}$$

- Para uma cidade grande:

$$a(h_{re}) = 8,29 (\log 1,54 h_{re})^2 - 1,1 \text{ dB} \quad \text{para } f \leq 300 \text{ MHz}$$

$$a(h_{re}) = 3,2 (\log 11,75 h_{re})^2 - 4,97 \text{ dB} \quad \text{para } f > 300 \text{ MHz}$$

# Modelo de Hata – Modificações

- Perda no caminho em área suburbana:

$$L_{50}(dB) = L_{50}(\text{urbano})(dB) - 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4$$

- Perda no caminho em áreas rurais abertas:

$$L_{50}(dB) = L_{50}(\text{urbano})(dB) - 4,78(\log f)^2 + 18,33 \log f - 40,94$$

- Valores práticos significativos

# Cálculo da potência recebida

- Todos devem estar em dB ou dBm:

$$P_r = P_t + G_r + G_t - L_{50}$$

- Lembre-se que dB + dBm = dBm

# Exercício

1) Utilizando o modelo de Hata, calcule a perda total, em dB, de um enlace móvel com raio médio de 1 km, operando em 800 MHz em área urbana. As antenas da ERB e terminal do usuário têm alturas respectivas de 40 m e 1 m. Considere um ganho de 9 dB para a antena da ERB e ganho de 3 dB para a antena do móvel. Assuma que a região tem características de cidade de grande porte.

# Exercício

2) Calcule a potência recebida utilizando o modelo de Hata, em um enlace com distância de 20 km, operando em 1000 MHz em área suburbana. As antenas têm alturas  $h_{te} = 70$  m e  $h_{re} = 1,8$  m. Os ganhos são  $G_t = G_r = 10$  dB. Considere que a potência transmitida é 1kW. Assuma que a região tem características de cidade de pequeno porte.

# Modelo Cost231 (Hata estendido)

- Estender o modelo Hata até 2 GHz.

$$L_{50}(\text{urbano})(dB) = 46,3 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + \\ + (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d + C_M$$

- $a(h_{re})$ : como definido anteriormente.
- $C_M$ :
  - 0 dB para cidade de tamanho médio e áreas suburbanas;
  - 3 dB para centros metropolitanos.

# Modelo Cost231 – Restrições

- $f$ : 1500 MHz a 2000 MHz;
- $h_{te}$ : 30 m a 200 m;
- $h_{re}$ : 1 m a 10 m;
- $d$ : 1 km a 20 km.

# Exercício

1) Calcule a perda total usando o Modelo de Hata-estendido para um ambiente de cidade grande (metropolitana). Considere  $f = 1800$  MHz,  $h_{te} = 40$  m,  $h_{re} = 3$  m.