

# Propagação

---

- **Reflexão:** Ocorre quando a onda propagada se encontra com objetos muito grandes quando comparados com o comprimento de onda;
- **Difração:** Ocorre quando o caminho entre o transmissor e o receptor é obstruído por uma superfície que tem irregularidades pontiagudas, provocando uma curvatura na onda;
- **Espalhamento:** Ocorre quando o meio através do qual a onda se propaga consiste de objetos com dimensões muito pequenas quando comparadas com o comprimento de onda.

# Modelos de Propagação

---

- **Modelos de larga escala:**
  - Modelos para a predição da potência média do sinal numa distância de separação arbitrária entre transmissor e receptor (perda de percurso);
  - A distância entre transmissor e receptor pode ser da ordem de centenas ou milhares de metros;

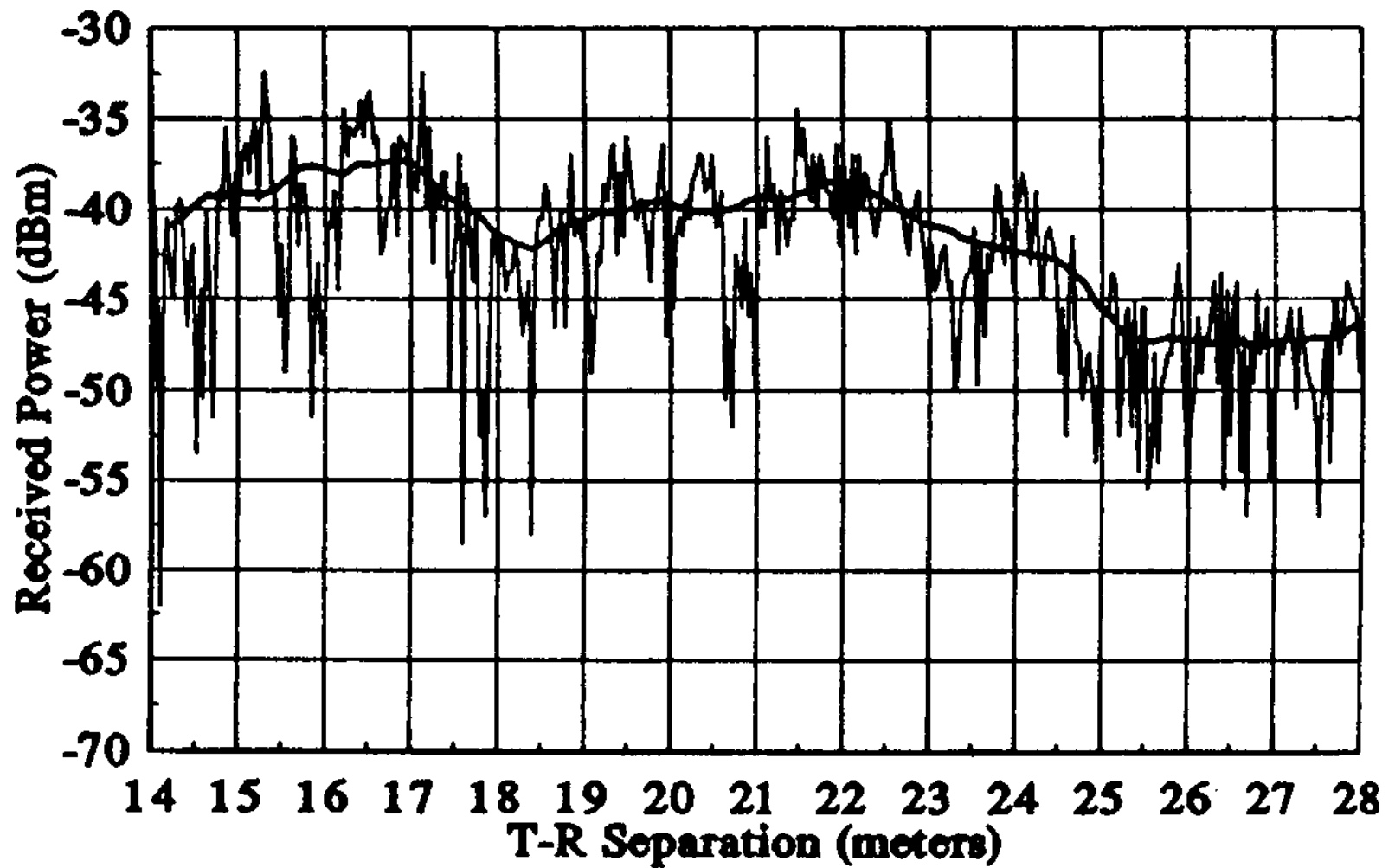
# Modelos de Propagação

---

- **Modelos de pequena escala:**
  - Modelos que caracterizam as variações rápidas da potência do sinal em deslocamentos de distâncias ou durações de tempo muito curtos;
  - As variações de distância são da ordem de poucos comprimentos de onda;
  - As durações do tempo são da ordem de segundos.

# Exemplo

---



---

# Propagação em Larga Escala

# Propagação no Espaço Livre

---

- Propagação no Espaço Livre
  - É o modelo utilizado para predição da potência do sinal recebido quando não existe obstáculo entre a antena transmissora e receptora
- Exemplo de Sistemas
  - Sistemas de comunicação via satélite
  - Enlaces de microondas

# Propagação no Espaço Livre

---

- Propagação no Espaço Livre
  - Modelo de Friis

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}$$

$d$  = distância T-R

$G$  = ganho da antena

$\lambda$  = comprimento de onda

$P_t$  = potência de transmissão

$L$  = fator de perda do sistema

# Propagação no Espaço Livre

---

- Propagação no Espaço Livre
  - **O modelo de Friis só é válido para valores de distância que são bem maiores que o comprimento de onda ou a dimensão física da antena**

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad d \gg \lambda$$



# Propagação no Espaço Livre

---

- Propagação no Espaço Livre

- **Perda de Percurso (Path Loss)**  $L = 1$

$$PL \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} = -10 \log_{10} \left[ \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right]$$

$$PL \text{ (dB)} = -10 \log_{10} \left[ \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] \quad G_t = G_r = 1$$

# Propagação no Espaço Livre

---

- Propagação no Espaço Livre

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left( \frac{d_0}{d} \right)^2$$

$$P_r(d) \text{ dBm} = P_r(d_0) \text{ dBm} + 20 \log_{10} \left( \frac{d_0}{d} \right)$$

- $d_0$  - distância próxima ao transmissor
- $P_0$  - potência próxima ao transmissor
- $d$  - distância entre transmissor e receptor

# Propagação no Espaço Livre

---

- Propagação no Espaço Livre
  - **Distâncias de referência típicas para sistemas operando na faixa de 1-2 GHz**
    - Sistemas indoor - 1 m
    - Sistemas outdoor - 100 m ou 1 km

# Propagação no Espaço Livre

---

- Exercício

- **Potência do transmissor**  $P_t = 50 \text{ W}$
- **Ganho das antenas**  $G_t = G_r = 1$
- **Frequência da portadora**  $f_c = 900 \text{ MHz}$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{900 \cdot 10^6} = \frac{1}{3} \text{ m}$$

# Propagação no Espaço Livre

---

- Determinar
  - **Potência do transmissor em dBm e dBW**
  - **Potência recebida (dBm) para um distância entre transmissor e receptor de**

$$d = 100 \text{ m}$$

$$d = 10 \text{ km}$$

# Propagação no Espaço Livre

---

- Solução

- **Potência do transmissor (dBm)**

$$P_t \text{ (dBm)} = 10 \log_{10} \left[ \frac{P_t \text{ (mW)}}{1 \text{ mW}} \right]$$

$$P_t \text{ (dBm)} = 10 \log_{10} \left[ \frac{50000 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} \right] \approx 47 \text{ dBm}$$

# Propagação no Espaço Livre

---

- Solução
  - **Potência do transmissor (dBW)**

$$P_t \text{ (dBW)} = 10 \log_{10} \left[ \frac{P_t \text{ (W)}}{1 \text{ W}} \right]$$

$$P_t \text{ (dBm)} = 10 \log_{10} [50] \approx 17 \text{ dBW}$$

# Propagação no Espaço Livre

---

- Solução

- **Potência recebida (dBm) para  $d=100 \text{ m}$**

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

$$P_r = \frac{50 (1) (1) (1/3)^2}{(4\pi)^2 (100)^2 (1)} = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ W} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mW}$$



# Propagação no Espaço Livre

---

- Solução

- **Potência recebida (dBm) para  $d=100\text{ m}$**

$$P_r \text{ (dBm)} = 10 \log_{10} \left[ \frac{P_r \text{ (mW)}}{1 \text{ mW}} \right]$$

$$P_r \text{ (dBm)} = 10 \log_{10} [3,5 \cdot 10^{-3}] \approx -24,5 \text{ dBm}$$

# Propagação no Espaço Livre

---

- Solução

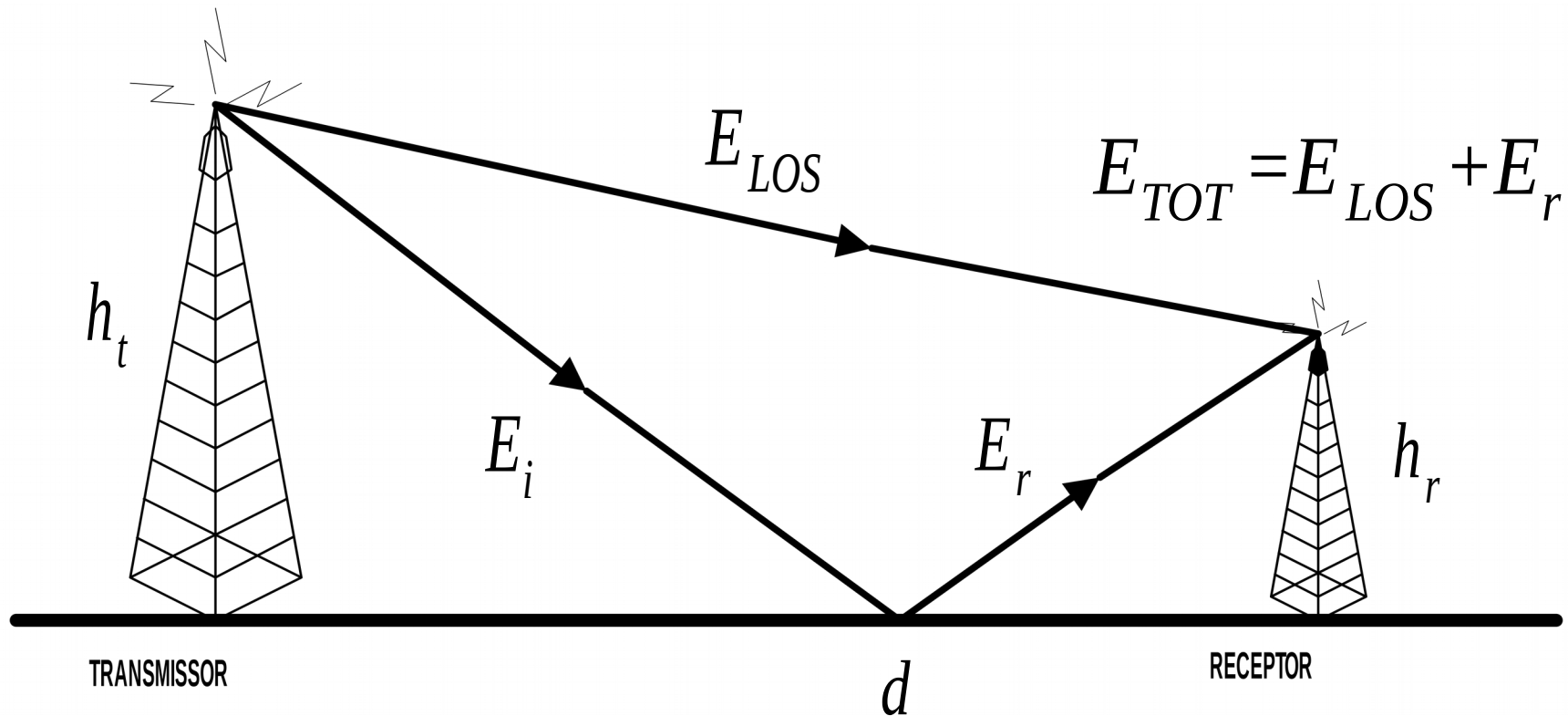
- **Potência recebida (dBm) para  $d=10$  km**

$$P_r (10 \text{ km}) = -24,5 \text{ dBm} - 40 \text{ dB}$$

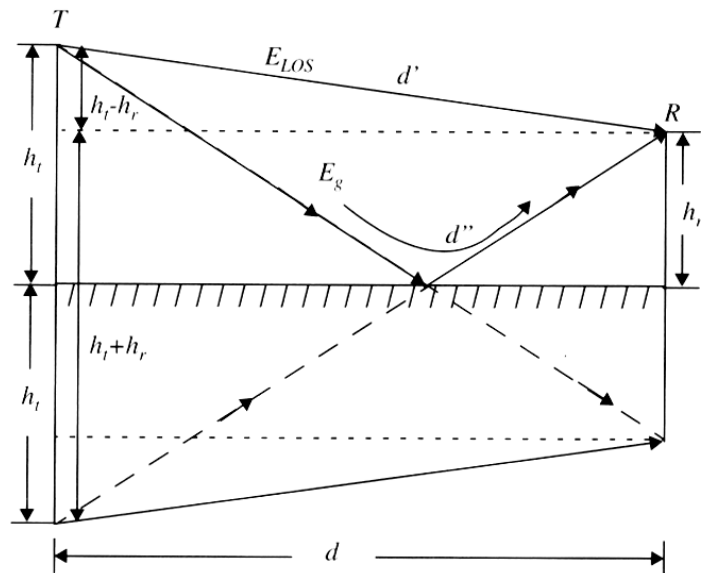
$$P_r (10 \text{ km}) = -64,5 \text{ dBm}$$

# Modelo de 2 Raios

- Modelo de Reflexão no Solo (2 Raios)



# Modelo de 2 Raios



$$\Delta = d'' - d' = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2}$$

$$\Delta = d'' - d' \approx \frac{2h_t h_r}{d}$$

**Figure 4.8** The method of images is used to find the path difference between the line-of-sight and the ground reflected paths.

# Modelo de 2 Raios

---

- Modelo de Reflexão no Solo (2 Raios)

$$E_{TOT} = E_{LOS} + E_r$$

$$E_{TOT}(d) \approx \frac{2 E_0 d_0}{d} \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}$$

$$P_r(d) = \frac{|E|^2}{120 \pi} \frac{G_r \lambda^2}{4 \pi} \quad \text{Watts}$$

## Modelo de 2 Raios

---

- Modelo de Reflexão no Solo (2 Raios)

$$P_r(d) = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4}$$

$$PL \text{ (dB)} = 40 \log_{10}(d) - [10 \log_{10}(G_t) + 10 \log_{10}(G_r) + 20 \log_{10}(h_t) + 20 \log_{10}(h_r)]$$

# Modelo de 2 Raios

---

- Exercício

- **Ganho da antena receptora**  $G_r = 2,55 \text{ dB}$
- **Comprimento da antena receptora**  $L = \lambda / 4$
- **Distância do móvel até a ERB**  $d = 5 \text{ km}$
- **Frequência da portadora**  $f_c = 900 \text{ MHz}$

# Modelo de 2 Raios

---

- Exercício
  - **O campo elétrico medido a uma distância  $d_0 = 1$  km do transmissor é**

$$E_0 = 10^{-3} \text{ V/m}$$



# Modelo de 2 Raios

---

- Determinar
  - O comprimento da antena de recepção
  - A potência recebida pelo móvel usando o modelo de reflexão no solo
  - Considerar a altura das antenas como sendo

$$h_t = 50 \text{ m}$$

$$h_r = 1,5 \text{ m}$$

# Modelo de 2 Raios

---

- Solução
  - **Comprimento e o ganho da antena de recepção**

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{900 \cdot 10^6} = \frac{1}{3} \text{ m}$$

$$L = \lambda / 4 = \frac{4}{3} = 0,0833 \text{ m} = 8,33 \text{ cm}$$

# Modelo de 2 Raios

---

- Solução

- **A potência recebida pelo móvel**

$$E_R(d) \approx \frac{2 E_0 d_0}{d} \frac{2 \pi h_t h_r}{\lambda d}$$

$$E_R(d) = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 1000}{5 \cdot 10^3} \left[ \frac{2 \pi \cdot 50 \cdot 1,5}{0,333 \cdot (5 \cdot 10^3)} \right]$$

$$E_R(d) = 113,1 \cdot 10^{-6} \text{ V/m}$$

## Modelo de 2 Raios

---

- Solução

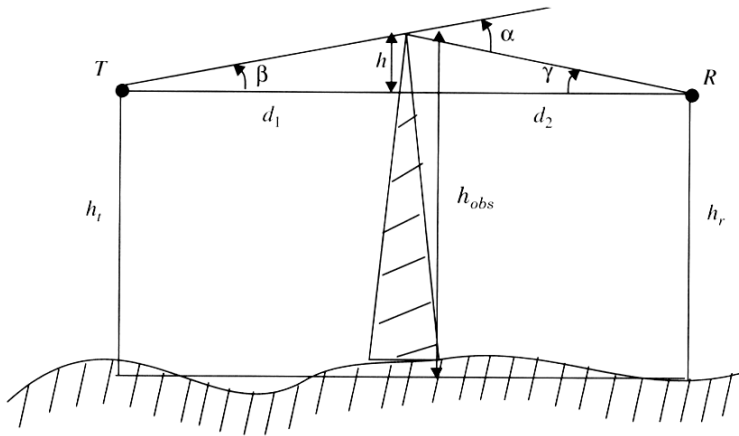
- **A potência recebida pelo móvel**

$$P_r(d) = \frac{|E|^2}{120 \pi} \frac{G_r \lambda^2}{4 \pi} \quad \text{Watts}$$

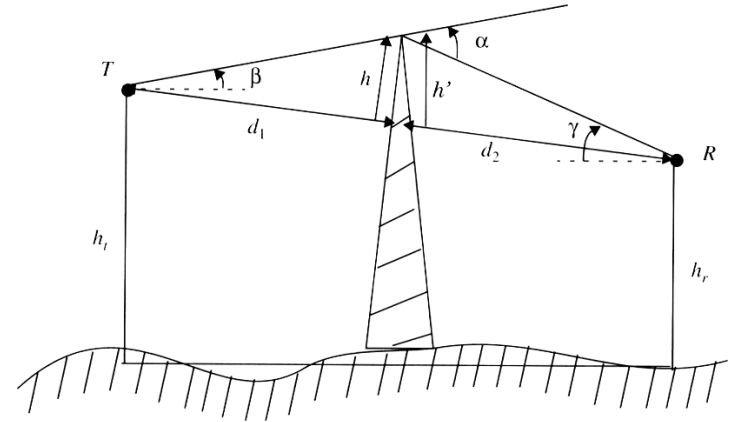
$$P_r(d) = \frac{|113,1 \cdot 10^{-6}|^2}{120 \pi} \frac{1,8 \cdot (0,333)^2}{4 \pi}$$

$$P_r(d=5 \text{ km}) = 5,4 \cdot 10^{-13} \text{ W} = -122,68 \text{ dBW}$$

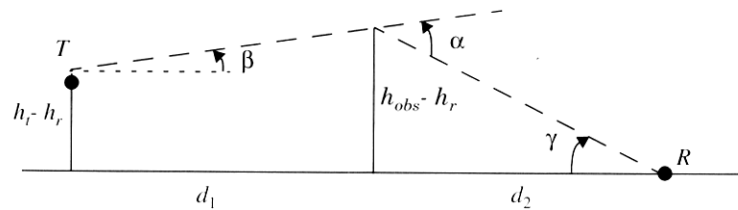
# Modelo de Difração



(a) Knife-edge diffraction geometry. The point  $T$  denotes the transmitter and  $R$  denotes the receiver, with an infinite knife-edge obstruction blocking the line-of-sight path.



(b) Knife-edge diffraction geometry when the transmitter and receiver are not at the same height. Note that if  $\alpha$  and  $\beta$  are small and  $h \ll d_1$  and  $d_2$ , then  $h$  and  $h'$  are virtually identical and the geometry may be redrawn as shown in Figure 4.10c.



(c) Equivalent knife-edge geometry where the smallest height (in this case  $h_r$ ) is subtracted from all other heights.

# Modelo de Difração

---

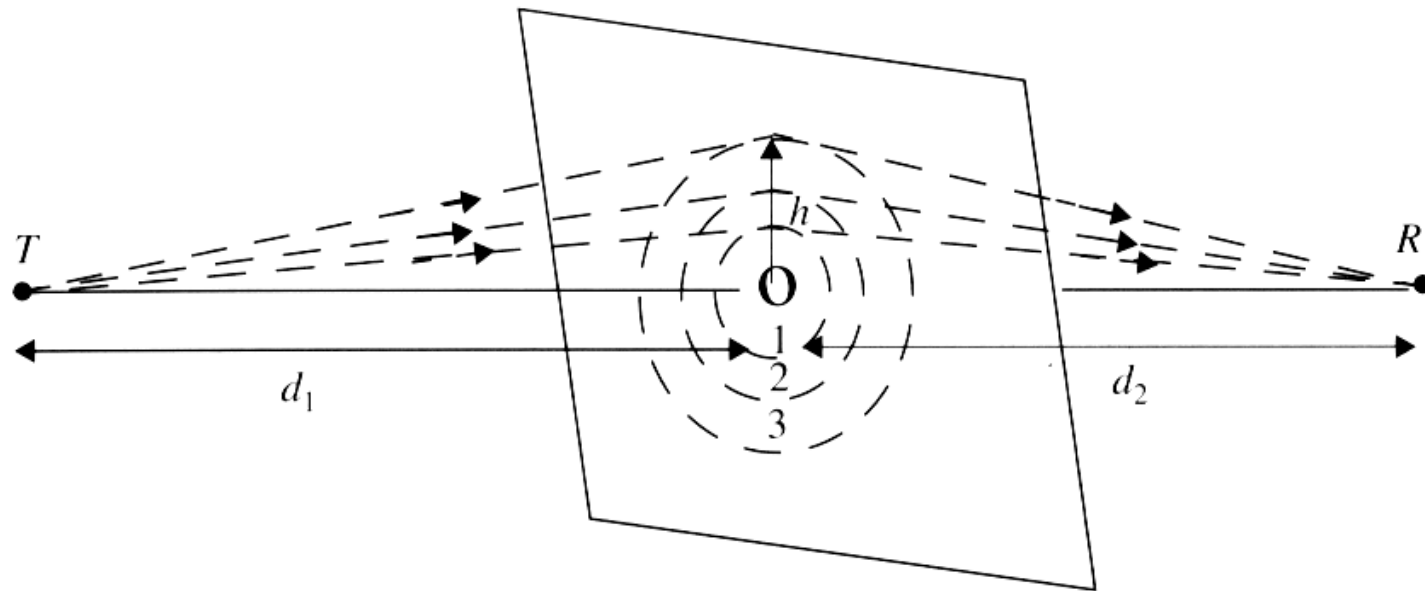
- Parâmetro de Difração de Fresnel

$$v = h \sqrt{\frac{2 (d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} = \alpha \sqrt{\frac{2 d_1 d_2}{\lambda (d_1 + d_2)}}$$

$$\alpha \approx h \cdot \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}$$

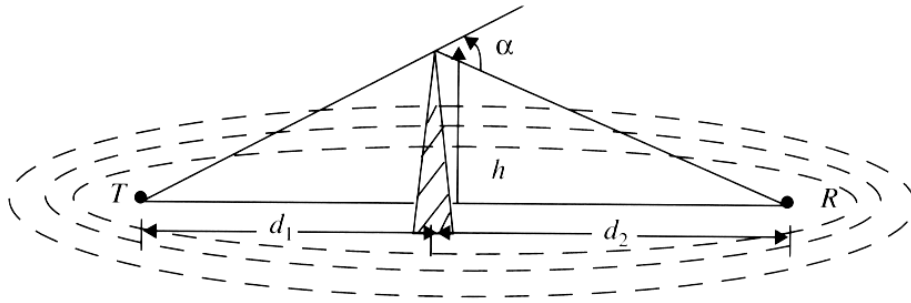
# Modelo de Difração

---

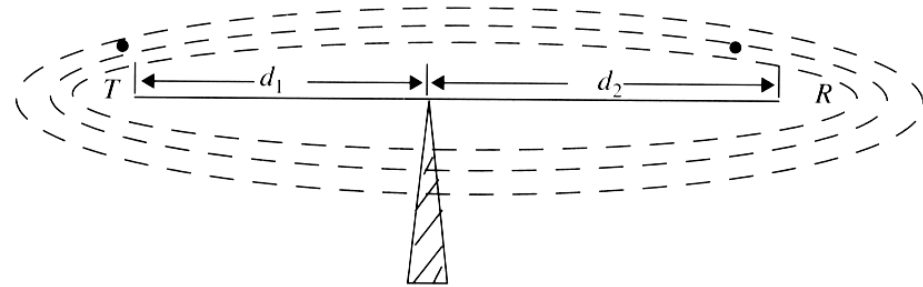


**Figure 4.11** Concentric circles which define the boundaries of successive Fresnel zones.

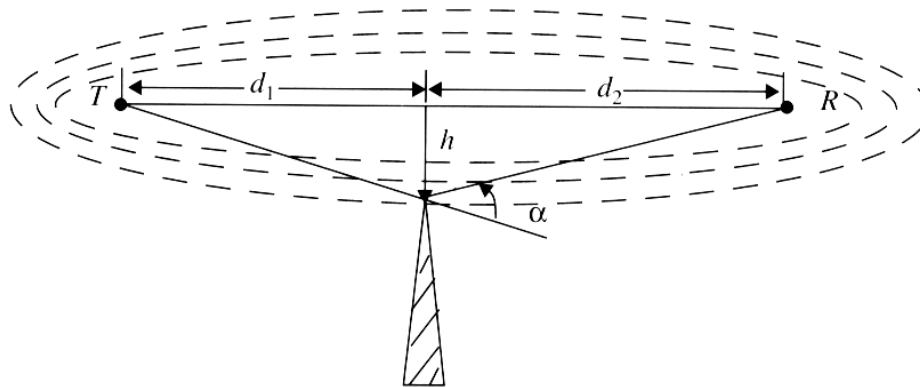
# Modelo de Difração



(a)  $\alpha$  and  $v$  are positive, since  $h$  is positive



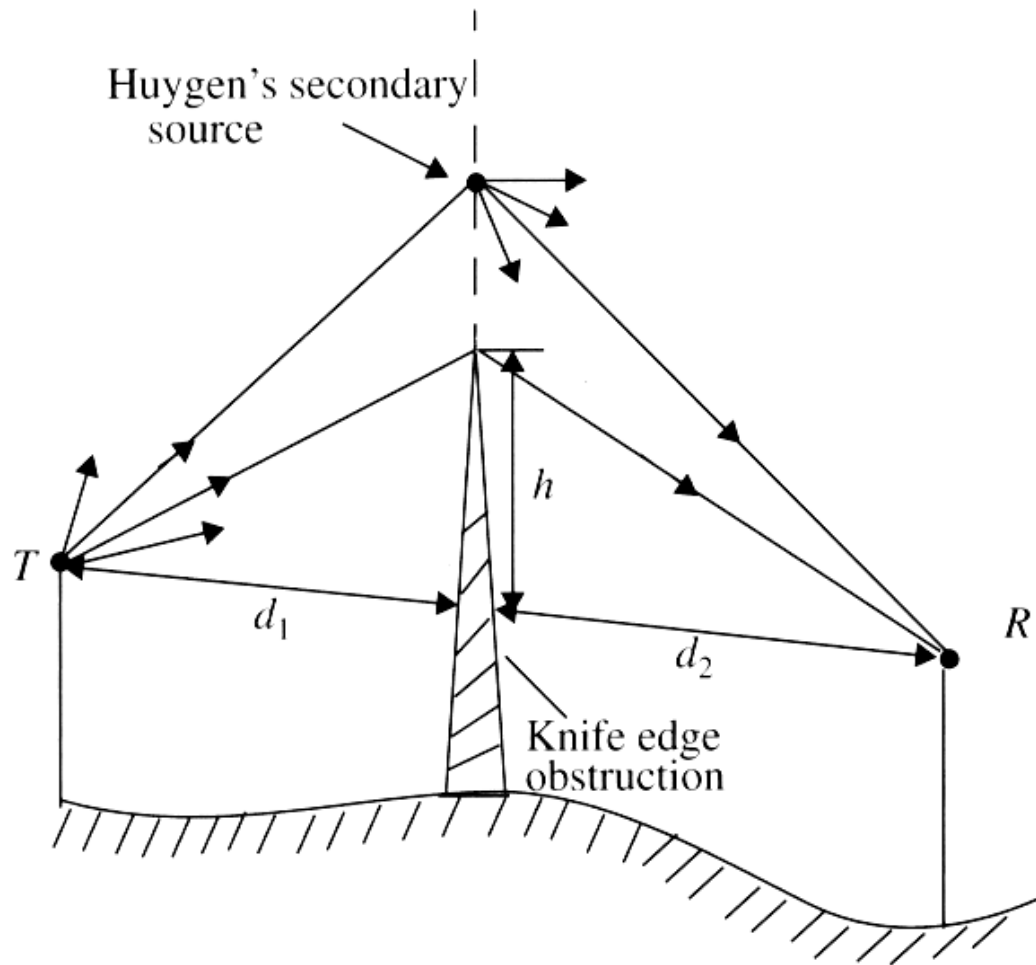
(b)  $\alpha$  and  $v$  are equal to zero, since  $h$  is equal to zero



(c)  $\alpha$  and  $v$  are negative, since  $h$  is negative



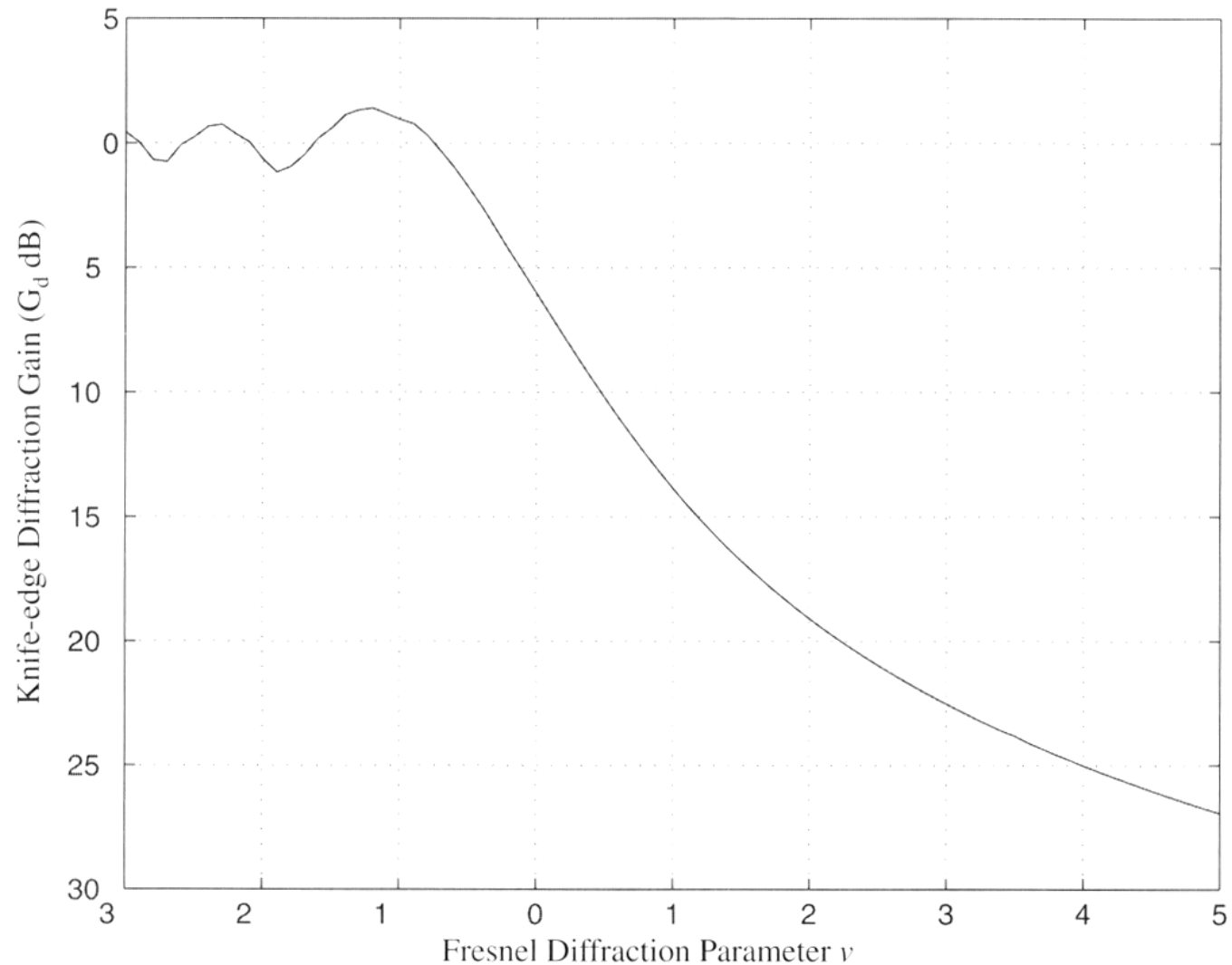
# Modelo Gume de Faca



**Figure 4.13** Illustration of knife-edge diffraction geometry. The receiver  $R$  is located in the shadow region.

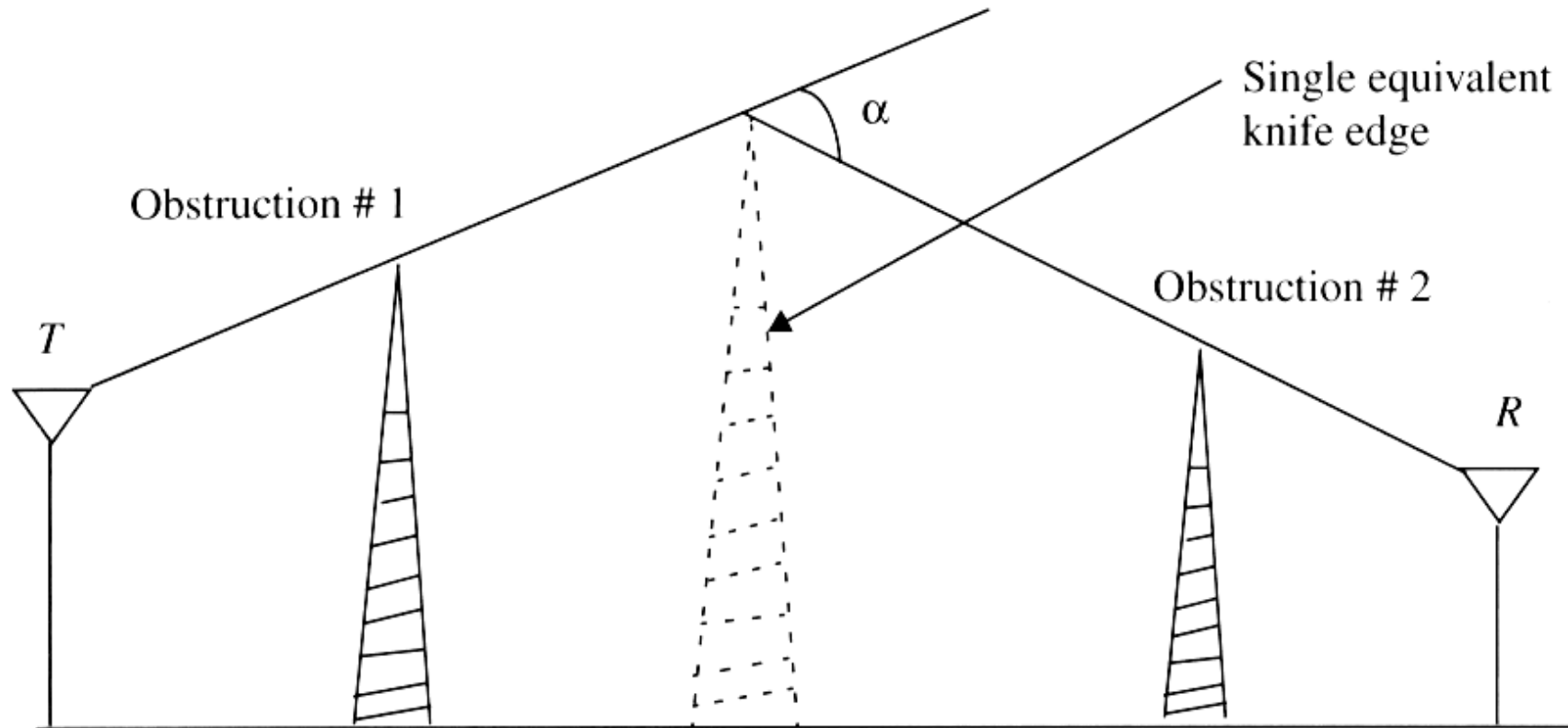
# Solução aproximada - Gume de faca

---



**Figure 4.14** Knife-edge diffraction gain as a function of Fresnel diffraction parameter  $v$ .

# Difração com múltiplos gumes de faca – Modelo equivalente



**Figure 4.15** Bullington's construction of an equivalent knife edge [from [Bul47] © IEEE].

## Solução aproximada – Gume de faca

---

- Parâmetro de Difração de Fresnel

$$G_d(\text{dB}) = 0 \quad v \leq -1$$

$$G_d(\text{dB}) = 20 \log_{10}(0,5 - 0,62 \, v) \quad -1 \leq v \leq 0$$

$$G_d(\text{dB}) = 20 \log_{10} [0,5 \exp(-0,95 \, v)] \quad 0 \leq v \leq 1$$

# Modelo de Difração

---

- Parâmetro de Difração de Fresnel

$$G_d(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left[ 0,4 - \sqrt{0,1184 - (0,38 - 0,1 v)^2} \right]$$

$$1 \leq v \leq 2,4$$

$$G_d(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left( \frac{0,225}{v} \right) \quad v > 2,4$$

# Modelo de Difração

---

- Exercício

- **Calcular a perda de difração para um obstáculo com alturas**

$$h = 25 \text{ m} \qquad h = 0 \text{ m} \qquad h = -25 \text{ m}$$

- **Considere os seguintes parâmetros**

$$\lambda = \frac{1}{3} \text{ m} \qquad d_1 = 1 \text{ km} \qquad d_2 = 1 \text{ km}$$

# Modelo de Difração

---

- Solução

- **Para**  $h = 25 \text{ m}$

$$v = h \sqrt{\frac{2 (d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

$$v = 25 \sqrt{\frac{2 (1000 + 1000)}{1/3 \cdot 1000 \cdot 1000}} = 2,74$$

$$G_d(\text{dB}) = -21,7 \text{ dB}$$

# Modelo de Difração

---

- Solução

- **Para**  $h = 0$  m

$$G_d(\text{dB}) = -6 \text{ dB}$$

- **Para**  $h = -25$  m

$$G_d(\text{dB}) = 0 \text{ dB}$$



# Modelos Práticos

---

- Modelo logaritmo de perdas (Log-Distância)

Os modelos de propagação baseados em medidas e os modelos teóricos, indicam que a potência do sinal recebido decresce logaritmicamente com a distância.

$$\bar{P}_L(d) = \bar{P}_L(d_0) + 10n \log_{10} \left( \frac{d_0}{d} \right)$$

# Modelos Práticos

---

- Expoente – Log-Distância:

**Table 4.2** Path Loss Exponents for Different Environments

Environment	Path Loss Exponent, $n$
Free space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 to 5
In building line-of-sight	1.6 to 1.8
Obstructed in building	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

# Exercícios

---

- Utilizando o modelo de propagação Log-Distância, determine o coeficiente de perda de percurso para os seguintes conjuntos de medidas.

(a)

d(m)	RSSI (dBm)
100	0
200	-22
1000	-38
3000	-75

$$PL(d) \text{ dB} = PL(d_0) + 10n \log_{10} \frac{d}{d_0}$$

$$J(n) = \sum_{i=1}^k (P_i - E_i)^2$$

$$E_i = P_0 - 10n \log_{10}(d_i/d_0)$$

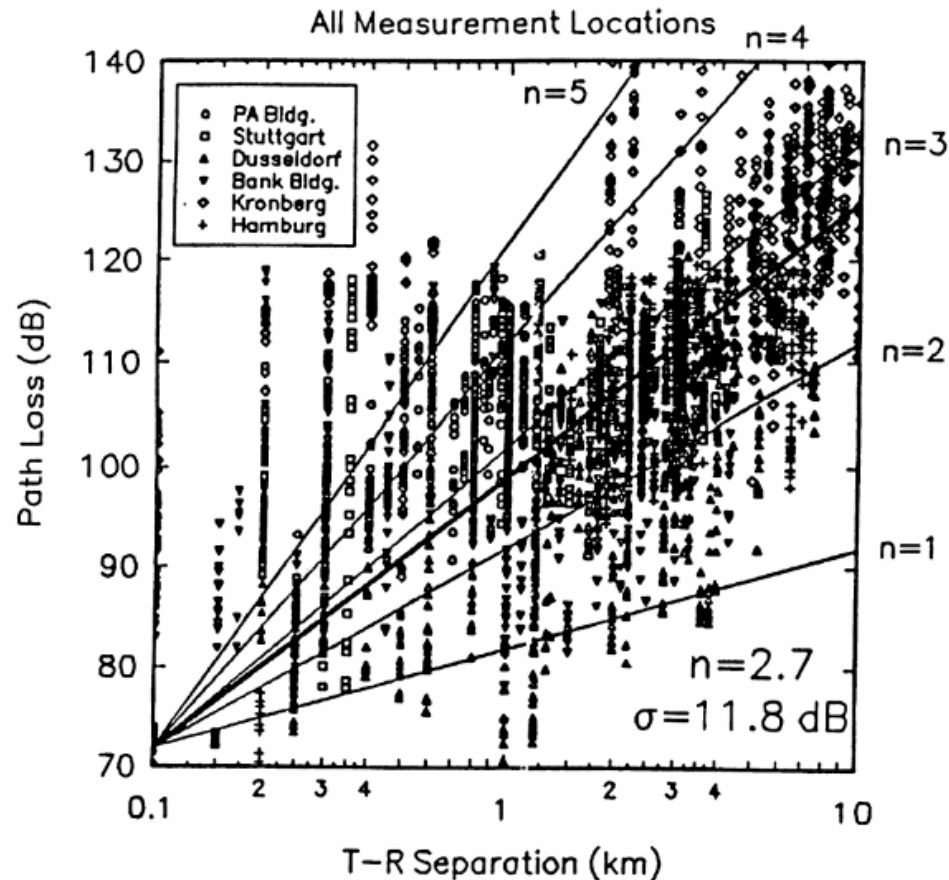
$$P_0 = P_t - PL(d_0)$$

(b)

d(m)	RSSI (dBm)
2	-52
3	-55
5	-56
7	-67
9	-66
11	-78
13	-70
15	-80
17	-83

# Sombreadimento Log-normal

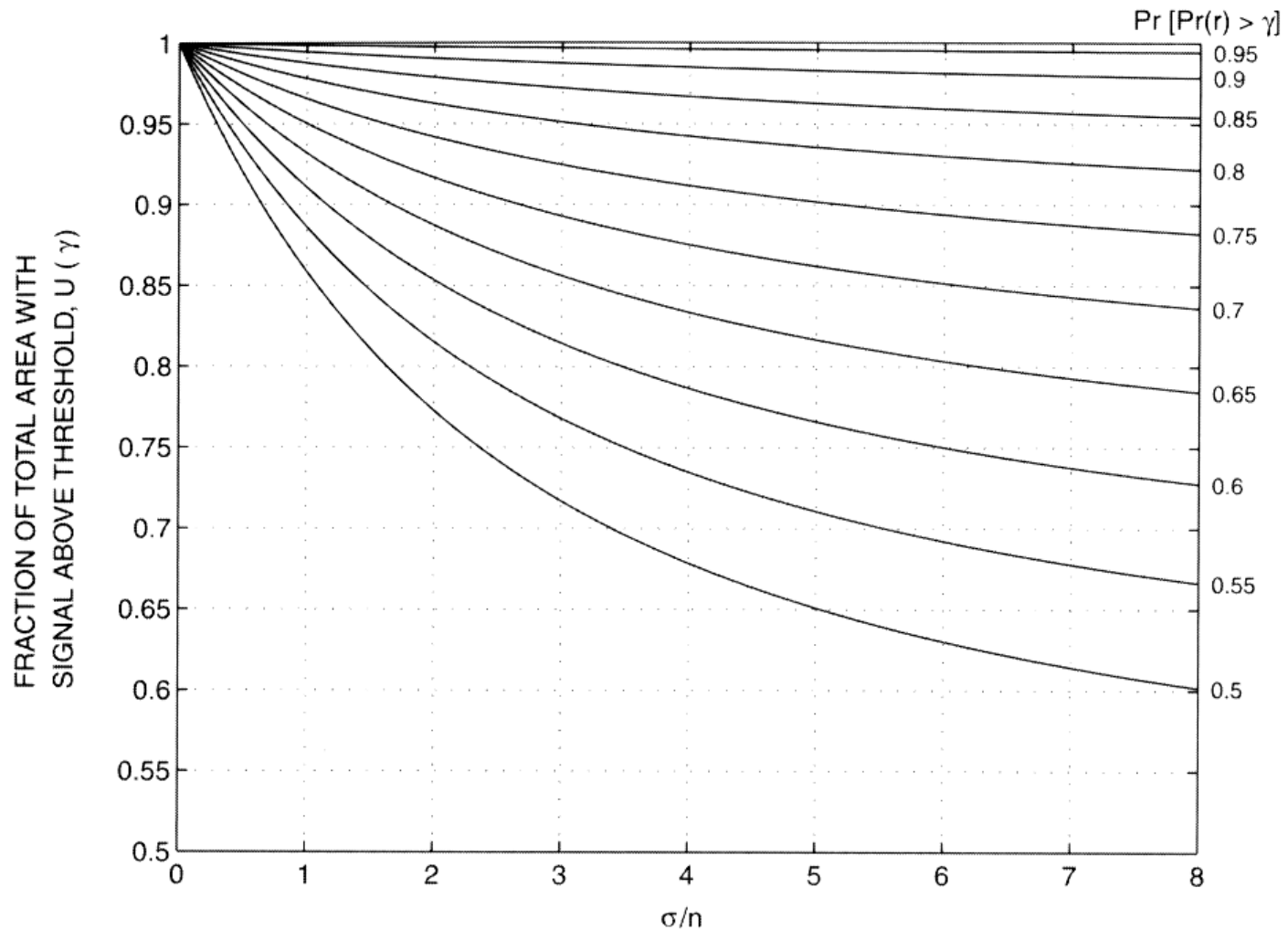
$$PL(d)[dB] = \overline{PL}(d) + X_{\sigma} = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma}$$



$$Pr[P_r(d) > \gamma] = Q\left(\frac{\gamma - \overline{P_r(d)}}{\sigma}\right)$$

$$Pr[P_r(d) < \gamma] = Q\left(\frac{\overline{P_r(d)} - \gamma}{\sigma}\right)$$

# Porcentagem de área de cobertura



**Figure 4.18** Family of curves relating fraction of total area with signal above threshold,  $U(\gamma)$  as a function of probability of signal above threshold on the cell boundary.

## Exercício 4.9 – Cap 4. Rappaport

---

Exercício 4.9 – Cap 4. Rappaport, página 94

# Modelos Práticos - outdoor

---

- Modelo de Okumura:

Modelo Empírico, baseado em medições.

Casos em que se aplica:

- Faixa de Frequência: entre 150MHz a 1920MHz (Pode ser estendida até 3GHz);
- Distâncias: 1Km a 100Km;
- Altura da antena da ERB: 30m a 1000m.

A partir dos dois pontos de interesse (Tx e Rx), as perdas no espaço livre são obtidas primeiro. Em seguida, diversos fatores são adicionados ou subtraídos, conforme o caso.

# Modelos Práticos - outdoor

---

O modelo de Okumura é dado por:

$$L \text{ (dB)} = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$$

Onde,

$L(\text{dB})$  = Perda média;

$L_F$  = Perda no espaço livre;

$A_\mu$  = Atenuação mediana no espaço livre

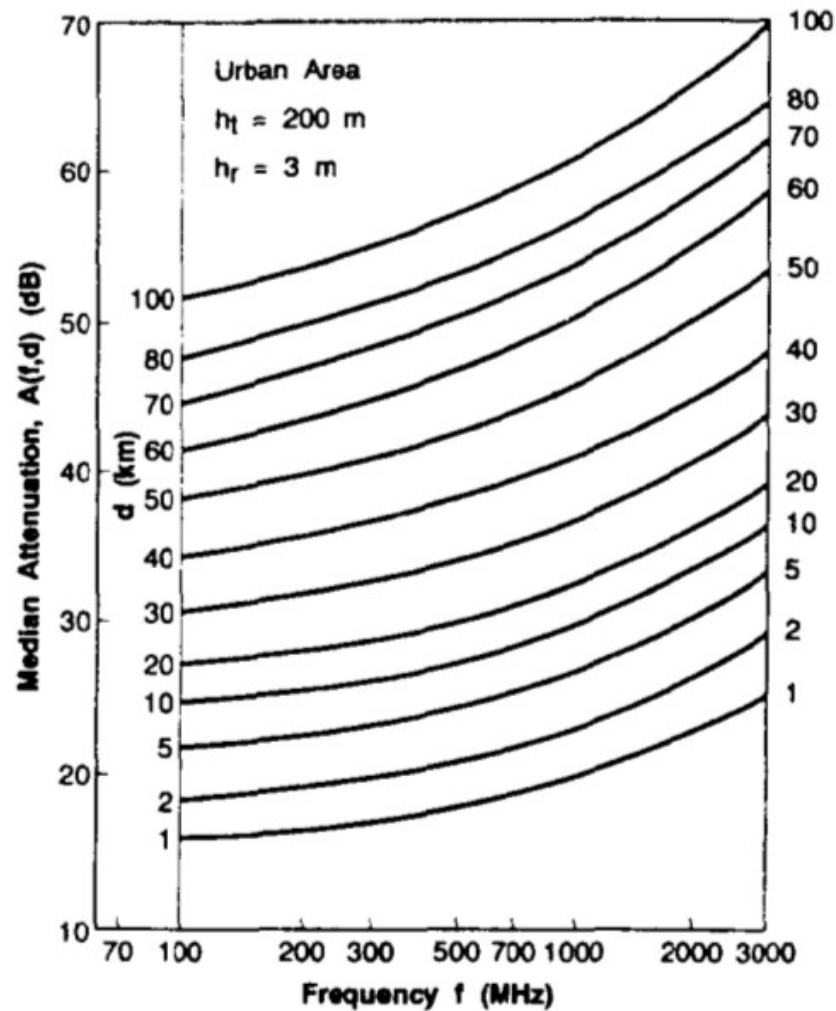
$G(ht)$  = Fator de ganho da altura da antena da ERB;

$G(hr)$  = Fator de ganho da altura da antena da EM;

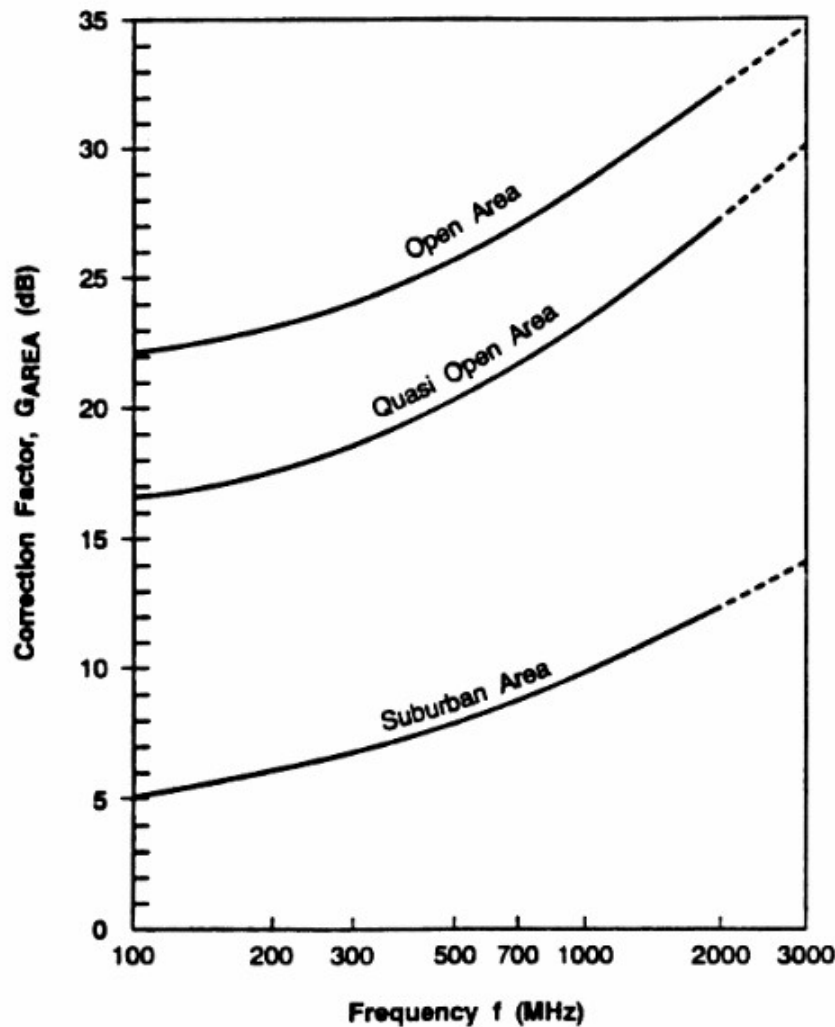
$G_{\text{área}}$  = Ganho devido ao tipo de ambiente



# Modelos Práticos - outdoor



# Modelos Práticos - outdoor



$$G(h_{te}) = 20\log\left(\frac{h_{te}}{200}\right)$$

$$1000 \text{ m} > h_{te} > 30 \text{ m}$$

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

$$h_{re} \leq 3 \text{ m}$$

$$G(h_{re}) = 20\log\left(\frac{h_{re}}{3}\right)$$

$$10 \text{ m} > h_{re} > 3 \text{ m}$$

# Modelos Práticos - outdoor

---

- Modelo de Hata:
  - O modelo de Okumura não pode ser facilmente implementado, pois envolve algumas curvas.
  - O modelo de Hata é uma formulação empírica a partir das curvas de Okumura e é válida para:
    - frequências entre 150 MHz a 1500 MHz;
    - Altura da antena transmissora entre 30m e 300m;
    - Distâncias entre Tx-Rx de 1Km a 20Km.

## Modelos Práticos - outdoor

---

- Fórmula padrão para o cálculo da perda média em ambiente urbano:

$$L = 69.55 + 26.16\log(f) - 13.82\log(h_t) - A(h_r) \\ + (44.9 - 6.55\log(h_t))\log(d) \quad \text{dB}$$

Onde  $A(h_r)$  é um fator de correção para a altura efetiva da antena da EM.

# Modelos Práticos - outdoor

---

O fator  $A(h_r)$  é calcula da seguinte maneira:

- Para cidades pequenas ou médias

$$A(h_r) = (1.1 \log f - 0.7) h_r - (1.56 \log f - 0.8) \text{ dB}$$

Onde  $h_r$  tem que estar entre 1m e 10m

- Para cidades grandes

$$A(h_r) = 8.29 \log^2(1.54 h_r) - 1.1 \text{ dB} \quad (f \leq 300 \text{ MHz})$$

$$A(h_r) = 3.2 \log^2(11.75 h_r) - 4.97 \text{ dB} \quad (f \geq 300 \text{ MHz})$$

# Modelos Práticos - outdoor

---

- Para áreas suburbanas a fórmula de Hata é modificada para:

$$L_{sub} = L - 20[\log(f_c / 28)]^2 - 5.4 \text{ dB}$$

- Para áreas rurais:

$$L_{rural} = L - 4.78[\log(f_c)]^2 + 18.33\log(f_c) - 40.94 \text{ dB}$$

Este modelo é útil para sistemas celulares de grande porte, mas não se aplica muito a sistemas de comunicação pessoal que têm células com raios em torno de 1Km

# Outros Modelos

---

- Modelo COST 231: Extensão do modelo de Hata para 2GHz
- Modelo de Walfisch e Bertoni: Considera o impacto dos telhados e a altura dos prédios
- Modelo de microcélula PCS de banda larga: Mostra que o modelo de 2 raios é uma boa estimativa para microcélulas com LOS e o modelo log-distância para ambientes NLOS

# Modelos Práticos - indoor

---

- Perdas devido a divisórias (em um mesmo pavimento);
- Perdas entre dois ou mais pavimentos



**Table 4.3** Average Signal Loss Measurements Reported by Various Researchers for Radio Paths Obstructed by Common Building Material

Material Type	Loss (dB)	Frequency	Reference
All metal	26	815 MHz	[Cox83b]
Aluminum siding	20.4	815 MHz	[Cox83b]
Foil insulation	3.9	815 MHz	[Cox83b]
Concrete block wall	13	1300 MHz	[Rap91c]
Loss from one floor	20-30	1300 MHz	[Rap91c]
Loss from one floor and one wall	40-50	1300 MHz	[Rap91c]
Fade observed when transmitter turned a right angle corner in a corridor	10-15	1300 MHz	[Rap91c]
Light textile inventory	3-5	1300 MHz	[Rap91c]
Chain-like fenced in area 20 ft high containing tools, inventory, and people	5-12	1300 MHz	[Rap91c]
Metal blanket — 12 sq ft	4-7	1300 MHz	[Rap91c]
Metallic hoppers which hold scrap metal for recycling — 10 sq ft	3-6	1300 MHz	[Rap91c]
Small metal pole — 6" diameter	3	1300 MHz	[Rap91c]
Metal pulley system used to hoist metal inventory — 4 sq ft	6	1300 MHz	[Rap91c]
Light machinery < 10 sq ft	1-4	1300 MHz	[Rap91c]
General machinery — 10 - 20 sq ft	5-10	1300 MHz	[Rap91c]
Heavy machinery > 20 sq ft	10-12	1300 MHz	[Rap91c]
Metal catwalk/stairs	5	1300 MHz	[Rap91c]
Light textile	3-5	1300 MHz	[Rap91c]
Heavy textile inventory	8-11	1300 MHz	[Rap91c]
Area where workers inspect metal finished products for defects	3-12	1300 MHz	[Rap91c]
Metallic inventory	4-7	1300 MHz	[Rap91c]
Large I-beam — 16 - 20"	8-10	1300 MHz	[Rap91c]
Metallic inventory racks — 8 sq ft	4-9	1300 MHz	[Rap91c]
Empty cardboard inventory boxes	3-6	1300 MHz	[Rap91c]
Concrete block wall	13-20	1300 MHz	[Rap91c]
Ceiling duct	1-8	1300 MHz	[Rap91c]
2.5 m storage rack with small metal parts (loosely packed)	4-6	1300 MHz	[Rap91c]
4 m metal box storage	10-12	1300 MHz	[Rap91c]

**Table 4.3** Average Signal Loss Measurements Reported by Various Researchers for Radio Paths Obstructed by Common Building Material (Continued)

Material Type	Loss (dB)	Frequency	Reference
5 m storage rack with paper products (loosely packed)	2-4	1300 MHz	[Rap91c]
5 m storage rack with large paper products (tightly packed)	6	1300 MHz	[Rap91c]
5 m storage rack with large metal parts (tightly packed)	20	1300 MHz	[Rap91c]
Typical N/C machine	8-10	1300 MHz	[Rap91c]
Semi-automated assembly line	5-7	1300 MHz	[Rap91c]
0.6 m square reinforced concrete pillar	12-14	1300 MHz	[Rap91c]
Stainless steel piping for cook-cool process	15	1300 MHz	[Rap91c]
Concrete wall	8-15	1300 MHz	[Rap91c]
Concrete floor	10	1300 MHz	[Rap91c]
Commercial absorber	38	9.6 GHz	[Vio88]
Commercial absorber	51	28.8 GHz	[Vio88]
Commercial absorber	59	57.6 GHz	[Vio88]
Sheetrock (3/8 in) — 2 sheets	2	9.6 GHz	[Vio88]
Sheetrock (3/8 in) — 2 sheets	2	28.8 GHz	[Vio88]
Sheetrock (3/8 in) — 2 sheets	5	57.6 GHz	[Vio88]
Dry plywood (3/4 in) — 1 sheet	1	9.6 GHz	[Vio88]
Dry plywood (3/4 in) — 1 sheet	4	28.8 GHz	[Vio88]
Dry plywood (3/4 in) — 1 sheet	8	57.6 GHz	[Vio88]
Dry plywood (3/4 in) — 2 sheets	4	9.6 GHz	[Vio88]
Dry plywood (3/4 in) — 2 sheets	6	28.8 GHz	[Vio88]
Dry plywood (3/4 in) — 2 sheets	14	57.6 GHz	[Vio88]
Wet plywood (3/4 in) — 1 sheet	19	9.6 GHz	[Vio88]
Wet plywood (3/4 in) — 1 sheet	32	28.8 GHz	[Vio88]
Wet plywood (3/4 in) — 1 sheet	59	57.6 GHz	[Vio88]
Wet plywood (3/4 in) — 2 sheets	39	9.6 GHz	[Vio88]
Wet plywood (3/4 in) — 2 sheets	46	28.8 GHz	[Vio88]
Wet plywood (3/4 in) — 2 sheets	57	57.6 GHz	[Vio88]
Aluminum (1/8 in) — 1 sheet	47	9.6 GHz	[Vio88]
Aluminum (1/8 in) — 1 sheet	46	28.8 GHz	[Vio88]
Aluminum (1/8 in) — 1 sheet	53	57.6 GHz	[Vio88]

**Table 4.4** Total Floor Attenuation Factor and Standard Deviation  $\sigma$  (dB) for Three Buildings. Each Point Represents the Average Path Loss Over a  $20\lambda$  Measurement Track [Sei92a]

Building	915 MHz FAF (dB)	$\sigma$ (dB)	Number of locations	1900 MHz FAF (dB)	$\sigma$ (dB)	Number of locations
<b>Walnut Creek</b>						
One Floor	33.6	3.2	25	31.3	4.6	110
Two Floors	44.0	4.8	39	38.5	4.0	29
<b>SF PacBell</b>						
One Floor	13.2	9.2	16	26.2	10.5	21
Two Floors	18.1	8.0	10	33.4	9.9	21
Three Floors	24.0	5.6	10	35.2	5.9	20
Four Floors	27.0	6.8	10	38.4	3.4	20
Five Floors	27.1	6.3	10	46.4	3.9	17
<b>San Ramon</b>						
One Floor	29.1	5.8	93	35.4	6.4	74
Two Floors	36.6	6.0	81	35.6	5.9	41
Three Floors	39.6	6.0	70	35.2	3.9	27

**Table 4.5** Average Floor Attenuation Factor in dB for One, Two, Three, and Four Floors in Two Office Buildings [Sei92b]

Building	FAF (dB)	$\sigma$ (dB)	Number of locations
<b>Office Building 1:</b>			
Through One Floor	12.9	7.0	52
Through Two Floors	18.7	2.8	9
Through Three Floors	24.4	1.7	9
Through Four Floors	27.0	1.5	9
<b>Office Building 2:</b>			
Through One Floor	16.2	2.9	21
Through Two Floors	27.5	5.4	21
Through Three Floors	31.6	7.2	21

# Modelos Práticos - indoor

---

- Modelo de perda Log-distância;

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma$$

- Modelo de fator de atenuação

$$\overline{PL}(d)[dB] = \overline{PL}(d_0)[dB] + 10n_{SF} \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + FAF[dB]$$

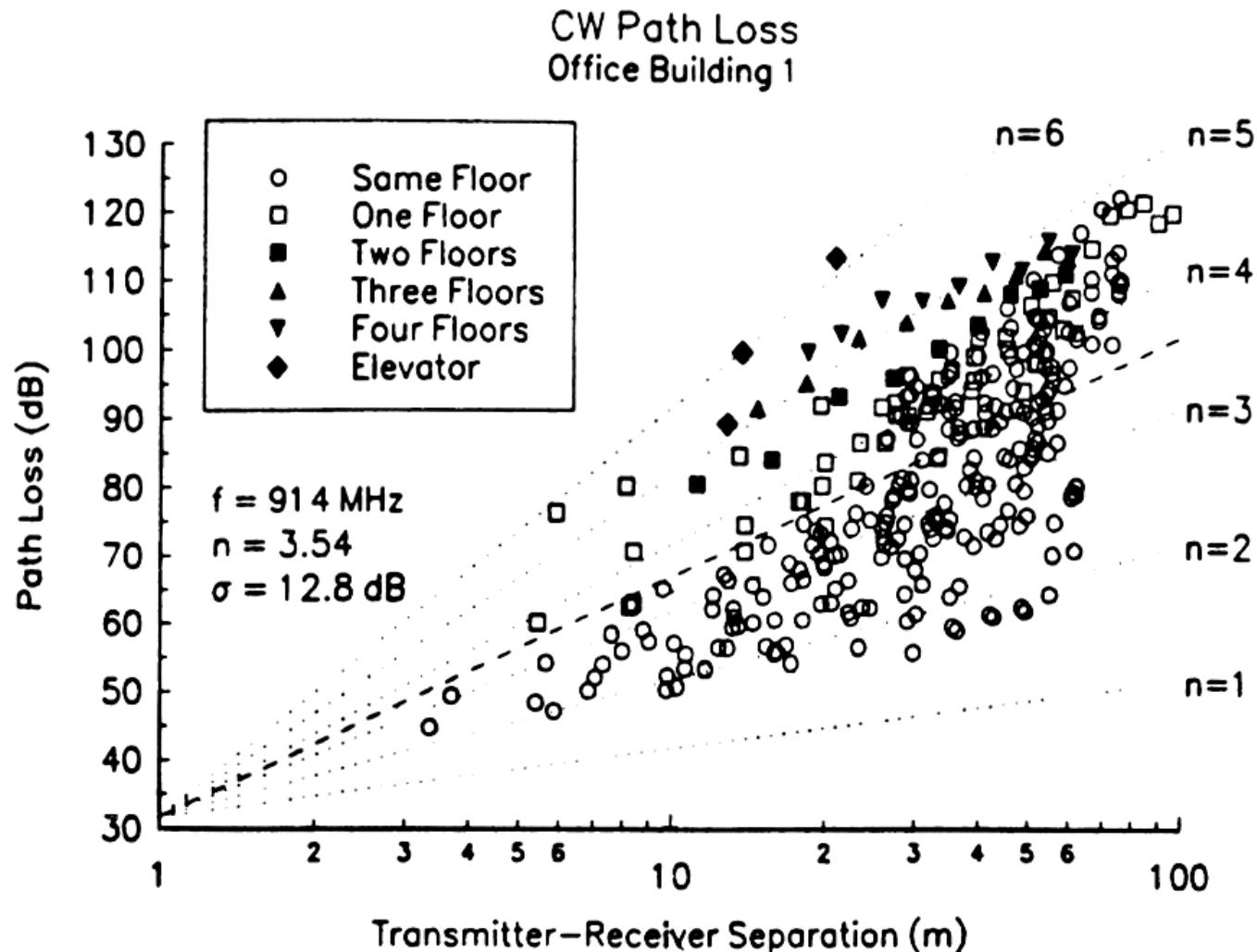
$$\overline{PL}(d)[dB] = \overline{PL}(d_0) + 10n_{MF} \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

# Log-distância

**Table 3.6 Path loss exponent and standard deviation measured in different buildings [And94]**

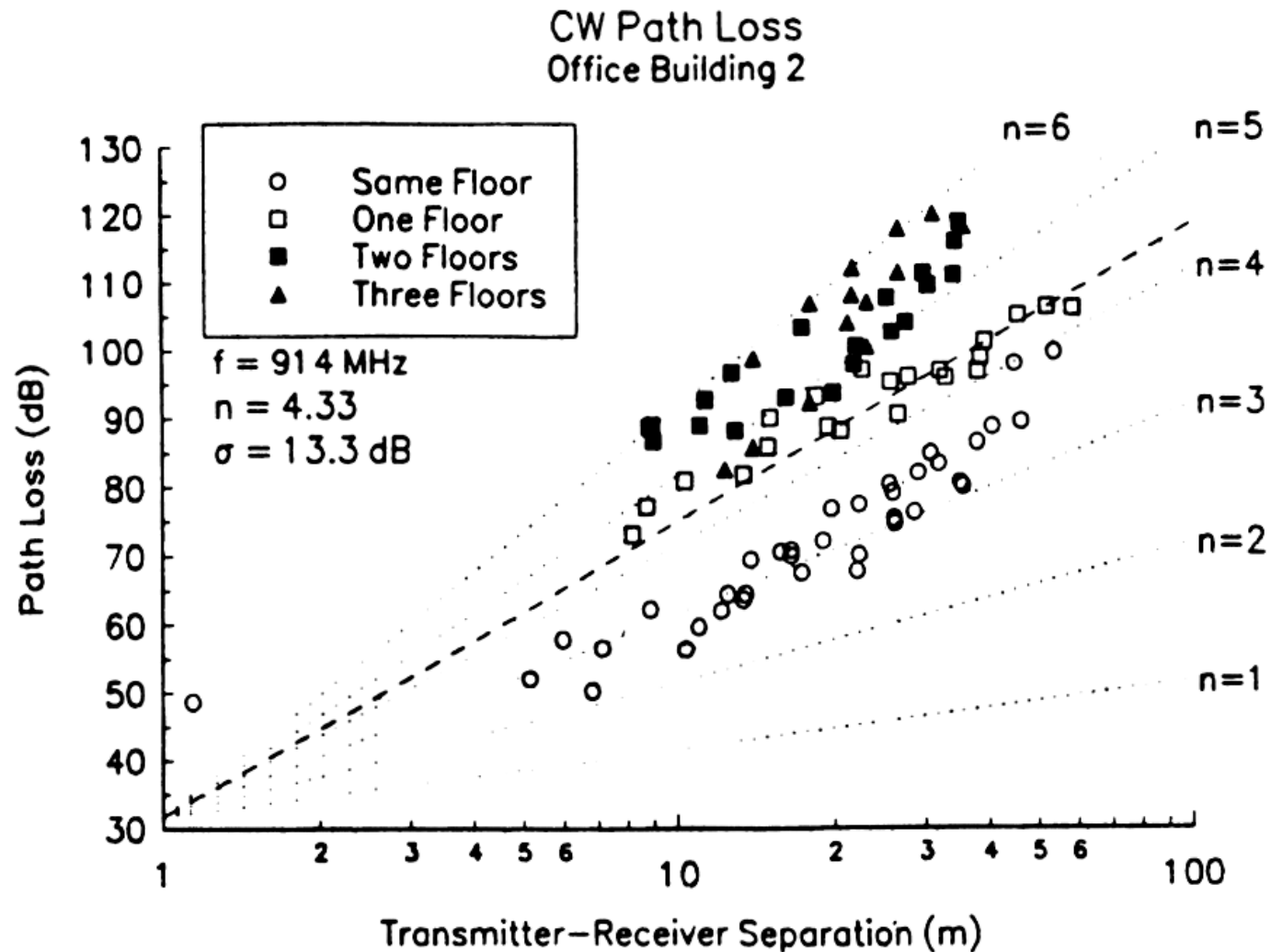
Building	Frequency (MHz)	$n$	$\sigma$ (dB)
Retail Stores	914	2.2	8.7
Grocery Store	914	1.8	5.2
Office, hard partition	1500	3.0	7.0
Office, soft partition	900	2.4	9.6
Office, soft partition	1900	2.6	14.1
Factory LOS			
Textile/Chemical	1300	2.0	3.0
Textile/Chemical	4000	2.1	7.0
Paper/Cereals	1300	1.8	6.0
Metalworking	1300	1.6	5.8
Suburban Home			
Indoor Street	900	3.0	7.0
Factory OBS			
Textile/Chemical	4000	2.1	9.7
Metalworking	1300	3.3	6.8

# Fator de atenuação



**Figure 4.28** Scatter plot of path loss as a function of distance in Office Building 1 [from [Sei92b] © IEEE].

# Fator de atenuação



**Figure 4.29** Scatter plot of path loss as a function of distance in Office Building 2 [from [Sei92b] © IEEE].



# Fator de atenuação

---

**Table 4.7** Path Loss Exponent and Standard Deviation for Various Types of Buildings [Sei92b]

	n	$\sigma$ (dB)	Number of locations
<b>All Buildings:</b>			
All locations	3.14	16.3	634
Same Floor	2.76	12.9	501
Through One Floor	4.19	5.1	73
Through Two Floors	5.04	6.5	30
Through Three Floors	5.22	6.7	30
Grocery Store	1.81	5.2	89
Retail Store	2.18	8.7	137
<b>Office Building 1:</b>			
Entire Building	3.54	12.8	320
Same Floor	3.27	11.2	238
West Wing 5th Floor	2.68	8.1	104
Central Wing 5th Floor	4.01	4.3	118
West Wing 4th Floor	3.18	4.4	120
<b>Office Building 2:</b>			
Entire Building	4.33	13.3	100
Same Floor	3.25	5.2	37