



**INSTITUTO  
FEDERAL**

Santa Catarina

---

Câmpus  
São José

## **Calculo de Transmissão/Recepção em ERBs**

Comunicações Sem Fio

**Arthur Cadore Matuella Barcella**

14 de Outubro de 2024

Engenharia de Telecomunicações - IFSC-SJ

# Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Questão 1: .....</b>	<b>3</b>
2.1. Distância máxima sobre o segmento da rodovia: .....	3
2.2. Efetuar o handoff com 5 segundos de delay: .....	3
<b>3. Questão 2: .....</b>	<b>4</b>
3.1. Modelo de propagação do espaço-livre .....	4
3.2. Modelo de propagação de 2 raios .....	5
3.3. Modelo COST231-Hata para cidade grande. ....	5
<b>4. Questão 5: .....</b>	<b>6</b>
4.1. Resolução .....	6
<b>5. Questão 8: .....</b>	<b>7</b>
<b>6. Questão 9: .....</b>	<b>7</b>
<b>7. Questão 10: .....</b>	<b>7</b>
7.1. Resolução: .....	8
<b>8. Questão 13: .....</b>	<b>8</b>
8.1. Resolução: .....	9
<b>9. Questão 17: .....</b>	<b>9</b>
9.1. Taxa média observada na periferia da cidade (borda da célula); .....	10
9.2. Taxa média observada em toda a área coberta. ....	10

# 1. Introdução

Neste documento, serão resolvidos alguns exercícios de comunicações sem fio, com o intuito de aplicar os conhecimentos adquiridos em sala de aula.

## 2. Questão 1:

Em uma área rural, duas estações rádio base (ERB1 e ERB2) cobrem um segmento reto de uma rodovia. Um terminal móvel se desloca sobre a rodovia, no segmento que liga a ERB1 à ERB2, com velocidade uniforme de 90 km/h, enquanto mantém uma chamada servida pela ERB1. A direção de movimento é tal que o móvel se afasta de ERB1 enquanto se aproxima de ERB2. As duas ERBs estão distantes 2 km. Quando o móvel está a 500m da ERB1, a intensidade de sinal é de -100 dBm. O nível mínimo de sinal necessário para manter a chamada é -120 dBm.

Dados da questão:

- $d_t$ : 2 km
- $V = 90$  km/h
- $d_1 = 500$  m
- $P_{r1} = -100$  dBm
- $P_{rmin} = -120$  dBm

### 2.1. Distância máxima sobre o segmento da rodovia:

Qual distância máxima  $d$  sobre o segmento da rodovia deve ocorrer um handoff da chamada de ERB1 para ERB2 (considere a ERB1 posicionada em  $d=0$ ).

Considerando que a potência recebida é igual a potência de sensibilidade do receptor, temos que:

$$P_r = P_o - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \rightarrow -120 = -100 - 40 \log(d) + 40 \log(500) \quad (1)$$

$$-\frac{-120 + 100 - 107,95}{40} = \log(d) \rightarrow \log(d) = 3,198 \quad (2)$$

Calculando  $d$  temos que:

$$d = 10^{3,198} = 1589,4m \quad (3)$$

### 2.2. Efetuar o handoff com 5 segundos de delay:

Considerando que o sistema celular leva 5 segundos para processar todas as informações e efetuar o handoff, sugira o valor mínimo de um limiar de iniciação do processo de handoff (em dBm) para evitar a queda da chamada. Considere que neste ambiente de opagação o expoente de perda de percurso vale  $n=4$ , podendo-se utilizar um modelo simplificado de perda de percurso.

Primeiro precisamos calcular a distância de handoff entre as torres, para isso, calculamos a velocidade do veículo em m/s e o tempo que ele leva para percorrer a distância entre as torres:

$$d_{\text{handoff}} = V * t \quad (4)$$

Desta forma temos que:

$$V = \frac{90 \text{ km}}{h} \rightarrow \frac{25m}{s} \quad (5)$$

Como o tempo de handoff 5 segundos temos que:

$$d_{\text{handoff}} = V.t = 25.5 = 125m \quad (6)$$

Caso consideremos que o handoff ocorra em 5 segundos, devemos deduzir essa distância da distância total entre as torres, temos que:

$$d_{\text{handoff}} = 1589,4m - 125m = 1464,4m \quad (7)$$

Também devemos considerar que para limitar o handoff, deve-se deduzir a potência na área de sobreposição do sinal, portanto:

$$\gamma_{\text{HO}} = P_o - 10n \log\left(\frac{d_{\text{max}} - d_{\text{HO}}}{d_0}\right) \rightarrow -118,57\text{dBm} \quad (8)$$

### 3. Questão 2:

Em um sistema de telefonia móvel a relação sinal-ruído (SNR) mínima para recepção com boa qualidade é de 10 dB. Foi medido que a potência de ruído térmico no telefone móvel é de -120 dBm. Considere ainda os seguintes parâmetros:

- (a) ganhos das antenas transmissora e receptora: 3 dBi
- (b) frequência de operação: 800 MHz
- (c) altura da antena da estação base 20m;
- (d) altura da antena da estação móvel: 1,5 m;
- (e) potência de alimentação na antena da base: 1 W.

Calcule o alcance de um sinal de rádio realizado nestas condições utilizando:

#### 3.1. Modelo de propagação do espaço-livre

Para calcular o primeiro modelo, temos a seguinte formula: (Considerando  $L = 1$  )

$$P_{r(d)} = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4.\pi)^2 \cdot d^2 \cdot L} \rightarrow P_{r(d)} = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4.\pi)^2 \cdot d^2} \quad (9)$$

Calculando lambda, temos que:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{800 \cdot 10^6} = 0,375m \rightarrow \lambda^2 = 0,375^2 = 0,140625 \quad (10)$$

Aplicando os valores dados pela questão, temos que:

$$10^{-14} = \frac{1.2 \cdot 2 \cdot 0,140625}{(4 \cdot \pi)^2 d^2} \rightarrow 10^{-14} = \frac{0,5625}{157,91 d^2} \quad (11)$$

Dessa forma, temos que:

$$1,579 \cdot 10^{12} d^2 = 0,5625 \rightarrow d^2 = 3,561^{11} \rightarrow d = 596.741,149m \rightarrow 596,741 \text{ km} \quad (12)$$

### 3.2. Modelo de propagação de 2 raios

Para o modelo de raios, temos que:

$$P_{r(d)} = P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \frac{h_1^2 \cdot h_2^2}{d^4} \quad (13)$$

Dessa forma temos que:

$$\text{SNR} = P_r - P_n \rightarrow 10 = p - (-120) \rightarrow p = -110 \text{ dBm} \quad (14)$$

Aplicando na formula, temos que:

$$10^{-14} = 1.2 \cdot 2 \cdot \frac{20^2 \cdot 1,5^2}{d^4} \rightarrow d^4 = \frac{3600}{10^{-14}} \rightarrow 3,600 \cdot 10^{14} \rightarrow 3,6 \cdot 10^{17} \quad (15)$$

Dessa forma temos que:

$$d = (3,6 \cdot 10^{17})^{\frac{1}{4}} = 24495m \rightarrow 24,495 \text{ km} \quad (16)$$

### 3.3. Modelo COST231-Hata para cidade grande.

Para o modelo de Hata, temos que:

$$A(h_r) = 3,2 \log^2(11,75h_r) - 4,97 \quad (17)$$

Aplicando os valores dados pela questão, temos que:

$$A(1,5) = 3,2 \log^2(11,75 \cdot 1,5) - 4,97 \rightarrow A(1,5) = 3,2 \log^2(17,625) - 4,97 \quad (18)$$

Dessa forma, temos que:

$$A(1,5) = 3,2 \cdot 1,552 - 4,97 \rightarrow A(1,5) = 4,969 - 4,97 = 0,001 \quad (19)$$

$$P_l = 30 + 3 + 3 + 110 \rightarrow P_l = 146 \text{ dB} \quad (20)$$

Aplicando na formula de perda de percurso, temos que:

$$1 = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_t) - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \log(h_t)) \log(d) \quad (21)$$

$$146 = 69,55 + 75,86 - 17,96 + 36,38 \log(d) \quad (22)$$

$$\log(d) = \frac{146 - 69,55 - 75,86 + 17,96}{36,38} \rightarrow \log(d) = 0,51 \quad (23)$$

Dessa forma, temos que:

$$d = 10^{0,51} = 3,16 \text{ km} \quad (24)$$

## 4. Questão 5:

Sejam dados:  $p_a=15 \text{ W}$ ,  $G_t=12 \text{ dBi}$ ,  $G_r=3 \text{ dBi}$ . Seja a potência de ruído térmico no receptor –  $120 \text{ dBm}$ . Qual o máximo raio de célula para o qual uma relação sinal-ruído (SNR) de  $20 \text{ dB}$  pode ser garantida em 95% do perímetro da borda da célula? Assuma  $n=4$ ,  $\alpha=8 \text{ dB}$ ,  $f=900 \text{ MHz}$ . Calcule uma perda de percurso de referência média em  $d_0=1 \text{ km}$  utilizando o modelo de perda de percurso COST231-Hata sabendo-se que a altura da antena da ERB é de  $20 \text{ m}$  e a altura da antena do terminal móvel é de  $1,8 \text{ m}$ . O ambiente em questão é de área suburbana de uma cidade.

### 4.1. Resolução

Inicialmente devemos calcular a perda de percurso sendo  $d_0 = 1 \text{ km}$ :

$$a(h_m) = (1.1 \log(900) - 0,7).1,8 - (1,56 \log(900) - 0,8) = 2,954 \quad (25)$$

Dessa forma, temos que:

$$a(h_m) = (1.1.2,954 - 0,7).1,8 - (1,56.2,954 - 0,8) \quad (26)$$

$$(3,249 - 0,7).1,8 - (4,605 - 0,8) \rightarrow 4,589 - 3,805 = 0,784 \text{ dB} \quad (27)$$

Agora aplicamos o valor obtido na formula de perda de percurso:

$$L_{p(d)} = 46,3 + 33,9 \log(900) - 13,82 \log(20) - 0,784 + (44,9 - 6,55 \log(20)) \log(1,28) \quad (28)$$

Dessa forma temos que:

$$L_{p(d)} = 46,3 + (33,9.2,954) - (13,82.1,301) - 0,784 + (44,9 - 6,55.1,301).0 \quad (29)$$

$$L_{p(d)} = 46,3 + 100,2726 + 17,98 - 0,784 + (44,9 - 8,5255).0 \quad (30)$$

$$L_{p(d)} = 125,807 \text{ dB} \quad (31)$$

Como a questão pede uma relação de  $20 \text{ dB}$  no minimo, temos que:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_{p(d)} \quad (32)$$

$$-100 = 41,76 + 12 + 3 - L_{p(d)} \rightarrow L_{p(d)} = 41,76 + 12 + 3 + 100 = 156,76 \text{ dB} \quad (33)$$

Por fim, substituímos na formula de hata novamente para calcular o raio da célula:

$$156,76 = 46,3 + 33,9 \log(900) - 13,82 \log(20) - 0,784 + (44,9 - 6,55 \log(20)) \log(d) \quad (34)$$

Dessa forma temos que:

$$156,76 - 125,807 = (44,96,55 \log(20)) \log(d) \quad (35)$$

$$30,953 = (44,9 - 8,52355) \log(d) \rightarrow 30,953 = 36,37645 \log(d) \rightarrow \log(d) = 0,850936 \quad (36)$$

$$d = 10^{0,8509} = 7,1 \text{ km} \quad (37)$$

## 5. Questão 8:

Uma operadora de telefonia celular pretende cobrir uma grande cidade com área de 2500 km<sup>2</sup> usando ERBs com  $P_a=20 \text{ W}$  e  $G_t=3 \text{ dBi}$ . Os terminais móveis têm  $G_r=0 \text{ dBi}$ . Determinar o número de ERBs omnidirecionais necessárias para cobrir a cidade quando é esperado que 90% da periferia das células experimente cobertura de sinal a  $-90 \text{ dBm}$ . Assuma  $\alpha=8 \text{ dB}$  e  $f=900 \text{ MHz}$ . O modelo de COST231-Hata é válido neste ambiente. Você pode calcular uma potência média de referência em  $d_0=1 \text{ km}$  usando os seguintes parâmetros:  $h_b=20 \text{ m}$ ,  $h_m=1,8 \text{ m}$ .

## 6. Questão 9:

Considere uma situação de propagação em ambiente interior (indoor). A antena transmissora encontra-se inicialmente fora da edificação e a perda de penetração estimada é 30 dB. O receptor encontra-se no piso térreo e o caminho do sinal até o mesmo atravessa uma partição horizontal e uma vertical cuja perda estimada é de 15 dB por partição. A antena transmissora encontra-se a 500 m da parede externa da edificação, sendo a frequência de operação  $f=900 \text{ MHz}$ ,  $h_b=20 \text{ m}$ ,  $h_m=1,8 \text{ m}$ , podendo-se utilizar o modelo de COST231-Hata urbano para calcular uma perda de percurso de referência. Internamente à edificação a perda de percurso é proporcional a  $d^{-2,5}$  além das perdas de penetração e partição já mencionadas. A distância interna entre a parede interna do edifício e o receptor é de 10 metros. Calcule a perda de percurso total nesta situação entre o transmissor e o receptor.

## 7. Questão 10:

O provimento de cobertura celular em áreas rurais e remotas é um desafio para países como o Brasil, de grande extensão territorial. Considere uma situação em que um assinante de serviço de comunicação móvel encontra-se a 10 km da ERB. Faça uma análise dos enlaces de descida e de subida considerando os seguintes parâmetros: potências EIRP: 37 dBm na ERB; 27 dBm no TM; despreze demais ganhos e perdas no transmissor e no receptor; a potência do ruído térmico vale  $P_n=-120 \text{ dBm}$ ; perda de percurso pode ser modelada como  $L(d)=120+30\log(d)$ , sendo  $d$  a distância ERB-TM em [km]; a razão sinal ruído mínima para estabelecer o enlace

é 5 dB. Analise o equilíbrio de desempenho entre os enlaces de subida e de descida. A operadora pode instalar, quando necessário, um repetidor (relay) que regenera o sinal da ERB ou do TM, transmitindo-o novamente em posição mais favorável. Suponha que o relay opera com mesma potência EIRP do TM. Nessas condições avalie a necessidade de instalar um relay para atuar em um dos enlaces. Além disso, determine uma distância ou faixa de distâncias para a instalação do relay de forma a beneficiar a comunicação rural em questão.

### 7.1. Resolução:

Para resolvermos a questão inicialmente calculamos a SNR:

$$\text{SNR} = P_s - P_n \rightarrow 5 = P_s - (-120) \rightarrow P_s = -115 \text{ dBm} \quad (38)$$

Dessa forma, temos que:

$$l_{p(10)} = 120 + 30 \log(10) = 150 \text{ dB} \quad (39)$$

Assim, podemos calcular a potência recebida no terminal móvel:

$$p_{t_{\text{Erbtm}}} = 37 - 150 = -113 \text{ dBm} \quad (40)$$

Da mesma maneira, podemos calcular a recebida na ERB pelo terminal movel:

$$p_{t_{\text{tmErb}}} = 27 - 150 = -123 \text{ dBm} \quad (41)$$

A partir dessa verificação, podemos determinar a faixa de distância para instalação do relay, pois a potência recebida no terminal móvel é menor que a potência mínima de recepção, o que indica a necessidade de instalação de um relay.

$$-115 = 27 - L_p \rightarrow L_p = 142 \text{ dB} \quad (42)$$

$$142 = 120 + 30 \log(d) = \frac{22}{30} = \log(d) \rightarrow d = 10^{\frac{22}{30}} = 10^0,733 = 5,5 \text{ km} \quad (43)$$

## 8. Questão 13:

Um sistema móvel celular é montado em uma pequena cidade com o intuito de prover serviço de acesso à internet por banda larga móvel. Vislumbra-se o uso em terminais estacionários como computadores portáteis e do tipo tablet. Uma única célula foi instalada visando cobrir toda a área do município. O sistema provê degraus de taxa no enlace de descida de acordo com um esquema de modulação e codificação adaptativa. Uma aproximação razoável da taxa bruta de download desse sistema é dada pela função  $R(\text{SNR}) = \frac{\text{SNR}}{5}$  [Mbps], sendo  $\text{SNR} > 0$  [dB] a razão sinal ruído.

A transmissão é interrompida se  $\text{SNR} \leq 0$ . A taxa máxima do sistema satura em 10 Mbps. A operadora do serviço precisa dimensionar o raio de célula para fins de informação oficial à agência reguladora. Esta por sua vez requer que a taxa mínima oferecida para que se



considere o serviço como de banda larga seja de 600 kbps. Esta vazão precisa ser observada em pelo menos 98% do perímetro definido como sendo a borda da célula.

Considerando que o ambiente de propagação é caracterizado por uma perda de percurso que segue o modelo simplificado com  $n=3,5$  e o desvio padrão do desvanecimento de larga escala na região é assumido em  $\rho = 8$  dB, dimensione o raio da célula a ser informado. Outras informações do projeto:

- potência do amplificador da antena transmissora: 20 W;
- ganho da antena transmissora: 10 dBi;
- ganho da antena receptora e demais perdas e ganhos de transmissão e recepção: 0 dB;
- $P_r(100 \text{ m}) = -45$  dBm; (potência de referência medida a uma distância de 100 m da antena transmissora)
- potência do ruído térmico no receptor:  $-110$  dBm.

### 8.1. Resolução:

$$\text{SNR} = 3\text{dB} \rightarrow \text{SNR} = P_s - P_n \rightarrow 3 = P_s - (-110) \rightarrow P_s = -107 \text{ dBm} \quad (44)$$

Dessa forma, aplicando na formula temos que:

$$P_s = P_t + G_t - P_l \rightarrow -107 = 43 + 10 - P_l \rightarrow P_l = 160 \text{ dB} \quad (45)$$

$$P_o = P_t - P_l(d_o) \rightarrow -45 = 43 - P_l(d_o) \rightarrow P_l(d_o) = 88 \text{ dB} \quad (46)$$

$$P_{l(d)} = P_{l(d_o)} + 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right) \rightarrow 160 = 88 + 35 \log(d) - 35 \log(100) + 8 \quad (47)$$

Dessa forma temos que:

$$\frac{160 - 88 - 8 + 70}{35} = \log(d) \rightarrow \log(d) = 3,828 \rightarrow 10^{3,828} = 6,729 \text{ km} \quad (48)$$

Considerando que a questão pede 98% do perímetro da célula, temos que:

$$d = 0,98 * 6,729 = 6,59 \text{ km} \quad (49)$$

## 9. Questão 17:

Você foi designado para projetar um sistema de transmissão sem fio de 4ª geração. Trata-se de um sistema voltado exclusivamente para transmissão de dados sem fio. A taxa de transmissão em uma ERB no enlace de descida deste sistema é função da razão sinal-ruído (SNR, em dB) e pode ser aproximada pela seguinte expressão:  $R(\text{SNR}) = \text{SNR}$ , para  $0 \leq \text{SNR} \leq 50$  dB;  $R(\text{SNR}) = 0$ , para  $\text{SNR} < 0$  dB;  $R(\text{SNR}) = 50$ , para  $\text{SNR} > 50$  dB, em que R é a taxa de transmissão em Megabits por segundo.

Nesta primeira etapa do projeto uma única ERB será instalada no centro de uma cidade pequena e objetiva cobrir uma área circular de 10 km de raio. A Prefeitura da cidade está contratando o serviço e quer saber de antemão de você:

Dados para o projeto:

- perda de referência em  $d_0=1\text{km}$  é 120 dB;
- potência de ruído térmico  $P_n = -120\text{ dBm}$ ;
- modelo de propagação simplificado com  $n=3,5$ ;
- potência EIRP de transmissão da ERB  $P_t=20\text{W}$ .

Despreze outros ganhos, perdas e interferências.

### 9.1. Taxa média observada na periferia da cidade (borda da célula);

Para calcular a taxa média observada na periferia da cidade, utilizamos a formula de perda de percurso:

$$P_{l(d)} = P_{l(d_0)} + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (50)$$

$$P_{l(10)} = 120 + 35 \log\left(\frac{10}{1}\right) \rightarrow P_{l(10)} = 155\text{ dB} \quad (51)$$

Dessa forma, aplicando na formula temos que:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - P_l \rightarrow P_r = 43 - 155 = -112\text{ dBm} \quad (52)$$

Dessa forma, podemos calcular a SNR do sinal nesta distância:

$$\text{SNR} = P_s - P_n \rightarrow \text{SNR} = -112 - (-120) = 8\text{ dB} \quad (53)$$

Assim, como dado pela questão, o valor da taxa é:

$$R(\text{SNR}) = \text{SNR} \rightarrow R(8) = 8\text{ Mbps} \quad (54)$$

### 9.2. Taxa média observada em toda a área coberta.

Para calcular a taxa coberta em toda a cidade o mesmo algoritmo apresentado acima foi utilizado em um script matlab para calcular a taxa de transmissão com base no distanciamento da ERB.

```
1 close all; clear all; clc;
2
3 %% entradas da questão:
4 pt = 43;
5 ruido = -120;
6 d0 = 0;
7 df = 10000;
```

```

8
9 %% criando vetor de zeros para utilizar no laço
10 r = zeros(1, 10e3 +1);
11
12 %% Laço de repetição para calcular de 0 á 10km
13 for d = d0 : df
14     pl = 120 + (35*log10(d/1e3));
15     pr = pt - pl;
16     snr = pr - ruído;
17
18     if 0 <= snr && snr <=50
19         r(d+1) = snr;
20     elseif snr < 0
21         r(d+1) = 0;
22     else
23         r(d+1) = 50;
24     end
25 end
26
27 figure;
28 bar(r);
29 title('Taxa observada no rádio de cobertura');
30 xlabel('Distância em metros');
31 ylabel('Taxa [Mbps]');
32 grid on;

```

Figura 1: Elaborada pelo Autor

