



**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>8</b>
<b>6. Questão 9: .....</b>	<b>9</b>
6.1. Resolução: .....	9
<b>7. Questão 10: .....</b>	<b>10</b>
7.1. Resolução: .....	11
<b>8. Questão 13: .....</b>	<b>11</b>
8.1. Resolução: .....	12
<b>9. Questão 17: .....</b>	<b>12</b>
9.1. Taxa média observada na periferia da cidade (borda da célula); .....	13
9.2. Taxa média observada em toda a área coberta. ....	13

# 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:

$$\lambda = \frac{3.10^8}{800.10^6} = 0,375m \rightarrow \lambda^2 = 0,375^2 = 0,140625 \quad (10)$$

Aplicando os valores dados pela questão, temos que:

$$10^{-14} = \frac{1.2.2.0,140625}{(4.\pi)^2 d^2} \rightarrow 10^{-14} = \frac{0,5625}{157,91 d^2} \quad (11)$$

Dessa forma, temos que:

$$1,579.10^{12} d^2 = 0,5625 \rightarrow d^2 = 3,561^{11} \rightarrow d = 596.741,149m \rightarrow 596,741 \text{ km} \quad (12)$$

### 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:

$$10^{-14} = 1.2.2. \frac{20^2 \cdot 1,5^2}{d^4} \rightarrow d^4 = \frac{3600}{10^{-14}} \rightarrow 3,600.10^{14} \rightarrow 3,6.10^{17} \quad (15)$$

Dessa forma temos que:

$$d = (3,6.10^{17})^{\frac{1}{4}} = 24495m \rightarrow 24,495 \text{ km} \quad (16)$$

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

Para o modelo de Hata, temos que:

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

Aplicando os valores dados pela questão, temos que:

$$A(1,5) = 3,2 \log^2(11,75.1,5) - 4,97 \rightarrow A(1,5) = 3,2 \log^2(17,625) - 4,97 \quad (18)$$

Dessa forma, temos que:

$$A(1,5) = 3,2.1,552 - 4,97 \rightarrow A(1,5) = 4,969 - 4,97 = 0,001 \quad (19)$$

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

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 dBm. Qual o máximo raio de célula para o qual uma relação sinal-ruído (SNR) de 20 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 m e a altura da antena do terminal móvel é de 1,8 m. O ambiente em questão é de área suburbana de uma cidade.

### 4.1. Resolução

Inicialmente devemos calcular a perda de percurso (meio urbano) sendo  $d_0 = 1 \text{ km}$  para o modelo de Cost231-Hata:

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

Dessa forma, temos que:

$$a(h_m) = (1.1 \cdot 2,954 - 0,7) \cdot 1,8 - (1,56 \cdot 2,954 - 0,8) \quad (26)$$

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

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:

$$L_{p(d)} = 46,3 + (33,9 \cdot 2,954) - (13,82 \cdot 1,301) - 0,784 + (44,9 - 6,55 \cdot 1,301) \cdot 0 \quad (29)$$

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

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

Como a questão pede uma relação de 20 dB no minimo, temos que o raio da célula é igual a todo o perímetro onde a relação é de 20 dB. Assim podemos calcula-lo com base na formula de perda de percurso:

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

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

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:

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

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

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

Dessa forma, em meios urbanos temos que o raio da célula é de 7,1 km. Como a questão solicita 95% do perimetro da célula em um meio suburbano, temos que.

Em seguida, calculamos o valor para a área suburbana através da formula de correção de Hata:

$$l_{50} = l_{50} - 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad (38)$$

$$l_{50} = 125,807 - 2 \left[ \log \left( \frac{900}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \rightarrow 125,807 - 2[1,507]^2 - 5,4 \quad (39)$$

$$l_{50} = 125,807 - 4,542 - 5,4 = 115,865 \text{ dB} \quad (40)$$

Agora calculamos novamente o raio da célula para suburbano:

$$P_t = 15W \rightarrow 41,76 \text{ dBm} \quad (41)$$

$$P_r = 41,76 + 12 + 3 - 115,865 = 41,76 + 15 - 115,865 = -59,105 \text{ dBm} \quad (42)$$

A sensibilidade no receptor é de -120 dBm, porem, com a diferença de 20 dB, temos que a sensibilidade é de -100 dBm. Dessa forma, temos como calcular a diferença de 95% do perimetro da célula:

$$P_r [P_{r(d)} > -100] = 0,95 \quad (43)$$

$$Q \left( \frac{-100 - P_{r(d)}}{8} \right) = 0,95 \rightarrow \frac{-100 - P_{r(d)}}{8} = 0, \frac{95}{Q} \rightarrow -1,6449 \quad (44)$$

$$-P_{r(d)} = (8 \cdot -1,6449) + 100 \rightarrow -P_{r(d)} = +86,84 \text{ dBm} \rightarrow P_{r(d)} = -86,84 \text{ dBm} \quad (45)$$

Dessa forma, o raio da celula é de:

$$P_{r(d)} = P_{r(d)} - 10n \log \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (46)$$

$$-86,84 = -59,105 - 10 \log \left( \frac{d}{1} \right) \rightarrow \log(d) = \frac{-86,841 + 59,105}{-40} = 0,6463 \quad (47)$$

$$d_r = 10^{0,6463} = 4,4 \text{ km} \quad (48)$$

## 5. Questão 8:

Uma operadora de telefonia celular pretende cobrir uma grande cidade com área de 2500 km<sup>2</sup> usando ERBs com  $p_a=20$  W e  $G_t=3$  dBi. Os terminais móveis têm  $G_r=0$  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  $-90$  dBm. Assuma  $\rho=8$  dB e  $f=900$  MHz. O modelo de COST231-Hata é válido neste ambiente. Você pode calcular uma potência média de referência em  $d_0=1$  km usando os seguintes parâmetros:  $h_b=20$  m,  $h_m=1,8$  m.

Para resolver essa questão, devemos aplicar a formula de perda de percurso de Hata:

$$l_{p(d)} = 46,3 + 33,9 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \log(d) \quad (49)$$

Entretanto, precisamos primeiro calcular o fator de correção  $a(h_m)$  para a altura da antena do terminal móvel:

$$a(h_m) = (1,1 \log(f) - 0,7)h_m - (1,56 \log(f) - 0,8) \quad (50)$$

Dessa forma temos que:

$$a(h_m) = (1,1 \log(900) - 0,7).1,8 - (1,56 \log(900) - 0,8) \quad (51)$$

$$a(h_m) = (1,1.2,9542 - 0,7).1,8 - (1,56.2,9542) - 0,8 \quad (52)$$

$$a(h_m) = (3,24962 - 0,7).1,8 - (4,6055 - 0,8) \quad (53)$$

$$a(h_m) = 4,589 - 3,805 = 0,784 \text{ dB} \quad (54)$$

Substituindo na equação de hata, temos que:

$$l_{p(d)} = 46,3 + 33,9 \log(900) - 13,82 \log(20) - 0,7838 + (44,9 - 6,55 \log(20)) \log(1) \quad (55)$$

Nota: uso do “C” = 3 para a perda de penetração, pois trata-se de uma área urbana.

$$l_{p(d)} = 46,3 + 33,9.2,9542 - 13,82.1,3010 - 0,7838 + 3 \quad (56)$$

$$l_{p(d)} = 130,72 \text{ dB} \quad (57)$$

Em seguida, precisamos determinar o limite de cobertura, a partir do limite de sinal mínimo de recepção do final da célula, que é de  $P_r = 90$  dBm. Dessa forma, temos que:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L(d) \quad (58)$$

$$-90 = 43 + 3 + 0 - L(d) \rightarrow L(d) = 43 + 3 - 130 = -84,28 \text{ dB} \quad (59)$$

Como a questão pede 90% da periferia da célula, precisamos calcular com base na qfunc:

$$P_r[P_{r(d)} > -90] = 0,9 \quad (60)$$

$$Q\left(\frac{-90 - P_{r(d)}}{8}\right) = 0,9 \rightarrow \frac{-90 - P_{r(d)}}{8} = -1,2816 \quad (61)$$



$$-90 - P_{r(d)} = -1,2816.8 \rightarrow -P_{r(d)} = -10,2528 + 90 = 79,7472 \text{ dBm} \quad (62)$$

Agora com o valor de perda de percurso, podemos reaplicar na fórmula para descobrir o raio da célula:

$$P_{r(d)} = P_{r(d_0)} - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (63)$$

$$-79,7472 = -84,28 - 10.3,5 \log\left(\frac{d}{1}\right) \quad (64)$$

$$\log(d) = \frac{79,7472 - 84,28}{35} = -0,129 \quad (65)$$

$$d = 10^{-0,129} = 0,77 \text{ km} \quad (66)$$

Com base no novo raio de cobertura das estações, podemos calcular a quantidade de ERBs necessárias para cobrir a cidade:

$$A_{\text{cel}} = \pi \cdot r^2 \rightarrow \pi \cdot 0,77^2 = 1,86 \text{ km}^2 \quad (67)$$

Nota: o cálculo superior considera que cada ERB terá como área de cobertura um círculo de 1,38 km de raio.

Como a cidade possui uma área de 2500 km<sup>2</sup>, temos que:

$$N_{\text{ERBs}} = \frac{2500}{1,86} = 1344,08 \text{ ERBs} \quad (68)$$

## 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  $f=900$  MHz,  $h_b=20$  m,  $h_m=1,8$  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.

### 6.1. Resolução:

Para resolver essa questão, devemos aplicar a fórmula de perda de percurso de Hata:

$$l_{p(d)} = 46,3 + 33,9 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \log(d) \quad (69)$$

Entretanto, precisamos primeiro calcular o fator de correção  $a(h_m)$  para a altura da antena do terminal móvel:

$$a(h_m) = (1,1 \log(f) - 0,7)h_m - (1,56 \log(f) - 0,8) \quad (70)$$

Dessa forma temos que:

$$a(h_m) = (1,1 \log(900) - 0,7).1,8 - (1,56 \log(900) - 0,8) \quad (71)$$

$$a(h_m) = (1,1.2,9542 - 0,7).1,8 - (1,56.2,9542) - 0,8 \quad (72)$$

$$a(h_m) = (3,24962 - 0,7).1,8 - (4,6055 - 0,8) \quad (73)$$

$$a(h_m) = 4,589 - 3,805 = 0,784 \text{ dB} \quad (74)$$

Substituindo na equação de hata, temos que:

$$l_{p(d)} = 46,3 + 33,9 \log(900) - 13,82 \log(20) - 0,7838 + (44,9 - 6,55 \log(20)) \log(500) + 3 \quad (75)$$

Nota: uso do “C” = 3 para a perda de penetração, pois trata-se de uma área urbana.

$$l_{p(d)} = 46,3 + 33,9.2,9542 - 13,82.1,3010 - 0,7838 + (44,9 - 6,55.1,3010) + 2,6983 + 3 \quad (76)$$

$$l_{p(d)} = 46,3 + 100,2726 - 17,96 - 0,7838 + (44,9 - 8,51855).2,6983 + 3 \quad (77)$$

$$l_{p(d)} = 46,3 + 100,2726 - 17,96 - 0,7838 + 98,9794 + 3 \quad (78)$$

$$l_{p(d)} = 228,8716 \text{ dB} \quad (79)$$

Também é necessário calcular a perda interna, conforme a própria questão aponta, a perda de percurso interna é proporcional a  $d^{-2,5}$ . Dessa forma, temos que:

$$l_{p(\text{interna})} = 10.n. \log(10) \rightarrow 10.2,5. \log(10) = 10.2,5 = 25 \text{ dB} \quad (80)$$

Como mencionado na questão, a perda de percurso interna é de 15 dB por partição. Como são duas partições (uma horizontal e outra vertical, temos 30 dB), acrescido da perda de penetração de 30 dB. Dessa forma, temos que:

$$l_{p(\text{total})} = 228,8716 + 15 + 15 + 30 + 25 = 313,8716 \text{ dB} \quad (81)$$

## 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  $P_n = -120$  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 o valor mínimo de recepção do sinal no receptor:

$$\text{SNR} = P_s - P_n \rightarrow 5 = P_s - (-120) \rightarrow P_s = -115 \text{ dBm} \quad (82)$$

Dessa forma, podemos calcular a perda de percurso mínima para 10km mantendo a relação de 5 dB:

$$l_{p(10)} = 120 + 30 \log(10) = 150 \text{ dB} \quad (83)$$

Assim, podemos calcular a potência recebida no terminal móvel (TM) pela ERB:

$$p_{t_{\text{Erbtm}}} = 37 - 150 = -113 \text{ dBm} \quad (84)$$

Da mesma maneira, podemos calcular a recebida na ERB pelo terminal móvel (TM):

$$p_{t_{\text{tmErB}}} = 27 - 150 = -123 \text{ dBm} \quad (85)$$

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.

$$-115 = 27 - L_p \rightarrow L_p = 142 \text{ dB} \quad (86)$$

Em seguida, a partir da perda máxima, calculamos a distância para instalação do relay:

$$142 = 120 + 30 \log(d) = \frac{22}{30} = \log(d) \rightarrow d = 10^{\frac{22}{30}} = 10^0,733 = 5,5 \text{ km} \quad (87)$$

## 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:

Inicialmente calculamos a potência mínima de recepção do sinal no receptor:

$$\text{SNR} = 3\text{dB} \rightarrow \text{SNR} = P_s - P_n \rightarrow 3 = P_s - (-110) \rightarrow P_s = -107 \text{ dBm} \quad (88)$$

Como a questão pede que seja observada em pelo menos 98% do perímetro da célula, temos que:

$$P_r[P_{r(d)} > -107] = 0,98 \quad (89)$$

$$Q\left(\frac{-107 - P_{r(d)}}{8}\right) = 0,98 \rightarrow \frac{-107 - P_{r(d)}}{8} = -2,0537 \quad (90)$$

$$(-107 - P_{r(d)}) = -16,4296 \rightarrow P_{r(d)} = -90,5704 \text{ dBm} \quad (91)$$

Dessa forma, aplicamos esse valor na fórmula de perda de percurso para calcular a distância máxima:

$$P_{r(d)} = P_{r(d_0)} - 10n \log\left(\frac{d}{100}\right) \quad (92)$$

$$\log\left(\frac{d}{100}\right) = \left(\frac{P_{r(d_0)} - P_{r(d)}}{10}n\right) \rightarrow \log\left(\frac{d}{100}\right) = \left(\frac{-45 - (-90,5704)}{35}\right) = 1,4537 \quad (93)$$

$$d = 100 \cdot 10^{1,4537} = 100 \cdot 26,59 = 2659 \text{ m} \quad (94)$$

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

$$d = 0,98 * 6,729 = 6,59 \text{ km} \quad (95)$$

## 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  $P_n = -120$  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:

$$P_{l(d)} = P_{l(d_0)} + 10n \log\left(\frac{d}{10}\right) \quad (96)$$

$$P_{l(10)} = 120 + 35 \log\left(\frac{10}{1}\right) \rightarrow P_{l(10)} = 155 \text{ dB} \quad (97)$$

Dessa forma, aplicando na formula temos que:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - P_l \rightarrow P_r = 43 - 155 = -112 \text{ dBm} \quad (98)$$

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

$$\text{SNR} = P_s - P_n \rightarrow \text{SNR} = -112 - (-120) = 8 \text{ dB} \quad (99)$$

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

$$R(\text{SNR}) = \text{SNR} \rightarrow R(8) = 8 \text{ Mbps} \quad (100)$$

### 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.

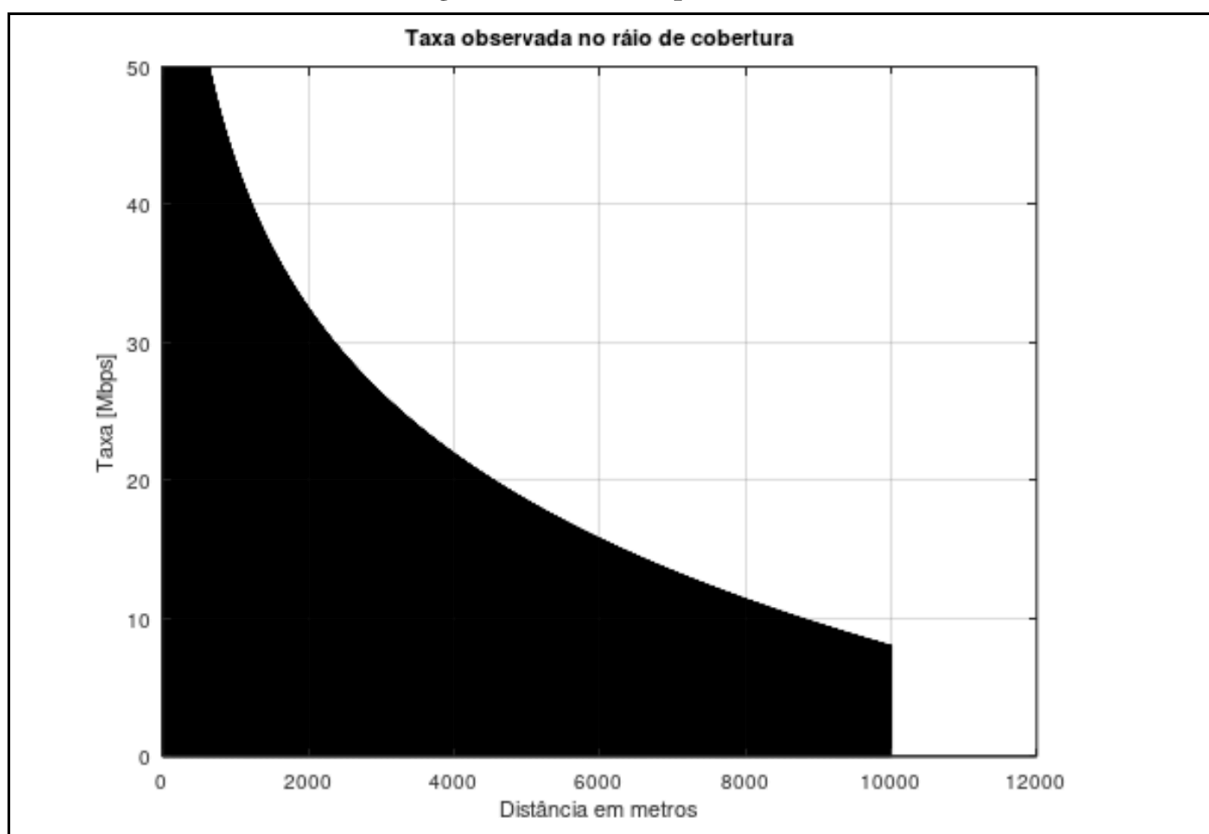
```
1 close all; clear all; clc;
2
3 %% entradas da questão:
4 pt = 43;
5 ruido = -120;
6 d0 = 0;
```

```

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 % Calcula a média do vetor r
28 media_r = mean(r);
29
30 % Exibe o valor médio no console
31 fprintf('Valor médio do vetor de barras: %.2f Mbps\n', media_r);
32
33 figure;
34 bar(r);
35 title('Taxa observada no rádio de cobertura');
36 xlabel('Distância em metros');
37 ylabel('Taxa [Mbps]');
38 grid on;

```

Figura 1: Elaborada pelo Autor



Valor médio do vetor de barras: 22.24 Mbps