



**INSTITUTO  
FEDERAL**

Santa Catarina

---

Câmpus  
São José

## **Lista 1**

Comunicações Sem Fio

**Gabriel Luiz Espindola Pedro**

14 de Outubro de 2024

# Sumário

1	Questões .....	3
---	----------------	---

# 1 Questões

- 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. Perguntas:

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

Conhecendo o valor mínimo de sinal necessário para manter a chamada e possuindo uma leitura de referência podemos calcular a distância máxima ( $d_{\max}$ ) que o móvel pode se afastar da ERB1 antes de perder a chamada. Para isso, podemos utilizar a fórmula de perda de percurso:

$$P_r = P_0 - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (1)$$

Onde  $P_r$  é o valor recebido no receptor, neste caso o valor mínimo do sinal necessário para manter a chamada,  $P_0$  é o valor de referência,  $n$  é o expoente de perda de percurso,  $d$  é a distância entre o transmissor e o receptor e  $d_0$  é a distância de referência. Substituindo os valores conhecidos, temos:

$$\begin{aligned} P_{r,\min} &= P_0 - 10n \log\left(\frac{d_{\max}}{d_0}\right) \\ -120 &= -100 - 10 \cdot 4 \log\left(\frac{d_{\max}}{500}\right) \\ d_{\max} &\approx 1581.14 \text{ [m]} \end{aligned} \quad (2)$$

Com isso descobrimos que a distância máxima que o móvel pode se afastar da ERB1 antes de perder a chamada é de aproximadamente 1581.14 metros.

- b) 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 propagação o expoente de perda de percurso vale  $n = 4$ , podendo-se utilizar um modelo simplificado de perda de percurso.

Sabendo a velocidade do carro e o tempo que o sistema leva para realizar o *handoff*, conseguimos calcular a distância que o móvel percorre durante o tempo de *handoff*, subtraindo essa distância de *handoff* ( $d_{\text{HO}}$ ) da distância má-

xima ( $d_{\max}$ ) obtemos a distância em que o móvel deve iniciar o processo e com isso descobrimos o limiar para realizar o *handoff* ( $\gamma_{\text{HO}}$ ). Para

$$\begin{aligned} d_{\text{HO}} &= v \cdot t; \quad v = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}; \quad t = 5 \text{ s} \\ &= 125 \text{ m} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{HO}} &= P_0 - 10n \log\left(\frac{d_{\max} - d_{\text{HO}}}{d_0}\right) \\ &\approx -118,57 \text{ dBm} \end{aligned} \quad (4)$$

Com isso descobrimos que o limiar para realizar o *handoff* é de aproximadamente  $-118,57 \text{ dBm}$ .

- 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  $-120 \text{ dBm}$ . 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:

a) o modelo de propagação do espaço-livre

$$P_{r, \text{ dBm}} = P_{t, \text{ dBm}} + G_{t, \text{ dBi}} + G_{r, \text{ dBi}} + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (5)$$

Isolando a distância  $d$  temos:

$$20 \log(d) = P_{t, \text{ dBm}} + G_{t, \text{ dBi}} + G_{r, \text{ dBi}} + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right) - P_{r, \text{ dBm}} \quad (6)$$

Substituindo os valores conhecidos, temos:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{c}{f} = 0.375 \text{ m} \\ P_{r, \text{ dBm}} &= \text{SNR} + P_{n, \text{ dBm}} = -110 \text{ dBm} \\ 20 \log(d) &= 30 + 3 + 3 + 20 \log\left(\frac{0.375}{4\pi}\right) - (-110) \\ 20 \log(d) &= 115.49 \\ d &= 10^{115.49/20} \\ d &\approx 595 \text{ [km]} \end{aligned} \quad (7)$$

b) o modelo de propagação de 2 raios

Segundo o modelo de propagação de 2 raios, a perda de percurso é dada por:

$$PL_{dB} = 40 \log(d) - (G_t + G_r + 20 \log(h_t) + 20 \log(h_r)) \quad (8)$$

Isolando a distância  $d$  temos:

$$40 \log(d) = PL_{dB} + G_t + G_r + 20 \log(h_t) + 20 \log(h_r) \quad (9)$$

Substituindo os valores conhecidos, temos:

$$\begin{aligned} PL_{dB} &= P_t - P_r = 140 \text{ dBm} \\ 40 \log(d) &= -140 + 3 + 3 + 20 \log(20) + 20 \log(1.5) \\ 40 \log(d) &= 175.54 \\ d &= 10^{175.54/40} \\ d &\approx 24.462 \text{ [km]} \end{aligned} \quad (10)$$

c) o modelo COST231-Hata para cidade grande.

A antena transmissora não se adequa aos requisitos para o modelo COST231-Hata, pois a altura da antena da estação base é de 20m, enquanto o modelo exige que a altura da antena da estação base seja de 30m a 200m.

$$\begin{aligned} a(h_r) &= 3.2(\log(11.75 \cdot h_r))^2 - 4.97 \\ L_{50(\text{urbano}), \text{ dB}} &= 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_t) \\ &\quad - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) \log(d) \end{aligned} \quad (11)$$

Isolando a distância  $d$  temos:

$$\log(d) = \frac{69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - a(h_r) - L_{50(\text{urbano}), \text{ dB}}}{44.9 - 6.55 \log(h_t)} \quad (12)$$

Substituindo os valores conhecidos, temos:

$$\begin{aligned} a(h_r) &\approx 0 \\ L_{50(\text{urbano}), \text{ dB}} &= P_t + G_t + G_r - P_r = 146 \text{ dBm} \\ \log(d) &= \frac{146 - 69.55 - 26.16 \log(800) + 13.82 \log(20)}{44.9 - 6.55 \log(20)} \\ \log(d) &\approx 0.51 \\ d &\approx 10^{0.51} \\ d &\approx 3.24 \text{ [km]} \end{aligned} \quad (13)$$

- 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 dB pode ser garantida em 95% do perímetro da borda da célula? Assuma  $n = 4$ ,  $\sigma = 8 \text{ dB}$ ,  $f = 900 \text{ MHz}$ . 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.

Calculando a perda  $L_{0,\text{urbano}}$  a partir da distância de referência  $d_0$  para o modelo COST231-HATA:

$$\begin{aligned}
 a(h_r) &= (1.1 \log(f) - 0.7)h_r - (1.56 \log(f) - 0.8) \text{ dB} \\
 C_M &= \begin{cases} 0\text{dB} & \text{para cidades de tamanho médio} \\ & \text{e áreas suburbanas} \\ 3\text{dB} & \text{para centros metropolitanos} \end{cases} \\
 L_{0,\text{urbano}} &= 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_t) \\
 &\quad - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) \log(d_0) + C_M
 \end{aligned} \tag{14}$$

Substituindo os valores obtemos:

$$\begin{aligned}
 a(h_r) &= (1.1 \log(900) - 0.7)1.8 - (1.56 \log(900) - 0.8) \text{ dB} \\
 &= 0.7808 \text{ dB} \\
 C_M &= 0 \text{ dB} \\
 L_{0,\text{urbano}} &= 46.3 + 33.9 \log(900) - 13.82 \log(20) \\
 &\quad - 0.7808 + (44.9 - 6.55 \log(20)) \log(1) + 0 \\
 &= 46.3 + 33.9 \log(900) - 13.82 \log(20) - 0.7808 \\
 &= 127.69 \text{ dB}
 \end{aligned} \tag{15}$$

Sabendo que trata-se de uma área suburbana devemos utilizar a fórmula de correção:

$$\begin{aligned}
 L_0 &= L_{0,\text{urbano}} - 2 \left[ \log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 5.4 \\
 &= 127.69 - 2 \left[ \log\left(\frac{900}{28}\right) \right]^2 - 5.4 \\
 &= 117.75 \text{ dB}
 \end{aligned} \tag{16}$$

Com a perda no percurso podemos calcular a potência recebida da distância de referência:

$$\begin{aligned}
 P_t &= 15W = 41.76 \text{ dBm} \\
 P_r(d_0) &= 41.76 + 12 + 3 - 117.75 \\
 &= -60.99 \text{ dBm}
 \end{aligned} \tag{17}$$

Calculando a sensibilidade do receptor:

$$\gamma = \text{SNR} + N = -120 - (20) = -140 \tag{18}$$

Para então poder calcular a potência média para 95% do perímetro:

$$\begin{aligned}
\Pr[P_r(d) > -100] &= 0.95 \\
Q\left(\frac{-100 - P_r(d)}{8}\right) &= 0.95 \\
\frac{-100 - P_r(d)}{8} &= Q^{-1}(0.95) \\
\frac{-100 - P_r(d)}{8} &= -1.6449 \\
-P_r(d) &= -1.6449 \cdot 8 + 100 \\
P_r(d) &= -86.841 \text{ dBm}
\end{aligned} \tag{19}$$

Então descobrimos o raio máximo da célula:

$$\begin{aligned}
P_r(d_{\max}) &= P_r(d_0) - 10n \log\left(\frac{d_{\max}}{d_0}\right) \\
-86.841 &= -60.99 - 10 \cdot 4 \log\left(\frac{d_{\max}}{1}\right) \\
\log(d_{\max}) &= \frac{-86.841 + 60.99}{-40} \\
&= 0.6463 \\
d_{\max} &= 10^{0.6463} \\
&= 4.4287 \text{ km}
\end{aligned} \tag{20}$$

- 8) Uma operadora de telefonia celular pretende cobrir uma grande cidade com área de  $2500 \text{ km}^2$  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  $\sigma = 8 \text{ dB}$  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:  $h_t = 20 \text{ m}$ ,  $h_r = 1.8 \text{ m}$ .

O modelo COST231-HATA é dado por

$$\begin{aligned}
a(h_r) &= (1.1 \log(f) - 0.7)h_r - (1.56 \log(f) - 0.8) \text{ dB} \\
C_M &= \begin{cases} 0 \text{ dB} & \text{para cidades de tamanho médio} \\ & \text{e áreas suburbanas} \\ 3 \text{ dB} & \text{para centros metropolitanos} \end{cases} \\
L_{\text{urbano}} &= 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_t) \\
&\quad - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) \log(d_0) + C_M
\end{aligned} \tag{21}$$

Aplicando à situação:

$$\begin{aligned}
a(h_r) &= (1.1 \log(900) - 0.7)1.8 - (1.56 \log(900) - 0.8) \text{ dB} \\
&= 0.7808 \text{ dB} \\
C_M &= 3 \text{ dB} \\
L_{\text{urbano}} &= 46.3 + 33.9 \log(900) - 13.82 \log(20) \\
&\quad - 0.7808 + (44.9 - 6.55 \log(20)) \log(1) + 3 \\
&= 130.69 \text{ dB}
\end{aligned} \tag{22}$$

Então descobrimos a potência recebida a distância de referência

$$\begin{aligned}
P_t &= 20W = 43.01 \text{ dBm} \\
P_r(d_0) &= P_t + G_t + G_r - L_{\text{urbano}} \\
&= 43.01 + 3 + 0 - 130.69 \\
&= -84.68 \text{ dBm}
\end{aligned} \tag{23}$$

Sabendo que eu preciso ter uma 90% de probabilidade de ter uma potência recebida de -90 dBm:

$$\begin{aligned}
\Pr[P_r(d) > -90] &= 0.9 \\
Q\left(\frac{-90 - P_r(d)}{8}\right) &= 0.9 \\
\frac{-90 - P_r(d)}{8} &= Q^{-1}(0.9) \\
\frac{-90 - P_r(d)}{8} &= -1.2816 \\
-P_r(d) &= -1.2816 * 8 + 90 \\
P_r(d) &= -79.747 \text{ dBm}
\end{aligned} \tag{24}$$

Então descobrimos o raio máximo de cobertura:

$$\begin{aligned}
P_r(d) &= P_r(d_0) - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \\
-79.747 &= -87.68 - 10 \cdot 3.5 \log\left(\frac{d}{1}\right) \\
\log(d) &= \frac{79.747 - 84.68}{35} \\
&= -0.1409 \\
d &= 0.7229 \text{ km}
\end{aligned} \tag{25}$$

Com a distância podemos descobrir a área de cobertura de cada ERB:

$$\begin{aligned}
A_{\text{cobertura}} &= \pi d^2 \\
&= \pi \cdot 0.7229^2 \\
&= 1.6417 \text{ km}^2
\end{aligned} \tag{26}$$



Então é possível obter a quantidade de ERBs necessárias para cobrir a cidade

$$N_{\text{ERB}} = \left\lceil \frac{A_{\text{cidade}}}{A_{\text{cobertura}}} \right\rceil = \left\lceil \frac{2500}{1.6417} \right\rceil = 1523 \quad (27)$$

- 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.

Calculando a potência limiar de potência no receptor:

$$\gamma = \text{SNR} + N = 5 - 120 = -115 \text{ dBm} \quad (28)$$

Calculando a perda na distância de 10 km:

$$\begin{aligned} L(d) &= 120 + 30 \log(d) \\ L(10) &= 120 + 30 \log(10) \\ &= 150 \text{ dB} \end{aligned} \quad (29)$$

Verificando os limites para ERB e TM:

$$\begin{aligned} P_t &= 37 - L(10) = -113 \text{ dBm} > -115 \text{ dBm} \therefore \text{OK} \\ P_r &= 27 - L(10) = -123 \text{ dBm} < -115 \text{ dBm} \therefore \text{Precisa de relay} \end{aligned} \quad (30)$$

Calculando a perda máxima:

$$\begin{aligned} \gamma &= P_r - L_{\text{max}} \\ L_{\text{max}} &= P_r - \gamma \\ &= 27 - (-115) \\ &= 142 \text{ dB} \end{aligned} \quad (31)$$

Descobrimos a distância máxima:

$$\begin{aligned}
L(d_{\max}) &= 120 + 30 \log(d_{\max}) \\
\log(d_{\max}) &= \frac{L(d_{\max}) - 120}{30} \\
&= \frac{142 - 120}{30} \\
&= 0.73 \\
d_{\max} &= 10^{0.73} \\
&= 5.37
\end{aligned} \tag{32}$$

- 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  $\sigma = 8$  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; potência de referência medida a uma distância de 100 m da antena transmissora:  $P_r(100m) = -45$  dBm; potência do ruído térmico no receptor:  $-110$  dBm.

Qual SNR me dá a taxa de 600 kbps:

$$\begin{aligned}
\frac{\text{SNR}}{5} &= 0.6 \text{ Mbps} \\
\text{SNR} &= 0.6 \cdot 5 \text{ Mbps} \\
&= 3 \text{ dB}
\end{aligned} \tag{33}$$

Potência recebida mínima

$$\begin{aligned}
P_{r,\min} &= -110 + 3 \\
P_{r,\min} &= -107
\end{aligned} \tag{34}$$

A probabilidade da potencia recebida ser maior do que 98% é

$$\begin{aligned}
\Pr[P_r(d) > -107] &= 0.98 \\
Q\left(\frac{-107 - P_r(d)}{8}\right) &= 0.98 \\
\frac{-107 - P_r(d)}{8} &= Q^{-1}(0.98) \\
\frac{-107 - P_r(d)}{8} &= -2.07 \\
P_r(d) &= -90.57
\end{aligned} \tag{35}$$

Descobrimos a distância máxima

$$\begin{aligned}
P_r(d) &= P_r(d_0) - 10n \log\left(\frac{d}{100}\right) \\
\log\left(\frac{d}{100}\right) &= \frac{P_r(d_0) - P_r(d)}{10n} \\
&= \frac{-45 - (-90.57)}{10 \cdot 3.5} \\
&= 1.302 \\
d &= 10^{1.302} \cdot 100 \\
&= 2004.5m
\end{aligned} \tag{36}$$

- 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:

$$R(\text{SNR}) = \begin{cases} R(\text{SNR}) = 50 & \text{SNR} > 50 \text{ dB} \\ R(\text{SNR}) = \text{SNR} & 0 \leq \text{SNR} \leq 50 \text{ dB} \\ R(\text{SNR}) = 0 & \text{SNR} < 0 \text{ dB} \end{cases} \tag{37}$$

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:

- qual a taxa média observada na periferia da cidade (borda da célula);
- qual a taxa média observada em toda a área coberta.

Dados para o projeto: perda de referência em  $d_0 = 1$  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  $P_t = 20$  W. Despreze outros ganhos, perdas e interferências.

Calculando a perda no caminho para a periferia da célula:

$$\begin{aligned}
 PL(d) &= PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \\
 &= 120 + 10 \cdot 3.5 \log\left(\frac{10}{1}\right) \\
 &= 155 \text{ dB}
 \end{aligned}
 \tag{38}$$

Encontrando a potência recebida no terminal:

$$\begin{aligned}
 P_t &= 20W = 43.01 \text{ dBm} \\
 P_r &= P_t - PL \\
 &= 43.01 - 155 \\
 &= -111.99 \text{ dBm}
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

Encontrando SNR:

$$\begin{aligned}
 SNR &= P_r - P_n \\
 &= -111.9 - (-120) \\
 &= 7.9
 \end{aligned}
 \tag{40}$$

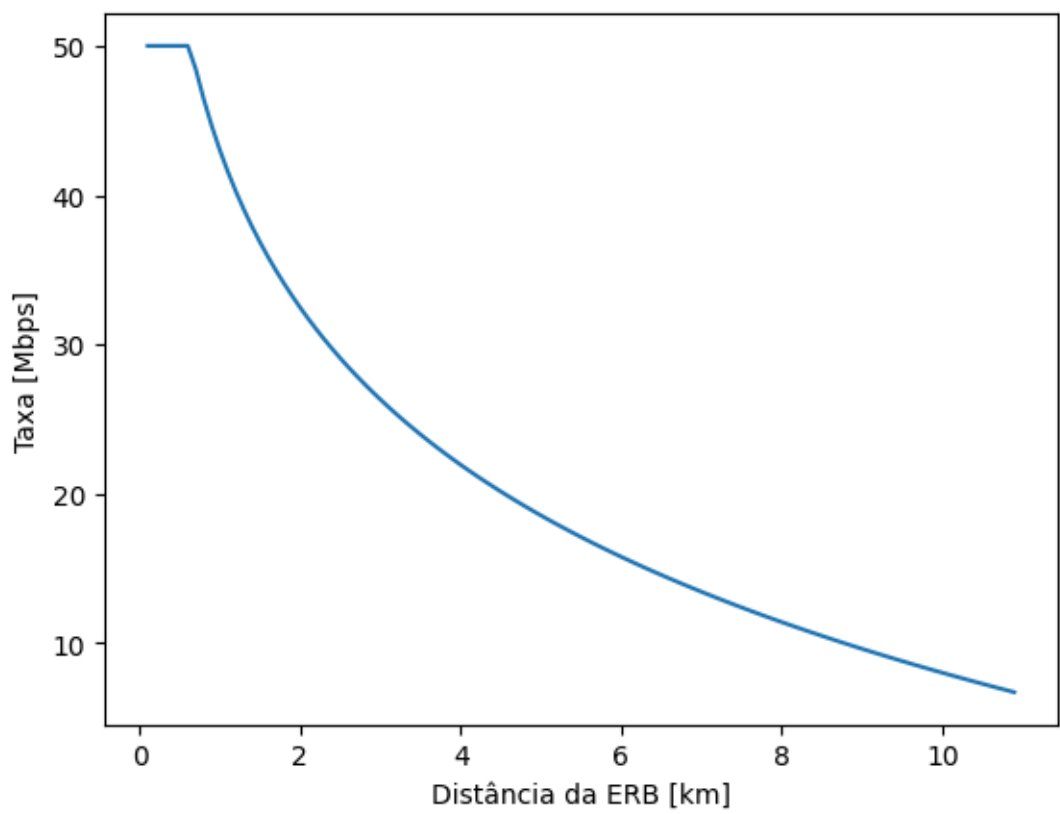
Como o SNR calculado está dentro dos limites de  $0 \leq SNR \leq 50$  podemos inferir que a taxa se comporta como  $R(SNR) = SNR \text{ Mbps}$  portanto a taxa vista na borda da célula é de 8 Mbps.

Utilizando a linguagem de programação python podemos calcular para muitos valores de distancia entre 0 e 10 quilômetros e gerar uma curva com o comportamento da taxa em relação a distância da estação.

```

1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3
4  P_t = 43.01
5  PL_d_0 = 120
6  d_0 = 1
7  n = 3.5
8  P_n = -120
9  ds = np.arange(0.1, 11, 0.1)
10 snrs = np.zeros(len(ds))
11 for i, d in enumerate(ds):
12     PL = PL_d_0 + 10 * n * np.log10(d / d_0)
13     P_r = P_t - PL
14     snrs[i] = P_r - P_n
15
16 snrs[snrs > 50] = 50
17 snrs[snrs < 0] = 0
18
19 plt.figure()
20 plt.plot(ds, snrs)
21 plt.ylabel("Taxa [Mbps]")
22 plt.xlabel("Distância da ERB [km]")
23 plt.show()

```



*Figura 1: Relação entre distância da ERB e taxa*