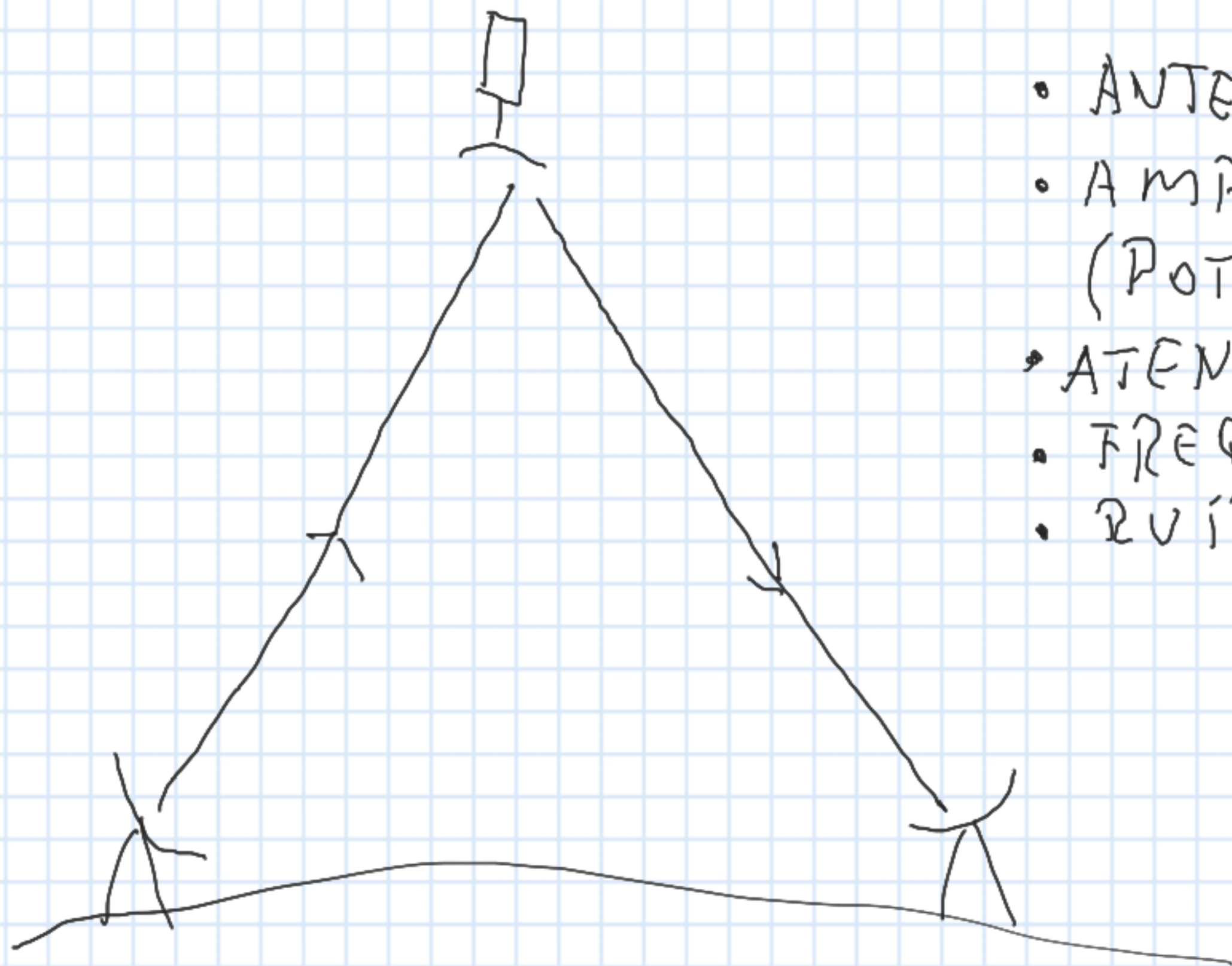


Cálculo de enlace.

O cálculo de enlace tem por objetivo relacionar os elementos que fazem parte de um enlace satélite com uma métrica de qualidade do sinal de maneira que seja possível fazer o correto dimensionamento destes elementos.

As principais métricas de qualidade usada são:

- Relação portadora/ruído C/N
- Relação portadora/densidade espectral de ruído C/N_0
- Relação energia por bit/densidade espectral de ruído E_b/N_0
- Relação sinal/ruído SNR ou S/N



- ANTENAS
- AMPLIFICADORES
(POT. DE TRANSMISSÃO)
- ATENUAÇÃO
- FREQUÊNCIA
- RUÍDO



Relação Portadora/Ruído C/N

A relação portadora/ruído é definida como sendo a razão entre a potência com que a portadora é recebida e a potência do ruído captado na recepção.

$$\frac{C}{N} = \frac{\text{POT. DA PORTADORA}}{\text{POT. DO RUÍDO}}$$

Cálculo da potência da portadora na recepção C

Para calcular a potência com que a portadora é captada na recepção, é preciso usar um modelo de propagação adequado para o ambiente de um enlace satélite. Dentro deste contexto, o modelo que é empregado para tal fim é o do espaço livre, o qual é descrito pela equação de Friis:

$$P_R = \frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R}{A}, \quad A = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

onde P_R = potência recebida

P_T = potência transmitida

G_T = ganho da antena transmissora

G_R = ganho da antena receptora

A = atenuação

d = distância entre as antenas

λ = comprimento de onda do sinal

$$C = \frac{\overbrace{P_T \cdot G_T \cdot G_R}^{EIRP}}{A}$$

$$C = \frac{EIRP \cdot G_R}{A}$$

Cálculo da Potência do Ruído N

A potência do ruído é calculada pela equação:

$$N = k \cdot T \cdot B \quad \text{onde}$$

- N = potência do ruído
- k = constante de Boltzmann
- T = temperatura de ruído
- B = largura de banda do sinal considerado.

Cálculo de C/N

$$\frac{C}{N} = \frac{EIRP \cdot \cancel{G_R}}{A \cdot K \cdot \cancel{T} \cdot B} = \frac{EIRP \cdot \left(\frac{G}{T}\right)}{A \cdot K \cdot B} \quad (\text{LINEAR})$$

$$\frac{C}{N} = \frac{EIRP \cdot \left(\frac{G}{T}\right)}{A \cdot K \cdot B} \quad \text{PASSANDO PARA A ESCALA LOGARÍTMICA:}$$

$$10 \log \left(\frac{C}{N} \right) = 10 \log \left(\frac{EIRP \cdot \left(\frac{G}{T}\right)}{A \cdot K \cdot B} \right)$$

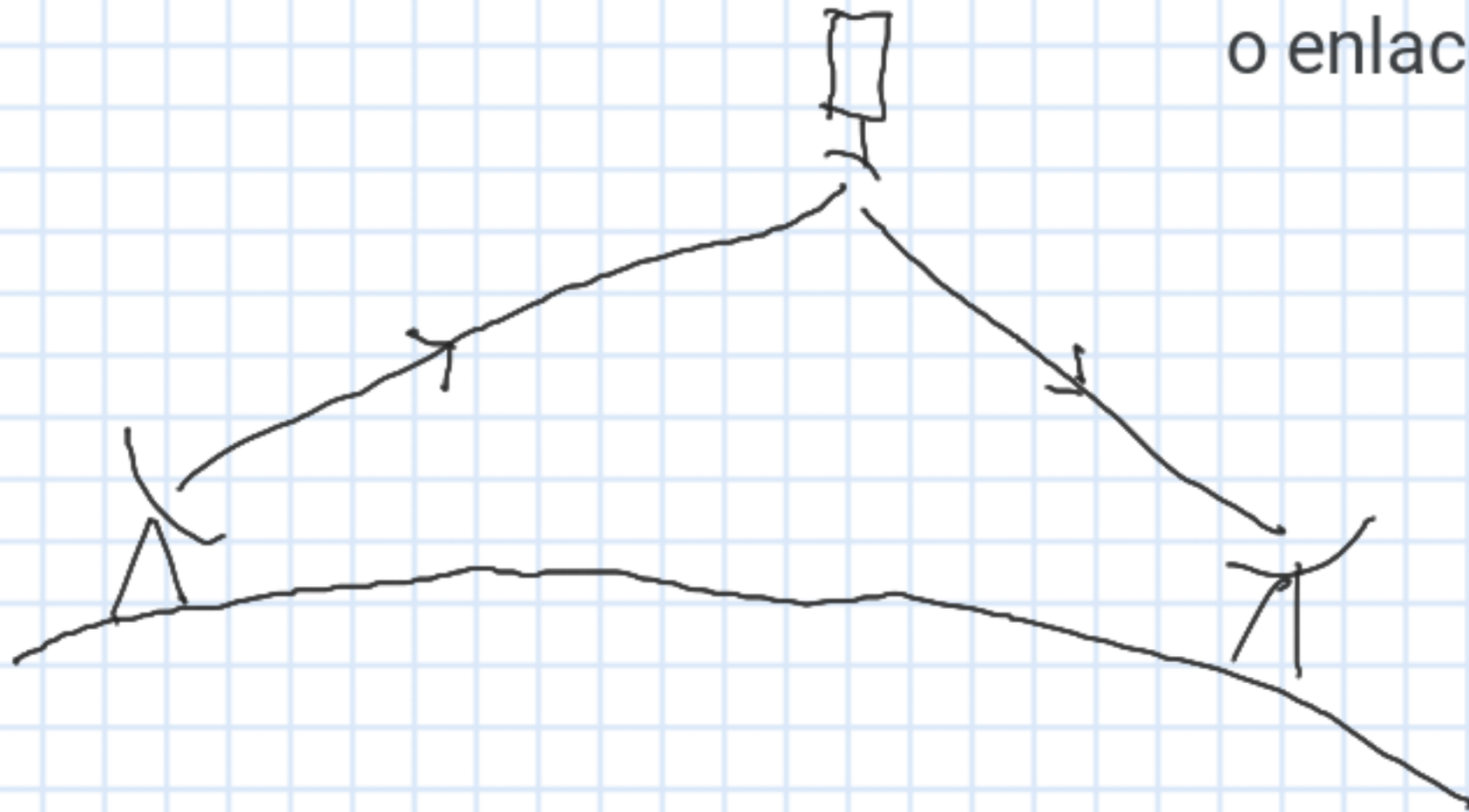
$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = EIRP [\text{dBW}] + \left(\frac{G}{T}\right) [\text{dB K}^{-1}] - A [\text{dB}] + 228,6 - 10 \cdot \log B$$

$$\boxed{\frac{C}{N} = EIRP - A + \left(\frac{G}{T}\right) + 228,6 - 10 \cdot \log B} \quad (\text{LOGARÍTMICA})$$

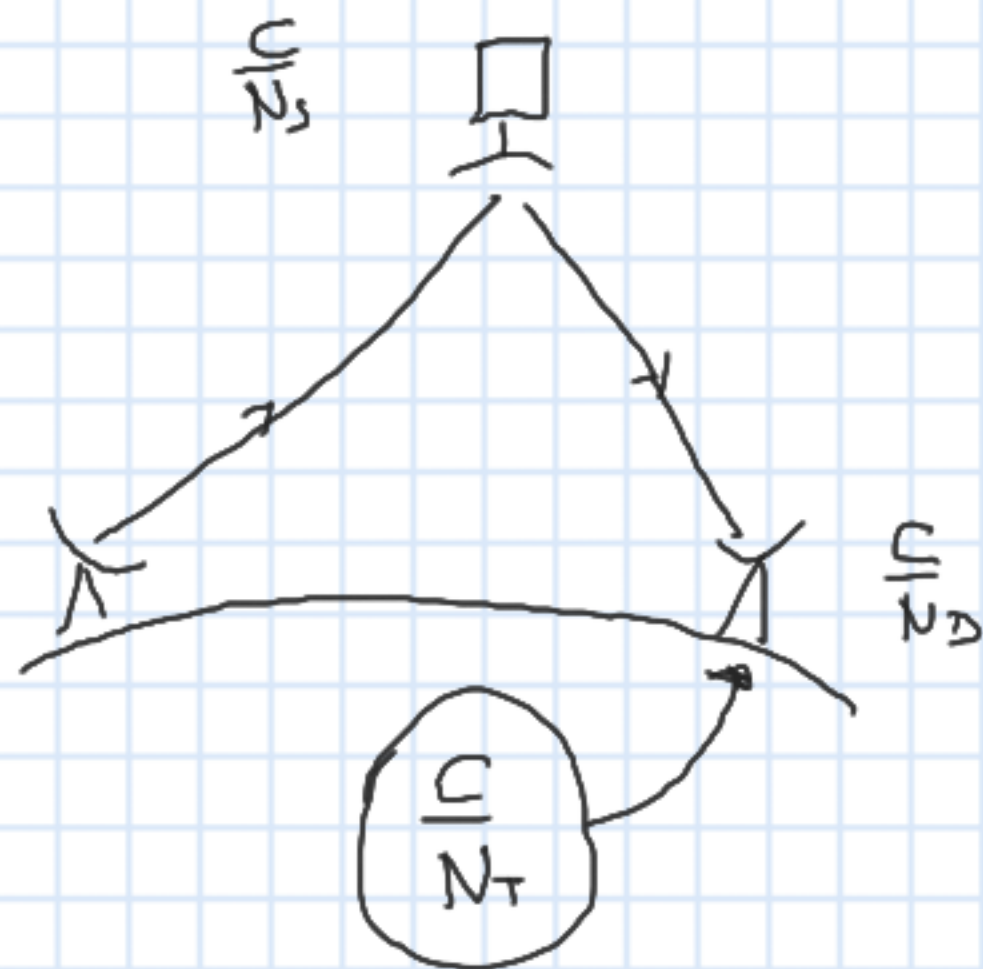
Satélite com transponder repetidor

Quando o satélite usa transponder repetidor, o ruído presente no enlace de subida é propagado para o enlace de descida.

Nesta situação, é preciso calcular a relação portadora/ruído total, a qual levará em conta a contribuição do ruído do enlace de subida para o enlace de descida.



Cálculo da relação Portadora/Ruído Total



$$\frac{C}{N_T} = \frac{\frac{C}{N_s} \times \frac{C}{N_D}}{\frac{C}{N_s} + \frac{C}{N_D}} \quad (\text{LINEAR})$$

$$\frac{C}{N_s} = 10^{\frac{10}{10}}$$

$$\frac{C}{N_D} = 10^{\frac{0}{10}}$$

$$\frac{C}{N_T} = 10 \cdot \log\left(\frac{C}{N_T}\right)$$

LINEAR \rightarrow LOGARÍTMICA

x

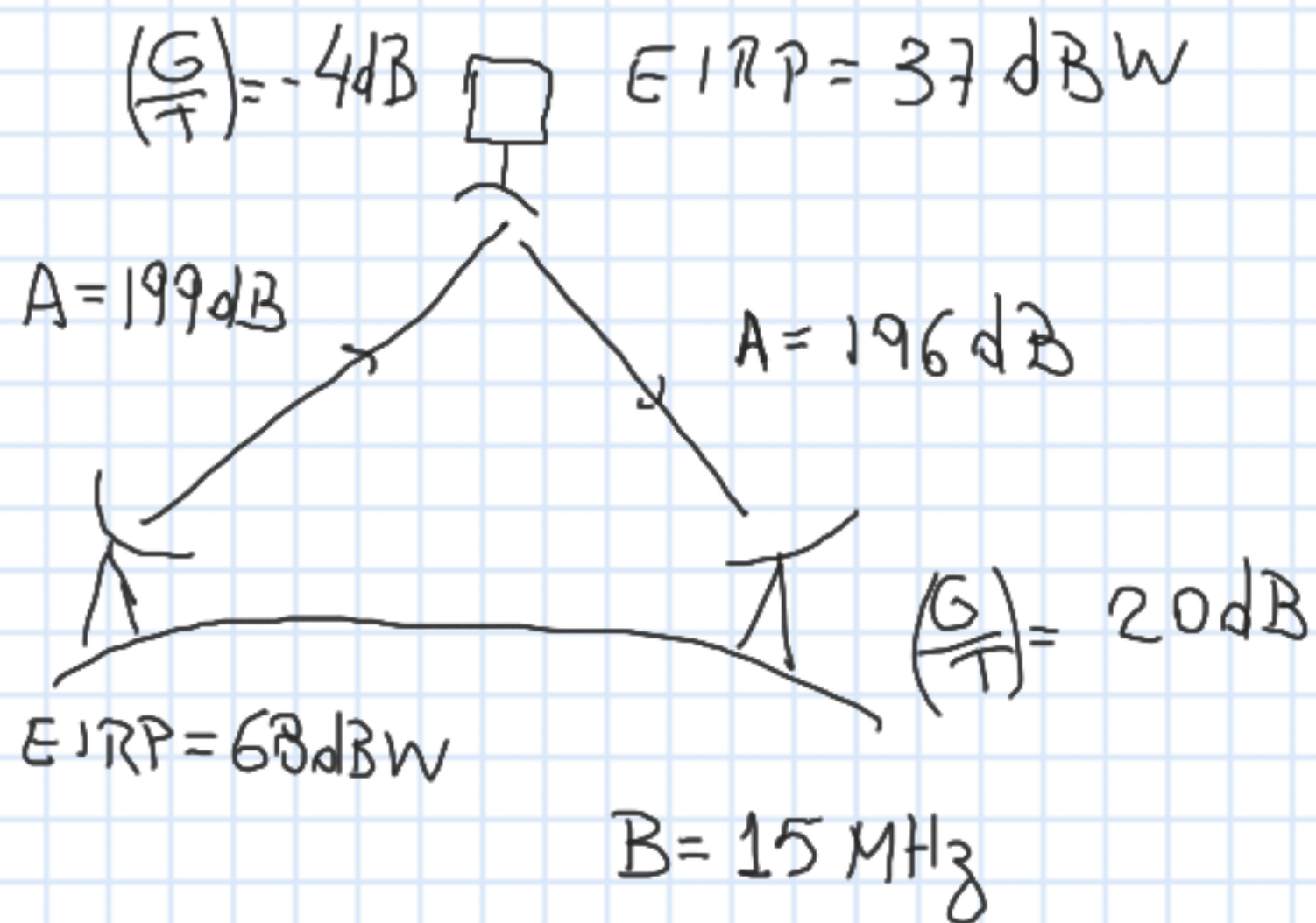
$$X = 10 \cdot \log x$$

LOGARÍTMICA \rightarrow LINEAR

X

$$x = 10^{\frac{X}{10}}$$

Calcule a relação portadora/ruído na recepção da estação terrestre de destino do enlace de satélite abaixo. Considere que o satélite usa transponder repetidor.



$$\frac{C}{N} = EIRP - A + \left(\frac{G}{T}\right) + 228,6 - 10 \cdot \log B$$

$$\frac{C}{N_s} = 68 - 199 - 4 + 228,6 - 10 \log (15 \times 10^6) = 21,8 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{N_D} = 37 - 196 + 20 + 228,6 - 10 \log (15 \times 10^6) = 17,8 \text{ dB}$$

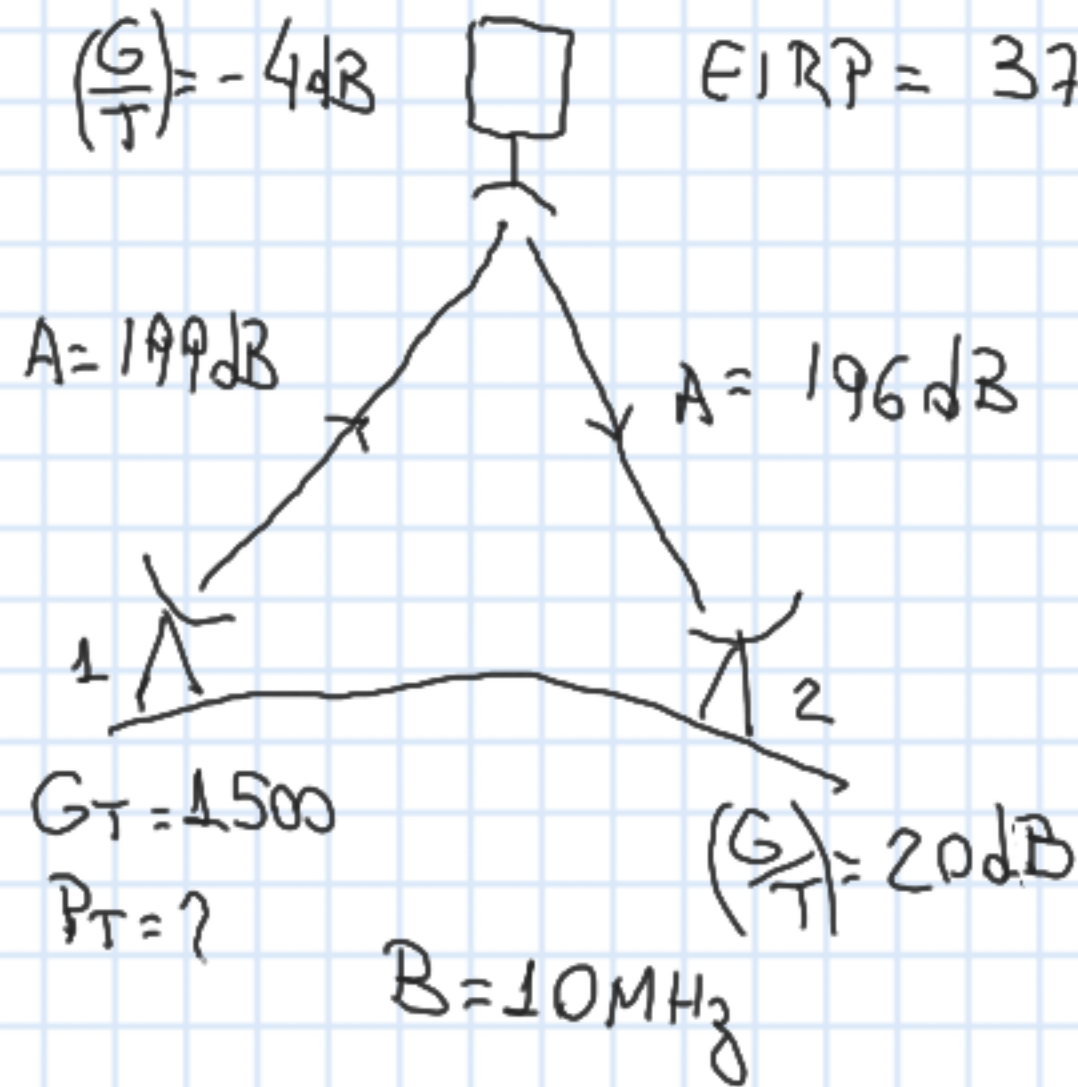
$$\frac{C}{n_s} = 10^{2,18} = 151,36$$

$$\frac{C}{n_T} = \frac{10^{2,18} \times 10^{1,78}}{10^{2,18} + 10^{1,78}} = 43,1$$

$$\frac{C}{n_D} = 10^{1,78} = 60,26$$

$$\frac{C}{N_T} = 10 \log (43,1) = 16,3 \text{ dB}$$

Calcule qual deve ser a potência de transmissão da estação 1 de maneira que a relação C/N na recepção da estação terrestre seja de, pelo menos, 16dB. O satélite usa transponder repetidor.



$$\frac{C}{N} = EIRP - A + (\frac{G}{T}) + 228,6 - 10 \cdot \log B$$

$$\frac{C}{N_T} \geq 16 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{n_T} \geq 10^{1,6} = 39,81$$

$$\frac{C}{N_D} = 37 - 196 + 20 + 228,6 - 10 \cdot \log 10 \times 10^6 = 19,6 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{n_D} = 10^{1,96} = 91,2$$

$$\frac{C}{n_T} = \frac{\frac{C}{n_S} \times \frac{C}{n_D}}{\frac{C}{n_S} + \frac{C}{n_D}} > 10^{1,6}$$

$$\frac{C}{n_S} \times \frac{C}{n_D} \geq 10^{1,6} \left(\frac{C}{n_S} + \frac{C}{n_D} \right) \Rightarrow \frac{C}{n_S}, \frac{C}{n_D} \geq 10^{1,6} \cdot \frac{C}{n_S} + 10^{1,6} \cdot \frac{C}{n_D}$$

$$\frac{C}{n_S} \times \frac{C}{n_D} - 10^{1,6} \cdot \frac{C}{n_S} \geq 10^{1,6} \cdot \frac{C}{n_D}$$

$$\frac{C}{n_s} \left(\frac{C}{n_D} - 10^{1,6} \right) \geq 10^{1,6} \times \frac{C}{n_D} \Rightarrow \frac{C}{n_s} \geq \frac{10^{1,6} \times \frac{C}{n_D}}{\frac{C}{n_D} - 10^{1,6}}$$

$$\frac{C}{n_s} \geq \frac{10^{1,6} \times 10^{1,96}}{10^{1,96} - 10^{1,6}} = 70,65$$

$$\frac{C}{N_s} \geq 10 \log(70,65) = 18,5 \text{ dB} \Rightarrow 18,5 \leq \text{EIRP} - 199 - 4 + 228,6 - 10 \log(10 \times 10^6)$$

$$\text{EIRP} \geq 18,5 + 199 + 4 - 228,6 + 70 = 62,9 \text{ dBW}$$

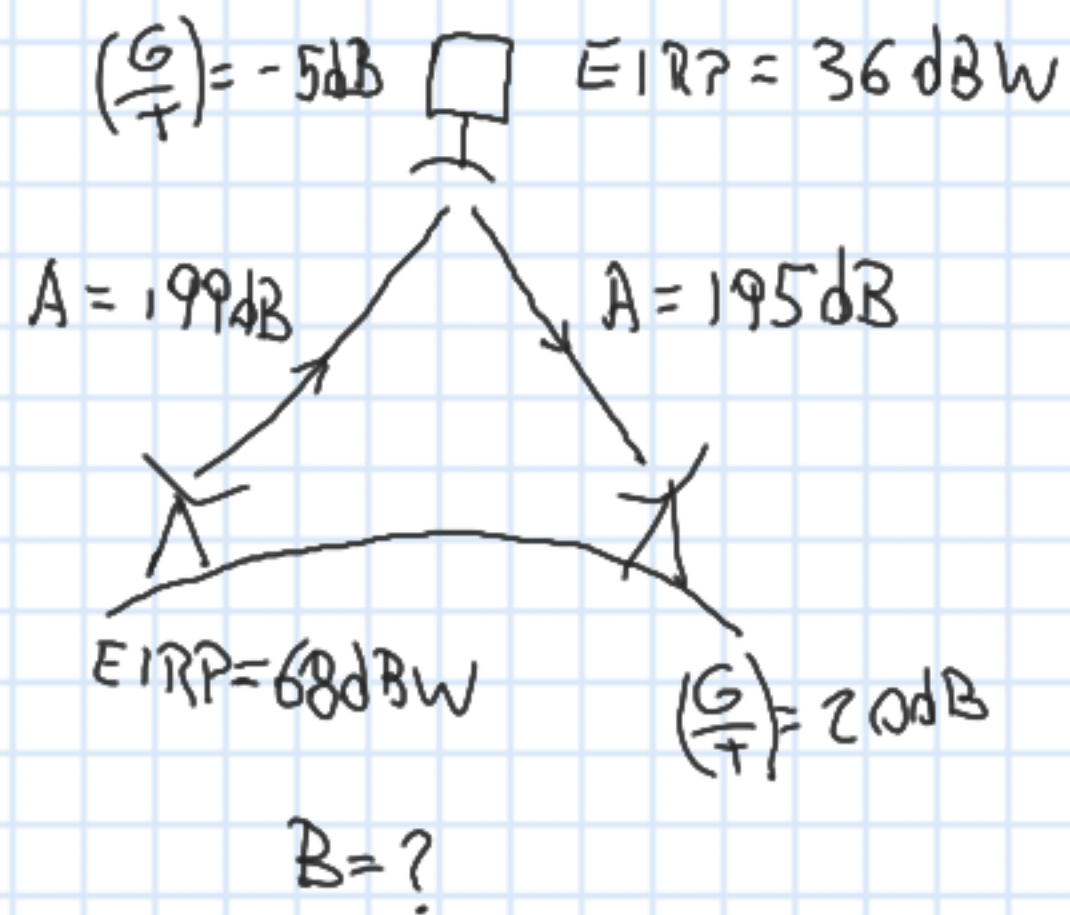
$$\text{EIRP} = P_T + G_T$$

$$G_T = 10 \log(1500) = 31,76 \text{ dBi}$$

$$\text{EIRP} \geq 62,9 \Rightarrow 62,9 \leq P_T + 31,76 \Rightarrow P_T \geq 62,9 - 31,76 = 31,14 \text{ dBW}$$

$$P_T \geq 31,14 \text{ dBW}$$

Determine qual deve ser a largura de banda do sinal transmitido de maneira que a relação portadora/ruído total seja de 15dB.



$$\frac{C}{N} = EIRP - A + \left(\frac{G}{T}\right) + 228,6 - 10 \cdot \log B$$

$$\frac{C}{N_s} = 68 - 199 - 5 + 228,6 - 10 \cdot \log B = 92,6 - 10 \cdot \log B$$

$$\frac{C}{N_D} = 36 - 195 + 20 + 228,6 - 10 \cdot \log B = 89,6 - 10 \log B$$

$$\frac{C}{N_s} = 10^{\frac{C_{Ds}}{10}} = 10^{\left(\frac{92,6 - 10 \log B}{10}\right)} = 10^{(9,26 - \log B)} =$$

$$= \frac{10^{9,26}}{10^{\log B}} = \frac{10^{9,26}}{B}$$

$$\frac{C}{N_D} = 10^{\frac{C_D}{10}} = 10^{\left(\frac{89,6 - 10 \log B}{10}\right)} = 10^{(8,96 - \log B)} = \frac{10^{8,96}}{10^{\log B}} = \frac{10^{8,96}}{B}$$

$$\frac{C}{n_T} = \frac{\frac{C}{n_S} \times \frac{C}{n_D}}{\frac{C}{n_S} + \frac{C}{n_D}} = \frac{\frac{10^{9,26}}{B} \times \frac{10^{8,96}}{B}}{\frac{10^{9,26}}{B} + \frac{10^{8,96}}{B}} = \frac{\frac{10^{9,26+8,96}}{B^2}}{\frac{10^{9,26} + 10^{8,96}}{B}} = \frac{607,52 \times 10^6}{B}$$

$$\frac{C}{n_T} = 10^{1,5} = 31,62 = \frac{607,52 \times 10^6}{B} \Rightarrow B = \frac{607,52 \times 10^6}{31,62} = 19,2 \times 10^6$$

$$B = 19,2 \text{ MHz}$$

$$\frac{J_T}{J_S} = \frac{\frac{J_S \cdot J_D}{J_S + J_D}}{\Rightarrow J_S + J_D = J_T \cdot \frac{C}{J_S} + \frac{C}{J_T} \cdot J_D}$$

$$\frac{C}{J_S} \cdot \frac{C}{J_D} - \frac{C}{J_S} \cdot \frac{J_T}{J_S} = \frac{C}{J_D} \cdot \frac{C}{J_T}$$

$$\frac{C}{J_S} \left(\frac{C}{J_D} - \frac{C}{J_T} \right) = \frac{J_D}{J_S} \cdot \frac{C}{J_T}$$

$$\frac{J_S}{J_S} = \frac{\frac{J_D}{J_S} \cdot \frac{C}{J_T}}{\frac{J_D}{J_S} - \frac{J_T}{J_S}}$$

$$\frac{J_D}{J_S} = \frac{\frac{J_T}{J_S} \cdot \frac{C}{J_S}}{\frac{J_T}{J_S} - \frac{J_S}{J_S}}$$

Relação Portadora/Densidade espectral de ruído C/No

A relação C/No é a razão entre a potência da portadora e a densidade espectral de ruído na recepção do sinal. A relação C/No se relaciona com C/N da seguinte forma:

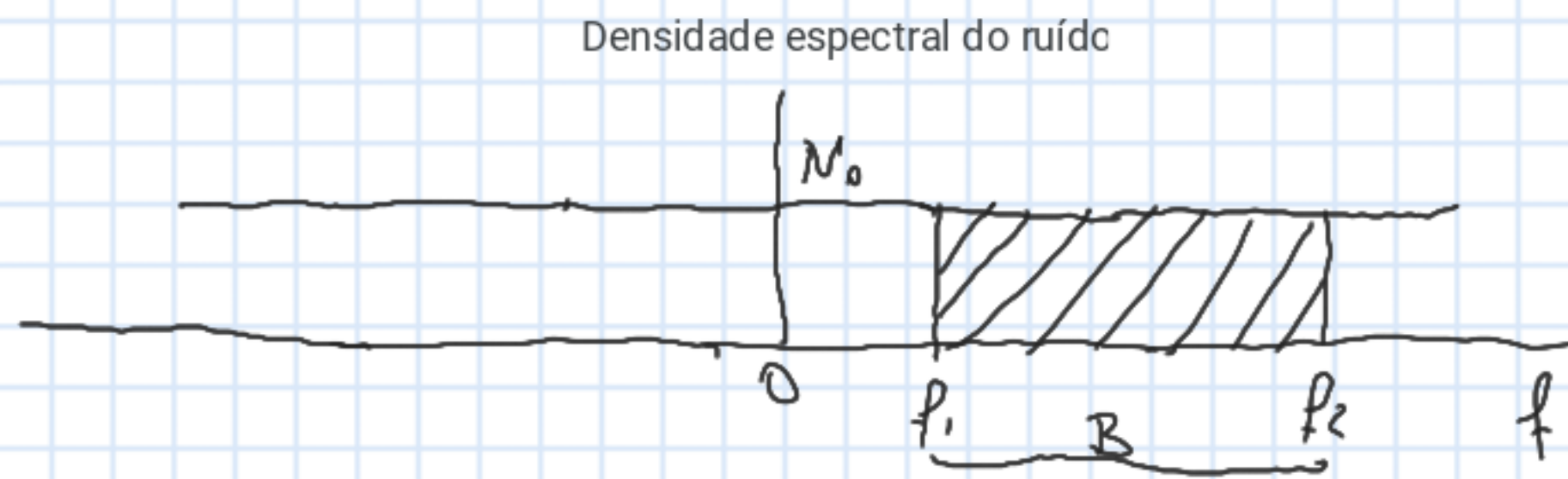
$$C/No = C/N + 10 \cdot \log(B)$$

Escala logarítmica

$$\frac{C}{N_0} = EIRP - A + \left(\frac{G}{T}\right) + 228,6 - 10 \log B + 10 \log B$$

$$c/no = c/n \cdot B$$

Escala linear



$$N = N_0 \cdot B$$

$$B = f_2 - f_1$$

$$\frac{C}{N_0} = \text{EIRP} - A + \left(\frac{G}{T}\right) + 228,6$$

$$\frac{C}{N_{0S}} = \frac{C}{N_S} + 10 \log B$$

$$\frac{C}{N_{0D}} = \frac{C}{N_D} + 10 \log B$$

$$\frac{C}{N_{0T}} = \frac{C}{N_T} + 10 \log B$$

LOGARÍTMICA

$$\frac{C}{n_{0S}} = \frac{C}{s_s} \cdot B$$

$$\frac{C}{n_{0D}} = \frac{C}{n_D} \cdot B$$

$$\frac{C}{n_{0T}} = \frac{C}{n_T} \cdot B$$

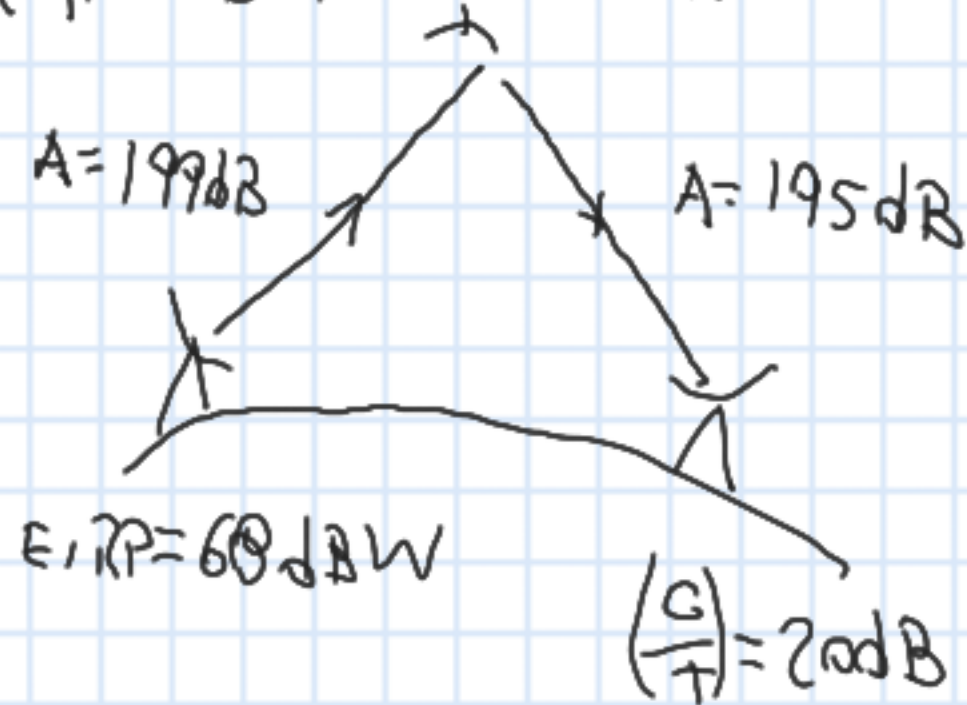
LINEAR

$$\frac{C}{n_{0T}} = \frac{\frac{C}{n_{0S}} \cdot \frac{C}{n_{0D}}}{\frac{C}{n_{0S}} + \frac{C}{n_{0D}}}$$

Determine qual deve ser a largura de banda do sinal transmitido de maneira que a relação portadora/ruído total seja de 15dB.

$$\left(\frac{C}{T}\right) = -5 \text{ dB} \quad \square \quad E_{IRP} = 36 \text{ dBW}$$

$$\frac{C}{N_0} = E_{IRP} - A + \left(\frac{C}{T}\right) + 228,6$$



$$\frac{C}{N_{0S}} = 60 - 199 - 5 + 228,6 = 92,6 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{N_{0D}} = 36 - 195 + 20 + 228,6 = 89,6 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{n_{0S}} = 10^{9,26}$$

$$\frac{C}{n_{0D}} = 10^{8,96}$$

$$\frac{C}{n_{0T}} = \frac{\frac{C}{n_{0S}} \cdot \frac{C}{n_{0D}}}{\frac{C}{n_{0S}} + \frac{C}{n_{0D}}} = \frac{10^{9,26} \cdot 10^{8,96}}{10^{9,26} + 10^{8,96}} = 607,53 \times 10^6$$

$$\frac{C}{n_{0T}} = \frac{C}{n_T} \cdot B \Rightarrow B = \frac{\frac{C}{n_{0T}}}{\frac{C}{n_T}} = \frac{607,53 \times 10^6}{31,62} = 19,2 \times 10^6$$

$$\frac{C}{n_T} = 10^{1,5} = 31,62$$

$$B = 19,2 \text{ MHz}$$

Em um determinado enlace de satélite, a relação C/Nt é de 16dB. Qual será a nova relação C/Nt se a largura de banda for reduzida pela metade?

$$\frac{C}{N_{0T}} = \frac{C}{N_T} + 10 \cdot \log B$$

$$\frac{C}{N_{0T}} = 16 + 10 \cdot \log B_1$$

$$\frac{C}{N_{0T}} = \frac{C}{N_{T2}} + 10 \cdot \log B_2$$

$$16 + 10 \cdot \log B_1 = \frac{C}{N_{T2}} + 10 \cdot \log B_2$$

$$B_2 = \frac{B_1}{2}$$

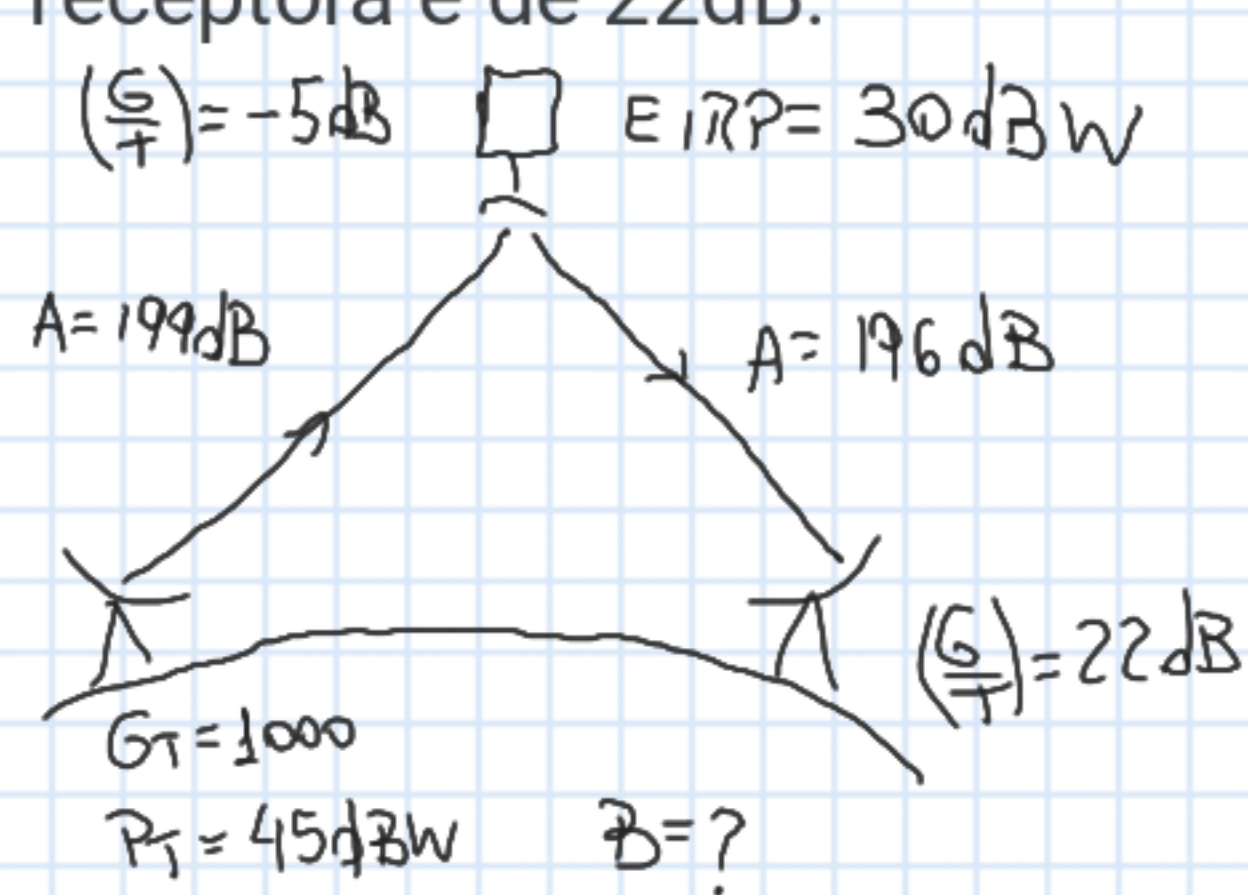
$$16 + 10 \log B_1 = \frac{C}{N_{T2}} + 10 \log \left(\frac{B_1}{2} \right) = \frac{C}{N_{T2}} + 10 \log B_1 - 10 \log(2)$$

$$16 + 10 \log B_1 = \frac{C}{N_{T2}} + 10 \log B_1 - 10 \log(2) \Rightarrow 16 = \frac{C}{N_{T2}} - 3$$

$$\frac{C}{N_{T2}} = 16 + 3 = 19 \text{ dB}$$

$$\boxed{\frac{C}{N_{T2}} = 19 \text{ dB}}$$

Sabe-se que a relação portadora-ruído na recepção de uma estação terrestre deve ser maior ou igual a 20dB. Calcule a banda máxima do sinal a ser transmitido do sistema sabendo-se que o amplificador de potência da estação transmissora opera com 45dBW, o ganho da antena de transmissão desta estação é de 1000, a atenuação do enlace de subida é 199dB, a EIRP do satélite é de 30dBW e o seu fator de mérito é de -5dB, a atenuação do enlace de descida é 196dB e o fator de mérito da estação receptora é de 22dB.



$$G_T = 10 \log 1000 = 30 \text{ dB}$$

$$EIRP = P_T + G_T = 45 + 30 = 75 \text{ dBW}$$

$$\frac{C}{N_T} = 10^{20} = 100$$

$$\frac{C}{N_T} \geq 20 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{N_{0S}} = 75 - 199 - 5 + 228,6 = 99,6 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{N_{0D}} = 30 - 196 + 22 + 228,6 = 84,6 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{N_{0T}} = \frac{\frac{C}{N_{0S}} \cdot \frac{C}{N_{0D}}}{\frac{C}{N_{0S}} + \frac{C}{N_{0D}}} = \frac{10^{9,96} \cdot 10^{8,46}}{10^{9,96} + 10^{8,46}} = 279,5 \times 10^6$$

$$B = \frac{C_{N_{0T}}}{C_{N_T}} = \frac{279,5 \times 10^6}{100} = 2,795 \text{ MHz}$$

Sabe-se que a relação portadora-ruído na recepção de uma estação terrestre deve ser maior ou igual a 20dB. Calcule a banda máxima do sinal a ser transmitido do sistema sabendo-se que o amplificador de potência da estação transmissora opera com 45dBW, o ganho da antena de transmissão desta estação é de 1000, a atenuação do enlace de subida é 199dB, a EIRP do satélite é de 30dBW e o seu fator de mérito é de -5dB, a atenuação do enlace de descida é de 196dB e o fator de mérito da estação receptora é de 22dB.