

Resolução do Exame de 01/Fev/2022

1.

a) A potência de sinal correspondente à sensibilidade é dada por:

$$P_{RX \text{ dBm}} = 10 \log_{10} \left(\frac{V_{RX}^2}{Z_0} \right) + 30 = 10 \log_{10} \left(\frac{(0.16 \cdot 10^{-6})^2}{50} \right) + 30 = -122.9 \text{ dBm}$$

A potência de ruído numa largura de banda de 12 kHz é dada por:

$$N_{RX \text{ dBm}} = 10 \log_{10}(K_{BZ} T_0 Bw) + 30 = 10 \log_{10}(1.38 \cdot 10^{-23} \times 290 \times 12 \cdot 10^3) + 30 = -133.2 \text{ dBm}$$

Logo, a relação sinal/ruído mínima para boa receção no porto de antena é:

$$SNR = P_{RX \text{ dBm}} - N_{RX \text{ dBm}} = -122.9 + 133.2 = 10.3 \text{ dB}$$

b) O raio fictício da Terra para os dois casos é dado por:

$$r_T^* = k r_T = \begin{cases} 6370 \text{ km para } k = 1 \\ 8493 \text{ km para } k = 4/3 \end{cases}$$

A curvatura da terra introduz uma altura adicional relativamente ao modelo de "Terra plana" que é dada por ($d_1 = 48 \text{ km}$, $d_2 = 57 \text{ km}$):

$$h_{CT} = \frac{d_1 d_2}{2 r_T^*} = \begin{cases} 215 \text{ m para } k = 1 \\ 161 \text{ m para } k = 4/3 \end{cases}$$

A altitude da linha de vista entre o Pico e Angra do Heroísmo, face ao modelo "Terra plana" e sobre São Jorge é dada por:

$$h_{LV} = \frac{57}{105} \cdot 2351 + \frac{48}{105} \cdot 30 = 1290 \text{ m}$$

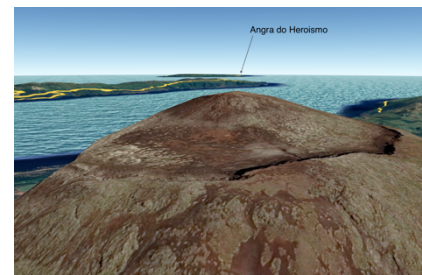
A altura restante para o elipsóide de Fresnel de índice n é:

$$h_F = h_{LV} - h_{CT} - 840 = \begin{cases} 235 \text{ m para } k = 1 \\ 289 \text{ m para } k = 4/3 \end{cases}$$

Sabendo que $h_F = \sqrt{n \lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$ determina-se o índice n por inversão:

$$n = \frac{h_F^2}{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \begin{cases} 1.02 \text{ para } k = 1 \\ 1.55 \text{ para } k = 4/3 \end{cases}$$

Estando o primeiro elipsóide desimpedido para ambos os valores de k conclui-se que o obstáculo não tem impacto. A imagem ao lado ilustra a vista de São Jorge e de Angra a partir do Pico.



c) A esta frequência (145 MHz) a atenuação dos gases da atmosfera é vestigial, pelo que o seu impacto pode ser desconsiderado nesta ligação.

d) A margem do balanço de potência desta ligação é dada por:

$$\begin{aligned} \text{Margem} &= P_{RX \text{ dBm}} + G_{ant} + FLS + G_{ant} - N_{RX \text{ dBm}} = \\ &= 31.8 + 0 + 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi(d_1 + d_2)} \right) + 0 - (-122.9) = \\ &= 31.8 + 0 - 116.1 + 0 + 122.9 = 38.6 \text{ dB} \end{aligned}$$

A ligação é muito confortavelmente viável.

2.

a) Os valores de elevação α , azimuth β e distância d decorrem da aplicação das fórmulas:

$$\gamma = \arccos(\cos(\text{lat}) \cos(\Delta \text{lon})) = 52.8^\circ$$

$$\alpha = \arctan \left(\frac{\cos(\gamma) - r_T/r_S}{\sin(\gamma)} \right) = 29.6^\circ$$

$$\beta = \arccos \left(-\frac{\tan(\text{lat})}{\tan(\gamma)} \right) = 131.6^\circ$$

$$d = \sqrt{1 + (r_T/r_S)^2 - 2(r_T/r_S)\cos(\gamma)} = 38\,645 \text{ km}$$

b) De acordo com a figura da página 27 dos apontamentos sobre ligações via satélite, a atenuação da atmosfera segundo o zénite é 0.06 dB para a frequência em causa. Para uma elevação de 29.6° obtém-se a atenuação:

$$L_g \text{ dB} = \frac{L_g \text{ zénite dB}}{\sin(\alpha)} = 0.12 \text{ dB}; \quad L_g = 10^{-\frac{L_g \text{ dB}}{10}} = 0.972$$

Sabendo que $T_{\text{cosm}} = 3 \text{ K}$, que $T_m = 275 \text{ K}$ e que a eficiência η da antena é 50%, verifica-se que:

$$T_a = L_g T_{\text{cosm}} + (1 - L_g) T_m = 10.5 \text{ K}$$

$$T_{\text{ant}} = \eta T_a + (1 - \eta) T_0 = 150 \text{ K}$$

c) Dado que o ganho do LNB é $g_{\text{LNB}} = 10^5$ (50 dB) e que o ganho do cabo é $g_{\text{cabo}} = 0.1$ (atenuação de 10 dB), verifica-se que:

$$T_{\text{LNB}} = T_0 \left(10^{\frac{0.5 \text{ dB}}{10}} - 1 \right) = 35.4 \text{ K}$$

$$T_{cabo} = T_0 \left(10^{\frac{10 \text{ dB}}{10}} - 1 \right) = 2610 \text{ K}$$

$$T_{recv} = T_0 \left(10^{\frac{8 \text{ dB}}{10}} - 1 \right) = 1540 \text{ K}$$

Somando as parcelas pesadas com os ganhos dos elementos anteriores na cadeia de RF, obtém-se a temperatura do sistema:

$$T_S = T_{ant} + T_{LNB} + \frac{T_{cabo}}{g_{LNB}} + \frac{T_{recv}}{g_{LNB} g_{cabo}} = 186 \text{ K}$$

d) O ganho da antena é dado por:

$$G_{ant} = 10 \log_{10} \left(\eta \frac{\pi \frac{D^2}{4}}{\frac{\lambda^2}{4\pi}} \right) = 43.8 \text{ dBi}$$

Calcula-se a margem da ligação através de:

$$\text{Margem} = EIRP + FSL - L_g \text{ dB} + G_{ant} - 10 \log_{10}(K_{BZ} T_S R_b) - E_b/N_{0 \min}$$

$$\text{Margem} = 50 - 205.5 - 0.12 + 43.8 - (-132.5) - 6.0 = 14.7 \text{ dB}$$

Esta margem é suficiente para suportar a degradação adicional provocada pela chuva.

3.

a) Sendo um radar que opera por impulsos simples, a resolução em distância do sistema original é dada por:

$$Res_{orig} = \frac{c}{2} \Delta t_{orig} = 150 \times 0.01 = 1.5 \text{ m}$$

Sendo um radar que opera por sinais complexos, a resolução em distância (obtida após correlação) é dada por:

$$Res_{novo} = \frac{c}{2} \cdot \frac{1}{Bw_{novo}} = \frac{150}{300} = 0.5 \text{ m}$$

O radar novo apresenta uma resolução três vezes melhor. Note-se que a largura de banda do radar original é $Bw_{orig} = 1/\Delta t_{orig} = 100 \text{ MHz}$, ou seja, três vezes menor.

b) No sentido de manter a distância alcançada, o radar novo, através da correlação dos sinais recebidos com os transmitidos, apresenta um ganho de processamento que deverá ser dimensionado para compensar a menor potência de transmissão e o maior ruído captado por conta do aumento da

largura de banda. Assim, deverá verificar-se a seguinte desigualdade:

$$G_{proc} = Bw_{novo} \Delta t_{novo} \geq \frac{P_{orig} Bw_{novo}}{P_{novo} Bw_{orig}} = \frac{10000 \times 300}{100 \times 100} = 300$$

Daqui decorre que:

$$\Delta t_{novo} \geq \frac{300}{Bw_{novo}} = 1.0 \mu seg$$

Para limitar a distância cega a 500 metros tem que se verificar que:

$$\frac{c}{2} (\Delta t_{novo} + \Delta t_{switch}) \leq 500 \Leftrightarrow \Delta t_{novo} \leq \frac{500}{150} - 0.01 = 3.23 \mu seg$$

Para respeitar as duas condições, Δt_{novo} deve ser dimensionado entre 1.0 e 3.23 microssegundos.

- c) *Para que não seja transmitido um novo sinal até que todos os ecos do sinal anterior, associados a alvos situados até 30 km de distância, tenham sido recebidos é necessário que:*

$$\frac{c}{2} (PRI - \Delta t_{novo} - \Delta t_{switch}) \geq 30 km$$

Daqui conclui-se que:

$$PRF = \frac{1}{PRI} \leq \frac{1}{\frac{30 km}{\frac{c}{2}} + 0.1 \mu seg + 2.0 \mu seg} = 4948 Hz$$

- d) *Num radar a relação sinal/ruído diminui com a quarta potência da distância e o ganho do processamento coerente de um conjunto de N pulsos ou ecos é precisamente dado por N . Assim, para se obter um ganho de distância de 2.5 vezes tem-se que:*

$$N = \text{fator}_{dist}^4 = 2.5^4 \approx 39$$

Visto que o número de pulsos por revolução é dado por 4 PRF (uma rotação a cada 4 segundos) e que a largura de feixe de uma antena com abertura A é dada por λ/A (em radianos), verifica-se que:

$$N = 39 \leq \frac{4 PRF \lambda}{2\pi A} \Leftrightarrow A \leq 2.1 m$$

4.

- a) *A associação das imagens aos respetivos defeitos é a seguinte, com a sua justificação:*

Imagem com defeito A – ausência do filtro anti-speckle.

Speckle é o efeito de “grão de areia” que aparece na imagem, resultante de existirem píxeis onde a coerência de fase é localmente maior do que em píxeis ao lado. O filtro anti-speckle é um filtro passa-baixo aplicado à magnitude da imagem que, reduzindo a largura de banda da imagem, melhora a razão sinal/ruído e elimina o grão.

Imagem com defeito B – insuficiência da taxa de amostragem segundo a direção azimutal.

Esta insuficiência da taxa de amostragem azimutal conduz ao aparecimento do fenómeno de “aliasing” segundo esta direção, que se pode ver na imagem, muito marcadamente junto à margem esquerda (repetição do casario de Vilar de Luz).

Imagem com defeito C – redução da largura de banda dos sinais transmitidos. A resolução segundo “range”, horizontal neste exemplo que foi objeto de estudo no segundo trabalho realizado durante a parte letiva da unidade curricular, depende da largura de banda dos sinais usados. Uma redução desta largura de banda conduz a que a imagem perca resolução segundo a horizontal, como se pode ver na espessura das linhas verticais correspondentes às vedações do aeródromo.

- b) *A diminuição da abertura sintética irá conduzir a piorar a resolução segundo a direção azimutal (direção vertical nesta imagem). A resolução azimutal, antes da aplicação de um filtro anti-speckle, é dada por:*

$$Res_{azim} = \frac{\lambda R}{2L}$$

onde R é a distância ao alvo e L a abertura sintética. Esta abertura sintética está limitada pelo padrão de radiação da antena. A utilização de aberturas menores que este limite produz valores de resolução azimutal maiores. Não confundir diminuição de número de pulsos por redução da abertura (com impacto na resolução) com diminuição da taxa de amostragem (relacionado com o aparecimento de “aliasing”).