



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

PROVA DISCURSIVA

TG01

ESPECIALIDADE GESTÃO DE SISTEMA RF DE ESTAÇÃO TERRENA



SUA PROVA

- Além deste caderno contendo **5 (cinco)** questões discursivas **com as respectivas folhas de rascunho**, você receberá do fiscal de prova as folhas de textos definitivos;



TEMPO

- Você dispõe de **4 (quatro) horas** para a realização da prova;
- **2 (duas) horas** após o início da prova, é possível retirar-se da sala, sem levar o caderno de questões;
- A partir dos **30 (trinta) minutos** anteriores ao término da prova é possível retirar-se da sala **levando o caderno de questões**.



NÃO SERÁ PERMITIDO

- Qualquer tipo de comunicação entre os candidatos durante a aplicação da prova;
- Anotar informações relativas às respostas em qualquer outro meio que não seja no caderno de questões e nas folhas de textos definitivos;
- Levantar da cadeira sem autorização do fiscal de sala;
- Usar o sanitário ao término da prova, após deixar a sala.



INFORMAÇÕES GERAIS

- Verifique se seu caderno de questões está completo, sem repetição de questões ou falhas. Caso contrário, **notifique imediatamente o fiscal da sala**, para que sejam tomadas as devidas providências;
- Confira seus dados pessoais, especialmente nome, número de inscrição e documento de identidade e leia atentamente as instruções para preencher as folhas de textos definitivos;
- Para o preenchimento das folhas de textos definitivos, use somente caneta esferográfica, fabricada em material transparente, com tinta preta ou azul;
- Assine seu nome apenas no(s) espaço(s) reservado(s) no cartão de respostas;
- Caso você tenha recebido caderno de cargo **diferente** do impresso em suas folhas de textos definitivos, o fiscal deve ser **obrigatoriamente** informado para o devido registro na ata da sala;
- O preenchimento das folhas de textos definitivos é de sua responsabilidade e **não será permitida a troca de folha de texto definitivo em caso de erro cometido pelo candidato**;
- Para fins de avaliação, serão levadas em consideração apenas os textos das folhas de textos definitivos;
- A FGV coletará as impressões digitais dos candidatos na lista de presença;
- Os candidatos serão submetidos ao sistema de detecção de metais quando do ingresso e da saída de sanitários durante a realização das provas.
- **Boa prova!**

Questão 1

O subsistema TT&C (Rastreamento, telemetria e telecomando) realiza a comunicação em Banda-S entre o satélite e a Estação Terrena (E/T). Esse subsistema recebe os comandos e envia as telemetrias do satélite para as respectivas E/Ts. A frequência nominal do satélite, para o enlace de subida e o enlace de descida, deve atender a razão 240/221, regulamentada pelo CCSDS.

Para a resolução das perguntas, considere os seguintes dados:

- Frequência de subida: 2.208,0 MHz;
 - Taxa de bits da telemetria: 300 kbit/s;
 - Taxa de erro de bits: 10^{-5} , considerar E_b/N_0 requerida = 10 dB;
 - Distância satélite x Estação Terrena: 600 km;
 - Perdas tecnológicas: 0 dB;
 - Para a Estação Terrena:
 - Figura de Mérito (G/T): 20 dB/K;
 - Ganho antena receptora da E/T: 44 dBi;
 - Potência Irradiada Isotrópica Equivalente (EIRP): 62 dBW;
 - Para o satélite
 - Potência de RF transmitida: 1 W;
 - Ganho antena do satélite: -12 dBi; *Obs: a mesma antena é utilizada tanto para transmissão quanto para recepção*
 - Figura de Ruído do receptor: 5 dB;
 - Temperatura de ruído na antena receptora do satélite: 300 K;
 - Modulação (transmissão): QPSK, sem codificação.
 - Outros:
 - Perdas (apontamento, polarização, demodulação, atmosférica, espaço livre) no enlace, em ambas as direções: L = 160 dB;
 - Constante de Boltzmann: $k = 1.379 \times 10^{-23} \text{ W/K.Hz} = -228.6 \text{ dBW/K.Hz}$;
- $\log_{10} 2 \sim 0.3$;
- $\log_{10} 3 \sim 0.5$;
- $\pi \sim 3$;

Obs.: considere que as perdas relativas ao transmissor estão incluídas na EIRP e as perdas relativas ao receptor estão embutidas no ganho da antena receptora. Não estão explicitamente mencionadas as perdas de polarização que, a rigor, é devida a ambas as antenas, e as perdas devido às condições atmosféricas (como a chuva), que devem ser incluídas nas perdas devido ao meio.

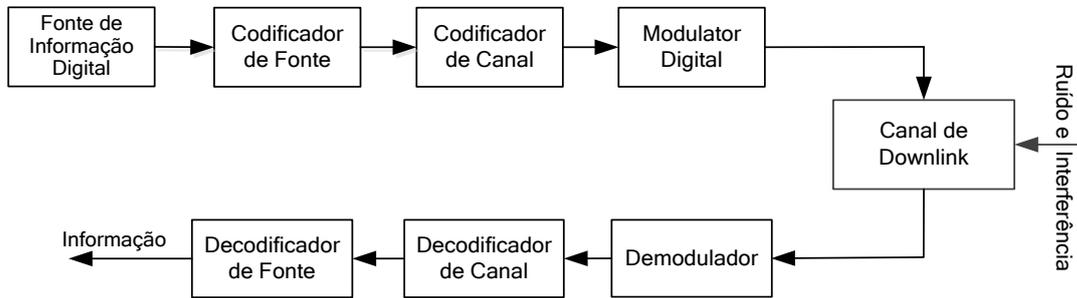
Determine:

- A) O par de frequências a serem usadas no enlace espaço-Terra (e-T) e no enlace Terra-espaço (T-e) para a Banda-S, sabendo-se que as frequências atribuídas pela União Internacional de Telecomunicações (UIT) para o Serviço de Operação Espacial (TT&C) devem estar nas faixas: 2.025-2.110 MHz (T-e) e 2.200-2.290 MHz (e-T), (em MHz).
- B) O nível de RF recebida na porta da antena do satélite (em dBm).
- C) A Figura de Mérito do receptor do satélite (em dB/K).
- D) A Potência Irradiada Isotrópica Equivalente (EIRP) do satélite (em dBW).
- E) A margem do enlace de descida (em dB).

Questão 2

Um satélite de observação da Terra tem como missão capturar imagens e transmitir seus dados para a estação terrena a uma taxa de *bits*, R_b , igual a 800 Mbit/s ocupando uma faixa de frequências (*BW*) regulamentada pela ITU de 8,025 GHz a 8,400 GHz.

A figura abaixo mostra o diagrama em blocos do sistema de comunicação digital que representa o canal de transmissão e recepção de dados de telemetria da missão.



Com base nessas informações, responda aos itens a seguir.

- Descreva de forma concisa a funcionalidade de cada elemento (bloco) do sistema.
- Determine o tipo de modulação digital MPSK (*M-ary Phase Shift Keying*) capaz de transmitir a taxa requerida R_b (especificada acima), com menor taxa de erro de *bits* (BER).
- Calcule a largura de banda ocupada para a modulação utilizada (em MHz).
- Utilizando um filtro na moldagem dos pulsos de dados com *roll-off* de 20% ($\alpha = 0,20$) e codificação de canal de 7/8, calcule também a eficiência espectral do sistema (em bit/s/Hz).

Dados: $\log_{10} 2 = 0,3$

Questão 3

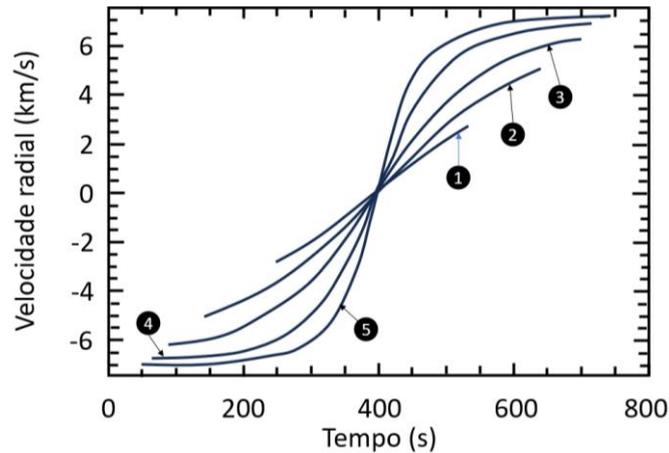
Os sistemas de telemetria e telecomando são essenciais para o controle de satélites. A Modulação por Código de Pulsos – PCM é amplamente utilizada em sistemas de telecomunicações espaciais para transmitir dados telemétricos e comandos entre satélites e estações terrestres.

Cite e descreva pelo menos 06 (seis) vantagens do uso dessa técnica de modulação.

Questão 4

O sistema de *range rate* de uma Estação Terrena tem como objetivo estimar a velocidade radial de um satélite em órbita circular a uma altitude de 600 km. Para tal, utiliza-se o desvio Doppler do sinal que foi retransmitido pelo satélite utilizando um transponder coerente.

O gráfico abaixo apresenta a medida da velocidade radial de um satélite em baixa órbita após passagens sucessivas (numeradas de 1 a 5) pela área de cobertura da Estação Terrena.



Considere que todas as medidas são iniciadas quando o satélite aparece no horizonte do observador (AOS – *Acquisition of signal*) e terminam quando o satélite atravessa o horizonte do observador (LOS – *Loss of Signal*).

Dados:

- frequência do sinal transmitido pela estação terrena: $f_u = 2250\text{MHz}$;
- raio da Terra: 6400 km;
- velocidade da luz: $c = 3 \times 10^8\text{m/s}$; e
- velocidade radial (V_r) em função da frequência do sinal recebido (f_d) pela Estação terrena: $V_r = -\frac{0,55c(f_d^* - 0,9f_u)}{f_u}$.

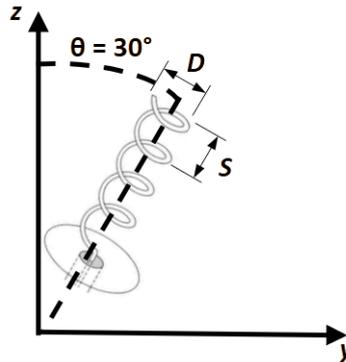
Assim, responda aos itens a seguir.

- Cite duas fontes erros do sistema de *range rate*.
- Determine o intervalo de tempo no qual o satélite está se aproximando da Estação Terrena considerando a passagem de número 1.
- Determine o instante em que a distância entre o satélite e a estação terrena é mínima (TCA – *Time of closest approach*) considerando a passagem de número 2.
- Determine a passagem na qual o satélite mais se aproxima da estação terrena.
- Determine a velocidade tangencial do satélite.
- Determine a frequência do sinal recebido pela estação terrena quando a velocidade radial é igual a 4125km/s.

Questão 5

As antenas helicoidais podem ser usadas na estação terrena para o controle de sistemas espaciais.

Considere uma antena helicoidal operando no modo axial, com número de espiras $N = 20$ e largura de feixe de meia potência LFMP = 24° . O eixo dessa antena está alinhado de forma fixa com o ângulo zenital $\theta = 30^\circ$, como mostrado na Figura a seguir.



Sabendo que o diâmetro de cada espira é $D = 5/\pi$ cm e o espaçamento entre espiras adjacentes é $S = 1,2$ cm, determine:

- o ângulo zenital da direção de máxima irradiação dessa antena. Justifique.
- a circunferência da hélice.
- o comprimento total do fio da antena.
- a queda de potência (em dB), na direção do ângulo zenital $\theta = 42^\circ$, em relação à potência irradiada na direção de máxima irradiação. Justifique.
- a polarização na direção de máxima irradiação dessa antena, sabendo que a razão axial (AR) nessa direção é dada por $AR = \frac{2N+1}{2N}$. Antes de definir a polarização, aproxime a AR para o inteiro mais próximo e use esse valor para justificar a resposta.

Obs.: raízes cujo resultado não possa ser obtido pela divisão de números inteiros, não precisam ser calculadas.

Realização

