



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

PROVA DISCURSIVA

TG23

DINÂMICA ORBITAL E CONTROLE DE ATITUDE E ÓRBITA (AOCS)



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

Os satélites artificiais que operam em torno da Terra ocupam inúmeras órbitas distintas, escolhidas em razão da missão que deverão desempenhar. Em todas elas os satélites estão expostos a um ambiente que em alguns aspectos guarda semelhança com o encontrado na superfície terrestre, mas em outros é muito distinto. Ele é usualmente designado como ambiente espacial, disciplina estudada pela geofísica terrestre. Neste ambiente há fenômenos físicos que podem contribuir tanto positiva, quanto negativamente para a permanência de um satélite em órbita, além de influenciar sua vida útil e desempenho.

- A) Apresente e descreva quatro (4) fenômenos físicos do ambiente espacial.**
- B) Indique a influência que cada um desses fenômenos exerce individualmente sobre um satélite em órbita.**

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30

Questão 2

Um sistema que simula a operação em tempo real de um satélite desenvolvido pelo INPE opera segundo um esquema de escalonamento Round-robin. Para esse simulador, há quatro (4) tarefas que são executadas periodicamente a cada segundo. A tabela seguinte ilustra a duração total de cada uma das tarefas (todas com a mesma prioridade).

Tarefa	Tempo de execução e (ms)	Período de execução t (s)
T1	75	1
T2	100	1
T3	150	1
T4	200	1

Além dessas informações, é desejável que o fator de utilização dessa CPU seja inferior a 50%, pois, ao longo de sua operação, os dispositivos eletrônicos degradar-se-ão e farão com que o desempenho do sistema seja reduzido.

Considerando que o quantum de tempo é igual a 50ms determine:

- Em quantos quanta de tempo a tarefa T3 será totalmente executada? Justifique sua resposta.
- Se o sistema atende adequadamente ao requisito de fator de utilização de projeto. Justifique sua resposta mostrando o cálculo do fator de utilização.
- Caso o período de execução de T2 seja reduzido para 0,5s, qual seria o valor do fator de utilização da CPU? Justifique sua resposta mostrando o cálculo do novo fator de utilização para essa CPU.
- Diga se esse esquema de escalonamento, para essa simulação de tempo real, pode ser considerado como preemptivo ou não. Justifique sua resposta.

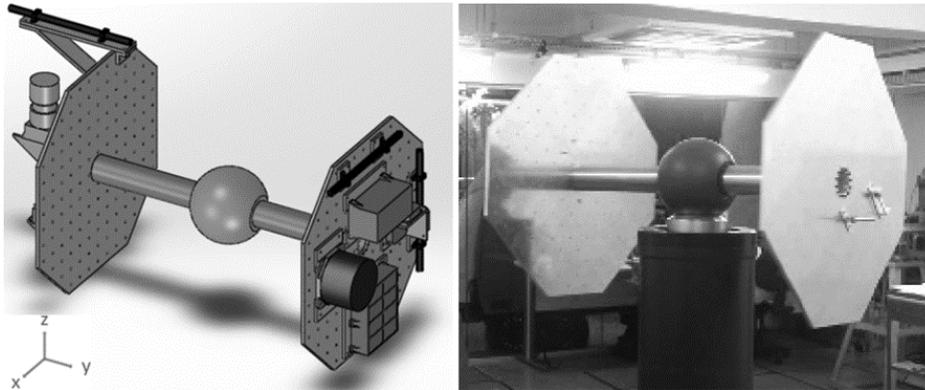
Questão 3

Suponha que um laboratório precise validar o funcionamento de equipamentos que são modelos de engenharia de sensores e atuadores de um sistema de controle de atitude que será embarcado em um novo satélite lançado no âmbito do Programa Espacial Brasileiro.

Para isso, o laboratório possui um mancal aerostático esférico com os seguintes equipamentos acoplados: três rodas de reação, três bobinas de torque magnético, uma tríade de girômetros, uma tríade de acelerômetros, um receptor GNSS, um sensor de estrelas, um computador de bordo com sistema operacional de tempo real e uma bateria.

Para fins de análise, cada um dos equipamentos está perfeitamente alinhado com o sistema de referência da Figura 1, e com os eixos principais de inércia do conjunto mancal esférico mais equipamentos de suporte (barra e placas). A Figura 1 mostra uma imagem 3D do mancal e seus equipamentos. Além disso, o mancal possui um sistema pneumático que suporta o peso de todo o conjunto do mancal de forma perfeitamente balanceada, o qual não gera, idealmente, nem atrito entre a esfera e o suporte, nem perturbações no movimento.

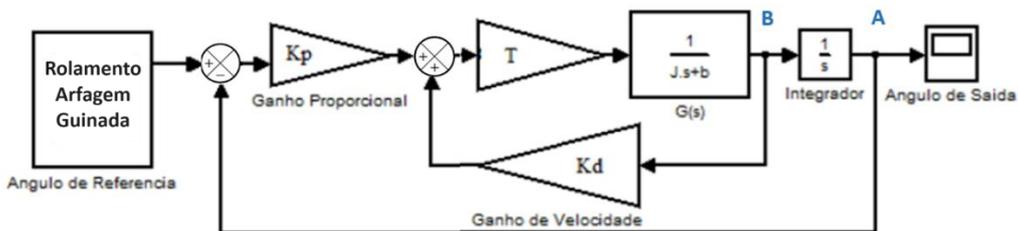
Figura 1 - Maquete 3D do mancal e dos equipamentos do sistema de controle e o suporte com o sistema pneumático.



Um teste será realizado dentro de um laboratório fechado com teto retrátil, em uma noite sem nuvens, com o sensor de estrelas apontando para o céu em todo o momento, sem perda de visada. As medidas dos girômetros, acelerômetros e do sensor de estrelas são obtidas em uma taxa de frequência de 1 kHz. O processamento da lei de controle é feito, idealmente, de forma instantânea.

- A) O responsável pelo experimento convidou um aluno da pós-graduação para auxiliá-lo em alguns procedimentos. O primeiro deles foi o de balancear o mancal, de tal forma que o conjunto (mancal e equipamentos do sistema de controle) esteja em um ambiente livre de torques externos. **Nesse contexto, qual a posição ideal do centro de massa do conjunto? Por qual motivo isso é necessário?**
- B) **Considerando que a dinâmica de atitude do sistema é não-linear, descreva quais são as considerações usuais que o projetista do sistema de controle deve fazer para considerar esse sistema aproximadamente linear e desacoplado.**
- C) O diagrama de blocos da Figura 2 abaixo representa a dinâmica de atitude de um dos eixos do sistema comandado por um sistema de controle PD. **Qual o sinal representado pelo ponto B no diagrama? De forma direta, é possível obter essa medida com qual instrumento acoplado ao mancal? E de forma indireta?**

Figura 2 – Diagrama de blocos da dinâmica de atitude de um dos eixos do sistema.



- D) **Na Figura 2, qual a representação física da constante b, inserida no denominador do bloco G(s)? O que gera a existência da constante b no ambiente laboratorial?**
- E) **Considerando um satélite em uma órbita circular com altitude de 800km, e que o diagrama da Figura 2 também representa a dinâmica de atitude naquele ambiente, o valor da constante b é maior ou menor que o valor da mesma constante b do ambiente laboratorial? Explique o motivo.**
- F) **Qual o principal fenômeno que poderia alterar o valor da constante b da modelagem do satélite em uma órbita circular com altitude de 800 km ao longo de toda a sua vida útil?**

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

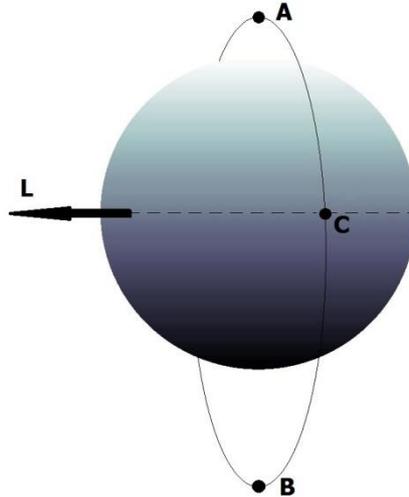
29

30

Questão 4

Os conceitos de Momento Angular e Energia Cinética são fundamentais na modelagem de órbita e atitude de satélites artificiais. Esta questão envolve estes conceitos e se divide em duas partes, uma sobre atitude e outra sobre órbita.

Considere um satélite em órbita elíptica com 90 graus de inclinação e com perigeu a 90 graus do nodo ascendente, conforme o diagrama a seguir, onde L representa o vetor momento angular da órbita. Considere ainda que o satélite se comporte idealmente como um corpo rígido girando no espaço, livre de torques externos, com momento angular H conhecido num sistema inercial, matriz de inércia J em relação ao sistema de referência do corpo, e cujos três momentos principais de inércia são distintos.



Referente à atitude do satélite pede-se:

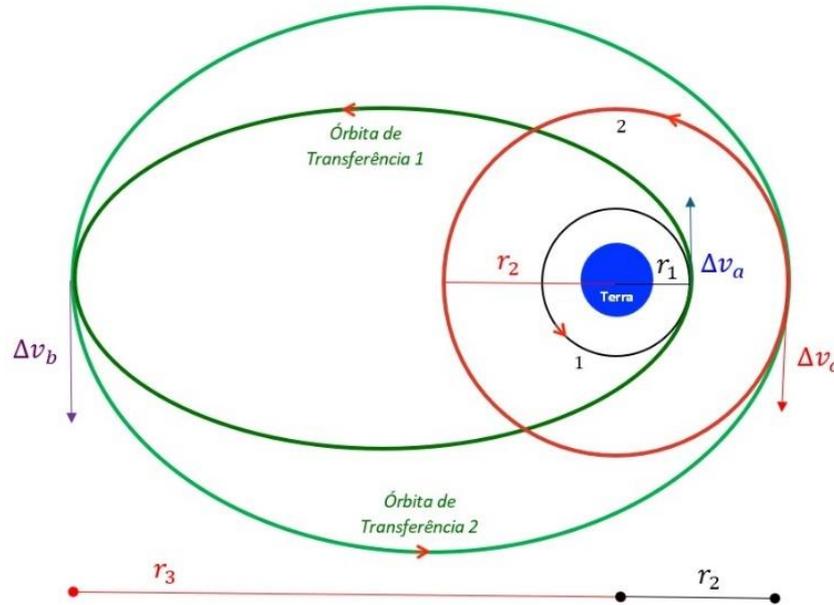
- Escreva a relação entre o vetor momento angular H , a matriz de inércia J , o vetor velocidade angular W no sistema de referência do satélite e a matriz de atitude A do satélite em relação ao sistema inercial num dado instante.
- Escreva a expressão matricial para $|H|^2$ em função de W e J , e reescreva esta expressão em função de H .
- Escreva a expressão matricial da energia cinética de rotação, E , em função de W e de J , e reescreva esta expressão em função de H , J e A .
- Determine, dentre os três eixos principais de inércia do satélite, qual deve estar alinhado ao momento angular H para que a energia cinética de rotação seja mínima. Justifique matematicamente levando em conta a relação entre eixos principais de inércia e seus respectivos momentos de inércia e os autovetores e autovalores da matriz de inércia.

Referente à órbita, pede-se:

- Especifique a quais posições da órbita correspondem os pontos A, B e C da figura.
- Cite em que direção e sentido devem ser disparados os propulsores do satélite, e em qual posição na órbita, entre as citadas A, B e C, para realizar cada uma das seguintes manobras orbitais impulsivas: aumento do semieixo; aumento da ascensão reta do nodo ascendente; aumento da inclinação. No caso de haver mais de uma solução possível, escolha a que requer menor consumo de combustível.
- Para cada uma das manobras citadas, justifique sua resposta em termos do efeito dos disparos dos propulsores sobre o vetor momento angular orbital e quanto ao consumo de combustível.

Questão 5

A figura abaixo apresenta uma transferência bielíptica de uma órbita inicial circular 1 para uma órbita final circular 2, sendo a Terra um corpo central.



Em termos dos raios orbitais apresentados na figura e do parâmetro gravitacional terrestre μ , responda ao que se pede seguir.

- Encontre Δv_a , Δv_b e Δv_c que são necessários para realizar a transferência bi elíptica.
- Encontre o Δv_{total} da transferência bielíptica.
- Encontre o tempo de voo para manobra orbital total.
- Em termos de performance, com relação à Δv_{total} , especifique quando é recomendado utilizar uma transferência de Hohmann e quando é recomendado utilizar uma transferência bi elíptica. Justifique sua resposta em termos dos raios orbitais.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30

Realização

