



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

COMBUSTÍVEIS E PROPELENTES LÍQUIDOS (PQ08)



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

Em um banco de ensaios de propulsores espaciais uma das atividades de rotina do diretor de tiro é verificar os dados obtidos dos ensaios de qualificação dos propelentes e se os valores apresentados atendem ou não às especificações mínimas necessárias para realização do ensaio. Em uma situação prática, foi coletado do reservatório de propelente uma alíquota de 1000mL de Hidrazina, substância química nitrogenada utilizada como propelente em sistemas propulsivos a monopropelente. As especificações químicas e físicas da hidrazina grau monopropelente segundo a norma MIL-P-26536E estão apresentadas na tabela 1.

Sobre os ensaios de qualificação desse propelente pede-se:

- A)** Uma das propriedades verificadas nos ensaios de qualificação de propelentes refere-se ao teor de particulado. Neste ensaio passa-se um determinado volume conhecido de hidrazina que no caso específico foi de 500mL através de uma membrana filtrante com diâmetro de passagem de 1 micrômetro. As massas iniciais e finais do elemento filtrante foram 1,57453g e 1,57480g respectivamente. **Calcule o teor de particulado e informe se o propelente atende a especificação da norma MIL-P-26536E.**
- B)** **Discorra sobre o que pode ocorrer durante um ensaio de propulsores caso seja utilizado um propelente com teor de particulado acima do especificado pela norma MIL-P-26536E apresentado na tabela 1.**
- C)** A determinação dos teores de N_2H_4 e H_2O é realizada utilizando-se um cromatógrafo em fase gasosa com os detectores TCD (*Thermal Conductivity Detector*) e FID (*Flame Ionization Detector*). A amostra de hidrazina foi injetada no cromatógrafo conforme procedimento da norma MIL-P-26536E obtendo uma área total de picos de 2,57859mm² e as áreas dos picos correspondentes a hidrazina e a água foram 2,53235mm² e 0,04624mm². **Calcule o teor de pureza da hidrazina e o teor de água contida e informe se o propelente atende a especificação da norma MIL-P-26536E.**
- Dados:* coeficiente de resposta para o TCD da água igual a 0,8144; coeficiente de resposta para o TCD da hidrazina igual a 1; Fator de atenuação da hidrazina igual a 1 e fator de atenuação da água igual a 1.
- D)** **Discorra sobre o que pode ocasionar a utilização de um propelente com teor de água superior ao especificado durante o ensaio de um propulsor carregado com o catalisador $Ir/A\ell_2O_3$.**
- E)** A determinação do teor de resíduos não voláteis presentes na hidrazina segundo a norma MIL-P-26536E é efetuada utilizando-se a técnica de evaporação rotatória. Utilizou-se para este ensaio um balão de fundo redondo cuja a massa inicial era de 50,45378g no qual foi adicionado 100mL de hidrazina para análise. Após realização da técnica de evaporação rotativa a massa final do balão foi de 50,46249g. **Calcule o teor de resíduos não voláteis e informe se o propelente atende a especificação da norma MIL-P-26536E. Dado: massa específica da hidrazina igual a 1,032 g/cm³.**
- F)** **Discorra sobre o que pode ocasionar a utilização de um propelente com teores de resíduos não voláteis superior ao especificado durante operação (vida útil) de um propulsor monopropelente.**

Tabela 1 – Propriedades químicas e físicas da hidrazina grau monopropelente

PROPRIEDADES	VALOR DE REFERENCIA
N_2H_4 – [% em massa]	≥ 98,5
H_2O – [% em massa]	≤ 1,0
Carga de particulados – [mg/L]	≤ 1,0
Cloretos – [ppm] ⁽¹⁾	≤ 5
Anilina – [% em peso]	≤ 0,5
Ferro – [ppm] ⁽¹⁾	≤ 20
Resíduos Não voláteis – [ppm] ⁽¹⁾	≤ 50
CO_2 – [% em peso]	≤ 30
Material carbonáceo volátil, como MMH ⁽²⁾ , UDMH ⁽³⁾ e Etanol – [ppm] ⁽¹⁾	≤ 200

Fonte: Norma MIL – P – 26536E

(1) – ppm: partes por milhão, unidade de concentração;

(2) – MMH: Mono-Metil-Hidrazina;

(3) – UDMH: Di-Metil-Hidrazina-Assimétrica.

- 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
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 2

Em uma nova missão espacial brasileira, o grupo de pesquisa em combustão e propulsão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) recebeu a demanda para conceber um sistema propulsivo de correção de órbita a ser aplicado em um satélite.

Após longo período de revisão bibliográfica e discussões sobre o tema, a equipe responsável pelo projeto decidiu desenvolver um sistema capaz de operar com propelentes verdes e composto, entre outros componentes, por um motor-foguete a propelente líquido (MFPL). O sistema de injeção selecionado para o MPFL foi do tipo centrífugo, dada a vasta experiência do INPE no desenvolvimento desse tipo de sistema, contando, inclusive, com uma infraestrutura laboratorial específica para validar experimentalmente sistemas de injeção de propelentes.

Diante do exposto, responda aos itens a seguir.

- A) O que são propelentes verdes? Quais são as principais desvantagens do uso de propelentes convencionais para satélites em relação à utilização de propelentes verdes.**
- B) O que é o processo de atomização de propelentes? Qual a sua influência na eficiência do motor-foguete a propelente líquido?**
- C) Indique as principais vantagens em utilizar sistema de injeção centrífugo na propulsão espacial aplicada à correção de órbita de satélites abordado na questão.**
- D) Durante o desenvolvimento do sistema de injeção centrífugo de MFPL, quais os principais parâmetros de desempenho de injeção devem ser avaliados experimentalmente? Descreva como podem ser realizados cada um dos ensaios para obtenção desses parâmetros de desempenho.**

- 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
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 3

O projeto do sistema de resfriamento da câmara de empuxo é uma importante etapa no projeto do motor foguete a propelente líquido, que não pode ser tratada independentemente das outras escolhas.

Durante a operação de um motor foguete a propelente líquido, calor é transferido para todas as superfícies internas expostas aos gases quentes, incluindo a face do injetor, a parede da câmara de combustão e a parede da tubeira. O principal objetivo do resfriamento das paredes da câmara de combustão e da tubeira é prevenir que sua temperatura atinja valores muito elevados que levem ao comprometimento da integridade mecânica da parede durante a operação. Entre os métodos empregados para o resfriamento da parede estão o resfriamento regenerativo, o resfriamento por filme, o resfriamento por ablação e o resfriamento por radiação.

Sobre o tema, responda aos itens a seguir.

- A) **Apresente os princípios físicos dos mecanismos de condução de calor, de convecção de calor superficial, de radiação de calor e de mudança de fase,**
- B) **Mostre como esses mecanismos estão envolvidos e qual a sua importância relativa nos métodos de resfriamento regenerativo, por filme, por ablação e por radiação.**
- C) **Mantendo constante a pressão no interior da câmara de combustão de um motor foguete a propelente líquido, motores maiores são mais fáceis de resfriar utilizando resfriamento regenerativo do que motores menores. Explique esta afirmação.**

- 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
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 4

Os Testes de Fuga ou Vazamento Local (modo cheirador (*sniffing*)) e Global (Método Câmara Vácuo-Térmica) são testes de qualificação e aceitação do sistema de propulsão de hidrazina de um satélite que verificam vazamentos significativos em seus tanques, válvulas e tubulação de titânio, para que não haja uma redução da vida útil do satélite em órbita.

A respeito destes testes, responda aos itens a seguir.

- A) Qual o principal objetivo da realização desse teste?
- B) Em que momento é realizado, ou seja, a caça a vazamentos do subsistema de propulsão é geralmente dividida em quatro momentos. Indique-os.
- C) Indique o equipamento que realiza as medidas de vazamento ou fuga. Qual é a unidade de medida do vazamento ou fuga?
- D) Descreva os procedimentos de calibração, preparação e execução do teste de fuga local no sistema de propulsão.
- E) Descreva os procedimentos de calibração, preparação e execução do teste de fuga global no sistema de propulsão.
- F) Como o resultado destes testes deve ser avaliado?

- 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
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 5

A hidrazina e o tetróxido de nitrogênio são utilizados em propulsões de artefatos espaciais. Contudo há um grande interesse por propelentes líquidos verdes ou *green propellants*. Os pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e seus colaboradores realizaram pesquisa e desenvolvimento de soluções alternativas para os mesmos. O resultado foi uma combinação de etanol e etanolamina que reage com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) concentrado. Foram testados a etanolamina catalisada com cloreto de cobre ($CuCl_2$) como par hipergólico do H_2O_2 concentrado e mostrou-se ser um combustível com menor adição de catalisador.

A partir do texto, responda aos itens a seguir.

- A) Apresente as propriedades físico-químicas do peróxido de hidrogênio concentrado.
- B) Descreva o valor de massa específica do peróxido de hidrogênio concentrado comparado com o tetróxido de nitrogênio e o oxigênio líquido. Qual a vantagem de seu uso em sistemas propulsivos que possuem perdas por arrasto aerodinâmico?
- C) Avalie a toxicidade do peróxido de hidrogênio concentrado e do tetróxido de nitrogênio para com o ser humano.
- D) Descreva os aspectos da estocagem do peróxido de hidrogênio concentrado e da hidrazina. Apresente também o custo financeiro comparado com a hidrazina.
- E) Apresente o comportamento da combustão do peróxido de hidrogênio concentrado em relação aos compostos atmosféricos e a importância desse comportamento.

- 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
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

Realização

