

**CONCURSO PÚBLICO PARA INGRESSO NO CORPO DE ENGENHEIROS DA  
MARINHA (CP-CEM/2023)**

**ENGENHARIA AERONÁUTICA**

**INSTRUÇÕES GERAIS**

- 1 - A duração da prova será de **05 horas** e o tempo não será prorrogado. Ao término da prova, entregue o caderno ao Fiscal sem retirar os grampos de nenhuma folha.
- 2 - Responda às questões utilizando caneta esferográfica azul ou preta. Não serão considerados o desenvolvimento da questão e as respostas a lápis. Confira o número de páginas de cada parte da prova.
- 3 - Só comece a responder à prova ao ser dada a ordem para iniciá-la, interrompendo a sua execução no momento em que for determinado.
- 4 - O candidato deverá preencher os campos:  
NOME DO CANDIDATO; NÚMERO DA INSCRIÇÃO e DV.
- 5 - Iniciada a prova, não haverá mais esclarecimentos. O candidato somente poderá deixar o seu lugar, devidamente autorizado pelo Supervisor/Fiscal, para se retirar definitivamente do recinto de prova ou, nos casos a seguir especificados, devidamente acompanhado por militar designado para esse fim: atendimento médico por pessoal designado pela Marinha do Brasil; fazer uso de banheiro e casos de força maior, comprovados pela supervisão do certame, sem que aconteça saída da área circunscrita para a realização da prova.  
Em nenhum dos casos haverá prorrogação do tempo destinado à realização da prova e, em caso de retirada definitiva do recinto de prova, esta será corrigida até onde foi solucionada.
- 6 - A solução deve ser apresentada nas páginas destinadas a cada questão.
- 7 - Não é permitida a consulta a livros ou apontamentos.
- 8 - A prova não poderá conter qualquer marca identificadora ou assinatura, o que implicará atribuição de nota zero.
- 9 - Será eliminado sumariamente do concurso e as suas provas não serão levadas em consideração o candidato que:
  - a) der ou receber auxílio para a execução de qualquer prova;
  - b) utilizar-se de qualquer material não autorizado;
  - c) desrespeitar qualquer prescrição relativa à execução das provas;
  - d) escrever o nome ou introduzir marcas identificadoras noutra lugar que não o determinado para esse fim; e
  - e) cometer ato grave de indisciplina.
- 10 - **É PERMITIDA A UTILIZAÇÃO DE CALCULADORA PADRÃO NÃO CIENTÍFICA E RÉGUA SIMPLES.**

**NÃO DESTACAR A PARTE INFERIOR**

NOME DO PROFESSOR	RUBRICA

NOTA				USO DO SSPM

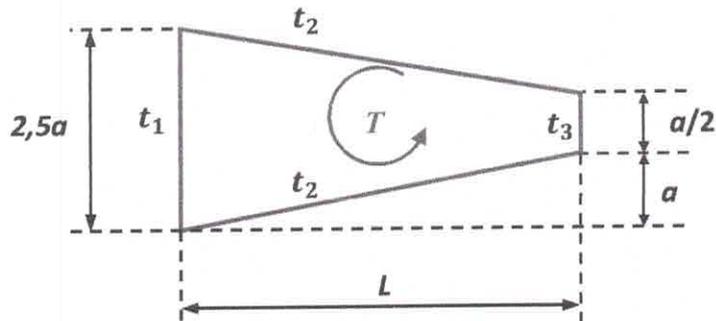
ESCALA DE 00,00 a 80,00

CAMPOS PREENCHIDOS PELOS CANDIDATOS	CONCURSO: CP-CEM/2023									
	NOME DO CANDIDATO:									
	Nº DA INSCRIÇÃO					DV				
NOTA				USO DO SSPM						
ESCALA DE 00,00 a 80,00										

CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS (VALOR: 80 PONTOS)

1ª QUESTÃO (8 pontos)

Analise a figura a seguir.



A figura acima mostra a seção transversal de uma viga formada por chapas de pequena espessura, conectadas de modo a formar uma única célula fechada. Considerando que atue, sobre a seção, um momento de torção de magnitude  $T = 108 \text{ kN.m}$  e desprezando os efeitos de concentração de tensões nos vértices, faça o que se pede.

- Determine a máxima tensão de cisalhamento na seção. (4 pontos)
- Determine o ângulo de giro da seção por unidade de comprimento, expresso em  $^\circ/\text{m}$ . (4 pontos)

Dados:  $L = 120 \text{ cm}$ ;  $a = 50 \text{ cm}$ ;  $t_1 = 2 \text{ mm}$ ;  $t_2 = 2,5 \text{ mm}$ ;  $t_3 = 1,5 \text{ mm}$ ; e  $G = 27 \text{ GPa}$ .

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

**2ª QUESTÃO (8 pontos)**

Considere a seguinte equação do empuxo estático de um motor a reação:  $F = \dot{m}_e(1+f)u_s$ , e a seguinte equação da eficiência térmica:

$$\eta_t = \frac{\dot{m}_e[(1+f)u_s^2/2 - u^2/2]}{\dot{m}_f Q_r},$$
 onde  $F$  é o empuxo,  $\dot{m}_e$  a vazão mássica de ar

na entrada do motor,  $\dot{m}_f$  a vazão mássica de combustível,  $f$  a razão combustível/ar,  $u_s$  a velocidade do escoamento na saída do motor,  $u$  a velocidade do escoamento livre,  $\eta_t$  a eficiência térmica do motor e  $Q_r$  a energia específica do combustível.

Com base nessas informações, faça o que se pede.

- a) Explique por que o empuxo de decolagem de um turbofan de alta derivação (*bypass*) é maior que o de um motor turbojato, para um mesmo valor de consumo de combustível, mesma eficiência térmica e mesmo combustível. (4 pontos)
- b) Com base na equação do empuxo estático, explique por que um turbofan de alta derivação é mais silencioso que um motor turbojato. (4 pontos)

Continuação da 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

3ª QUESTÃO (8 pontos)

Analise as figuras abaixo.

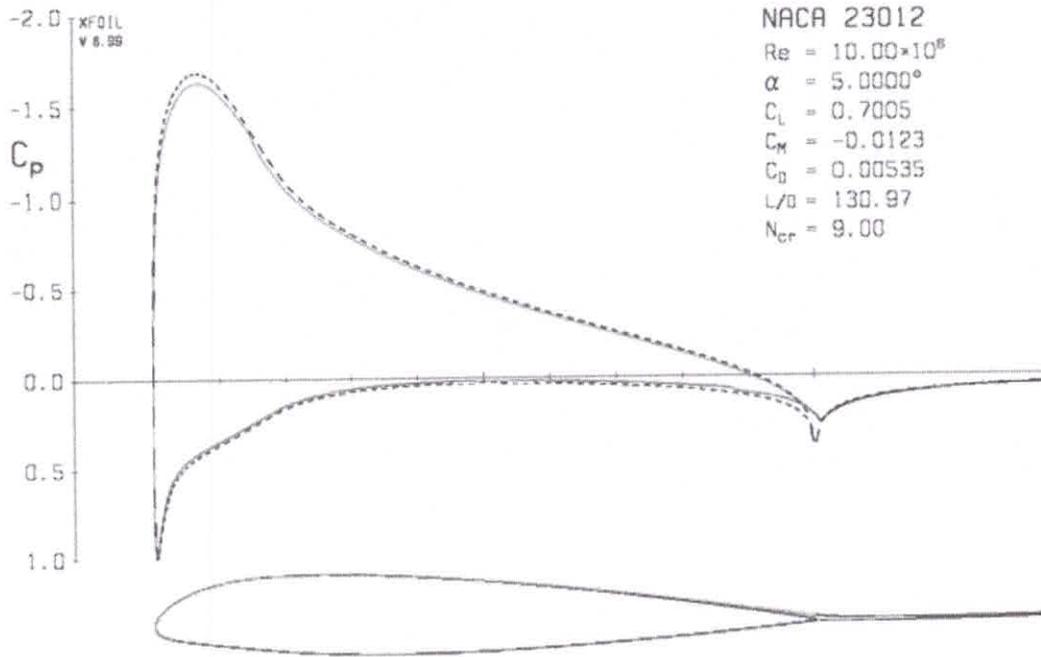


Figura 1 - Distribuição de  $C_p$  1

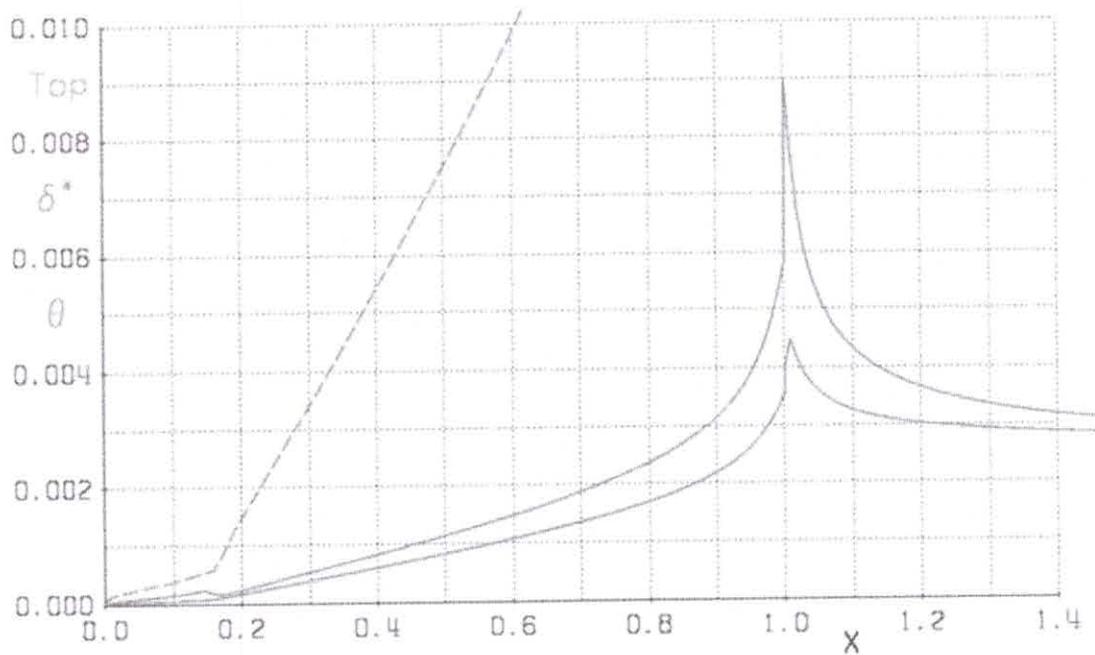


Figura 2 - Evolução da camada limite 1.

Continuação da 3ª questão

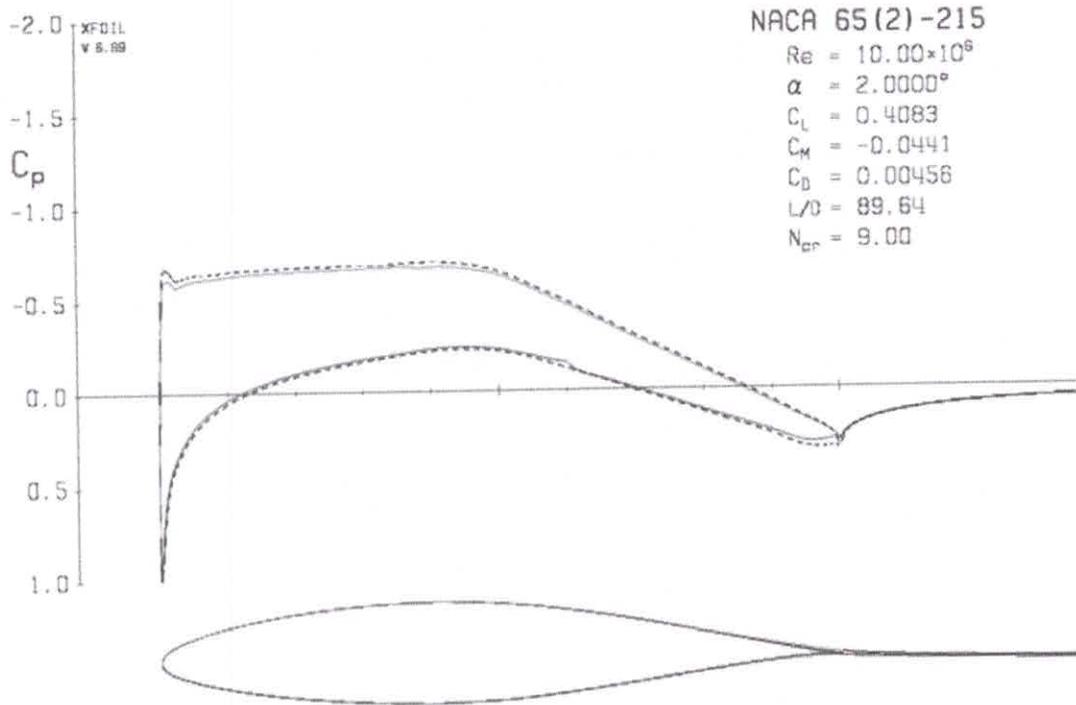


Figura 3 - Distribuição de Cp 2.

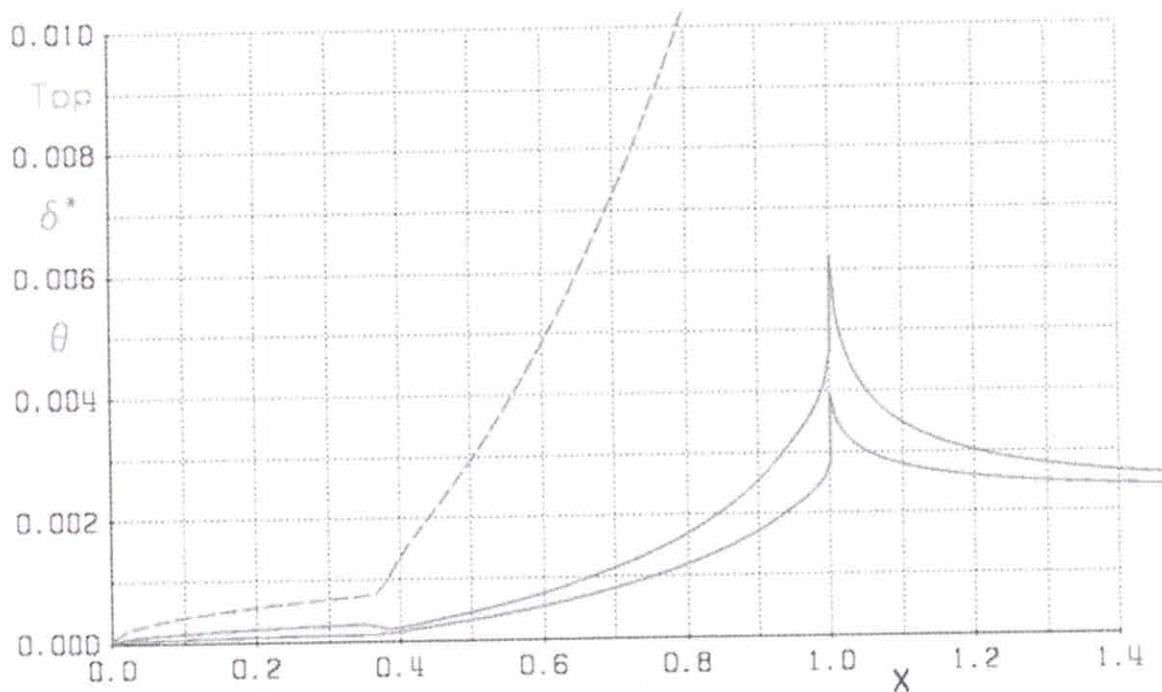


Figura 4 - Evolução da camada limite 2.

### Continuação da 3ª questão

As figuras apresentadas anteriormente mostram a distribuição de pressão e a evolução de espessuras de camada limite em dois aerofólios. Baseado nessas figuras, responda, de forma detalhada e justificada, às questões a seguir.

- a) Qual das linhas representa a espessura de quantidade de movimento? (2 pontos)
- b) Que fenômeno está associado a uma acentuada mudança de comportamento da espessura da camada limite? (2 pontos)
- c) O que explica que o fenômeno apontado no item "b" ocorra mais a montante no aerofólio 1? (2 pontos)
- d) Após a ocorrência do fenômeno apontado no item "b", nota-se que a camada limite do aerofólio 2 cresce mais rapidamente do que a do aerofólio 1. O que explica esse comportamento? (2 pontos)

Continuação da 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

#### 4ª QUESTÃO (8 pontos)

O sistema de equações que descreve a dinâmica latero-direcional de uma aeronave voando a 30000 ft a 677 ft/s pode ser escrito como

$\dot{x} = Ax + Bu$ , sendo:

$$A = \begin{bmatrix} -0,08 & 0 & -1,0 & 0,045 \\ -4,1 & -0,43 & 0,15 & 0 \\ 2,8 & -0,01 & -0,11 & 0 \\ 0 & 1,0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 11 \\ -6,7 & 0,7 \\ -0,5 & -1,6 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad x = \{v \ p \ r \ \phi\}^T \quad e$$

$$u = \{\delta_a \ \delta_r\}^T$$

As entradas do sistema  $\delta_a$  e  $\delta_r$  referem-se às deflexões angulares do aileron e do leme, respectivamente. Os autovalores da matriz de estados são:  $-0,0571 + 1,6824i$ ;  $-0,0571 - 1,6824i$ ;  $-0,5048$  e  $-0,0010$ . Com base nessas informações, faça o que se pede.

- Essa aeronave é dinamicamente estável? Justifique. (1 ponto)
- Identifique os modos associados a cada um dos autovalores especificados acima. (2 pontos)
- Determine a frequência natural não amortecida e o amortecimento, utilizando as aproximações do modelo reduzido de *dutch-roll*. Esse modelo reduzido é adequado em relação aos parâmetros avaliados? (2 pontos)
- Considerando o modelo reduzido de *dutch-roll*, determine a função transferência entre o ângulo de derrapagem da aeronave e a variação angular do leme. (3 pontos)

Dados:

Ângulo de derrapagem:  $\text{tg } \beta = v / U$ ;

$\lambda = n \pm \omega i$ ,  $\omega_n = \sqrt{n^2 + \omega^2}$ ,  $\xi = -n/\omega_n$ ;

**Continuação da 4ª questão**

$A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  : matriz 2 x 2 genérica;

det A: determinante da matriz A;

adj A: matriz adjunta de A; e

$$A^{-1} = \frac{1}{\det A} \text{adj } A = \frac{1}{ad - bc} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$$

Continuação da 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação da 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

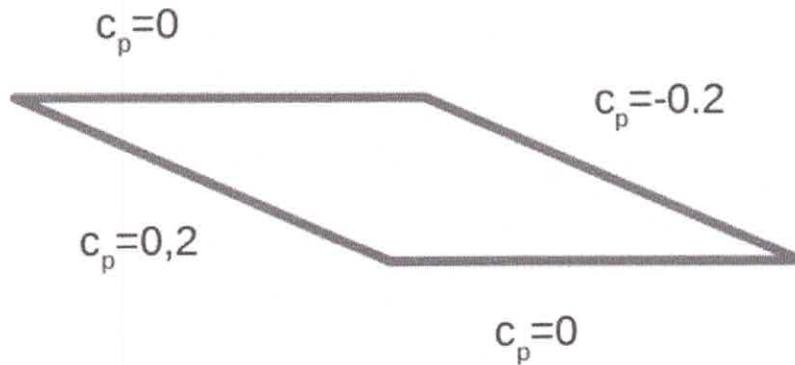
Continuação da 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

5ª QUESTÃO (8 pontos)

Analise a figura abaixo.



O aerofólio da figura acima possui corda  $c$  e espessura  $t$ . Ele está posicionado em um ângulo de ataque  $\alpha$  imerso em um escoamento a  $Ma = 2$ . Com base nessas informações, faça o que se pede.

- Indique as ondas de choque e as ondas de expansão que ocorrerão sobre o aerofólio. (4 pontos)
- Em  $Ma = 4$ , quais deveriam ser os valores de espessura, de câmber e de ângulo de ataque para que ocorressem os mesmos valores de  $c_p$  sobre o aerofólio? (2 pontos)
- Em  $Ma = 3$ , quais os valores de  $c_p$  desse aerofólio? (2 pontos)

Dados:

$$\gamma = \frac{\sqrt{|1 - M_1^2|}}{\sqrt{|1 - M_2^2|}};$$

$$c_p(M_1, \alpha, \beta, \tau) = c_p(M_2, \alpha/\gamma, \beta/\gamma, \tau/\gamma); \text{ e}$$

$$c_p(M_1, \alpha, \beta, \tau) = c_p(M_2, \alpha, \beta, \tau)/\gamma$$

Continuação da 5ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

**6ª QUESTÃO (8 pontos)**

Considere um aerofólio com linha de câmber  $y = 0,1x(x - 1)^2$  e faça o que se pede.

- a) Calcule a posição do centro de pressão desse aerofólio para um ângulo de ataque de 2 graus. (6 pontos)
- b) Se um flap for defletido para baixo, o centro de pressão deverá deslocar-se no sentido do bordo de ataque ou do bordo de fuga? Por quê? (2 pontos)

Dados:

$$A_0 = \frac{-1}{\pi} \int_0^\pi \frac{dy}{dx} d\theta;$$

$$A_n = \frac{-2}{\pi} \int_0^\pi \frac{dy}{dx} \cos(n\theta) d\theta;$$

$$CL = 2\pi \left( \alpha + A_0 + \frac{A_1}{2} \right); e$$

$$CM_{ba} = \frac{-\pi}{2} \left( \alpha + A_0 + A_1 - \frac{A_2}{2} \right).$$

Continuação da 6ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

### 7ª QUESTÃO (8 pontos)

Uma aeronave de monitoramento não tripulada (massa  $m = 250$  kg) realiza um voo planado simétrico descendente e em um dado instante da trajetória apresenta velocidade de  $40$  m/s e ângulo de ataque de  $3^\circ$ . Nesse instante, a aeronave tem uma razão de descida de  $7$  m/s, e o sensor inercial da aeronave registra as acelerações  $0,7$ ;  $0$  e  $9,6$  m/s<sup>2</sup> e velocidades angulares de  $0,0$ ;  $0,5$  e  $0,0$  rad/s em relação aos eixos do corpo  $x$ ,  $y$  e  $z$ , respectivamente. O sensor inercial permite medir as acelerações lineares e as velocidades angulares da aeronave. Considere que o sensor está localizado no centro de gravidade da aeronave e que a atmosfera local está em repouso. Com base nessas informações, faça o que se pede.

- a) Qual é o ângulo de arfagem da aeronave? (2 pontos)
- b) Determine as forças que agem na aeronave considerando o sistema de eixos do corpo. (3 pontos)
- c) Determine as forças aerodinâmicas, em relação ao sistema de eixos do corpo, que agem sobre a aeronave. (3 pontos)

Dados:

$$\vec{f}_b = m (\dot{\vec{v}}_b + \vec{\omega}_b \times \vec{v}_b);$$

$$\vec{f}_b = \vec{f}_a + m L_{BE} \vec{g};$$

$$L_{BE} = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \sin \phi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi & \cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi \\ \cos \theta \sin \psi & \sin \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & \cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi \\ -\sin \theta & \sin \phi \cos \theta & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix};$$

$\vec{f}_b$ : vetor de forças de acordo com o referencial do corpo;

$\vec{f}_a$ : vetor de forças aerodinâmicas no referencial do corpo;

$\vec{\omega}_b$ : vetor com as velocidades angulares de acordo com o referencial do corpo;

$\vec{v}_b$ : vetor com as velocidades lineares;

$\phi, \theta, \psi$ : ângulos de Euler; e

Aceleração gravitacional  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>.

Continuação da 7ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação da 7ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação da 7ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

### 8ª QUESTÃO (8 pontos)

A dinâmica longitudinal de uma aeronave, considerando uma aproximação de curto período, é descrita por  $\dot{w} = -0,3w + 105,0q - 3,0\delta_e$  e  $\dot{q} = -0,005w - 0,4q - 1,2\delta_e$ , em que  $w$  é a velocidade na direção  $z$ ,  $q$  é a velocidade angular e  $\delta_e$  é o ângulo de deflexão de profundor. Sabendo que esse sistema de equações está descrito conforme os eixos de estabilidade da aeronave e que, no instante inicial, a aeronave está em voo retilíneo e nivelado, faça o que se pede.

a) Determine as funções transferência  $G_{w\delta_e} = w(s)/\delta_e(s)$  e  $G_{q\delta_e} = q(s)/\delta_e(s)$ . (4 pontos)

b) Calcule a taxa de arfagem da aeronave após 1s de uma entrada do tipo impulso unitário no profundor. (4 pontos)

Dados:

$A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  : matriz 2 x 2 genérica;

det A: determinante da matriz A;

adj A: matriz adjunta de A;

$A^{-1} = \frac{1}{\det A} \text{adj } A = \frac{1}{ad-bc} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$ ;

$\mathcal{L}\{\cdot\}$ : transformada de Laplace;

$\delta(t)$ : função impulso;

$\mathcal{L}\{\delta(t)\} = 1$ ;

$\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{a+bi}{s+\sigma+\omega i} + \frac{a-bi}{s+\sigma-\omega i}\right\} = 2e^{\sigma t}[a \cos \omega t + b \text{ sen } \omega t]$ ;

$\cos(0,723) = 0,7498$ ; e

$\exp(0,35) = 1,419$ .

Continuação da 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação da 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação da 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

9ª QUESTÃO (8 pontos)

Analise as figuras abaixo.

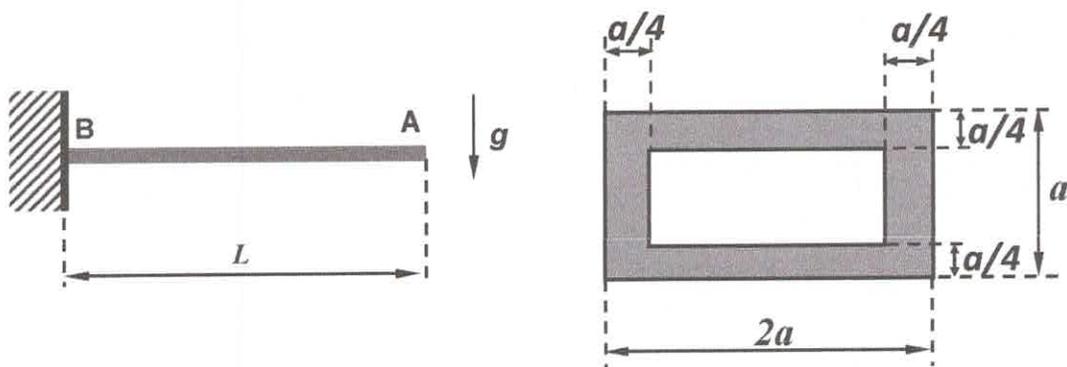


Figura I

Figura II

A viga indicada na figura I está livre na extremidade A e engastada na extremidade B. O material da viga é homogêneo e possui comportamento elástico-linear. Considere que a seção transversal seja uniforme e possua as dimensões especificadas na figura II. Considere também que o material da viga possui massa específica  $\mu$ , que a aceleração da gravidade local é  $g$  e que a viga, de comprimento total  $L$ , está submetida apenas ao seu peso próprio. Com base nessas informações, determine:

- O segundo momento de área da seção transversal em relação ao eixo de flexão horizontal passando pelo centroide dessa seção. (2 pontos)
- A maior tensão normal de tração na seção transversal mais solicitada devido à flexão (indique o valor numérico). (3 pontos)
- A maior tensão cisalhante atuante em planos paralelos às seções transversais (indique o valor numérico). (3 pontos)

Dados:  $L = 2,0$  m;  $a = 40$  mm;  $\mu = 8000$  kg/m<sup>3</sup>; e  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>.

Continuação da 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação da 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

### 10ª QUESTÃO (8 pontos)

Um estatojato (*ramjet*) ideal voa a  $M = 2,0$ , em altitude com pressão e temperatura atmosférica  $p_a = 11,6$  kPa e  $T_a = 205$  K, respectivamente. Considere que a razão entre vazão de combustível e de ar é  $f = 0,03$ , que o diâmetro de saída do bocal é  $D_e = 0,5$  m e que o combustível convencional (querosene) é utilizado com energia  $Q_r = 45$  MJ/kg. Use  $\gamma = 1,4$ ;  $c_p = 1004$  J/(kg K) e  $R = 287$  J/(kg K). Com base nessas informações, calcule.

- a) A temperatura total do escoamento livre. (1 ponto)
- b) A temperatura total na saída do motor. (1 ponto)
- c) A temperatura estática na saída do motor. (1 ponto)
- d) A velocidade do escoamento na saída do motor. (1 ponto)
- e) A densidade do ar na saída do motor. (1 ponto)
- f) A vazão mássica de ar na entrada do motor. (1 ponto)
- g) O empuxo produzido. (2 pontos)

Dados (motor estatojato ideal):

$$F = \dot{m}_e[(1+f)u_s - u] \quad ; \quad a = \sqrt{\gamma RT} \quad ; \quad p = \rho RT;$$
$$T_0 = T \left( 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right) \quad \text{e} \quad f = \frac{T_{0s} - T_{0a}}{Q_r/c_p - T_{0s}} .$$

Variáveis:  $F$  empuxo;  $\dot{m}$  vazão mássica;  $u$  velocidade do escoamento;  $f$  razão combustível/ar;  $a$  velocidade do som;  $\gamma$  razão de calores específicos;  $R$  constante do gás;  $T$  temperatura;  $p$  pressão;  $\rho$  densidade;  $M$  número de Mach;  $Q_r$  energia específica do combustível e  $c_p$  calor específico a pressão constante.

Subscritos:  $e$  na entrada do motor;  $s$  na saída do motor;  $a$  ambiente e  $0$  condição total.

Continuação da 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação da 10ª questão