

Aluno: \_\_\_\_\_, RA: \_\_\_\_\_

**PROVA 01 – Parte A (sem consulta)****A****GABARITO****Questão 1 [Valor: 0,5]:**

Indique (V) verdadeiro ou (F) falso, para as afirmações abaixo:



O processo de estrangulamento que ocorre em válvulas ou em trincas em vasos de pressão é um processo a entalpia constante já que não há calor e trabalho cruzando a fronteira.



Um ciclo de Carnot consiste em dois processos adiabáticos reversíveis e dois processos isotérmicos reversíveis.



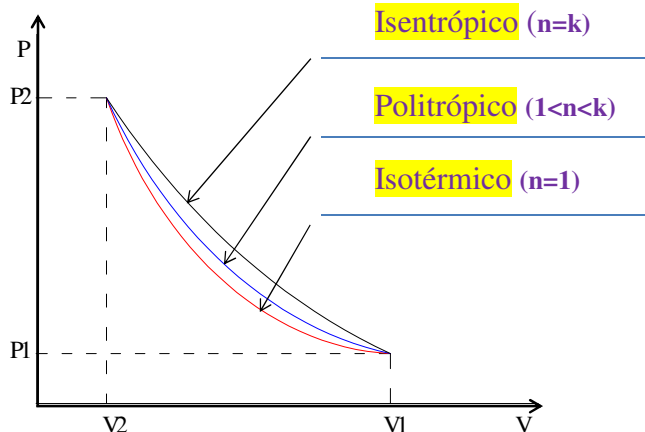
Para um sistema isolado não há transferência de massa e nem de energia.

Volume específico, temperatura e pressão são propriedades intensivas. **Massa é extensiva.**

Ciclo Termodinâmico refere-se a uma série de processos no qual o sistema retorna ao estado inicial.

**Questão 2 [Valor: 1,0]:**Considere a compressão do ar de um estado inicial a pressão  $P_1$  e volume  $V_1$  até uma condição final, onde a pressão é  $P_2$ . Esta compressão pode ser feita através dos seguintes processos: isotérmico, politrópico e isentrópico.

a) No diagrama P-v abaixo, indique cada um destes processos.

b) Qual destes processos necessita de maior trabalho? **Processo isentrópico**c) Qual é a menor eficiência? **Processo isotérmico****Trabalho mínimo de compressão politrópica:**

$$W = m_f R T_1 \frac{n}{1-n} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

**Trabalho mínimo de compressão isotérmica.**

$$W_{it} = m_f R T_1 \ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$$

Uma vez que a área do ciclo mecânico no diagrama P×V é proporcional ao trabalho necessário, é evidente que quanto menor o valor de n, menor será o trabalho politrópico de acionamento do compressor.

A avaliação do desempenho de um compressor normalmente é realizada através do conceito de **eficiência**. Este conceito permite comparar o desempenho de diferentes compressores realizando uma mesma tarefa ou comparar o desempenho de uma mesma máquina operando em diferentes condições. Várias são as definições possíveis para o conceito de eficiência de um compressor. Tradicionalmente são adotadas as definições de:

- **Eficiência isentrópica:**

$$\eta_{sc} = \frac{W_s}{W_c}$$

*Adotada p/ compressores axiais e centrífugos operando sem resfriamento.*

- **Eficiência isotérmica:**

$$\eta_{ic} = \frac{W_{it}}{W_c}$$

*Empregada para compressores a pistão operando com resfriamento.*

- **Eficiência politrópica:**

$$\eta_{pc} = \frac{W_p}{W_c}$$

*Adotada como critério de avaliação de quanto que o processo real se afasta do adiabático devido a perdas e atritos internos.*

**Questão 3 [Valor: 1,0]:**

A tabela abaixo fornece dados em kJ para um sistema submetido a um ciclo termodinâmico composto de quatro processos em série. Para o ciclo, os efeitos de energia cinética e potencial podem ser desprezados. Determine: a) os valores das lacunas em branco da tabela e; b) se o ciclo representa um ciclo motor ou um ciclo de refrigeração, justifique.

Processo	$\Delta U$	Q	W
1-2	570	-40	-610
2-3	670	900	230
3-4	-920	0	920
4-1	-320	-320	0

Aplicando-se a 1ª lei ( $\Delta U = Q - W$ ) tem-se:

- Processo 4-1:  $-320 = Q_{4-1} - 0 \rightarrow Q_{4-1} = -320$  kJ
- Processo 3-4:  $\Delta U_{3-4} = 0 - 920 \rightarrow \Delta U_{3-4} = -920$  kJ
- Processo 2-3:  $670 = Q_{2-3} - 230 \rightarrow Q_{2-3} = 900$  kJ

Por se tratar de um processo cíclico (ponto final = ponto inicial), a variação total de energia interna é zero  $\Delta U = 0$ , ou seja,

$$\begin{aligned}\Delta U_{4-1} + \Delta U_{3-4} + \Delta U_{2-3} + \Delta U_{1-2} &= 0 \\ -320 - 920 + 670 + \Delta U_{1-2} &= 0 \\ \Delta U_{1-2} &= 570 \text{ kJ}\end{aligned}$$

E avaliando-se a 1ª. Lei para o ciclo:

$$\begin{aligned}Q_{\text{ciclo}} &= W_{\text{ciclo}} \\ Q_{4-1} + Q_{3-4} + Q_{2-3} + Q_{1-2} &= W_{4-1} + W_{3-4} + W_{2-3} + W_{1-2} \\ -320 + 0 + 900 + Q_{1-2} &= 0 + 920 + 230 - 610 \\ Q_{1-2} &= -40 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Uma vez que o trabalho líquido do ciclo é positivo:

$$\begin{aligned}W_{\text{ciclo}} &= W_{4-1} + W_{3-4} + W_{2-3} + W_{1-2} \\ W_{\text{ciclo}} &= 0 + 920 + 230 - 610 \\ W_{\text{ciclo}} &= 540 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Trata-se de um motor, pois realiza trabalho!

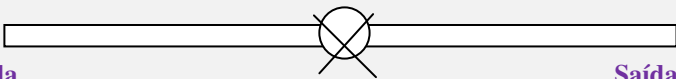
Aluno: \_\_\_\_\_, RA: \_\_\_\_\_

**PROVA 02 – Parte B (com consulta somente ao livro texto)****GABARITO****Questão 1 [Valor: 2,5]:**

Usando a tabela de propriedades termodinâmicas da água calcule o título após a água, líquido-saturado ( $x=0$ ), ter sido estrangulada de uma pressão de 10MPa para 0,1MPa.

**Solução:**

O processo de estrangulamento que ocorre em válvulas ou em trincas em vasos de pressão é um processo a entalpia constante uma vez que não há calor e trabalho cruzando a fronteira. Como a entalpia no estado (2) é igual à entalpia do estado (1), o título pode ser determinado.



<p><b>Entrada</b>  <b>P=10 MPa</b>  <math>x_{entrada}=0</math> (líquido saturado)  <math>h_{entrada}=h_L</math></p> <p>Da tabela A-1.2:  <math>h_L = 1407,56 \text{ kJ/kg}</math></p>	<p><b>Saída</b>  <b>P=0,2 MPa</b>          Estado do fluido: líquido-vapor  <math>h_{saída} = h_{entrada}</math></p> <p>Da tabela A-1.2:  <math>h_L = 504,70 \text{ kJ/kg}</math>  <math>h_v = 2706,7 \text{ kJ/kg}</math></p> $x_{saída} = \frac{h_{saída} - h_L}{h_v - h_L}$ $x_{saída} = \frac{1407,56 - 504,70}{2706,7 - 504,70}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <math>x_{saída} = 0,41</math> </div>
---	--


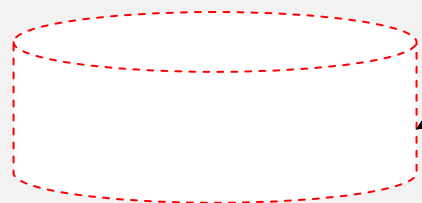
**Questão 2 [Valor: 2,5]:**

Um cilindro contendo  $0,1 \text{ m}^3$  de ar a uma pressão de 10 atm é colocado em um tanque maior que está a pressão de 1 atm e  $25^\circ\text{C}$ . Calcule, por unidade de massa, o trabalho realizado, a mudança de energia interna e o calor transferido se:

- O gás começar a vaziar lentamente de maneira que cilindro e gás permaneçam a uma temperatura constante.
- Se o processo for politrópico,  $n=1,3$ .

Considere o ar como um gás perfeito.

**Solução:**

 <p><b>Volume ocupado pelo ar = <math>0,1 \text{ m}^3</math></b></p> <p><b>Estado 1 (no equilíbrio)</b>  <b>P=10 atm</b></p>	 <p><b>Volume ocupado pelo ar</b></p> <p><b>Estado 2 (no equilíbrio)</b>  <b>P=1 atm</b>  <b>T = <math>25^\circ\text{C}</math> (Hipótese: O tanque é tão grande que a temperatura não é alterada)</b></p>
---	---

$${}_1W_2 = \int_1^2 \delta W \text{ ou seja } {}_1W_2 = \int_1^2 P \cdot dV, P = \frac{m}{V} RT$$

A variação de energia interna é dada por:  $\Delta U = m \cdot c_v \cdot \Delta T$  ou  $\Delta u = c_v \Delta T$

1ª. Lei da TMD para sistema:  $\Delta U = Q - W$  ou  $\Delta u = q - w$

(a) **Processo isotérmico:**  $\Delta u = 0$  e  $q = w$

$${}_1W_2 = mRT \int_1^2 \frac{dV}{V} \text{ ou } {}_1w_2 = RT \left[ \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \right] \text{ ou } {}_1w_2 = RT \left[ \ln \left( \frac{p_1}{p_2} \right) \right]$$

$${}_1w_2 = 287 * 298 * [\ln(10)] \quad \boxed{{}_1w_2 = 197 \text{ kJ/kg}}$$

b) **Processo Politrópico:**

$$pv^n = cte \text{ ou } \frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^n \text{ ou } \left( \frac{T_2}{T_1} \right) = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-n}{n}} \text{ ou } \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{1-n}$$

A temperatura do estado 1 é dada por:

$$\left( \frac{T_2}{T_1} \right) = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-n}{n}} \text{ ou } T_1 = T_2 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1-n}{n}} \rightarrow T_1 = 298 * (0,1)^{\frac{1-1,3}{1,3}} \rightarrow \boxed{T_1 = 506,9 \text{ K}}$$

O trabalho é dado por:

$$w = \int_1^2 p dv \rightarrow w = \int_1^2 \frac{C}{v^n} dv, \text{ mas } C = p_1 v_1^n, \text{ então:}$$

$$w = p_1 v_1^n \left[ \frac{v^{1-n}}{1-n} \right]_1^2 \text{ ou } w = p_1 v_1^n \left( \frac{v_2^{1-n} - v_1^{1-n}}{1-n} \right) \text{ ou } w = p_1 v_1^n \left( \frac{v_2^{1-n} - v_1^{1-n}}{1-n} \right) \text{ ou}$$

$$w = \frac{1}{1-n} (p_1 v_1^n v_2^{1-n} - p_1 v_1) \text{ ou } w = \frac{1}{1-n} (p_2 v_2^n v_2^{1-n} - p_1 v_1) \text{ ou } w = \frac{1}{1-n} (p_2 v_2 - p_1 v_1) \text{ ou}$$

$$w = \frac{R(T_2 - T_1)}{1-n} \text{ ou } w = \frac{287 * (298 - 506,9)}{1-1,3} \text{ ou } w = 199847 \text{ J/kg} \text{ ou } \boxed{w = 199,8 \text{ kJ/kg}}$$

A variação de energia interna é:

$$\Delta u = 716,5 * (298 - 506,9) \rightarrow \Delta u = -149729 \text{ J/kg} \rightarrow \boxed{\Delta u = -149,7 \text{ kJ/kg}}$$

Portanto, a variação de calor é:

$$q = \Delta u + w \text{ ou } q = -149,7 + 199,8 \text{ ou } \boxed{q = 50,1 \text{ kJ/kg}}$$

**Questão 3 [Valor: 2,5]:**

Um motor de automóvel pode ser modelado como um ciclo a ar de consistindo de 4 processos internamente reversíveis:

- *Processo 1-2*: - compressão adiabática
- *Processo 2-3*: - aquecimento isovolumétrico
- *Processo 3-4*: - expansão adiabática
- *Processo 4-1*: - resfriamento isovolumétrico

Pede-se:

- a) Representar o ciclo nos diagramas T-s e p-v;
  - b) Se no estado 1 o ar está nas condições ambientes de temperatura e pressão, e o volume do cilindro é  $V_1 = 2$  litros, qual será a temperatura  $T_2$  e a pressão  $p_2$ , se  $V_2 = V_1/9$ ?
  - c) Se  $T_3 = 1200$  K, quais serão  $p_3$ ,  $p_4$  e  $T_4$ ?
  - d) Qual o trabalho desenvolvido no processo 3-4 em cada ciclo realizado?
- Use as propriedades do ar dadas na Tab. A-7 do livro texto.

Processo		$\Delta U$ [kJ]	Q [kJ]	W [kJ]	V [m <sup>3</sup> ]	S [kJ/K]
1-2	Adiabático	$\Delta U_{1-2}$	0	$W_{1-2}$	$V_1$	$S_1$
2-3	Isovolumétrico	$\Delta U_{2-3}$	$Q_{2-3}$	0	$V_2=V_1/9$	$S_2=S_1$
3-4	Adiabático	$\Delta U_{3-4}$	0	$W_{3-4}$	$V_3=V_2$	$S_3$
4-1	Isovolumétrico	$\Delta U_{4-1}$	$Q_{4-1}$	0	$V_4=V_1$	$S_4=S_3$

Estado	p [Pa]	V [m <sup>3</sup> ]	T [K]	s [kJ/(kg.K)]
1	10000	$V_1=0,002$	300	$s_1$
2	?	$V_2=V_1/9$	?	$s_2=s_1$
3	?	$V_3=V_2$	1200	$s_3$
4	?	$V_4=V_1$	?	$s_4=s_3$

a)

b)

*Assumindo-se comportamento de gás ideal, tem-se:**Do estado 1:*

$$P_1 = \frac{m}{V_1} R_{ar} T_1 \quad \rightarrow \quad m = \frac{P_1 \cdot V_1}{R_{ar} T_1} \quad \rightarrow \quad m = \frac{10^5 \cdot 0,002}{287 \cdot 300} \quad \rightarrow \quad m = 2,32 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

*Do processo 1-2 (Adiabático) vem que:*

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \quad \rightarrow \quad \frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma \quad \rightarrow \quad p_2 = 10^5 \cdot \left( \frac{V_1}{V_1/9} \right)^{1,4}$$

$$\rightarrow p_2 = 10^5 \cdot (9)^{1,4} \quad \rightarrow \quad p_2 = 21,67 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad \text{ou} \quad p_2 = 21,67 \text{ atm}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \rightarrow \quad \frac{10^5 \cdot V_1}{300} = \frac{P_2 V_1}{T_2 \cdot 9} \quad \rightarrow \quad T_2 = \frac{p_2 \cdot 300}{10^5 \cdot 9} = \frac{21,67 \cdot 10^5 \cdot 300}{10^5 \cdot 9} \quad \rightarrow \quad T_2 = 722,3 \text{ K}$$

c)

*Do processo 2-3 (isoentrópico) vem que:*

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} \quad \rightarrow \quad \frac{21,67 \cdot 10^5 \cdot V_2}{722,3} = \frac{P_3 V_2}{1200} \quad \rightarrow \quad P_3 = 36,0 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad \text{ou} \quad P_3 = 36 \text{ atm}$$

*Do processo 3-4 (adiabático) vem que:*

$$\frac{p_4}{p_3} = \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^\gamma \quad \rightarrow \quad p_4 = p_3 \left( \frac{V_1}{9V_1} \right)^\gamma \quad \rightarrow \quad p_4 = 3,6 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{1}{9} \right)^{1,4} \quad \rightarrow \quad p_4 = 0,166 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_4 = 0,166 \text{ atm}$$

$$\frac{P_3 V_3}{T_3} = \frac{P_4 V_4}{T_4} \quad \rightarrow \quad \frac{3,6 \cdot 10^5 \cdot V_1}{1200 \cdot 9} = \frac{0,166 \cdot 10^5 \cdot V_1}{T_4} \quad \rightarrow \quad T_4 = \frac{0,166 \cdot 10^5 \cdot 1200 \cdot 9}{3,6 \cdot 10^5} \quad \rightarrow \quad T_4 = 498 \text{ K}$$

Estado	p [atm]	V [m³]	T [K]	s [kJ/(kg.K)]
1	1	V <sub>1</sub> =0,002	300	s <sub>1</sub>
2	21,7	V <sub>2</sub> =V <sub>1</sub> /9	723	s <sub>2</sub> =s <sub>1</sub>
3	36,0	V <sub>3</sub> =V <sub>2</sub>	1200	s <sub>3</sub>
4	0,166	V <sub>4</sub> =V <sub>1</sub>	498	s <sub>4</sub> =s <sub>3</sub>

d)

*O trabalho realizado no processo 3-4 é dado por:*

$$W_{3-4} = \frac{p_4 V_4 - p_3 V_3}{1 - \gamma} \quad \rightarrow \quad W_{3-4} = \frac{0,166 \cdot 10^5 \cdot 0,002 - 36 \cdot 10^5 \cdot (0,002/9)}{1 - 1,4} \quad \rightarrow \quad W_{3-4} = 1174 \text{ J}$$