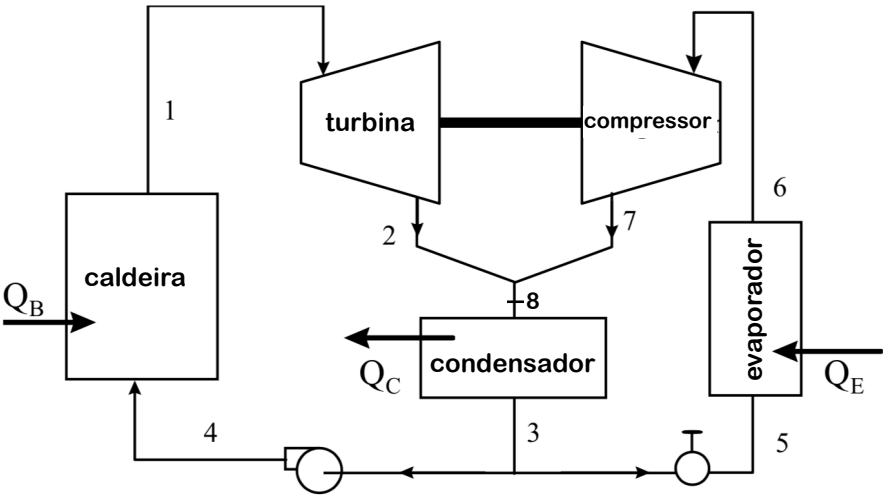


NOME: \_\_\_\_\_ N° USP: \_\_\_\_\_

1ª Questão (Valor: 5,0 pontos):

Um ciclo de refrigeração movido a transferência de calor é mostrado na Figura. Um ciclo Rankine é usado para acionar o compressor no ciclo de refrigeração por compressão de vapor. O sistema opera em regime permanente, sendo o refrigerante R134a o fluido de trabalho nos dois ciclos. As eficiências isentrópicas da turbina, compressor e bomba são  $\eta_t = 0,78$ ,  $\eta_c = 0,72$  e  $\eta_b = 0,48$ , respectivamente. Nas condições de projeto, o evaporador deve remover  $Q_e = 54 \text{ kW}$  do espaço resfriado. Vapor saturado deixa o evaporador a  $T_{\text{evap}} = -10^\circ\text{C}$ . Líquido saturado sai do condensador a  $T_{\text{cond}} = 40^\circ\text{C}$ . Vapor saturado sai da caldeira  $T_1 = 95^\circ\text{C}$ . A turbina, o compressor, a bomba e a válvula operam de forma adiabática. Despreze perdas de carga nas tubulações e trocadores de calor.



- (a) determine as entalpias de cada um dos 8 estados do ciclo. (2,5 pts)
  - (b) determine a vazão mássica no evaporador; (0,5 pt)
  - (c) determine a potência fornecida ao compressor; (0,5 pt)
  - (d) determine vazão mássica na caldeira; (0,5 pt)
  - (e) aplique um balanço de energia global para o ciclo. Calcule o saldo e comente seu resultado (1,0 pt)
- Coloque os valores de  $h$  e  $P$  obtidos no item (a) na Tabela 1.1
  - Coloque seus resultados dos itens (b) a (e) na Tabela 1.2. Apresente a resolução em folha avulsa manuscrita.

Tabela 1.1 – Propriedades termodinâmicas da água

Estado	T (°C)	P (kPa)*	v (m³/kg)	h (kJ/kg)*	s (kJ/kg.K)	x	Descrição*
1	95					1	vapor saturado
2							
3	40					0	líquido saturado
4							
5							
6	-10					1	vapor saturado
7							
8							

\* colunas de preenchimento obrigatório

1ª Questão (continuação):

Tabela 1.2 – Parâmetros do ciclo de refrigeração / Rankine (preencher todos os campos)

(b) vazão mássica no evaporador / (kg/s)	
(c) potência fornecida ao compressor / (kW)	
(d) vazão mássica na caldeira / (kg/s)	
(e) saldo do balanço de energia / (kW)	

CRITÉRIO DE CORREÇÃO

Tabela 1.1 – Propriedades termodinâmicas da água

Estado	T (°C)	P (kPa)	v (m³/kg)	h (kJ/kg)	x	Descrição*	Pontos
1	95	3591,5		420,8	1	vapor saturado	0,2
2		1017		404,8		mistura	0,4
3	40	1017	0,000873	256,5	0	líquido saturado	0,2
4		3591,5		261,2		líquido comprimido	*0,3+0,1
5		200,7		256,5		mistura	0,2
6	-10	200,7		392,3	1	vapor saturado	0,2
7		1017		439,7		vapor superaquecido	0,4
8		1017		413,6		mistura	**0,4+0,1
2s		1017		400,3		mistura	
7s	~46,3	1017		426,4		vapor superaquecido	

obs.: a avaliação e consequente pontuação é baseada exclusivamente na determinação correta do valor da entalpia

\* 0,3 pt caso tenha errado contas, mas escreveu a expressão  $w_b = v_3(P_4 - P_3) = 4,682 \text{ kJ/kg}$  corretamente.

\*\* 0,4 pt caso tenha escrito corretamente o balanço de energia para o “misturador”:  $(m_2 + m_7).h_8 = m_2.h_2 + m_7.h_7$

Tabela 1.2 – Parâmetros do ciclo de refrigeração / Rankine (preencher todos os campos)

(b) vazão mássica no evaporador / (kg/s)	0,3978	0,5
(c) potência fornecida ao compressor / (kW)	18,86	0,5
(d) vazão mássica na caldeira / (kg/s)	1,176	0,5
(e) saldo do balanço de energia / (kW) $Q_B = 187,8 \text{ kW} \mid Q_C = 247,2 \text{ kW} \mid W_B = 5,506 \text{ kW}$	~0	*0,5+0,3+0,2

obs.: a avaliação e consequente pontuação é baseada exclusivamente na determinação correta do valor do item

\* 0,5 pt pela expressão correta do balanço de energia para o ciclo (Trabalho do compressor e da turbina não devem aparecer no balanço pois são internos ao volume de controle, incluí-los e depois cancelá-los por serem iguais em módulo caracteriza-se como erro conceitual, anulando o item). 0,3 pt pelos comentários corretos com base na expressão anterior correta. 0,2 pt pelos resultados numéricos corretos.

$$R\$ = 'R134a'$$

eficiências isentrópicas:

$$\eta_t = 0,78 \quad \eta_c = 0,72 \quad \eta_p = 0,48$$

estado 1, saída da caldeira:

$$T_1 = 95 \text{ [C]}$$

$$x_1 = 1$$

$$h_1 = h [R\$ ; T=T_1 ; x=x_1]$$

$$s_1 = s [R\$ ; T=T_1 ; x=x_1]$$

$$P_1 = P [R\$ ; T=T_1 ; x=0]$$

estado 3, saída do condensador:

$$T_3 = 40 \text{ [C]}$$

$$x_3 = 0$$

$$h_3 = h [R\$ ; T=T_3 ; x=x_3]$$

$$P_3 = P [R\$ ; T=T_3 ; x=x_3]$$

estado 5, jusante da válvula:

$$h_5 = h_3$$

estado 6, saída do evaporador:

$$T_6 = -10 \text{ [C]}$$

$$x_6 = 1$$

$$P_6 = P [R\$ ; T=T_6 ; x=x_6]$$

$$h_6 = h [R\$ ; T=T_6 ; x=x_6]$$

$$s_6 = s [R\$ ; T=T_6 ; x=x_6]$$

$$P_5 = P_6$$

estado 7, saída do compressor:

$$P_7 = P_3$$

$$h_{s,7} = h [R\$ ; P=P_7 ; s=s_6] \text{ para um compressor ideal}$$

$$\eta_c = \frac{h_{s,7} - h_6}{h_7 - h_6} \text{ determinação de } h_7$$

estado 2, saída da turbina:

$$P_2 = P_7$$

$$h_{s;2} = h [R\$ ; P=P_2 ; s=s_1] \text{ para uma turbina ideal}$$

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{s;2}} \text{ determinação de } h_2$$

estado 4, saída da bomba:

$$P_4 = P_1$$

$$v_3 = v [R\$ ; T=T_3 ; x=x_3]$$

$$w_{\text{pump}} = v_3 \cdot \left[ \frac{P_4 - P_3}{\eta_p} \right] \text{ trabalho específico na bomba}$$

$$h_4 = h_3 + w_{\text{pump}}$$

estado 8, entrada do condensador:

$$P_8 = P_2$$

$$[\dot{m}_{\text{boiler}} + \dot{m}_{\text{evap}}] \cdot h_8 = \dot{m}_{\text{boiler}} \cdot h_2 + \dot{m}_{\text{evap}} \cdot h_7$$

b) vazao mássica no evaporador:

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = 54 \text{ [kW]}$$

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m}_{\text{evap}} \cdot [h_6 - h_5] \text{ balanço de energia no evaporador}$$

c) potência fornecida ao compressor:

$$-\dot{W}_c = \dot{m}_{\text{evap}} \cdot [h_6 - h_7]$$

d) vazao mássica na caldeira:

$$\dot{W}_t = \dot{W}_c$$

$$\dot{m}_{\text{boiler}} \cdot [h_1 - h_2] = \dot{W}_t \text{ balanço de energia na turbina}$$

taxa de transferência de calor na caldeira:

$$\dot{Q}_{\text{boiler}} = \dot{m}_{\text{boiler}} \cdot [h_1 - h_4]$$

e) coeficiente de desempenho:

$$\dot{W}_{\text{pump}} = \dot{m}_{\text{boiler}} \cdot w_{\text{pump}}$$

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{\dot{Q}_{\text{boiler}}}$$

balanço de energia:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = [\dot{m}_{\text{boiler}} + \dot{m}_{\text{evap}}] \cdot [h_8 - h_3]$$

$$\text{Saldo} = \dot{Q}_{\text{boiler}} + \dot{Q}_{\text{evap}} - \dot{Q}_{\text{cond}} + \dot{W}_{\text{pump}}$$