

# Termodinâmica I

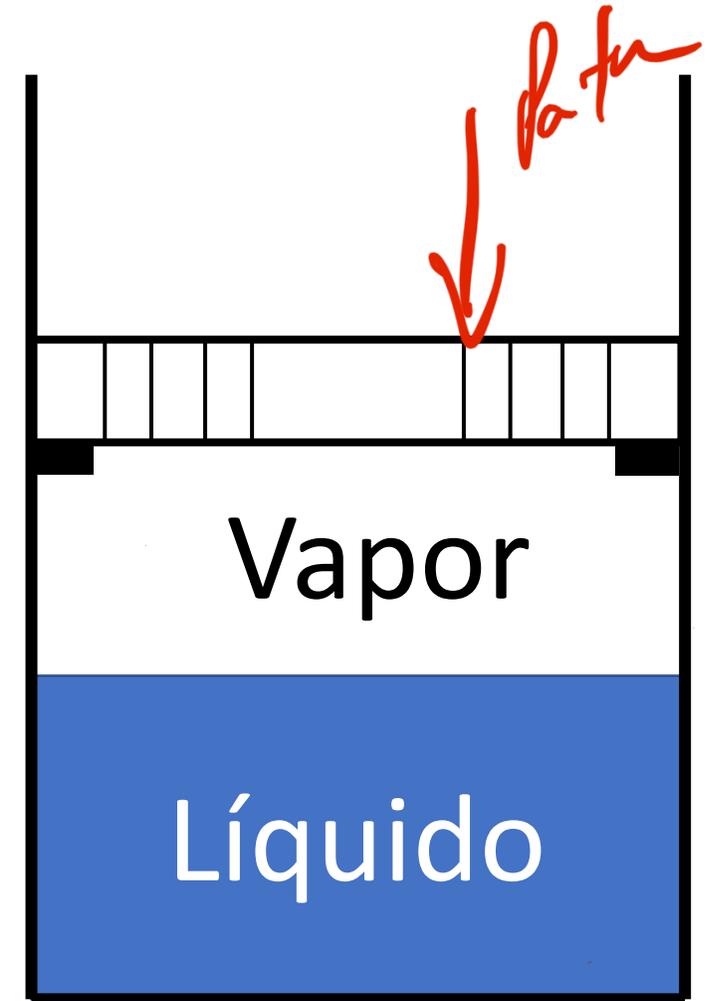
## Exercícios

### Trabalho e Calor

Prof. Dr. Silvio de Oliveira Junior

# Exercícios

- 1) O esquema mostra um cilindro com 0,1kg de  $H_2O$  saturado a  $38^\circ\text{C}$ . O pistão tem uma área de  $400\text{ cm}^2$ , massa de 60 kg e está apoiado no suporte. O volume ocupado pela água é de  $0,02\text{m}^3$ . A pressão atmosférica é de  $96,04\text{kPa}$  e aceleração gravitacional de  $9,75\text{ m/s}^2$ . Transfere-se calor para o sistema até que o cilindro contenha vapor saturado. Pede-se:
- Temperatura da água quando o pistão deixa o suporte;
  - O trabalho realizado pela água.



# Solução exercício Ex. 1

$$m_{H_2O} = 0,1 \text{ kg} \quad T_i = 38^\circ\text{C} \quad v_i = 0,02 \text{ m}^3 \quad P_{atm} = 96,04 \text{ kPa}$$
$$A_P = 400 \text{ cm}^2 \quad m_P = 60 \text{ kg}$$

$$P = P_{atm} + \frac{m_P g}{A_P} = \underbrace{96,04}_{96040} + \underbrace{\frac{60 \cdot 9,75}{400 \cdot 10^{-4}}}_{14625}$$

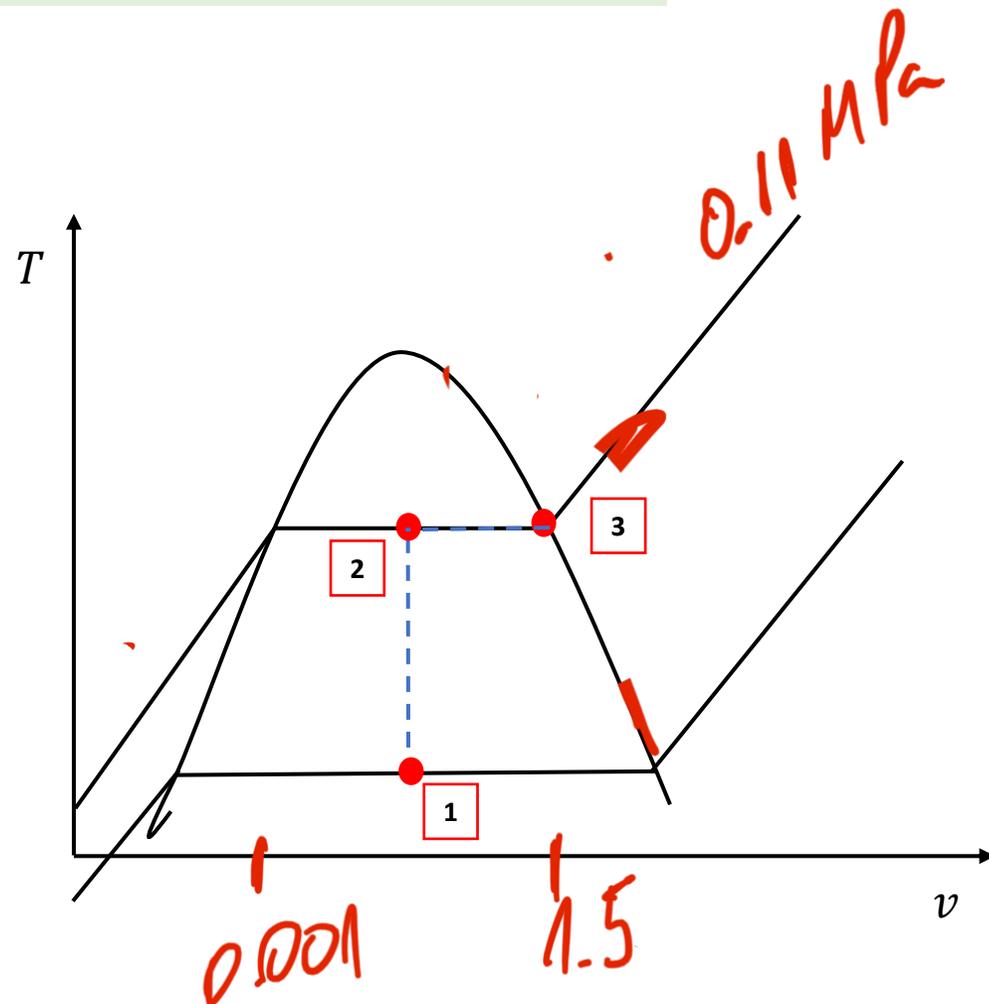
$$P = 110665 \text{ Pa} = 0,11 \text{ MPa} \rightarrow T = 102,4^\circ\text{C}$$

$$v = \frac{0,02}{0,1} = 0,2 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_f = 1,5512 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{Vapor Saturado})$$

$${}_2W_3 = \int_2^3 P dV = \underbrace{0,11 \cdot 10^6 \text{ Pa}}_P \cdot \underbrace{(1,5512 - 0,2)}_{\Delta v} \cdot \underbrace{0,1}_m$$

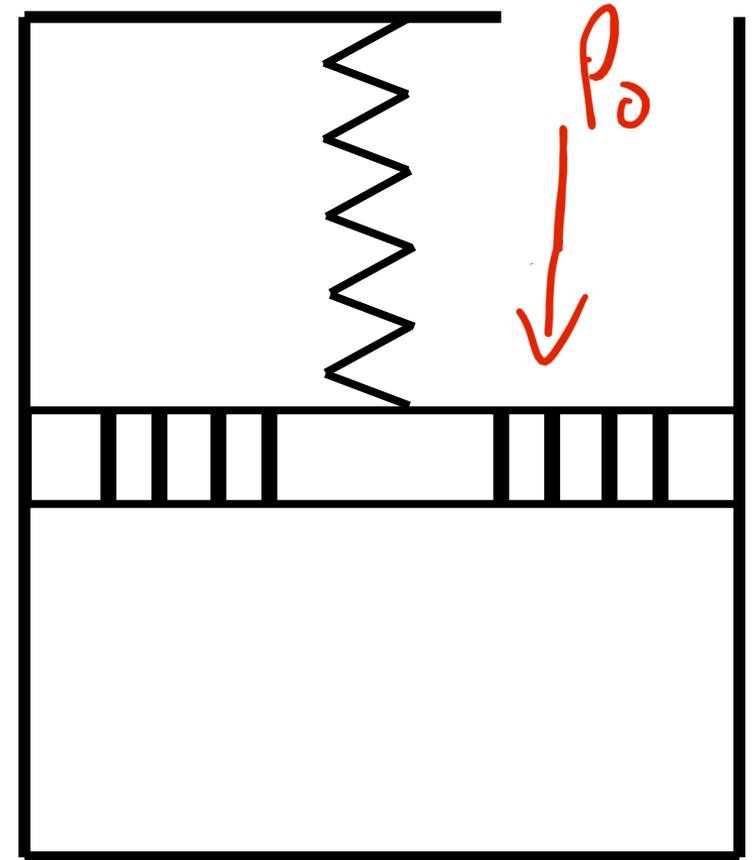
$$\boxed{{}_2W_3 = 14,96 \text{ kJ}}$$



# Exercícios

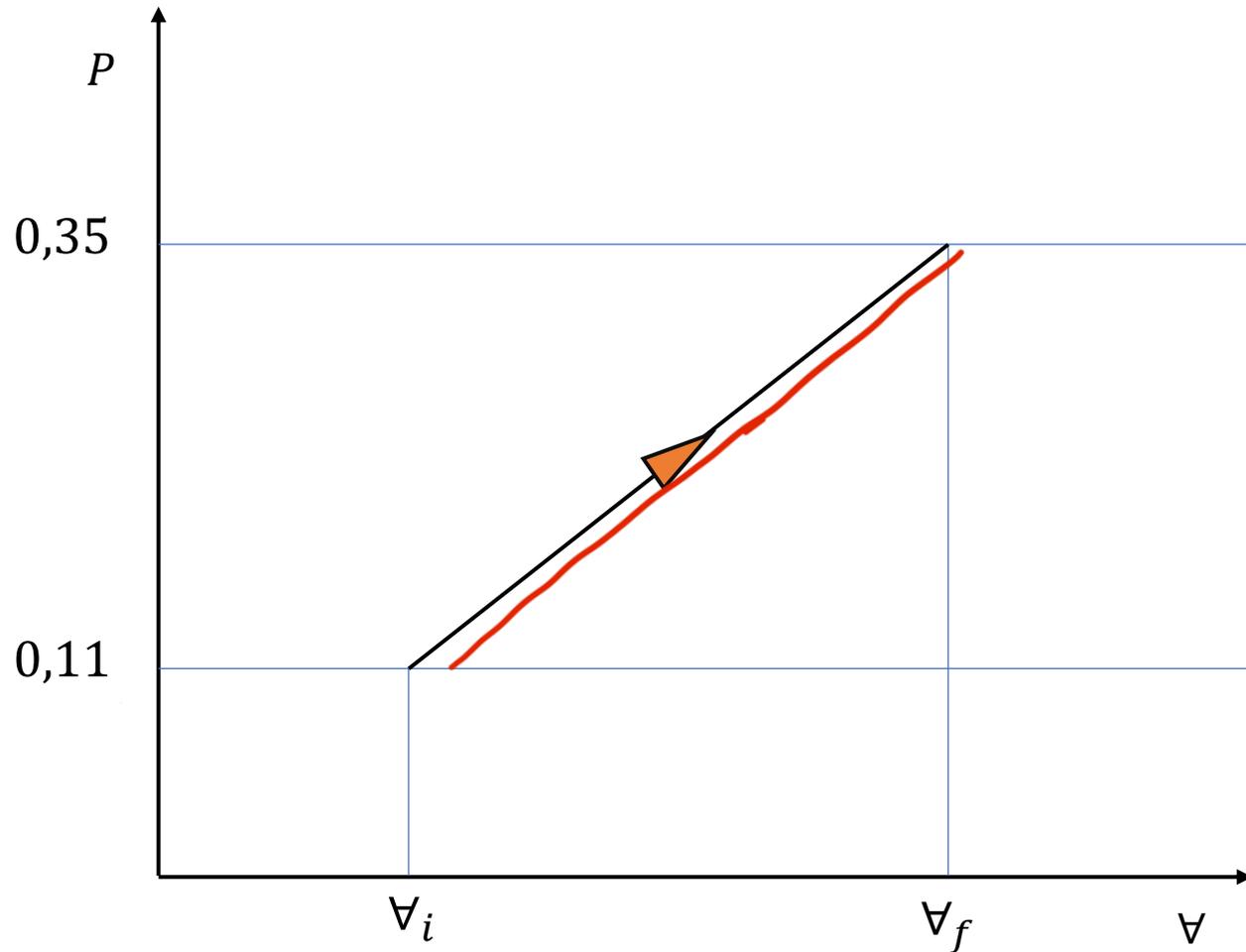
2) Considere o dispositivo esquematizado. O volume inicial dentro do cilindro é de  $0,03\text{m}^3$  e a pressão é  $0,11\text{MPa}$ . Neste estado, a pressão é suficiente para contrabalancear o peso do pistão e a mola toca o pistão, mas não exerce nenhuma força sobre o mesmo. O gás é então aquecido, até que o volume final seja o dobro do inicial. A pressão final é de  $0,35\text{MPa}$  e, durante o processo, a força da mola é proporcional ao deslocamento do pistão. Pede-se:

- Represente o processo no diagrama P-v;
- Calcule o trabalho realizado pelo gás.



## Solução exercício Ex. 2

$$\begin{aligned} \forall_i &= 0,03\text{m}^3 & P_i &= 0,11\text{MPa} \\ \forall_f &= 2\forall_i & P_f &= 0,35\text{MPa} \end{aligned}$$



$$F_{mola} = K\Delta x$$

$$P = P_0 + \frac{K\Delta v}{A^2} = P_0 + \beta\Delta v$$

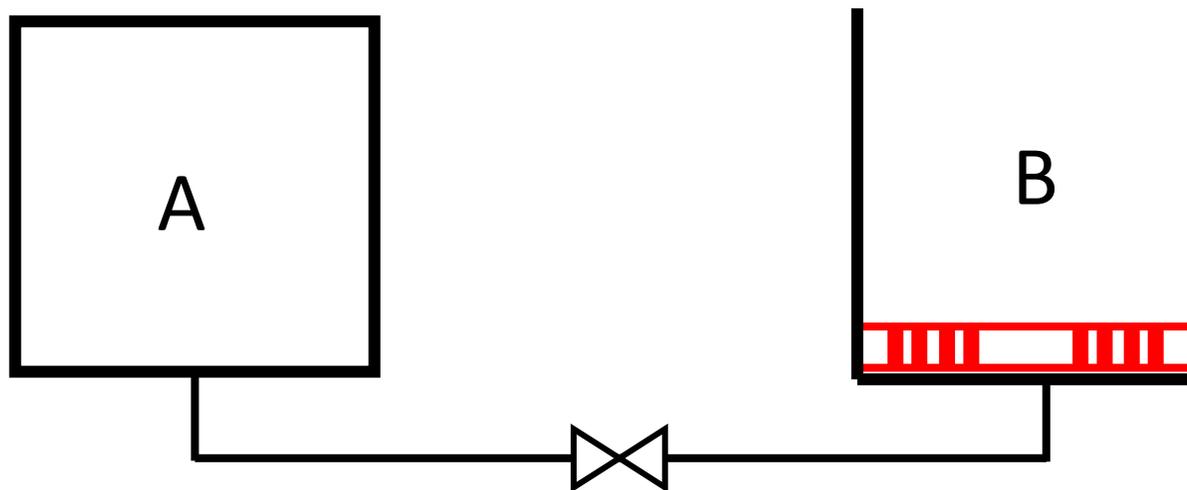
$${}_iW_f = \int_i^f P dv = P_0 + \beta(P_f - P_i)\Delta v$$

$${}_iW_f = 0,11 \cdot 0,03 + \frac{0,03 \cdot (0,35 - 0,11)}{2}$$

$${}_iW_f = 6,9 \text{ kJ}$$

# Exercícios Lista 1

5) Considere uma montagem composta por um tanque com volume de  $0,4\text{m}^3$  conectado através de uma tubulação com válvula a um cilindro com um pistão que pode se deslocar sem atrito e que requer uma pressão de  $150\text{ kPa}$  para ser deslocado. Inicialmente, o tanque contém argônio a  $250\text{ kPa}$  e  $30^\circ\text{C}$  e o pistão está encostado na superfície inferior do cilindro. A válvula que liga os dois recipientes é aberta permitindo o fluxo de argônio para o cilindro. No final do processo o argônio está em um estado uniforme a  $150\text{ kPa}$  e  $30^\circ\text{C}$ . Calcule o trabalho realizado pelo argônio.



## Solução exercício Ex. 5

Argônio

$$T_c = 150,8K \quad P_c = 4870kPa$$

$$P_{r1} = 0,051 \quad T_{r1} = 2,01$$

$$P_{A1} \overset{V_1}{V_{A1}} = P_2 (\overset{V_2}{V_{A1}} + V_{B2})$$

$$T_1 = T_2 = 30^\circ C$$

$$V_{B2} = \frac{P_{A1} V_{A1} - P_2 V_{B2}}{P_2} = \frac{V_{A1}}{P_2} (P_{A1} - P_2)$$

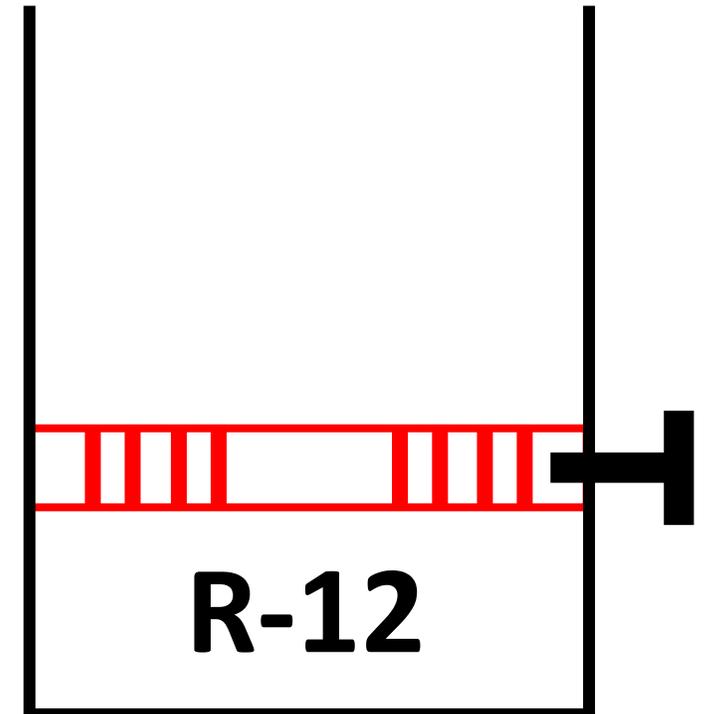
$$V_{B2} = \frac{0,4m^3}{150kPa} (250 - 150)kPa = 0,267m^3$$

$$\begin{aligned} W_2 &= \frac{1}{2} (P_1 + P_2) (V_2 - V_1) = P_2 \left[ (V_{A1} + V_{B2}) - V_{A1} \right] \\ {}_1W_2 &= P_2 V_{B2} = 150kPa \cdot 0,267m^3 \\ &= P_2 V_{B2} \end{aligned}$$

$${}_1W_2 = 40kJ$$

# Exercícios Lista 1

6) Um cilindro vertical contém um pistão que pode se deslocar sem atrito. Na condição inicial, o cilindro contém  $3 \text{ dm}^3$  de R-12 a  $27^\circ\text{C}$  e título de 90%. O pistão tem massa de 100 kg e seção transversal de  $65 \text{ cm}^2$  e é mantido no lugar por um pino. A pressão ambiente é de 0,1 MPa e a aceleração gravitacional é de  $10 \text{ m/s}^2$ . O pino é removido e o pistão sobe. Após um certo intervalo de tempo, o sistema atinge o equilíbrio, sendo a temperatura final  $27^\circ\text{C}$ . Pede-se.



- A pressão e volume finais do R-12;
- O trabalho realizado pelo R-12.

# Solução exercício Ex. 6

$$P_2 = P_{atm} + \frac{mg}{A_e} = 0,1MPa + \frac{100kg \cdot 10m/s^2}{65 \cdot 10^{-4}m^2}$$

$$P_2 = 0,1 + 0,1538 = \underline{0,2538 MPa}$$

$$a \ 27^\circ C \quad \left\{ \begin{array}{l} P_{sat} = 0,709MPa \\ v_l = 0,7678 \cdot 10^{-3} m^3/kg \\ v_v = 0,02636 m^3/kg \end{array} \right.$$

$$V_1 = 3/1000 = \underline{3 \times 10^{-3} m^3}$$

$$v_1 = v_l + x(v_v - v_l) = \underline{0,0237 m^3/kg}$$

$$v_1 = \frac{V_1}{m} \rightarrow \boxed{m = 0,1266kg}$$

$$V_2 = V_2(T = 27^\circ C, P_2 = 0,2538MPa) \rightarrow V_2 = 0,0098m^3 \quad \left. \vphantom{V_2} \right\} v_2 = 0,0774 m^3/kg$$

$$V_2 = 0,0774 \times 0,1266 = \underline{0,0098 m^3} \leftarrow$$

$${}_1W_2 = \int_1^2 P_{atm} dV + \Delta E_P = \int_1^2 P_{res} dV = P_{res}(V_2 - V_1)$$

$$\boxed{{}_1W_2 = 1718 J} \leftarrow$$

$${}_1W_2 = P_2 \times (V_2 - V_1) = 0,2538 \times 10^3 \times (0,0098 - 0,003) \leftarrow$$

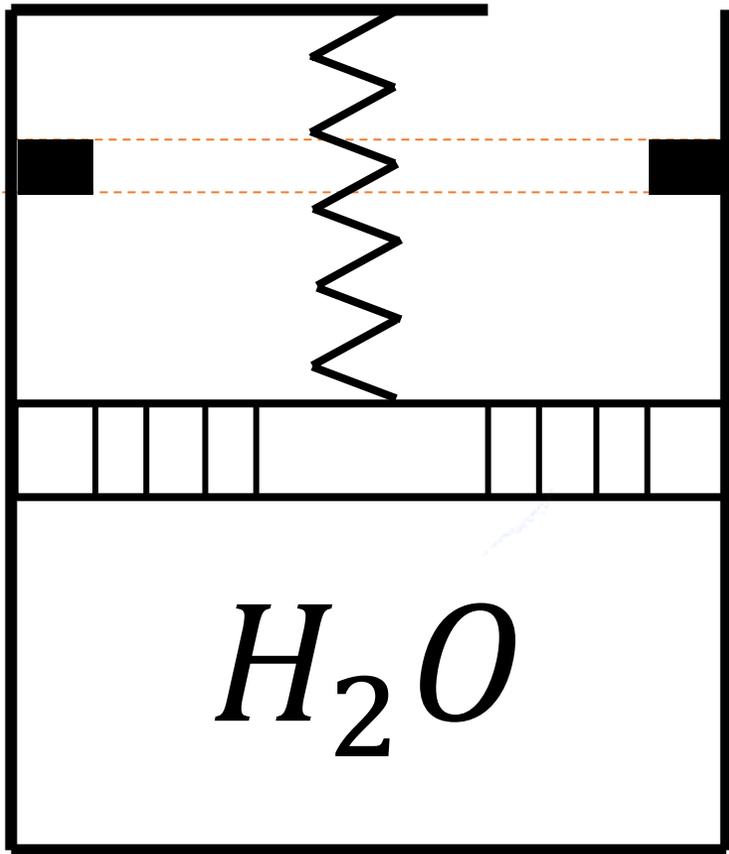
# Exercícios Lista 1

7) Considere um cilindro com um pistão submetido à ação de uma mola de forma que, quando o volume no cilindro for nulo, a mola estará completamente distendida. A força da mola é proporcional ao deslocamento da mesma e o peso do pistão é desprezível. O cilindro contém 4,5 kg de água, inicialmente a 0,35 MPa e título de 1%. A água é aquecida até se tornar vapor saturado. O volume do cilindro é de 140 dm<sup>3</sup> quando o pistão encontrar um batente superior. Pede-se:

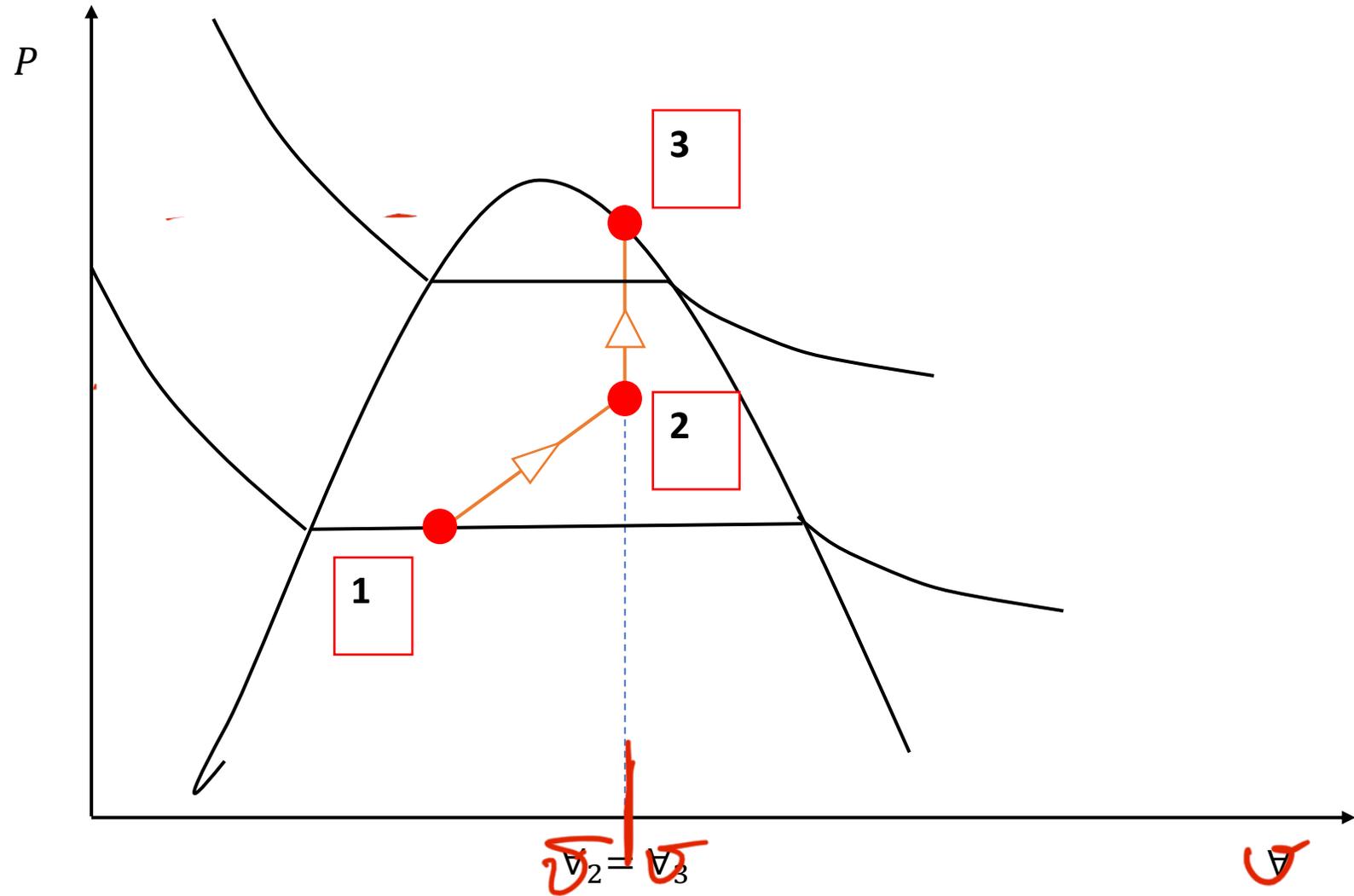
- a) A pressão final;
- b) O trabalho realizado;
- c) A representação do processo no diagrama P-v

Considere a pressão ambiente igual a 0,1 MPa.

# Solução exercício Ex. 7



$$\begin{aligned} P_{atm} &= 0,1 \text{ MPa} & V_3 &= 140 \text{ dm}^3 \\ P_1 &= 0,35 \text{ MPa} & x_3 &= 1 \\ x_1 &= 0,01 & m_{H_2O} &= 4,5 \text{ kg} \\ V &= 0 & \rightarrow F_m &= 0 \end{aligned}$$



# Solução exercício Ex. 7

## **Estado 1:**

$$P_1 = 0,35 \text{ MPa}$$

$$x_1 = 0,01$$

$$v_1 = v_{l1} + x_1(v_{v1} - v_{l1})$$

$$v_{l1} = 0,001079 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_{v1} = 0,5246 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_1 = 0,0063 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_1 = 0,0284 \text{ m}^3$$

$$m = 4,5 \text{ kg}$$

## **Estado 2:**

**Hipótese: Chega ao batente**

$$V_2 = V_3$$

## **Estado 3:**

$$x_3 = 1$$

$$V_3 = 140 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$v_3 = \frac{V_3}{m_3} = 0,031 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_3 = P_3(v_3, x_3) = 6,255 \text{ MPa}$$

$$T_3 = 278,4^\circ\text{C}$$

# Solução exercício Ex. 7

## ***Cálculo do trabalho realizado***

$$P = P_{atm} + \frac{K\mathcal{V}}{A^2}$$

$${}_1W_2 = \int_1^2 P_{externo} d\mathcal{V} = \int_1^2 P_{atm} d\mathcal{V} + \int_1^2 \frac{K\mathcal{V}}{A^2} d\mathcal{V}$$

$${}_1W_2 = P_{atm} (\mathcal{V}_2 - \mathcal{V}_1) + \frac{K\mathcal{V}}{2A^2} (\mathcal{V}_2^2 - \mathcal{V}_1^2)$$

***Para a mola:***

$$P_m = \frac{K\mathcal{V}}{A^2} \rightarrow \frac{P_m}{\mathcal{V}} = cte$$

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{K\mathcal{V}_2^2}{A^2} - \frac{K\mathcal{V}_1^2}{A^2} \right] = \frac{1}{2} \left[ \frac{P_{m2}}{\mathcal{V}_2} \mathcal{V}_2^2 - \frac{P_{m1}}{\mathcal{V}_1} \mathcal{V}_1^2 \right]$$

$${}_1W_2 = P_{atm} (\mathcal{V}_2 - \mathcal{V}_1) + \frac{1}{2} \left[ \frac{P_{m2}}{\mathcal{V}_2} \mathcal{V}_2^2 - \frac{P_{m1}}{\mathcal{V}_1} \mathcal{V}_1^2 \right]$$

$${}_1W_2 = P_{atm} (\mathcal{V}_2 - \mathcal{V}_1) + \frac{1}{2} [P_{m2}\mathcal{V}_2 - P_{m1}\mathcal{V}_1]$$

***Cálculo da pressão exercida pela mola:***

$$\frac{P_m}{\mathcal{V}} = cte \therefore \frac{P_{m1}}{\mathcal{V}_1} = \frac{P_{m2}}{\mathcal{V}_2}$$

***Pressão da água no estado inicial 1:***

$$P_1 = 0,35MPa = P_{atm} + P_{m1}$$

$$P_{m1} = 0,25MPa$$

***Então:*** 
$$P_{m2} = \frac{P_{m1}}{\mathcal{V}_1} \cdot \mathcal{V}_2$$

$$P_{m2} = \frac{0,25MPa}{0,0284m^3} \cdot 140 \cdot 10^{-3} m^3 = 1,232 MPa$$

## Solução exercício Ex. 7

$$P_2 = 0,1 + 1,232 = 1,332 \text{ MPa}$$

### *Voltando ao Trabalho*

$$P = P_{atm} + \frac{Kv}{A^2}$$

$${}_1W_2 = 0,1 \cdot (0,140 - 0,0284) + \frac{1}{2} (1,132 \cdot 0,140 - 0,25 \cdot 0,0284)$$

$${}_1W_2 = 93,87 \text{ kJ}$$

$${}_1W_2 = \frac{1}{2} (P_1 + P_2) (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (0,35 + 1,332) (0,14 - 0,0284)$$

$${}_1W_2 = 0,0938 \text{ MJ} = \underline{\underline{93,8 \text{ kJ}}}$$

## Solução exercício Ex. 7

Verificando a hipótese que o êmbolo encosta no batente (ou seja  $\forall_2 = \forall_3 = 0,140\text{m}^3$ )

- Caso o êmbolo só encostasse no batente, a pressão final no sistema seria a pressão da mola totalmente comprimida mais a pressão atmosférica.

$$P_f = P_{atm} + P_{m_2} = 0,1 + 1,232 = 1,332 \text{ MPa}$$

- O volume específico do vapor ( $v_v$ ) para esta pressão de saturação é  $v_v \approx 0,15 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Neste caso, o título do vapor no sistema seria.

$$\forall_f = 0,140\text{m}^3$$

$$m_{H_2O} = 4,5 \text{ kg}$$

$$v_f = \frac{0,140}{4,5} = 0,0311 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_f = xv_v + v_v(1 - x)$$

$$0,0311 \cong 0,15 \cdot x + 0,00114(1 - x) \quad \rightarrow \quad x_f = 0,2 < 1,0$$

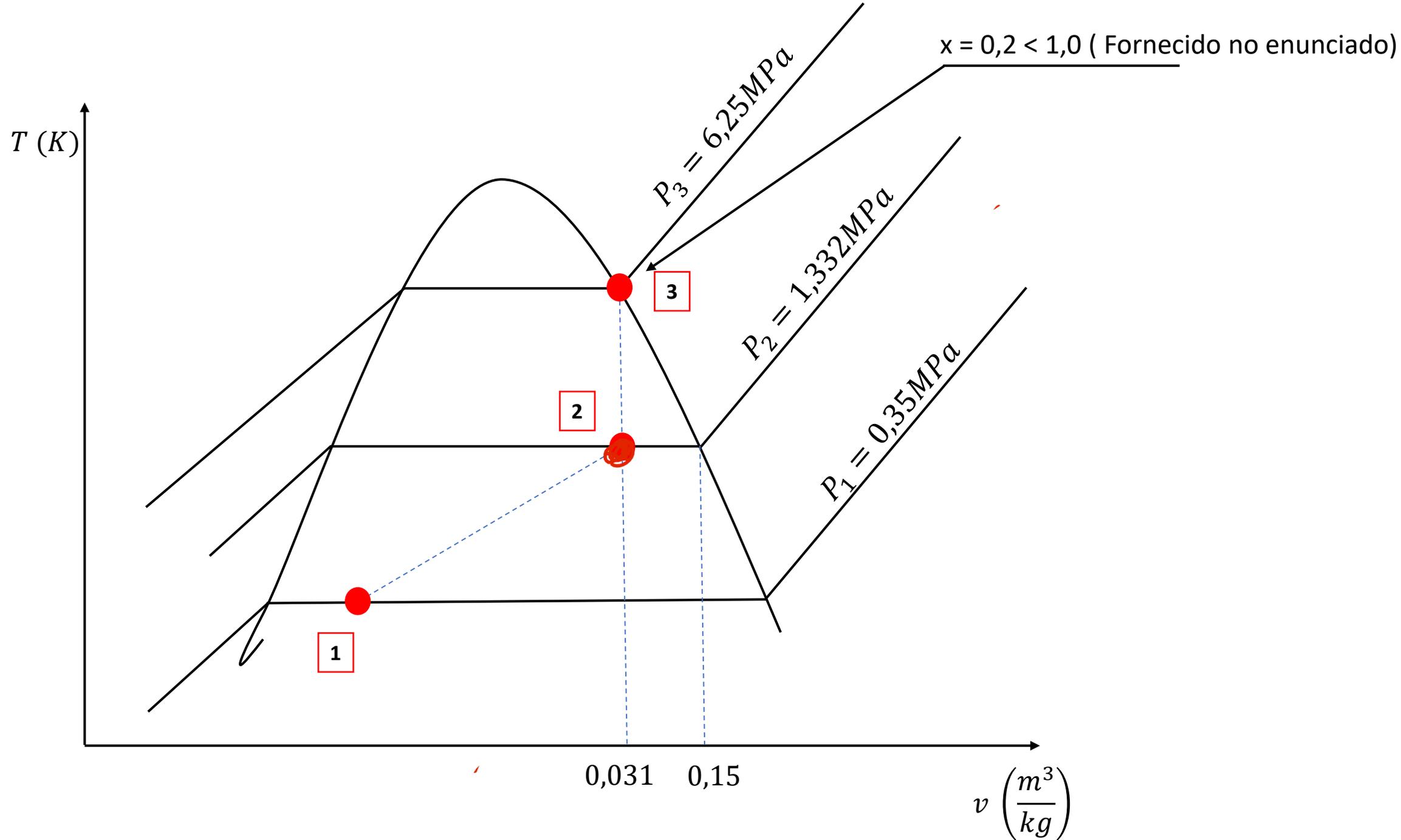
## Solução exercício Ex. 7

- Ou seja, o estado final, caso só encostasse no batente, não poderia ter título = 1, como consta no enunciado.

### Conclusão:

O êmbolo encosta no batente  $\rightarrow \forall_2 = \forall_3 = 0,140\text{m}^3$ , e a pressão tem que subir mais ainda, até atingir  $P_3$ .

Veja no diagrama T-v.



# Calor Fornecido

**1ª Lei para sistema:**

$${}_1Q_3 - {}_1W_3 = {}_1\Delta U_3$$

$${}_1W_3 = 93,87 \text{ kJ} \quad (\text{Veja que } {}_1W_3 = {}_1W_2 + {}_2W_3)$$

$${}_1\Delta U_3 = U_3 - U_1$$

$U_1$  : da tabela liquido – vapor para  $P_1 = 0,35 \text{ MPa}$

$$u_l = 583,93 \text{ kJ/kg}$$

$$u_v = 2548,9 \text{ kJ/kg}$$

$$u_1 = x \cdot u_v + u_l (1 - x)$$

$$u_1 = 0,01 \cdot 2548,9 + 583,93 \cdot (1 - 0,01)$$

$$u_1 = 603,57 \text{ kJ/kg}$$

$$U_1 = m \cdot u_1 = 4,5 \cdot 603,57$$

$$U_1 = 2716 \text{ kJ}$$

$U_3$  : da tabela Liquido – vapor para  $P_3 = 6,25 \text{ MPa}$

$$\left. \begin{array}{l} x_3 = 1,0 \\ u_v = 2587,4 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} u_3 = 2587,4 \text{ kJ/kg}$$

$$U_3 = 4,5 \cdot 2587,4 = 11643,3 \text{ kJ}$$

$${}_1\Delta U_3 = U_3 - U_1 = 11643,3 - 2716 = 8927,3 \text{ kJ}$$

Assim:

$${}_1Q_3 = 8927,3 + 93,87 = 9021,1 \text{ kJ}$$

Observe que o trabalho é **+ 93,87 kJ**, pois o sistema (água) realiza trabalho contra a vizinhança (Mola +  $P_{atm}$ ).