

CURSO INTENSIVO

TERMODINÂMICA E APLICAÇÕES DE ENGENHARIA

EQUAÇÕES DE BALANÇO DE ENERGIA PARA SISTEMAS FECHADOS

Paulo Seleghim Jr.
Universidade de São Paulo

CURSO INTENSIVO

TERMODINÂMICA E APLICAÇÕES DE ENGENHARIA

AVISOS IMPORTANTES:

AVISOS IMPORTANTES:



USP - DISCIPLINAS
Apoio as Disciplinas

Disciplinas » Suporte » Português - Brasil (pt_br) » Paulo Selegim Junior

Administração

- Administração do ambiente
 - Configurações
 - Conclusão de curso
 - Usuários
 - Filtros
 - Relatórios
 - Configuração das Notas
 - Resultado da aprendizagem
 - Emblemas
 - Importar
 - Backup
 - Restaurar
 - Download center
 - Banco de questões
 - Kit de ferramentas de acessibilidade
 - Certificados
 - Lixeira

Navegação

- Frequência & Notas
- Cronograma 1s2024
- Lista de exercícios: aulas 1 - 4
- Lista de exercícios: Newton-Raphson + Regra dos Trapézios
- Enquete sobre a duração da P1
- Slides
- Planilhas

Até 31/03

AVISOS IMPORTANTES:



SEM0233 TERMODINÂMICA 1	
data	Tema da aula
26/02/24	INTRODUÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS
27/02/24	
04/03/24	ENERGIA E DESORDEM: A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA
05/03/24	
11/03/24	PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS: DIAGRAMAS DE EQUILÍBRIO
12/03/24	
18/03/24	EQUAÇÕES DE BALANÇO DE ENERGIA PARA SISTEMAS FECHADOS
19/03/24	Não haverá aula...
25/03/24	SEMANA SANTA
26/03/24	
01/04/24	EQUAÇÕES DE BALANÇO DE ENERGIA PARA SISTEMAS ABERTOS 1/2
02/04/24	
08/04/24	EQUAÇÕES DE BALANÇO DE ENERGIA PARA SISTEMAS ABERTOS 2/2
09/04/24	
15/04/24	Resolução de exercícios / reposição 19/03
16/04/24	Avaliação P1



Snif...

O CURSO É CUMULATIVO



EXEMPLO DE APLICAÇÃO PRÁTICA...



ENGENHARIA DE ALIMENTOS



1kg abóbora
0,5 kg de açúcar
2min na pressão
24 horas descanso



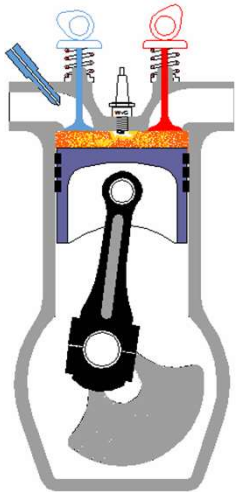
CURSO INTENSIVO

TERMODINÂMICA E APLICAÇÕES DE ENGENHARIA

EQUAÇÕES DE BALANÇO DE ENERGIA PARA SISTEMAS FECHADOS

Paulo Seleghim Jr.
Universidade de São Paulo

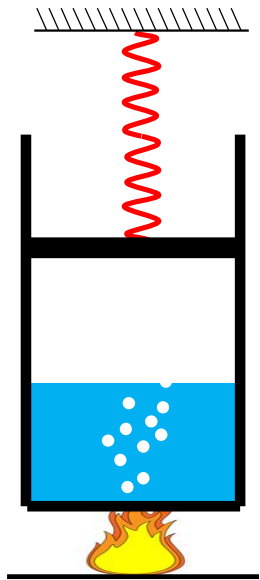
Sistemas Termodinâmicos:



Aberto: há fluxo de massa em suas fronteiras

Fechado: não há fluxo de massa em suas fronteiras

Sistemas Termodinâmicos:




Aberto: há fluxo de massa em suas fronteiras

Fechado: não há fluxo de massa em suas fronteiras



Q#1: Um motor de combustão interna é um sistema fechado ou aberto ?

- A)  ChatGPT
An internal combustion engine is an open system.
- B) Um motor de combustão interna é um sistema fechado
- C) Um motor de combustão interna não é um sistema...
- D) Um motor de combustão pode ser analisado como um sistema aberto ou fechado dependendo...
- E) Um motor de combustão interna não é um motor...

1



UÓTI ???



ChatGPT

An internal combustion engine can be considered a closed system in the context of thermodynamics. In a closed system, energy can enter or leave the system, but mass does not.

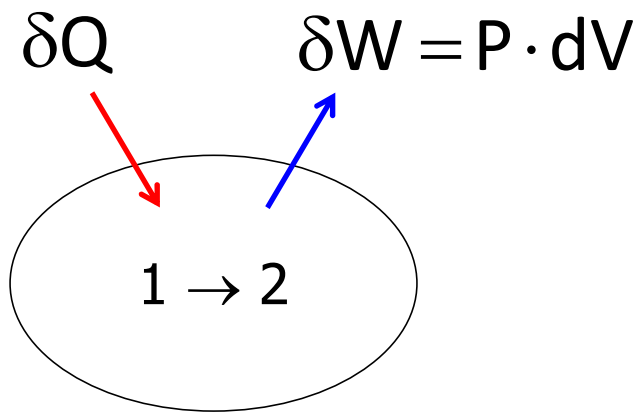
During the operation of an internal combustion engine, fuel and air are taken into the system, burned to produce energy, and then expelled as exhaust gases. However, the engine itself is typically considered a closed system because it does not exchange mass with its surroundings during its normal operation.

However, if we consider the entire vehicle including the engine, fuel system, and exhaust system, the system would be considered open because it exchanges matter (fuel and exhaust gases) with the environment.

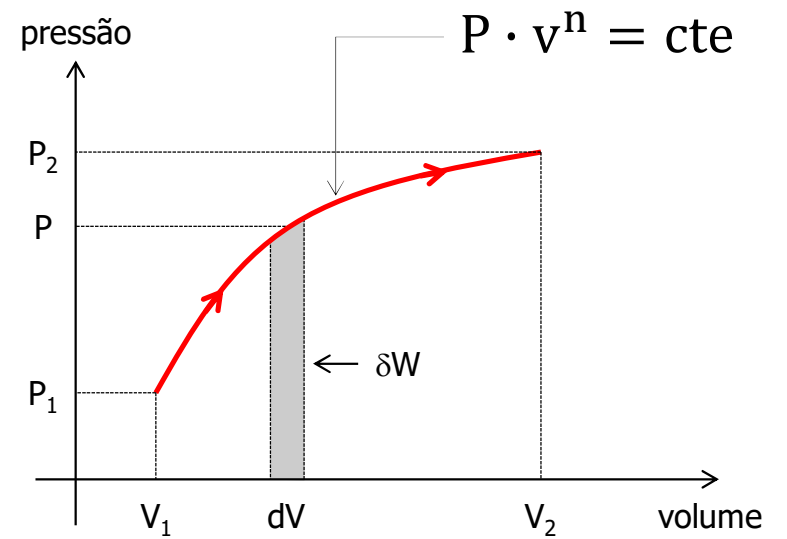
Um quadrado é um triângulo ou um círculo ?

Visualizando as transformações num diagrama de equilíbrio...

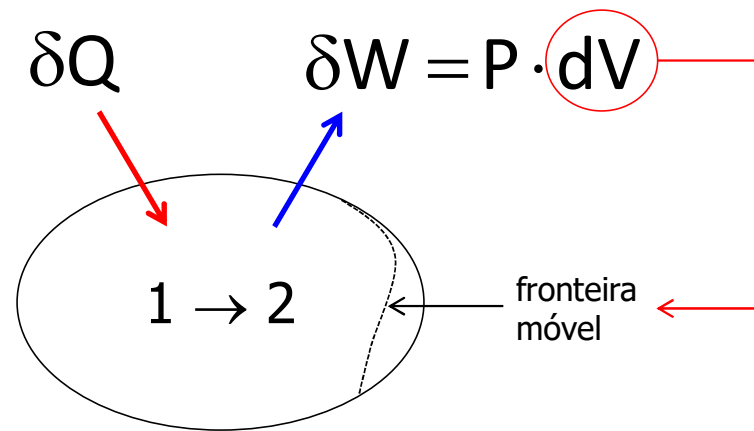




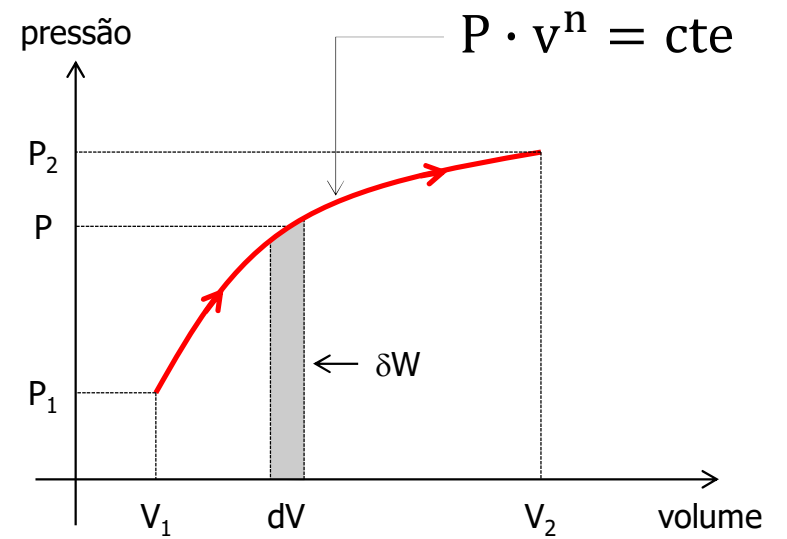
$$dU = \delta Q - \delta W$$

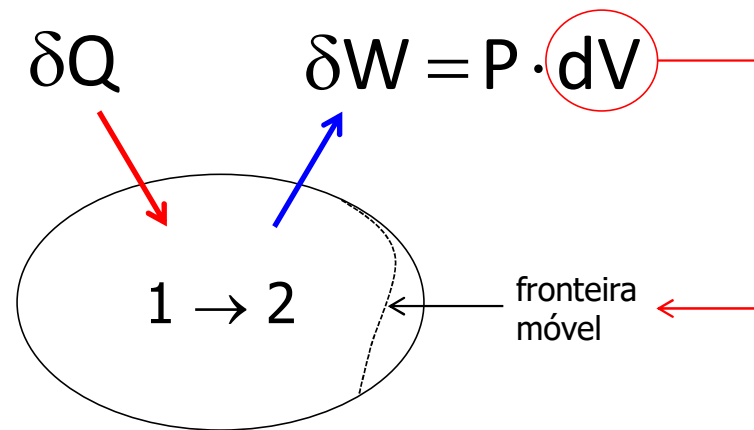


Processo politrópico da aula passada



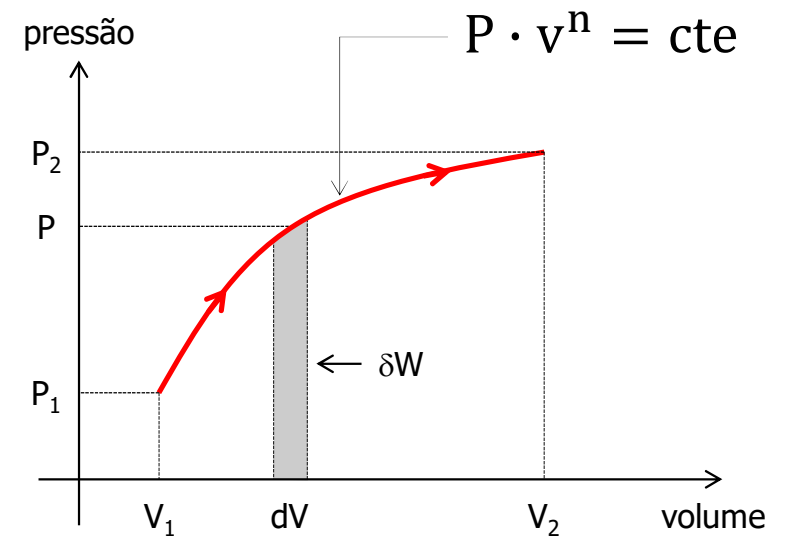
$$dU = \delta Q - \delta W$$

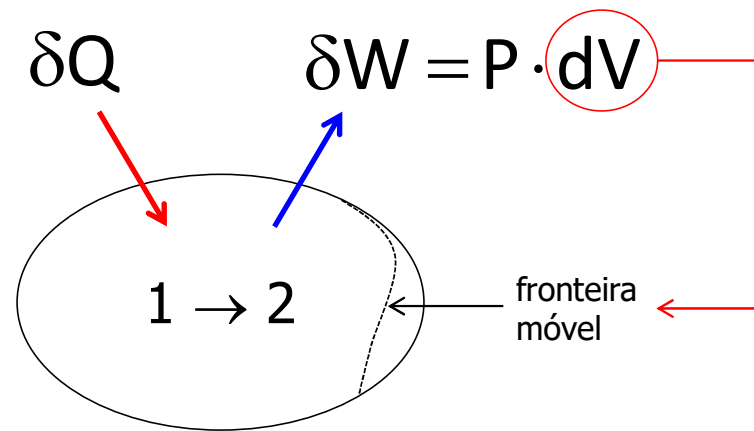




$$dU = \delta Q - \delta W$$

$$\int_1^2 dU = \int_1^2 \delta Q - \int_1^2 \delta W$$

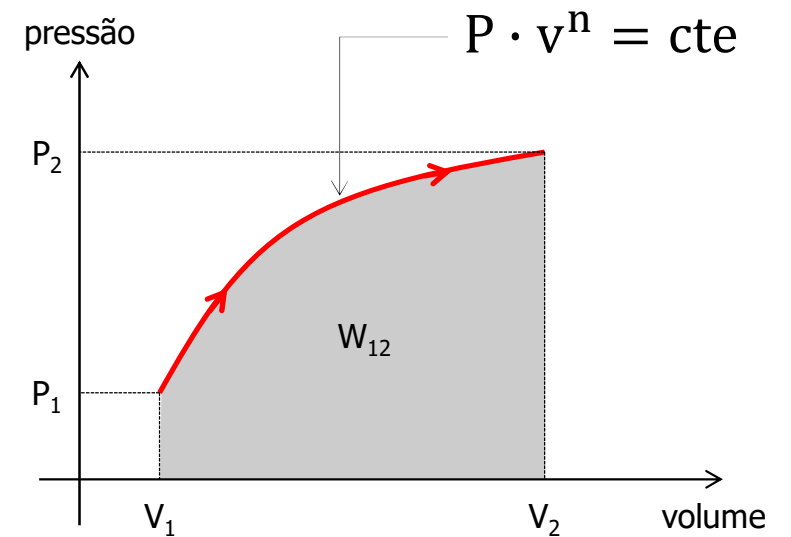




$$dU = \delta Q - \delta W$$

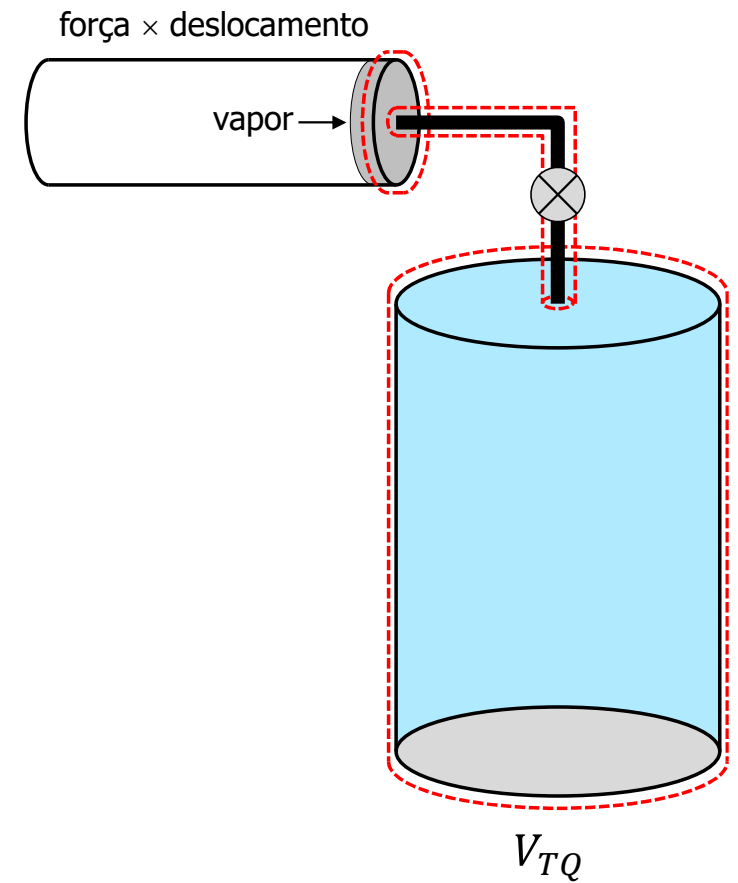
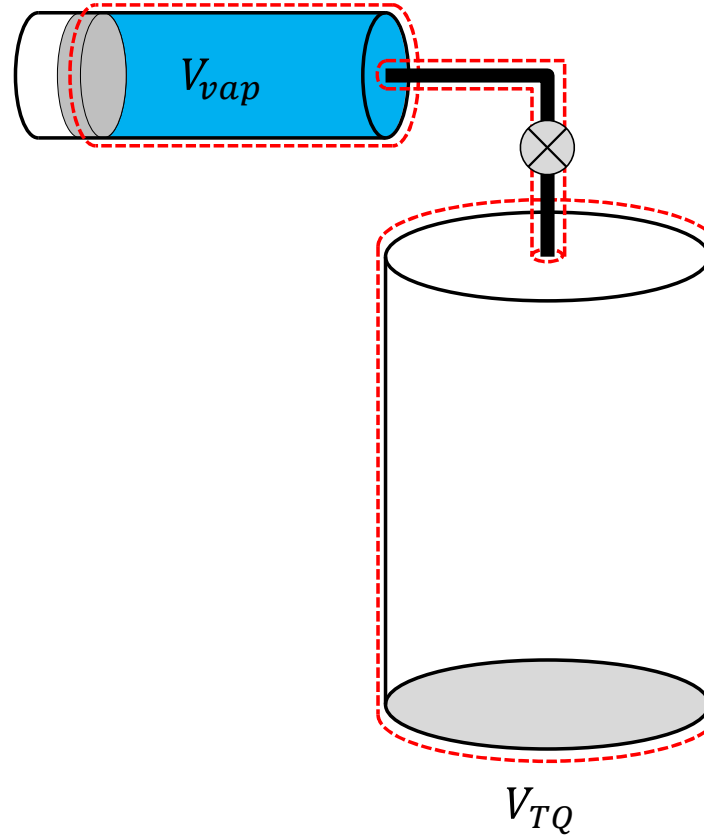
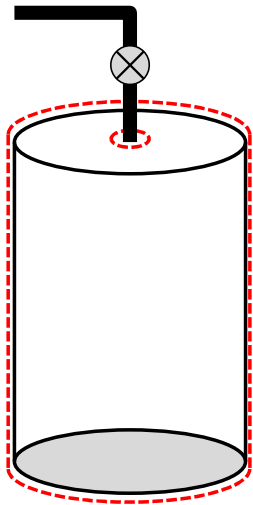
$$\int_1^2 dU = \int_1^2 \delta Q - \int_1^2 \delta W$$

$$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$$

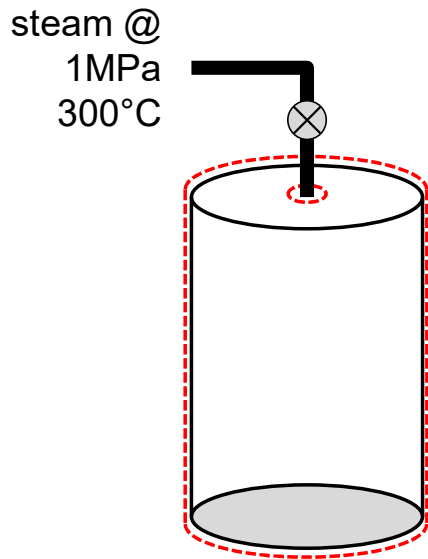


Um tanque rígido e isolado, inicialmente evacuado, é conectado através de uma válvula a uma linha de fornecimento que transporta vapor a 1 MPa e 300°C. A válvula é então aberta e o vapor flui lentamente para o tanque até que a pressão atinja 1 MPa, momento em que a válvula é fechada. Determine a temperatura final do vapor no tanque. (Ex. 5 – 12)

steam @
1 MPa
300°C



Um tanque rígido e isolado, inicialmente evacuado, é conectado através de uma válvula a uma linha de fornecimento que transporta vapor a 1 MPa e 300°C. A válvula é então aberta e o vapor flui lentamente para o tanque até que a pressão atinja 1 MPa, momento em que a válvula é fechada. Determine a temperatura final do vapor no tanque. (Ex. 5 – 12)



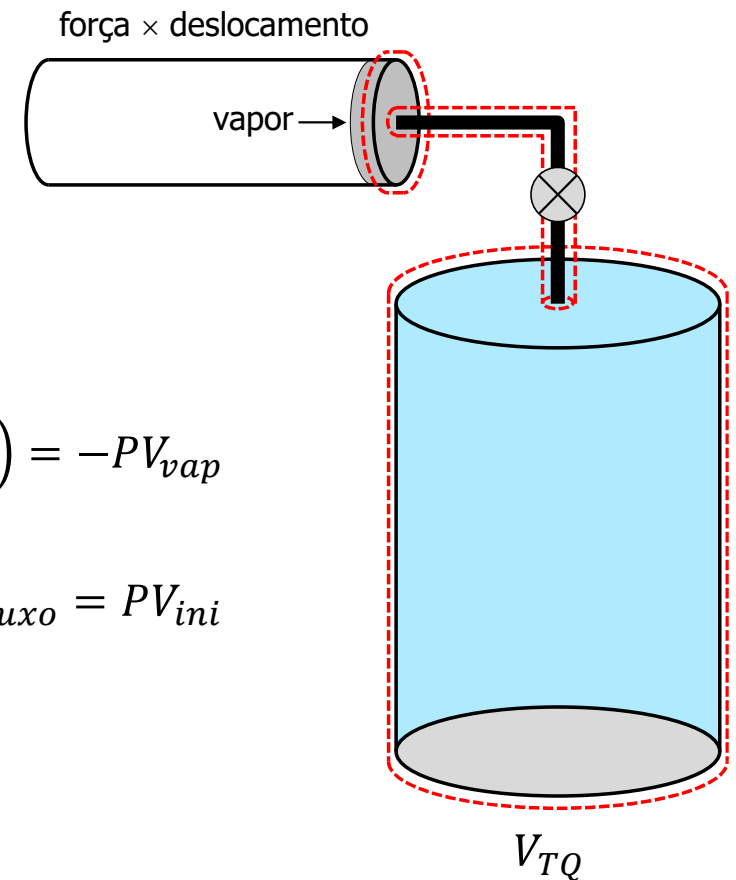
$$W_{fluxo} = \int_{ini}^{fin} P dV$$

$$W_{fluxo} = P \cdot (V_{fin} - V_{ini})$$

$$W_{fluxo} = P \cdot (V_{TQ} - (V_{TQ} + V_{vap})) = -PV_{vap}$$

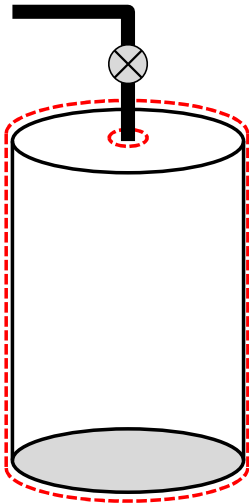
$$U_{fin} - U_{ini} = Q - W_{fluxo} = -W_{fluxo} = PV_{ini}$$

$$U_{fin} = U_{vap} + PV_{vap} = H_{ini}$$



Um tanque rígido e isolado, inicialmente evacuado, é conectado através de uma válvula a uma linha de fornecimento que transporta vapor a 1 MPa e 300°C. A válvula é então aberta e o vapor flui lentamente para o tanque até que a pressão atinja 1 MPa, momento em que a válvula é fechada. Determine a temperatura final do vapor no tanque. (Ex. 5 – 12)

steam @
1MPa
300°C



REFPROP (water) - NIST Reference Fluid Properties (DLL version 9,1)

File Edit Options Substance Calculate Plot Window Help Cautions

1: water: Specified state points

	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Density (kg/m ³)	Int. Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Cp (kJ/kg-K)
1	300,0000	1,000000	3,876151	2793,645	3051,632	7,124624	2,142490
2	456,4467	1,000000	2,998442	3051,632	3385,139	7,639065	2,147769
3							



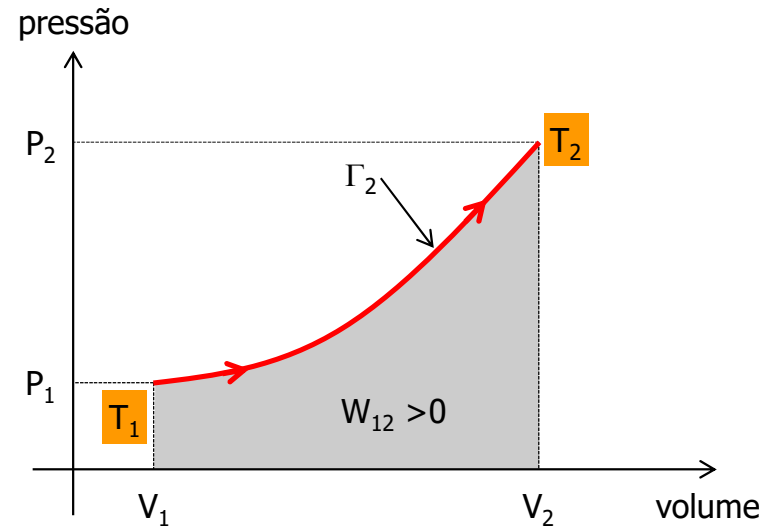
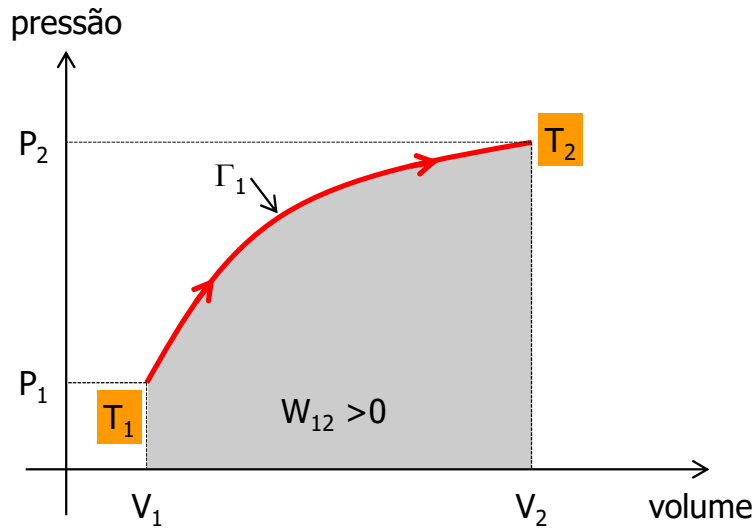


Q#2: o exemplo anterior
foi equacionado como um
sistema ...

- A) Desprezível...
- B) Isotérmico...
- C) Isobárico...
- D) Fechado...
- E) É impossível dizer...

2

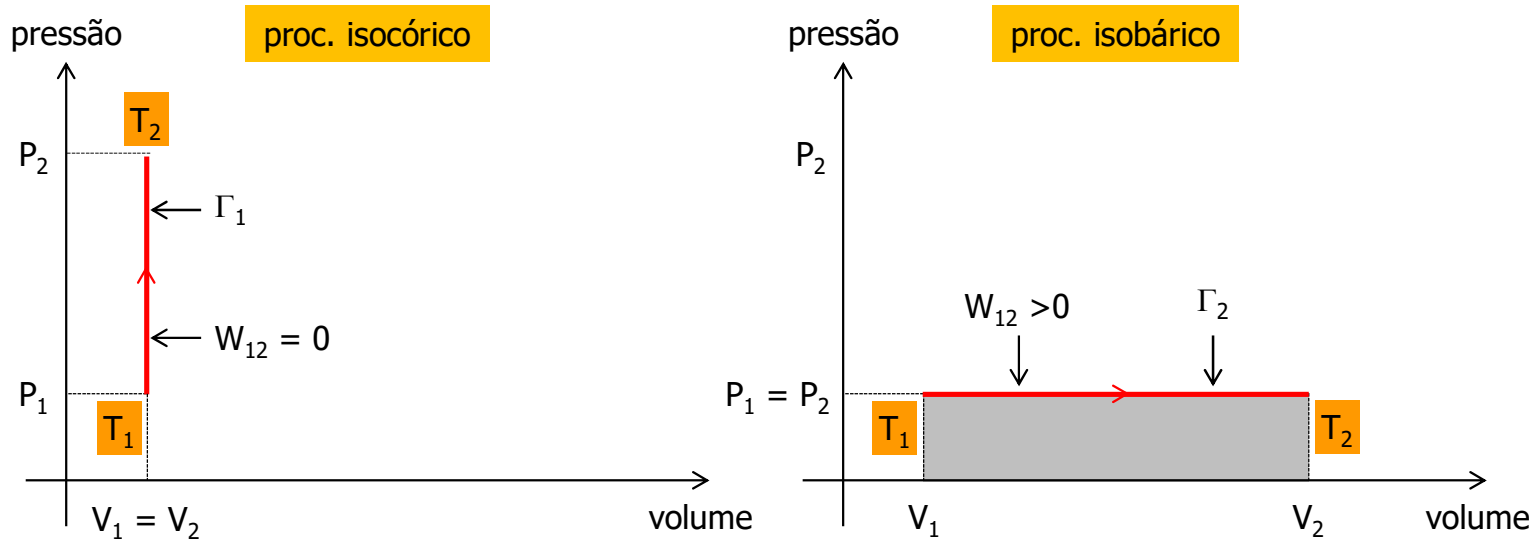
Transformações distintas resultam em trocas energéticas diferentes ?



$$\Delta U = Q_{\Gamma_1} - W_{\Gamma_1} = Q_{\Gamma_2} - W_{\Gamma_2}$$

$$W_{\Gamma_1} \neq W_{\Gamma_2} \rightarrow Q_{\Gamma_1} \neq Q_{\Gamma_2}$$

Os calores específicos são diferentes e, portanto, também dependem da transformação



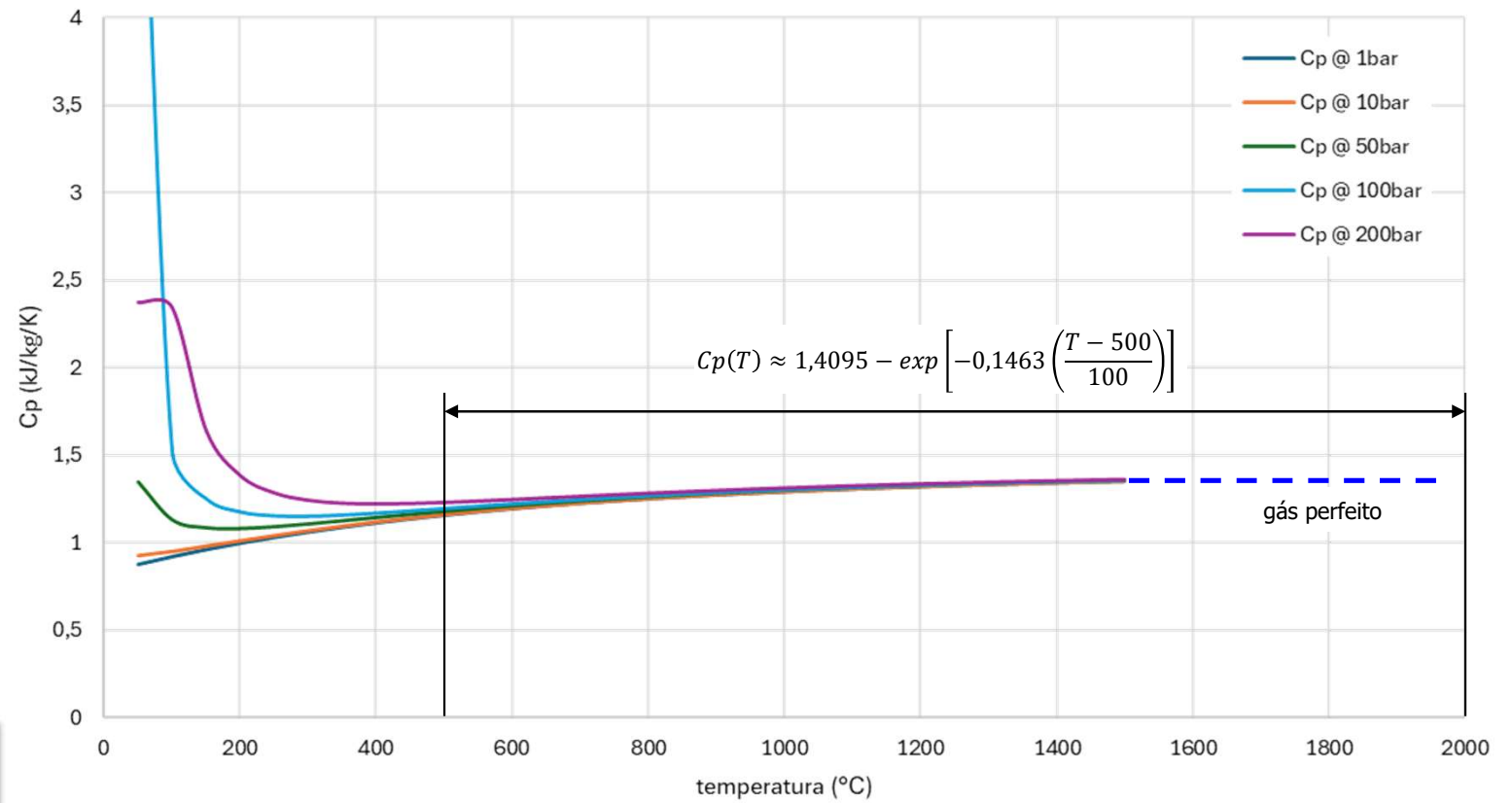
$$\delta Q_{v=cte} = (du + \cancel{\delta W_{v=cte}}) = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v \cdot dT \Rightarrow C_v \stackrel{\text{def}}{=} \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v$$

$$\delta Q_{P=cte} = (du + \delta W_{P=cte}) = \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_v \cdot dT \Rightarrow C_P \stackrel{\text{def}}{=} \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_v$$

$$\delta W_{P=cte} = Pdv \quad \delta W_{P=cte} \quad dh = du + Pdv$$

abordagem
matemática

Properties	
Chemical formula	CO ₂
Molar mass	44.009 g·mol ⁻¹
Density	1562 kg/m ³ (solid at 1 atm (100 kPa) and -78.5 °C (-109.3 °F)) 1101 kg/m ³ (liquid at saturation -37 °C (-35 °F)) 1.977 kg/m ³ (gas at 1 atm (100 kPa) and 0 °C (32 °F))
Critical point (T, P)	304.128(15) K ^[2] (30.978(15) °C), 7.3773(30) MPa ^[2] (72.808(30) atm)
Sublimation conditions	194.6855(30) K (-78.4645(30) °C) at 1 atm (0.101325 MPa)
Solubility in water	1.45 g/L at 25 °C (77 °F), 100 kPa (0.99 atm)



**CALOR ESPECÍFICO:
ENERGIA INTERNA E ENTALPIA...**

CALOR ESPECÍFICO: Δ ENERGIA / Δ TEMPERATURA

ENERGIA
DESORGANIZADA

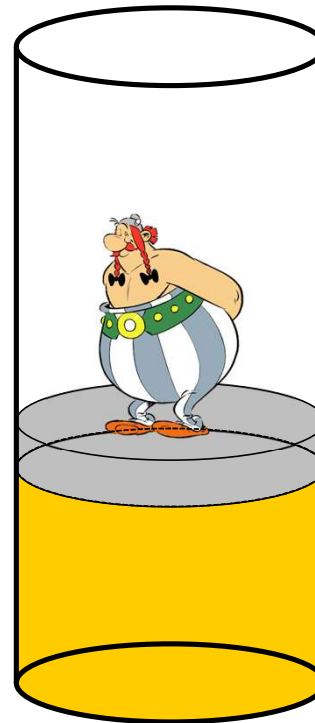
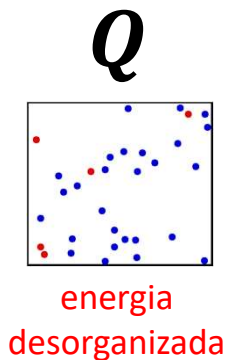
$Q \rightarrow W$

ENERGIA
ORGANIZADA



MOTORES DE
APLICAÇÃO GENÉRICA

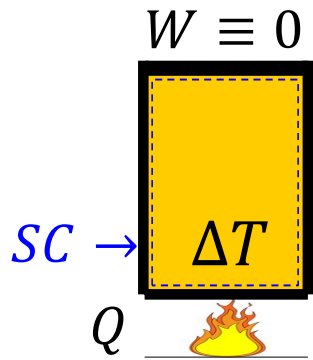
abordagem
física



$P \stackrel{?}{=} cte$
 $V \stackrel{?}{=} cte$
 $PV^M \stackrel{?}{=} cte$

$W = F \cdot \Delta x$ energia
organizada

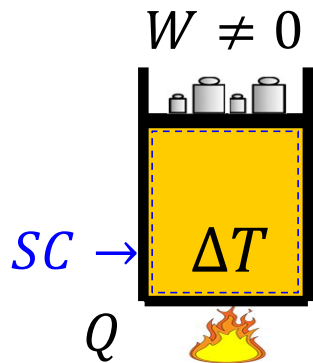
Fluido de trabalho ideal: $\Delta U \uparrow$ com
 $\Delta T \downarrow$, portanto com alto calor específico



$$\Delta U = Q - W$$

$$C = \frac{\Delta U}{\Delta T} = \frac{Q}{\Delta T} \rightarrow$$

$$C_V \stackrel{\text{def}}{=} \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_{V=cte}$$



$$\Delta U = Q - W$$

$$C = \frac{\Delta U}{\Delta T} = \frac{\Delta H}{\Delta T} \rightarrow$$

$$C_P \stackrel{\text{def}}{=} \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_{P=cte}$$

abordagem
física

$$h \stackrel{\text{def}}{=} u + Pv \rightarrow h = u + RT \rightarrow dh = du + RdT$$

$$C_P - C_V = R$$

$$\leftarrow C_P dT = C_V dT + RdT$$

Exemplo de aplicação prática...

DEGRADAÇÃO

TEMPERATURA

TEMPO → SEVERIDADE

1kg abóbora
0,5 kg de açúcar
2min na pressão
24 horas descanso



APLICAÇÃO: FUNCIONAMENTO DE UMA PANELA DE **PRESSÃO** / "DEPRESSÃO"

tempo de
cozimento



$$S(t) = \log_{10} \left[\int_0^t \exp \left(\frac{T(x) - 100^\circ\text{C}}{14,75^\circ\text{C}} \right) dx \right]$$

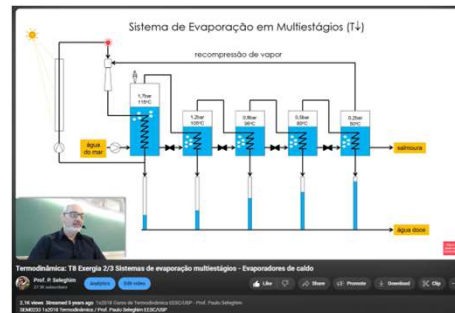
tempo físico



Evaporação de um líquido a baixa temperatura...



grain
189K subscribers



T15: Evaporadores de Caldo - Análise Termodinâmica

Prof. P. Selegim
27.5K subscribers

Analytics Edit video

352



Share



Promote



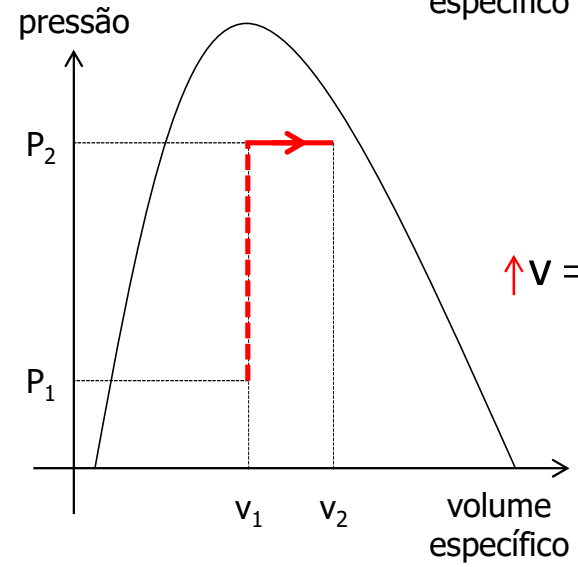
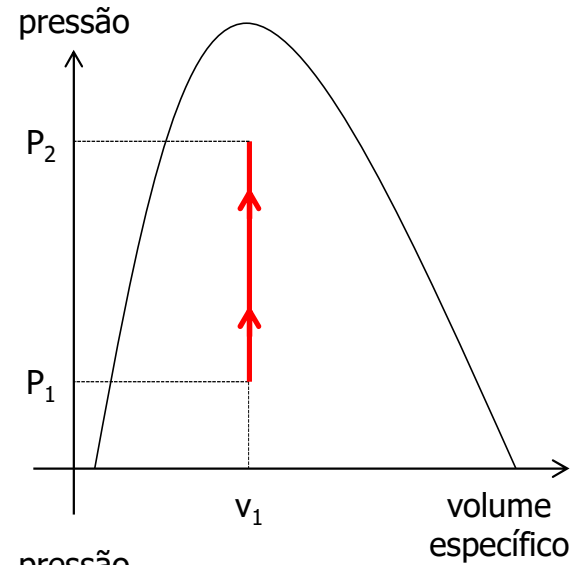
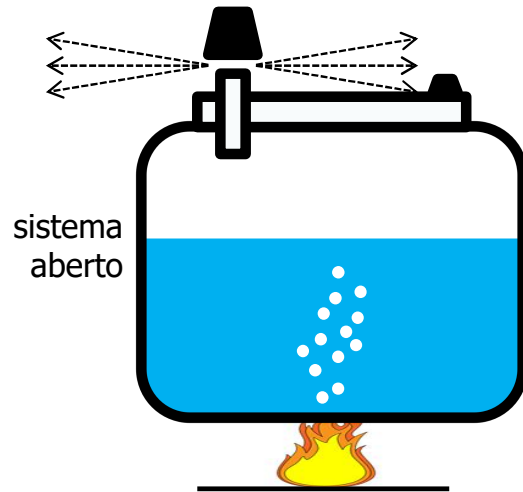
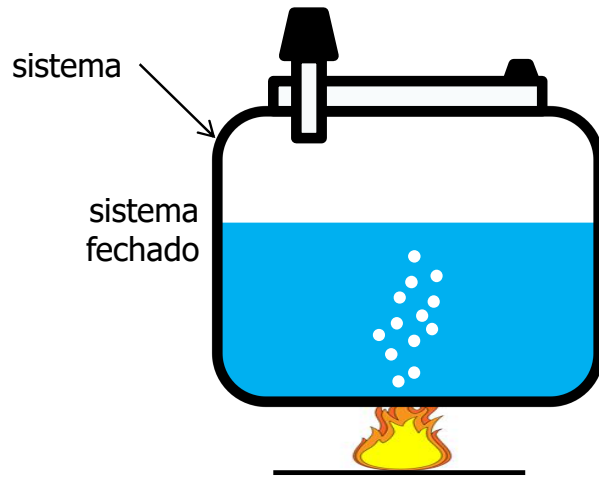
Download



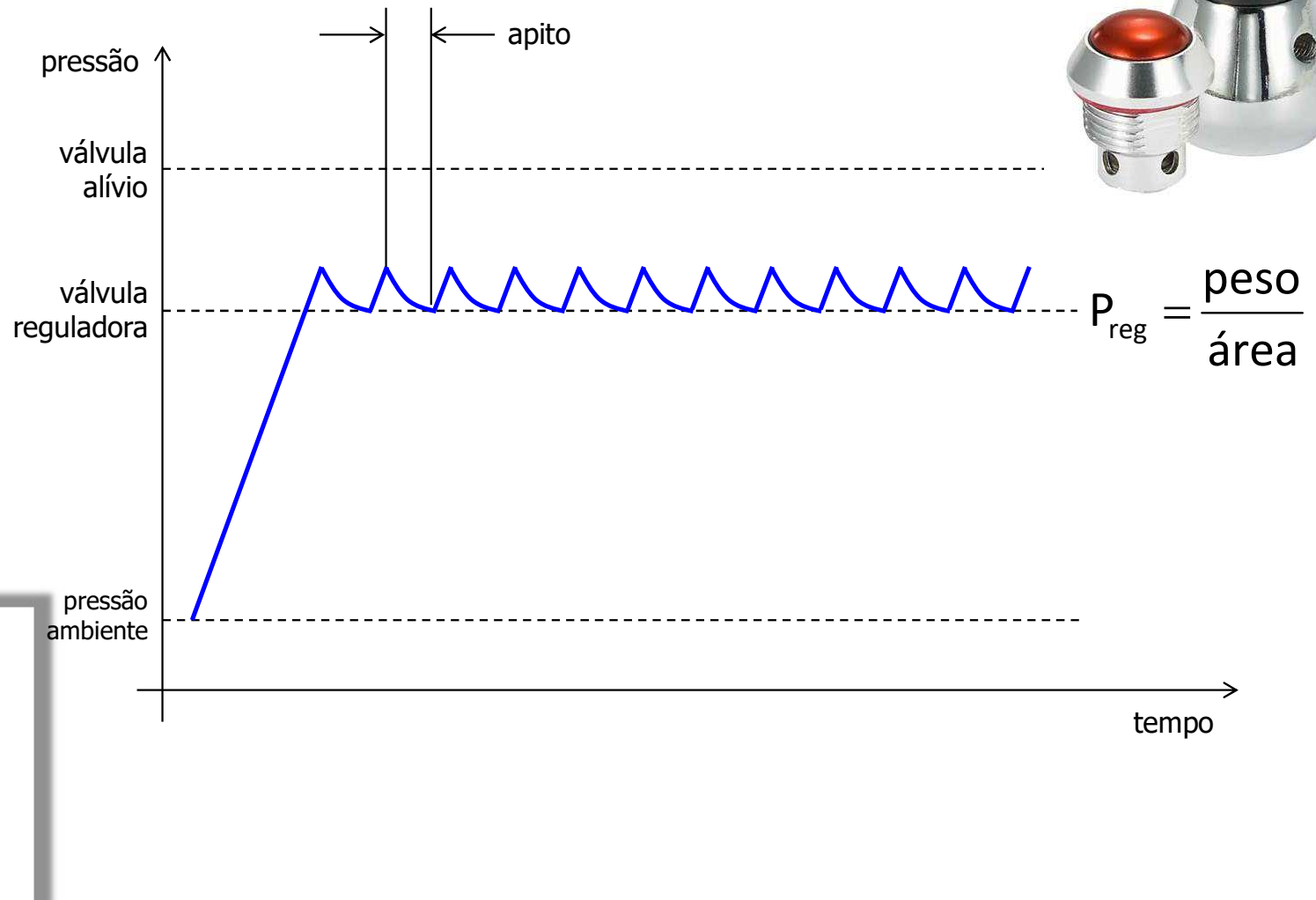
Clip



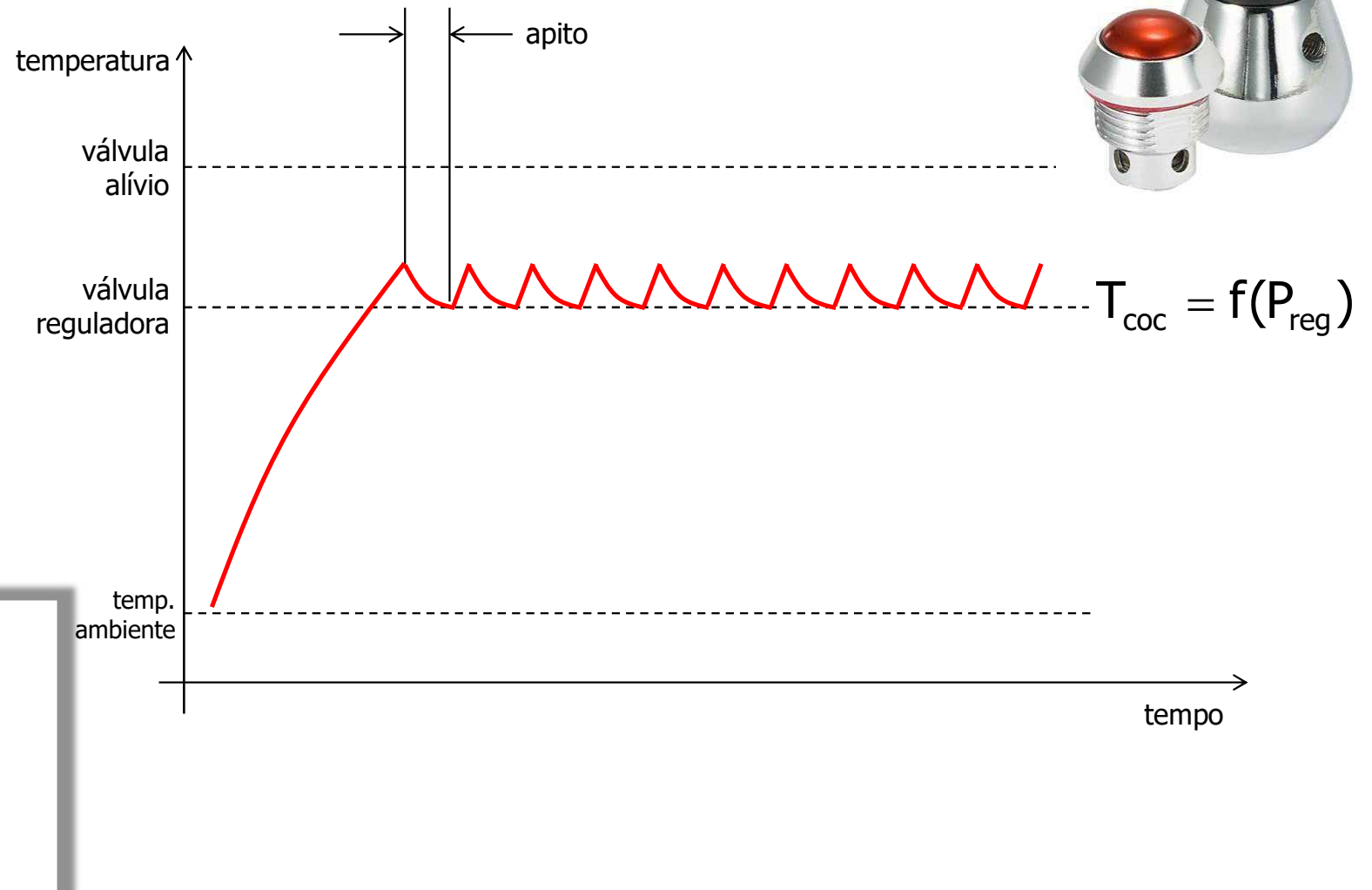
22K views 8 years ago Curso de Modelagem e Otimização de Projetos de Sistemas Termoenergéticos
análise termodinâmica de um sistema de evaporação de caldo de múltiplos efeitos
Evaporadores e seu uso no tratamento de caldo para a produção de açúcar
Princípio de funcionamento: ...more



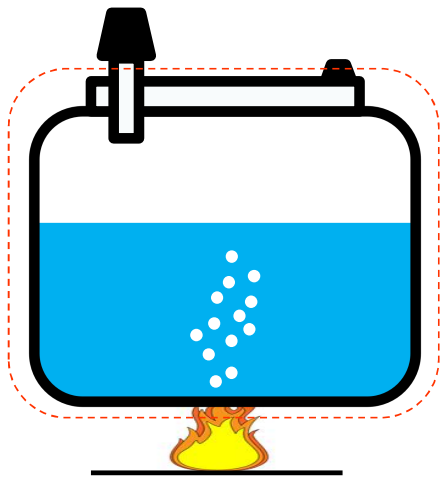
Histórico da pressão no tempo



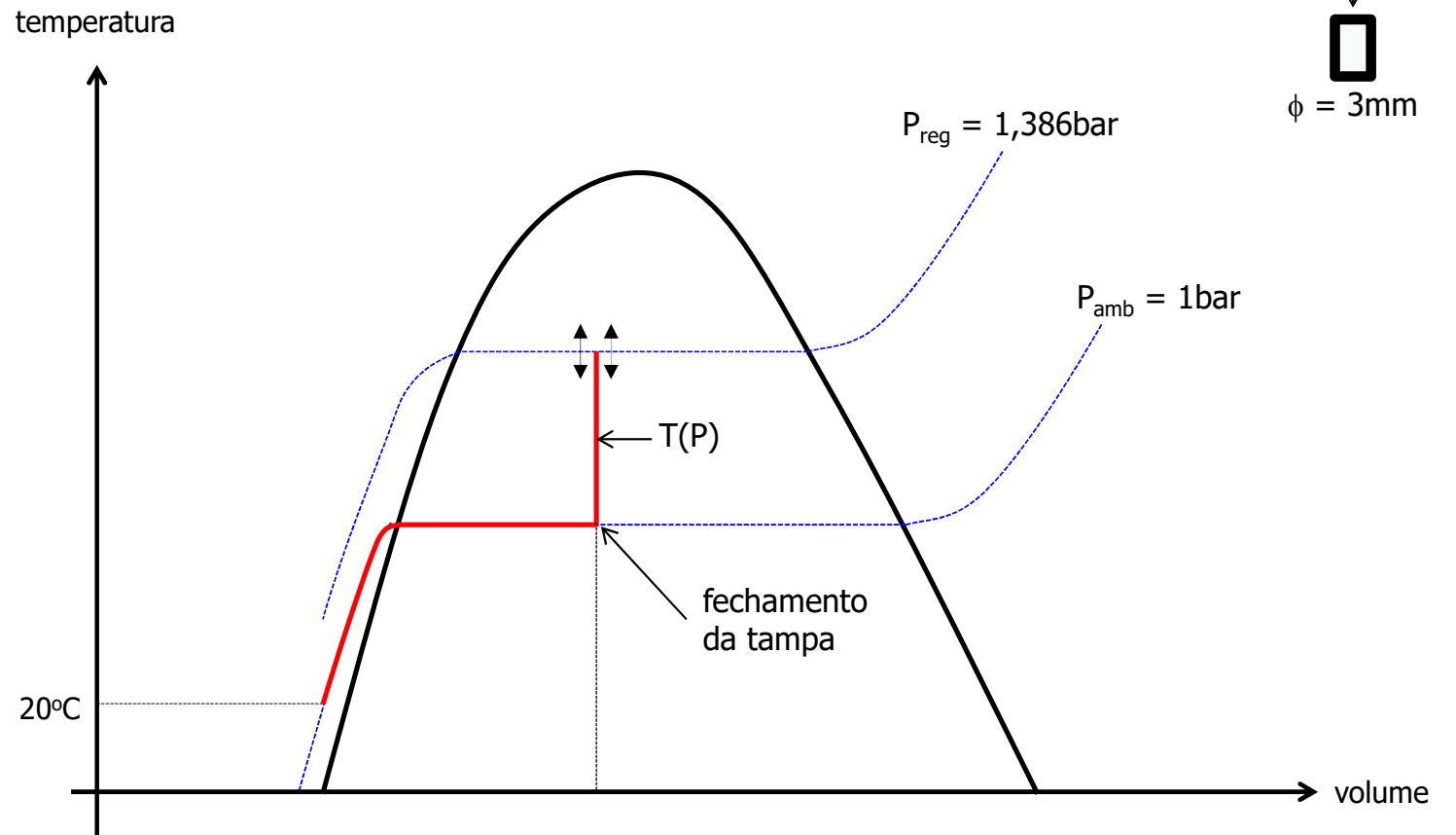
Histórico da temperatura no tempo

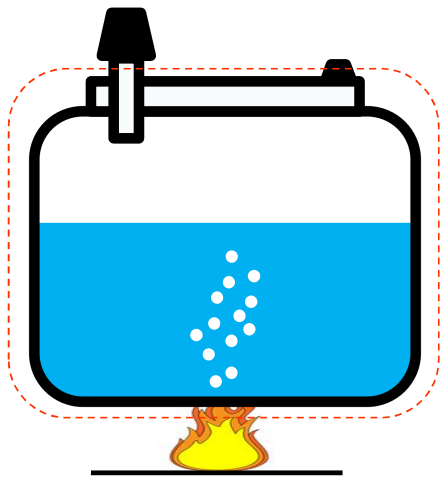


Análise do sistema fechado



100g
↓
ϕ = 3mm





$$P_{\text{reg}} = \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,1 \text{ kg}}{\pi \times (3 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 / 4}$$

$$P_{\text{reg}} = 138,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$P_{\text{reg}} = 138,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}^2}$$

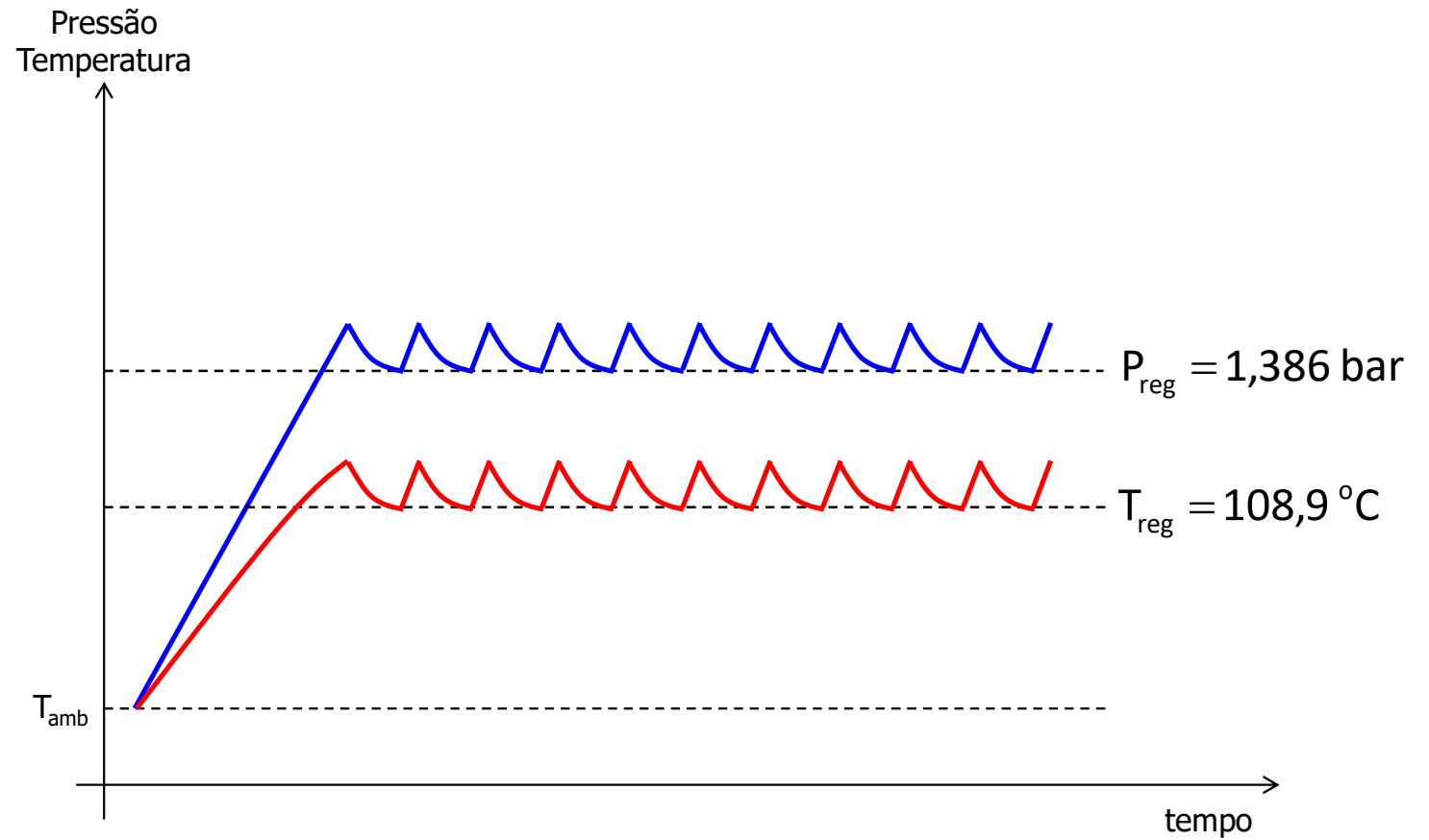
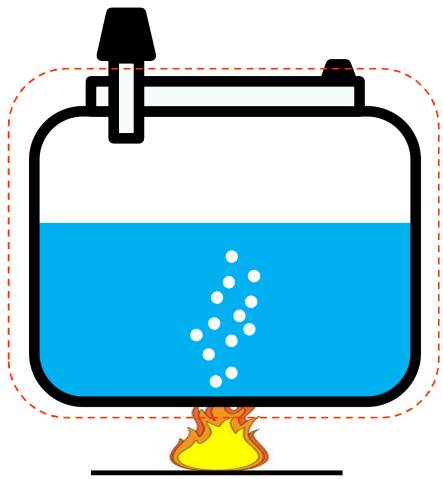
$$P_{\text{reg}} = 138,6 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{reg}} = 138,6 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{reg}} = 138,6 \cdot \text{kPa}$$

$$P_{\text{reg}} = 1,386 \text{ bar}$$

Histórico de funcionamento (cocção)



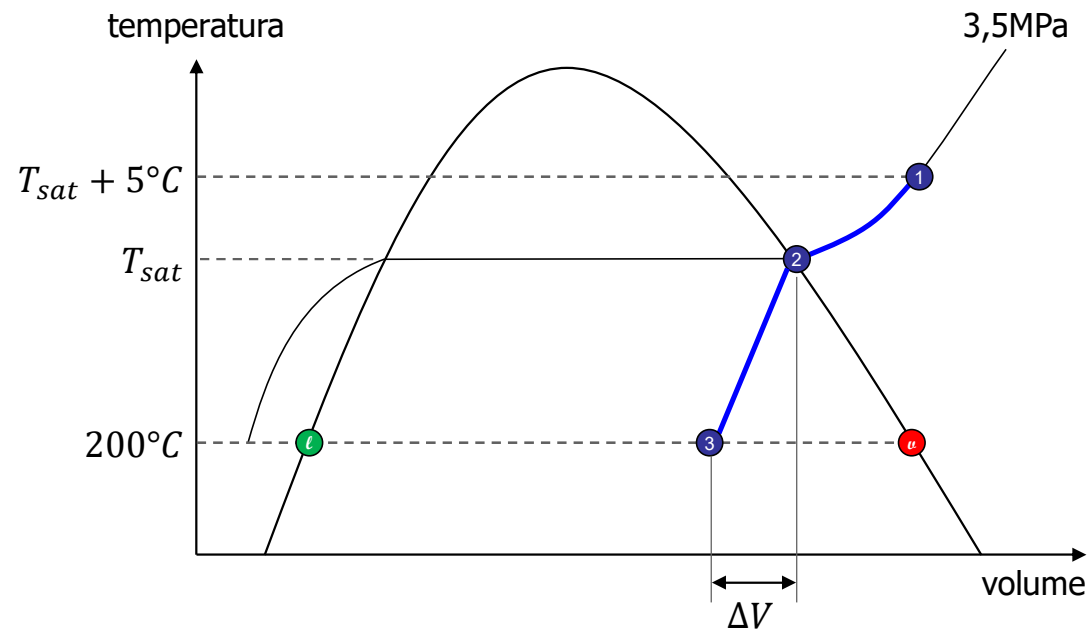
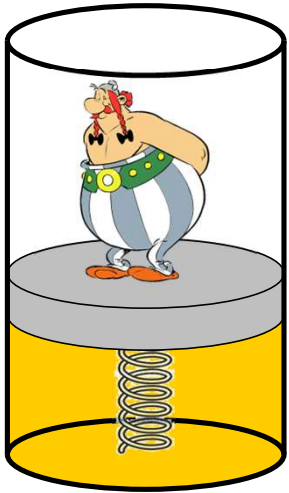
Curso de Termodinâmica

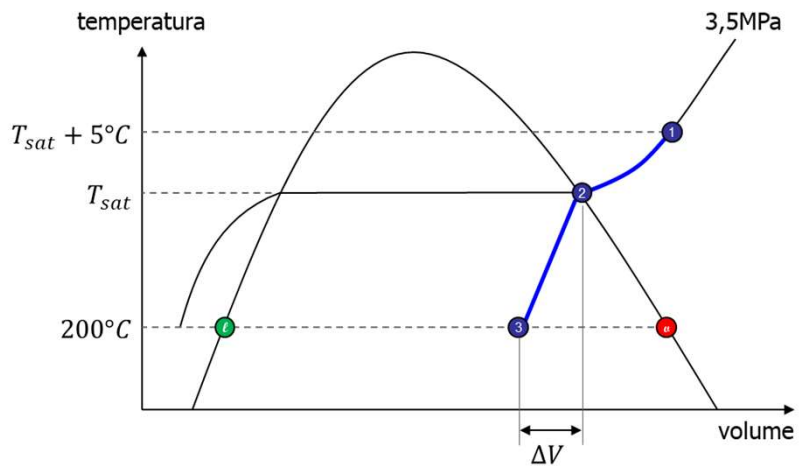
1º LEI DA TERMODINÂMICA

exercícios resolvidos



Um dispositivo pistão-cilindro com área seccional de $0,1\text{m}^2$ contém inicialmente $0,15\text{kg}$ de vapor a $3,5\text{MPa}$, superaquecido em 5°C . Calor é então dissipado para o ambiente e o pistão se move para baixo até que toca uma mola ($k = 8 \times 10^8 \text{ N/m}$) no momento em que o cilindro contém vapor saturada seco. O resfriamento continua até que o cilindro contenha água a 200°C . Determine (a) a pressão final e o título (se houver mistura), (b) o trabalho de fronteira, (c) a quantidade de calor transferido quando o pistão toca a mola, (d) e o calor total transferido. (4 -143)




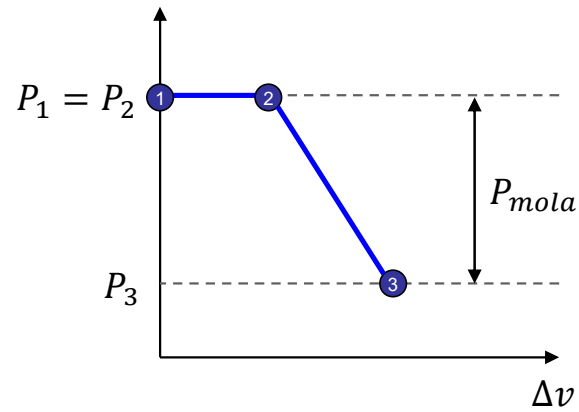


2: water: Saturation points (at equilibrium)

	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Volume (m³/kg)	Vapor Volume (m³/kg)	Liquid Int. Energy (kJ/kg)	Vapor Int. Energy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)	
2	1	242,5574	3,500000	0,001234970	0,05705791	1045,474	2602,942	1049,797	2802,645	2,725413	6,124334
	2	200,0000	1,554928	0,001156526	0,1272104	850,4730	2594,204	852,2713	2792,007	2,330534	6,430155
	3			<i>l</i>	<i>u</i>						

3: water: Specified state points

	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Volume (m³/kg)	Int. Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Quality (kg/kg)	
1	1	247,5574	3,500000	0,05821216	2617,325	2821,068	6,159887	Superheated
	2	200,0000	1,554928	0,05705791	1623,769	1712,490	4,148602	0,4434723
	3	200,0000	1,554928	0,04084900	1399,548	1463,065	3,621443	0,3148851
	4							

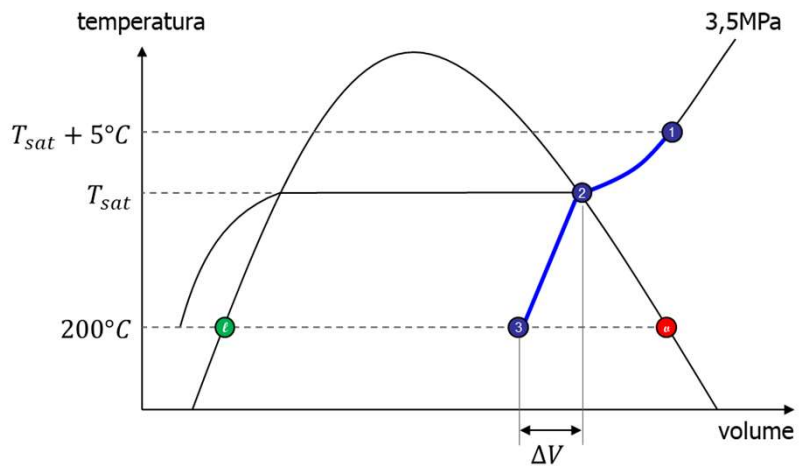



$$P_2 = P_3 + P_{mola}$$

$$P_2 = P_3 + \frac{k}{A} \Delta x = P_3 + \frac{km}{A^2} \Delta v$$

$$\Delta v = \frac{A^2}{km} (P_2 - P_3) = \dots = 0,016209 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_3 = v_2 - \Delta v = 0,040849 \text{ m}^3/\text{kg}$$



	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Volume (m³/kg)	Vapor Volume (m³/kg)	Liquid Int. Energy (kJ/kg)	Vapor Int. Energy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	242,5574	3,500000	0,001234970	0,05705791	1045,474	2602,942	1049,797	2802,645	2,725413	6,124334
2	200,0000	1,554928	0,001156526	0,1272104	850,4730	2594,204	852,2713	2792,007	2,330534	6,430155
3			<i>l</i>	<i>u</i>						

	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Volume (m³/kg)	Int. Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Quality (kg/kg)
1	247,5574	3,500000	0,05821216	2617,325	2821,068	6,159887	Superheated
2	200,0000	1,554928	0,05705791	1623,769	1712,490	4,148602	0,4434723
3	200,0000	1,554928	0,04084900	1399,548	1463,065	3,621443	0,3148851
4							

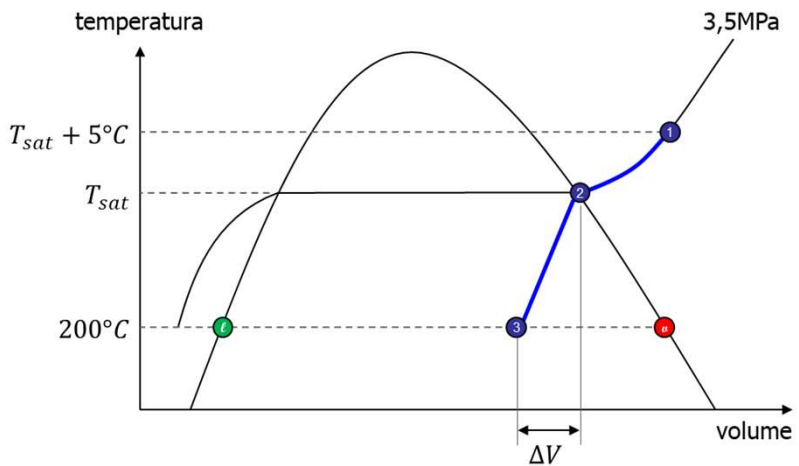
Determine (a) a pressão final e o título (se houver mistura), (b) o trabalho de fronteira, (c) a quantidade de calor transferido quando o pistão atinge os batentes pela primeira vez, (d) e o calor total transferido.

$$P_3 = 1,5549 \text{ MPa}$$

$$x_3 = 0,315 \text{ kg/kg}$$

$$x_3 = \frac{v_3 - v_{liq}}{v_{vap} - v_{liq}} = \frac{0,040849 - 0,0011565}{0,127210 - 0,0011565} = 0,315$$

$$x_3 = \frac{u_3 - u_{liq}}{u_{vap} - u_{liq}} = \frac{1399,5 - 850,47}{2594,2 - 850,47} = 0,315$$



2: water: Saturation points (at equilibrium)




	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Volume (m³/kg)	Vapor Volume (m³/kg)	Liquid Int. Energy (kJ/kg)	Vapor Int. Energy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	242,5574	3,500000	0,001234970	0,05705791	1045,474	2602,942	1049,797	2802,645	2,725413	6,124334
2	200,0000	1,554928	0,001156526	0,1272104	850,4730	2594,204	852,2713	2792,007	2,330534	6,430155
3			<i>l</i>	<i>u</i>						

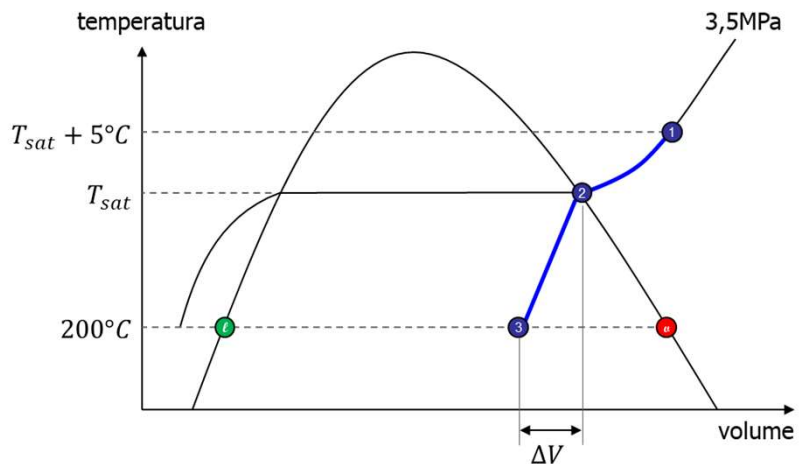
3: water: Specified state points

	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Volume (m³/kg)	Int. Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Quality (kg/kg)
1	247,5574	3,500000	0,05821216	2617,325	2821,068	6,159887	Superheated
2	200,0000	1,554928	0,05705791	1623,769	1712,490	4,148602	0,4434723
3	200,0000	1,554928	0,04084900	1399,548	1463,065	3,621443	0,3148851
4							

Determine (a) a pressão final e o título (se houver mistura), (b) o trabalho de fronteira, (c) a quantidade de calor transferido quando o pistão atinge os batentes pela primeira vez, (d) e o calor total transferido.

$$w_{13} = w_{12} + w_{23} \begin{cases} w_{12} = \int_1^2 P dv = P_2 (v_2 - v_1) \\ w_{23} = \int_2^3 P(v) dv = \int_2^3 \left[P_2 - \frac{k}{A} \left(\frac{mv}{A} \right) \right] dv = \dots \\ w_{13} = P_2 (v_3 - v_1) - \frac{km}{A^2} \frac{\Delta v^2}{2} \end{cases}$$

W_{ext}   



	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Volume (m³/kg)	Vapor Volume (m³/kg)	Liquid Int. Energy (kJ/kg)	Vapor Int. Energy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	242,5574	3,500000	0,001234970	0,05705791	1045,474	2602,942	1049,797	2802,645	2,725413	6,124334
2	200,0000	1,554928	0,001156526	0,1272104	850,4730	2594,204	852,2713	2792,007	2,330534	6,430155
3			<i>l</i>	<i>u</i>						

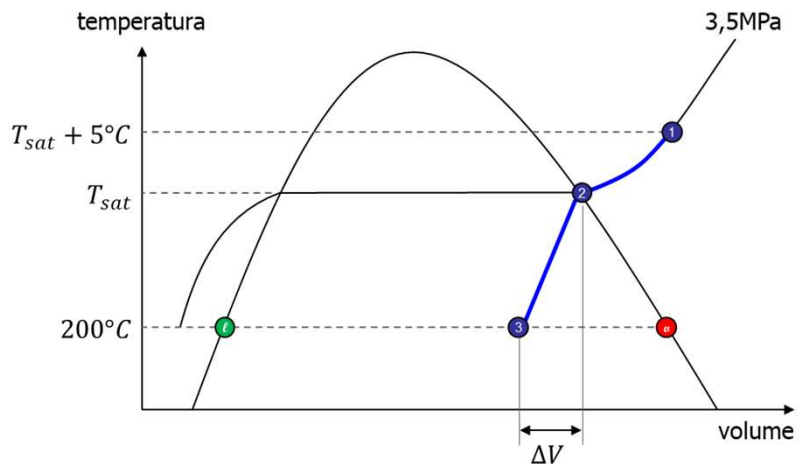
	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Volume (m³/kg)	Int. Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Quality (kg/kg)
1	247,5574	3,500000	0,05821216	2617,325	2821,068	6,159887	Superheated
2	200,0000	1,554928	0,05705791	1623,769	1712,490	4,148602	0,4434723
3	200,0000	1,554928	0,04084900	1399,548	1463,065	3,621443	0,3148851
4							

$$w_{13} = P_2(v_3 - v_1) - \frac{km \Delta v^2}{A^2} \frac{1}{2}$$

$$w_{13} = 3,5 \times 10^6(0,040849 - 0,058216) - \frac{0,15 \cdot 8 \times 10^6 (0,016209)^2}{0,1^2} \frac{1}{2}$$

$$w_{13} = -56,732 \times 10^3 - 15,764 \times 10^3 = -76,539 \text{ kJoules/kg}$$

Determine (a) a pressão final e o título (se houver mistura), (b) o trabalho de fronteira, (c) a quantidade de calor transferido quando o pistão atinge os batentes pela primeira vez, (d) e o calor total transferido.



	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Volume (m³/kg)	Vapor Volume (m³/kg)	Liquid Int. Energy (kJ/kg)	Vapor Int. Energy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	242,5574	3,500000	0,001234970	0,05705791	1045,474	2602,942	1049,797	2802,645	2,725413	6,124334
2	200,0000	1,554928	0,001156526	0,1272104	850,4730	2594,204	852,2713	2792,007	2,330534	6,430155
3			<i>l</i>	<i>u</i>						

	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Volume (m³/kg)	Int. Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Quality (kg/kg)
1	247,5574	3,500000	0,05821216	2617,325	2821,068	6,159887	Superheated
2	200,0000	1,554928	0,05705791	1623,769	1712,490	4,148602	0,4434723
3	200,0000	1,554928	0,04084900	1399,548	1463,065	3,621443	0,3148851
4							

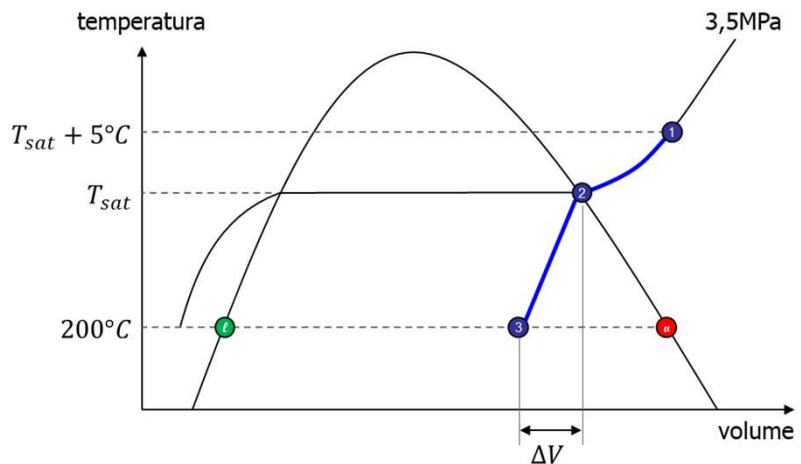
$$w_{12} = \int_1^2 P dv = P_2(v_2 - v_1) = \dots = -4,043 \times 10^3 \text{ Joules}$$

$$(u_2 - u_1) = q_{12} - w_{12} \rightarrow q_{12} = (u_2 - u_1) + w_{12}$$

$$q_{12} = (2602,942 - 2617,325) + (-4,043) = -18,443 \text{ kJoules/kg}$$

$$Q_{12} = 0,15 \cdot (-18,443) = -2,766 \text{ kJoules}$$

Determine (a) a pressão final e o título (se houver mistura), (b) o trabalho de fronteira, (c) a quantidade de calor transferido quando o pistão atinge os batentes pela primeira vez, (d) e o calor total transferido.



	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Volume (m³/kg)	Vapor Volume (m³/kg)	Liquid Int. Energy (kJ/kg)	Vapor Int. Energy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	242,5574	3,500000	0,001234970	0,05705791	1045,474	2602,942	1049,797	2802,645	2,725413	6,124334
2	200,0000	1,554928	0,001156526	0,1272104	850,4730	2594,204	852,2713	2792,007	2,330534	6,430155
3			<i>l</i>	<i>u</i>						

	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Volume (m³/kg)	Int. Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Quality (kg/kg)
1	247,5574	3,500000	0,05821216	2617,325	2821,068	6,159887	Superheated
2	200,0000	1,554928	0,05705791	1623,769	1712,490	4,148602	0,4434723
3	200,0000	1,554928	0,04084900	1399,548	1463,065	3,621443	0,3148851
4							

$$w_{13} = P_2(v_3 - v_1) - \frac{km \Delta v^2}{A^2} = \dots = -76,539 \text{ kJoules/kg}$$

$$(u_3 - u_1) = q_{13} - w_{13} \rightarrow q_{13} = (u_3 - u_1) + w_{13}$$

$$q_{13} = (1399,548 - 2617,325) + (-76,539) = -1,294 \text{ kJoules/kg}$$

$$Q_{13} = 0,15 \cdot (-1,294) = -0,194 \text{ kJoules}$$

Determine (a) a pressão final e o título (se houver mistura), (b) o trabalho de fronteira, (c) a quantidade de calor transferido quando o pistão atinge os batentes pela primeira vez, (d) e o calor total transferido.



Q#3: qual o agente externo responsável pelo trabalho de fronteira no exemplo anterior ?

- A) A inteligência artificial...
- B) Um motor de combustão...
- C) O peso total Obelix + êmbolo...
- D) O aquecimento global...
- E) É impossível dizer...

3