



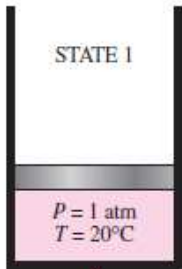
**PQI 3222**

**Química Ambiental e Fundamentos  
de Termodinâmica**

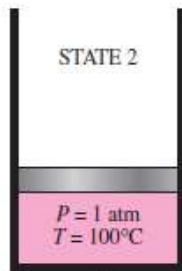
Prof. Dr. Pedro de Alcantara Pessoa Filho  
Prof. Dra. Marcela dos Passos Galluzzi Baltazar

# PROPRIEDADES de Substâncias Puras

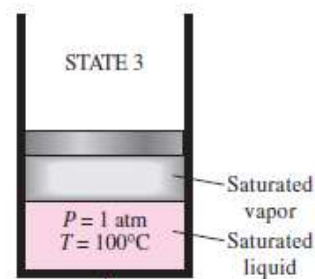
Resumidamente:



Líquido Comprimido ou Liq sub-resfriado



Líquido Saturado



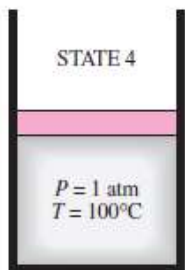
Mistura Líquido - Vapor Saturado

## • Título

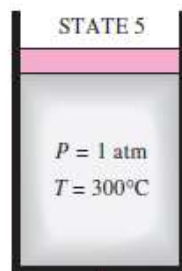
$$x = \frac{m_v}{m_l + m_v} = \frac{m_v}{m_t}$$

$$v = (1 - x) v_l + x v_v$$

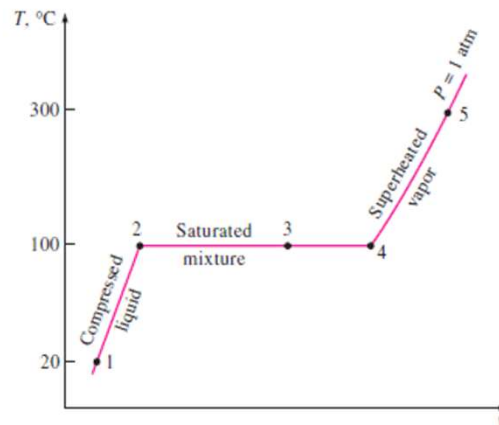
Determinação do volume específico de água saturada, conhecendo-se os volumes específicos do líq saturado ( $v_l$ ), do vapor saturado ( $v_v$ ) e do título



Vapor Saturado



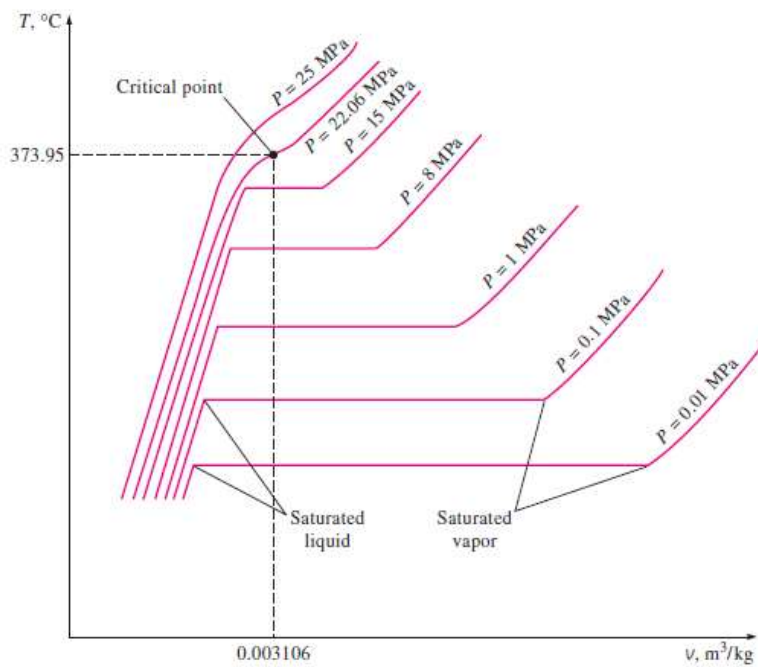
Vapor Superaquecido



# PROPRIEDADES de Substâncias Puras

➤ Diagramas de Propriedades para Processos de Mudança de Fase.

- Diagrama TV

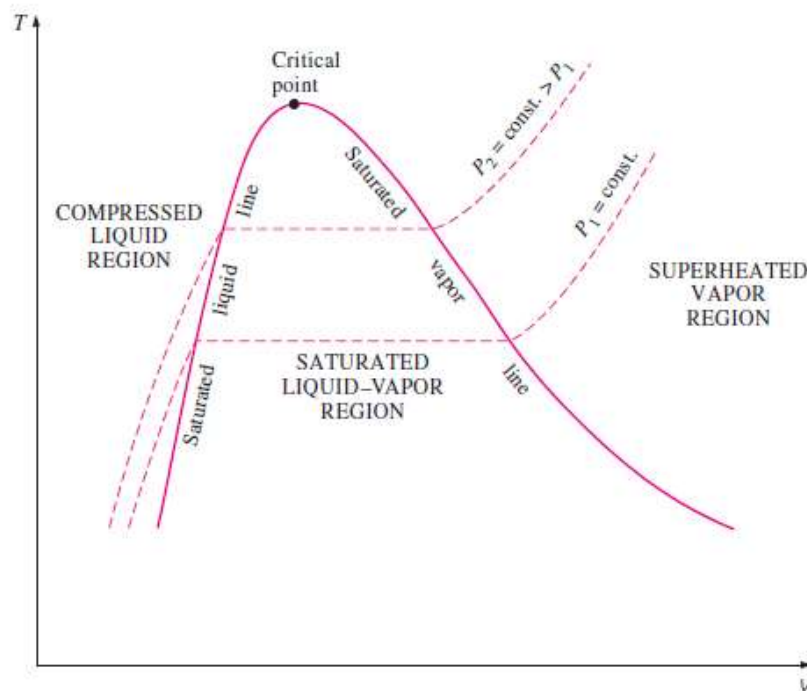


# PROPRIEDADES de Substâncias Puras

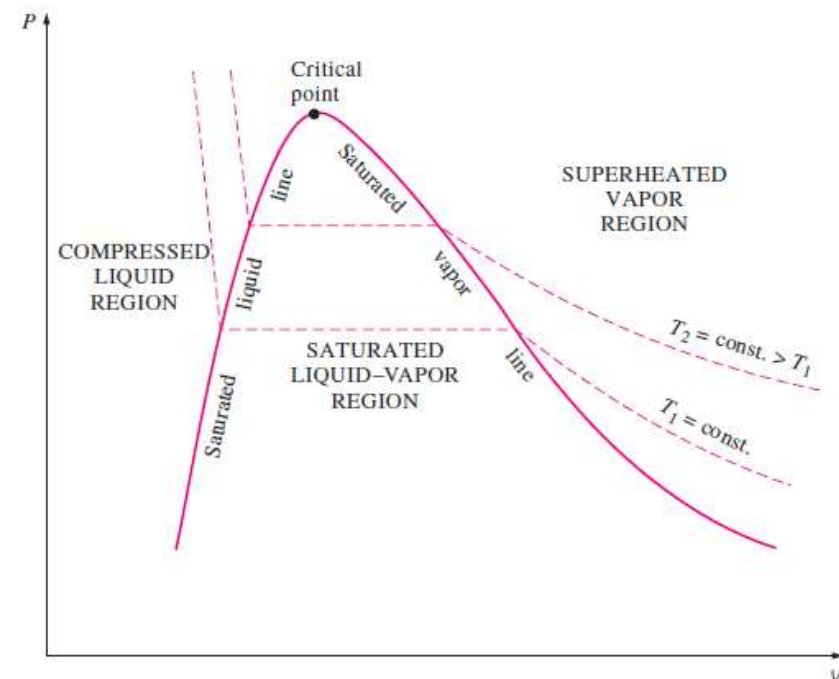
➤ Diagramas de Propriedades para Processos de Mudança de Fase.

• Diagrama TV

$$v = (1 - x) v_l + x v_v$$



• Diagrama PV

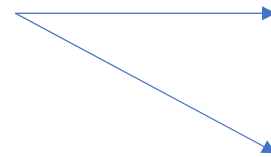


# Propriedades termodinâmicas

O comportamento PVT de certos vapores pode ser descrita, em determinadas condições, por:

$$\boxed{PV = RT} \longrightarrow \text{Equação de Estado dos Gases Ideais}$$

Quando pode ser tratado como gás ideal?



Vapor superaquecido

$$Z = \frac{pv}{RT} = \frac{pv}{RT} \quad \text{Fator de compressibilidade}$$

# Propriedades termodinâmicas

$R = 8314,5 \text{ J}/(\text{kmol}\cdot\text{K}) \rightarrow$  constante universal dos gases

$$PV = RT$$

Equação de Estado dos Gases Ideais

$$PV = mRT$$

Tabela A.1 Propriedades de alguns gases ideais a 25°C

Substância	Fórmula química	Massa molar (kJ/kmol)	R (kJ/(kg.K))	$c_p$ (kJ/(kg.K))	$c_v$ (kJ/(kg.K))
Água	H <sub>2</sub> O	18,015	0,462	1,872	1,410
Amônia	NH <sub>3</sub>	17,031	0,488	2,130	1,642
Ar seco	—	28,97	0,287	1,004	0,717
Argônio	Ar	39,948	0,208	0,521	0,313
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	44,01	0,189	0,850	0,661
Hélio	He	4,003	2,077	6,897	4,141
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	2,016	4,124	14,32	10,20
Metano	CH <sub>4</sub>	16,043	0,518	2,216	1,698
Neônio	Ne	20,183	0,412	1,031	0,619
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	28,013	0,297	1,037	0,740
Oxigênio	O <sub>2</sub>	31,999	0,260	0,915	0,655

# Tabelas de propriedades termodinâmicas

Propriedades termodinâmicas da água saturada

Temp. °C	Pressão kPa	Volume específico (m³/kg)		Energia interna (kJ/kg)			Entalpia (kJ/kg)			Entropia (kJ/(kg K))		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
<i>T</i>	<i>p</i>	<i>v<sub>l</sub></i>	<i>v<sub>v</sub></i>	<i>u<sub>l</sub></i>	<i>u<sub>h</sub></i>	<i>u<sub>v</sub></i>	<i>h<sub>l</sub></i>	<i>h<sub>h</sub></i>	<i>h<sub>v</sub></i>	<i>s<sub>l</sub></i>	<i>s<sub>h</sub></i>	<i>s<sub>v</sub></i>
0,01	0,61	0,001000	205,991	0,00	2374,92	2374,92	0,00	2500,91	2500,92	0,0000	9,1555	9,1555
5,00	0,87	0,001000	147,011	21,02	2360,76	2381,78	21,02	2489,04	2510,06	0,0763	8,9486	9,0248
6,97	1,00	0,001000	129,178	29,30	2355,19	2384,49	29,30	2484,37	2513,67	0,1059	8,8690	8,9749
10,00	1,23	0,001000	106,303	42,02	2346,63	2388,65	42,02	2477,19	2519,21	0,1511	8,7487	8,8998
13,02	1,50	0,001001	87,9585	54,68	2338,10	2392,78	54,68	2470,04	2524,72	0,1956	8,6314	8,8270
15,00	1,71	0,001001	77,8755	62,98	2332,51	2395,49	62,98	2465,35	2528,33	0,2245	8,5558	8,7803
17,49	2,00	0,001001	66,9869	73,43	2325,48	2398,90	73,43	2459,45	2532,88	0,2606	8,4620	8,7226
20,00	2,34	0,001002	57,7567	83,91	2318,41	2402,32	83,91	2453,52	2537,43	0,2965	8,3695	8,6660
21,08	2,50	0,001002	54,2399	88,42	2315,37	2403,79	88,42	2450,97	2539,39	0,3118	8,3302	8,6420
24,08	3,00	0,001003	45,6532	100,97	2306,90	2407,88	100,98	2443,86	2544,84	0,3543	8,2221	8,5764
25,00	3,17	0,001003	43,3373	104,83	2304,30	2409,13	104,83	2441,68	2546,51	0,3672	8,1894	8,5566
26,67	3,50	0,001003	39,4663	111,82	2299,58	2411,40	111,82	2437,71	2549,53	0,3906	8,1305	8,5211
28,96	4,00	0,001004	34,7911	121,38	2293,12	2414,50	121,39	2432,28	2553,67	0,4224	8,0510	8,4734
30,00	4,25	0,001004	32,8783	125,73	2290,18	2415,91	125,73	2429,81	2555,55	0,4368	8,0152	8,4520
31,01	4,50	0,001005	31,1309	129,96	2287,32	2417,28	129,96	2427,41	2557,37	0,4507	7,9806	8,4313
32,87	5,00	0,001005	28,1853	137,74	2282,06	2419,80	137,75	2422,98	2560,73	0,4762	7,9176	8,3938
35,00	5,63	0,001006	25,2053	146,63	2276,04	2422,67	146,63	2417,91	2564,55	0,5051	7,8466	8,3517
36,16	6,00	0,001006	23,7334	151,47	2272,76	2424,23	151,48	2415,15	2566,63	0,5208	7,8082	8,3290
39,00	7,00	0,001008	20,5245	163,34	2264,71	2428,05	163,35	2408,37	2571,72	0,5590	7,7154	8,2745
40,00	7,38	0,001008	19,5151	167,53	2261,87	2429,39	167,53	2405,98	2573,51	0,5724	7,6831	8,2555
41,51	8,00	0,001008	18,0989	173,83	2257,58	2431,41	173,84	2402,37	2576,21	0,5925	7,6348	8,2273
43,76	9,00	0,001009	16,1992	183,24	2251,18	2434,43	183,25	2396,97	2580,22	0,6223	7,5635	8,1858
45,00	9,59	0,001010	15,2521	188,43	2247,66	2436,08	188,43	2393,99	2582,43	0,6386	7,5247	8,1633
45,81	10,00	0,001010	14,6701	191,80	2245,36	2437,16	191,81	2392,05	2583,86	0,6492	7,4996	8,1488
50,00	12,35	0,001012	12,0269	209,33	2233,40	2442,73	209,34	2381,95	2591,29	0,7038	7,3710	8,0748
53,97	15,00	0,001014	10,0201	225,93	2222,05	2447,98	225,94	2372,34	2598,28	0,7549	7,2522	8,0071
55,00	15,76	0,001015	9,56428	230,24	2219,10	2449,34	230,26	2369,84	2600,09	0,7680	7,2218	7,9898

# Aplicação

- Um sistema constituído por 2kg de água inicialmente a 5 Mpa e 40°C (estado 1) sofre expansão isotérmica até atingir a pressão de saturação (estado 2). Então, por meio de um processo isobárico, o sistema atinge o título 0,9 (estado 3). Para cada um dos estados, determine a pressão, o volume específico, a temperatura e, se cabível, o título.

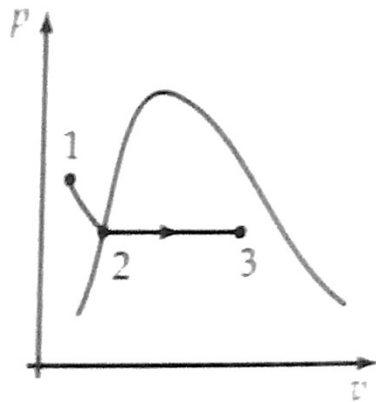


Figura Er2.6



# Aplicação

- Um sistema constituído por 2kg de água inicialmente a 5 MPa e 40°C (estado 1) sofre expansão isotérmica até atingir a pressão de saturação (estado 2). Então, por meio de um processo isobárico, o sistema atinge o título 0,9 (estado 3). Para cada um dos estados, determine a pressão, o volume específico, a temperatura e, se cabível, o título.

Estado 1  $\xrightarrow{\text{isotérmico}}$  Estado 2  $\xrightarrow{\text{isobárico}}$  Estado 3

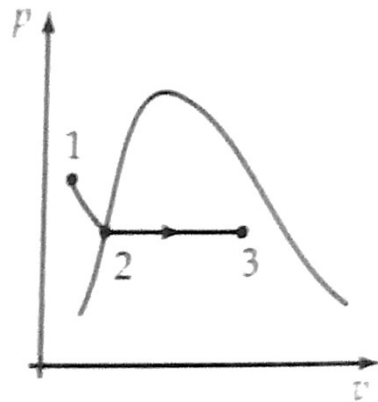


Figura Er2.6

$$T_{s1} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$P_{s1} = 5\text{MPa}$$

$$M = 2\text{ kg}$$

$$T_{s2} = 40^{\circ}\text{C} = T_{\text{sat}}$$

$$P_{s2} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$P_{s3} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$X = 0,9$$

# Aplicação

determine a pressão, o volume específico, a temperatura e, se cabível, o título.

**Estado 1**  $\xrightarrow{\text{isotérmico}}$  **Estado 2**  $\xrightarrow{\text{isobárico}}$  **Estado 3**

$$T_{s1} = 40^\circ\text{C}$$

$$P_{s1} = 5\text{MPa}$$

$$M = 2\text{ kg}$$

$$P_{s1} > P_{\text{sat}}$$

**Líquido comprimido**

Na tabela: 5MPa a 40°C

$$v = 0,001006\text{ m}^3/\text{kg}$$

**Título não definido.**

$$T_{s2} = 40^\circ\text{C} = T_{\text{sat}}$$

$$P_{s2} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$P_{s3} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$X = 0,9$$

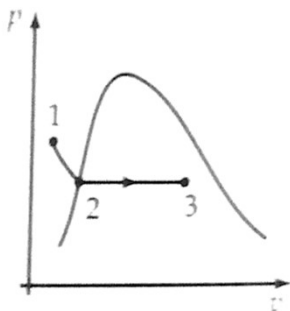


Figura Er2.6

# Aplicação

determine a pressão, o volume específico, a temperatura e, se cabível, o título.

**Estado 1**  $\xrightarrow{\text{isotérmico}}$  **Estado 2**  $\xrightarrow{\text{isobárico}}$  **Estado 3**

$$T_{s1} = 40^\circ\text{C}$$

$$P_{s1} = 5\text{MPa}$$

$$M = 2\text{ kg}$$

$$P_{s1} > P_{\text{sat}}$$

**Líquido comprimido**

Na tabela: 5MPa a 40°C

$$v = 0,001006\text{ m}^3/\text{kg}$$

**Título não definido.**

$$T_{s2} = 40^\circ\text{C} = T_{\text{sat}}$$

$$P_{s2} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$P_{s3} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$X = 0,9$$

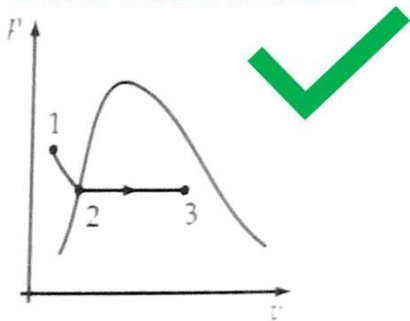


Figura Er2.6

# Aplicação

determine a pressão, o volume específico, a temperatura e, se cabível, o título.

**Estado 1**  $\xrightarrow{\text{isotérmico}}$  **Estado 2**  $\xrightarrow{\text{isobárico}}$  **Estado 3**

$$T_{s1} = 40^\circ\text{C}$$

$$P_{s1} = 5\text{MPa}$$

$$M = 2\text{ kg}$$

$$P_{s1} > P_{\text{sat}}$$

**Líquido comprimido**

Na tabela: 5MPa a 40°C

$$v = 0,001006\text{ m}^3/\text{kg}$$

**Título não definido.**

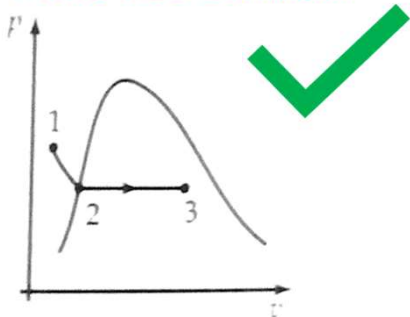


Figura Er2.6

$$T_{s2} = 40^\circ\text{C} = T_{\text{sat}}$$

$$P_{s2} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$P_{s2} = P_{\text{sat}}$$

**Líquido saturado**

Na tabela:

$$v = 0,001008\text{ m}^3/\text{kg}$$

**Título = 0.**



$$P_{s3} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$X = 0,9$$

# Aplicação

determine a pressão, o volume específico, a temperatura e, se cabível, o título.

Estado 1  $\xrightarrow{\text{isotérmico}}$  Estado 2  $\xrightarrow{\text{isobárico}}$  Estado 3

$$T_{s1} = 40^\circ\text{C}$$

$$P_{s1} = 5\text{MPa}$$

$$M = 2\text{ kg}$$

$$P_{s1} > P_{\text{sat}}$$

Líquido comprimido

Na tabela: 5MPa a 40°C

$$v = 0,001006\text{ m}^3/\text{kg}$$

Título não definido.

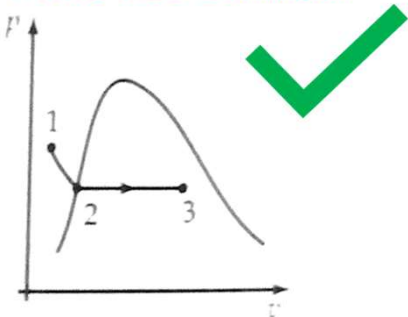


Figura Er2.6

$$T_{s2} = 40^\circ\text{C} = T_{\text{sat}}$$

$$P_{s2} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$P_{s2} = P_{\text{sat}}$$

Líquido saturado

Na tabela:

$$v = 0,001008\text{ m}^3/\text{kg}$$

Título = 0.



$$P_{s3} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$X = 0,9$$

$$T_{s3} = T_{\text{sat}} = 40^\circ\text{C}$$

Líquido saturado

Na tabela:

$$v_l = 0,001008\text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_v = 19,5151\text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v = (1 - x) v_l + x v_v$$

$$v = (1 - 0,9) 0,001008 + 0,9 \cdot 19,5145$$

$$v = 17,5637\text{ m}^3/\text{kg}$$

# Aplicação

determine a pressão, o volume específico, a temperatura e, se cabível, o título.

Estado 1  $\xrightarrow{\text{isotérmico}}$  Estado 2  $\xrightarrow{\text{isobárico}}$  Estado 3

$$T_{s1} = 40^\circ\text{C}$$

$$P_{s1} = 5\text{MPa}$$

$$M = 2\text{ kg}$$

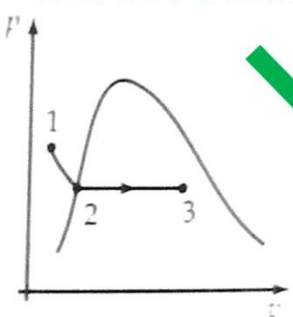
$$P_{s1} > P_{\text{sat}}$$

Líquido comprimido

Na tabela: 5MPa a 40°C

$$v = 0,001006\text{ m}^3/\text{kg}$$

Título não definido.



$$T_{s2} = 40^\circ\text{C} = T_{\text{sat}}$$

$$P_{s2} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$P_{s2} = P_{\text{sat}}$$

Líquido saturado

Na tabela:

$$v = 0,001008\text{ m}^3/\text{kg}$$

Título = 0.

$$P_{s3} = P_{\text{sat}} = 7,385\text{ kPa}$$

$$X = 0,9$$

$$T_{s3} = T_{\text{sat}} = 40^\circ\text{C}$$

Líquido saturado

Na tabela:

$$v_l = 0,001008\text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_v = 19,5145\text{ m}^3/\text{kg}$$

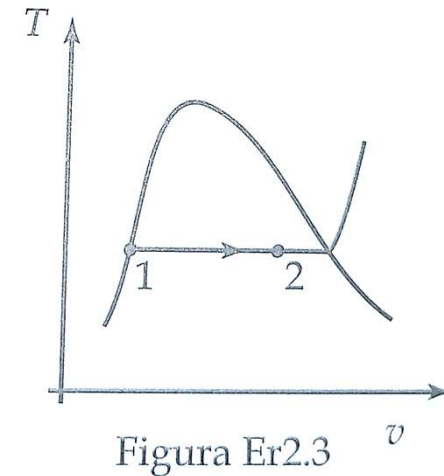
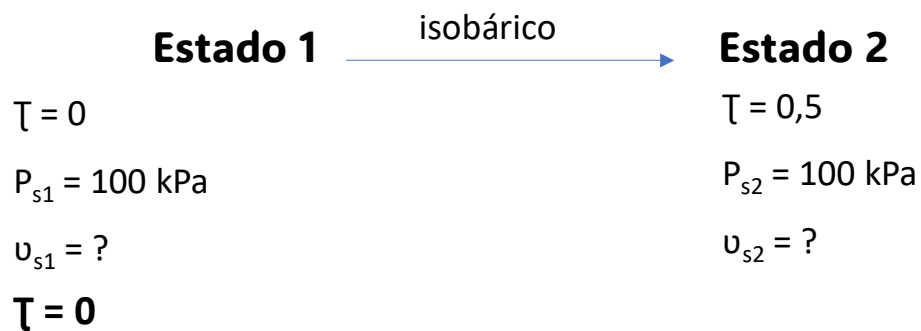
$$v = (1 - x) v_l + x v_v$$

$$v = (1 - 0,9) 0,001008 + 0,9 \cdot 19,5145$$

$$v = 17,5632\text{ m}^3/\text{kg}$$

# Sua vez:

- Água inicialmente com título nulo e pressão igual 100 kPa sofre um processo a pressão constante atingindo o título 0,5. Determine o **volume específico da água no início e no fim do processo**.



# Sua vez:

- Água inicialmente com título nulo e pressão igual 100 kPa sofre um processo a pressão constante atingindo o título 0,5. Determine o **volume específico da água no início e no fim do processo**.

Estado 1	isobárico	Estado 2
$\tau = 0$		$\tau = 0,5$
$P_{s1} = 100 \text{ kPa}$		$P_{s2} = 100 \text{ kPa}$
$v_{s1} = ?$		$v_{s2} = ?$
$\tau = 0$		
Líquido saturado		
Na tabela:		
$v_l = 0,001043 \text{ m}^3/\text{kg}$		
$v_v = 1,69276 \text{ m}^3/\text{kg}$		

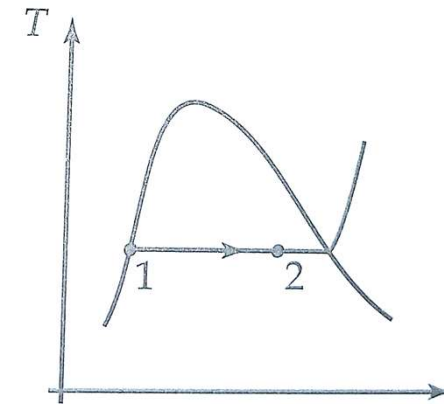


Figura Er2.3



# Sua vez:

Determine o volume específico da água no início e no fim do processo.

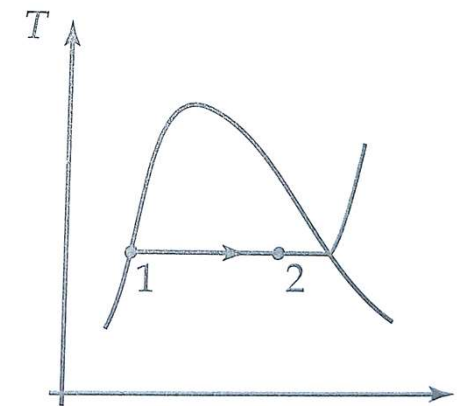
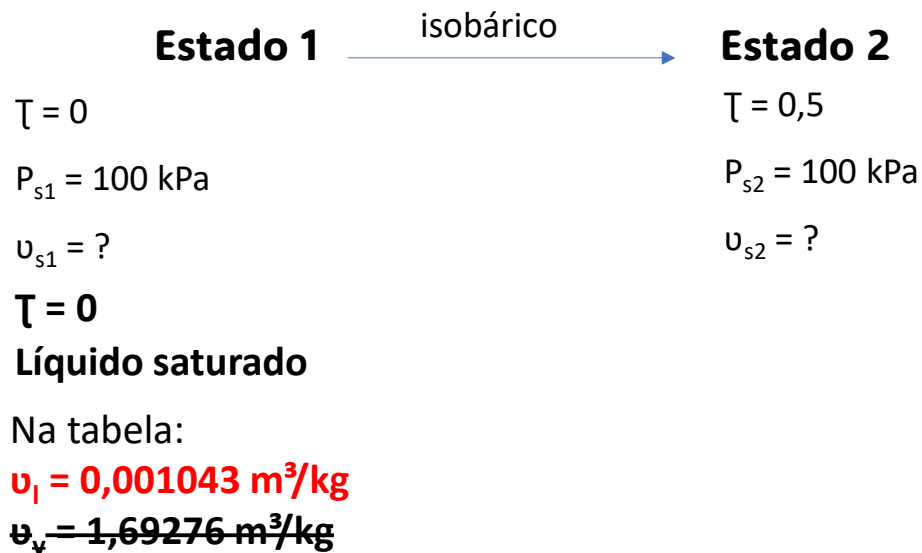


Figura Er2.3

# Sua vez:

Determine o volume específico da água no início e no fim do processo.

**Estado 1**  $\xrightarrow{\text{isobárico}}$  **Estado 2**

$\tau = 0$   
 $P_{s1} = 100 \text{ kPa}$   
 $u_{s1} = ?$   
 $\tau = 0$   
**Líquido saturado**  
Na tabela:  
 $u_1 = 0,001043 \text{ m}^3/\text{kg}$   
 ~~$u_v = 1,69276 \text{ m}^3/\text{kg}$~~

$\tau = 0,5$   
 $P_{s2} = 100 \text{ kPa}$   
 $u_{s2} = ?$   
Na tabela:  
 $u_1 = 0,001043 \text{ m}^3/\text{kg}$   
 $u_v = 1,69276 \text{ m}^3/\text{kg}$



$$v = (1 - x) u_1 + x u_v$$
$$v = (1 - 0,5) 0,001043 + 0,5 \cdot 1,693$$
$$v = (1 - 0,5) 0,001043 + 0,5 \cdot 1,693$$
$$v = (1 - 0,5) 0,001043 + 0,5 \cdot 1,693$$
$$v = 0,8470 \text{ m}^3/\text{kg}$$

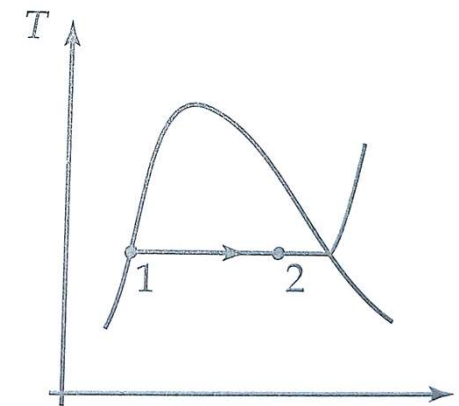


Figura Er2.3

# Sua vez:

- Um conjunto cilindro-pistão contém  $0,5 \text{ m}^3$  de ar seco a  $21^\circ\text{C}$ . Sabe-se que a massa do pistão é igual a massa do pistão é igual a  $30\text{kg}$ , que a sua área é igual a  $10\text{cm}^2$ , que a pressão atmosférica local é igual a  $95 \text{ kPa}$  e que o pistão pode se movimentar livremente no cilindro sem atrito. Determina a pressão absoluta do ar presente no interior do conjunto e a sua massa.

Tabela A.1 Propriedades de alguns gases ideais a  $25^\circ\text{C}$

Substância	Fórmula química	Massa molar (kJ/kmol)	$R$ (kJ/(kg.K))	$c_p$ (kJ/(kg.K))	$c_v$ (kJ/(kg.K))
Água	$\text{H}_2\text{O}$	18,015	0,462	1,872	1,410
Amônia	$\text{NH}_3$	17,031	0,488	2,130	1,642
Ar seco	—	28,97	0,287	1,004	0,717
Argônio	$\text{Ar}$	39,948	0,208	0,521	0,313
Dióxido de carbono	$\text{CO}_2$	44,01	0,189	0,850	0,661
Hélio	$\text{He}$	4,003	2,077	6,897	4,141
Hidrogênio	$\text{H}_2$	2,016	4,124	14,32	10,20
Metano	$\text{CH}_4$	16,043	0,518	2,216	1,698
Neônio	$\text{Ne}$	20,183	0,412	1,031	0,619
Nitrogênio	$\text{N}_2$	28,013	0,297	1,037	0,740
Oxigênio	$\text{O}_2$	31,999	0,260	0,915	0,655

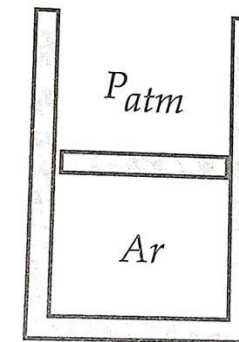


Figura Er2.8

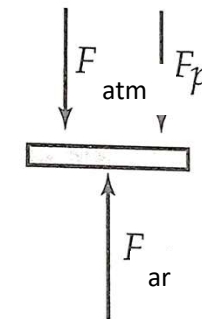


Figura Er2.8-a

# Sua vez:

- Um conjunto cilindro-pistão contém  $0,5 \text{ m}^3$  de ar a  $21^\circ\text{C}$ . Sabe-se que a massa do pistão é igual a  $30\text{kg}$ , que a sua área é igual a  $10\text{cm}^2$ , que a pressão atmosférica local é igual a  $95 \text{ kPa}$  e que o pistão pode se movimentar livremente no cilindro sem atrito. Determina a pressão absoluta do ar presente no interior do conjunto e a sua massa.

$$F_{\text{ar}} = p_{\text{ar}} \frac{\pi D^2}{4} =$$

$$F_{\text{atm}} = 95000 \cdot (0,001) = 95 \text{ N}$$

$$F_p = m_p g = 30 \cdot 9,81 = 294,3 \text{ N}$$

$$F_{\text{ar}} = p_{\text{ar}} A_p =$$

$$294,3 + 95 = p_{\text{ar}} \cdot 0,001$$

$$p_{\text{ar}} = 389300 \text{ Pa ou } 389,3 \text{ kPa.}$$

$$F_{\text{ar}} = F_p + F_{\text{atm}}$$

$$F_{\text{ar}} = p_{\text{ar}} A_p$$

$$F_{\text{atm}} = p_{\text{atm}} A_p$$

$$F_p = m_p g$$

$$PV = mRT$$

$$389,3 \cdot 0,5 = m \cdot 0,287 \cdot 294 = m = 2,30\text{kg.}$$

Tabela A.1 Propriedades de alguns gases ideais a  $25^\circ\text{C}$

Substância	Fórmula química	Massa molar (kJ/kmol)	R (kJ/(kg.K))	$c_p$ (kJ/(kg.K))	$c_v$ (kJ/(kg.K))
Água	H <sub>2</sub> O	18,015	0,462	1,872	1,410
Amônia	NH <sub>3</sub>	17,031	0,488	2,130	1,642
Ar seco	—	28,97	0,287	1,004	0,717
Argônio	Ar	39,948	0,208	0,521	0,313
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	44,01	0,189	0,850	0,661
Hélio	He	4,003	2,077	6,897	4,141
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	2,016	4,124	14,32	10,20
Metano	CH <sub>4</sub>	16,043	0,518	2,216	1,698
Neônio	Ne	20,183	0,412	1,031	0,619
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	28,013	0,297	1,037	0,740
Oxigênio	O <sub>2</sub>	31,999	0,260	0,915	0,655



USP

# TRABALHO E ENERGIA

Até agora:

- ✓ Entendemos como funcionam as forças que atuam em uma fronteira;
- ✓ Entendemos o que é o sistema, sua definição e propriedades;
- ✓ Entendemos como encontrar as propriedades de um sistema a partir de uma substância pura ou um gás modelado como gás ideal.

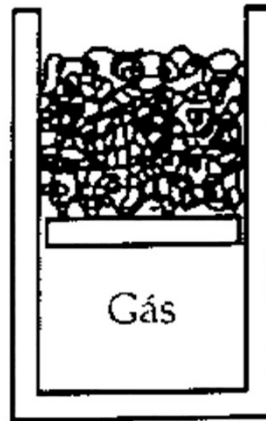
# Trabalho

- **Trabalho é uma forma de transferência de energia.**

É definido como uma força agindo através de um deslocamento, na direção da força.

$$W = \int_1^2 (F \cdot n) ds$$

Nessa expressão, o trabalho, deve ser entendido como o trabalho realizado pela componente da força  $F$  na direção  $s$ , obtida pela realização do produto escalar, agindo no intervalo 1-2.



$$W = \int_1^2 (F \cdot n) ds = - \int_1^2 p A ds$$

$$W = - \int_1^2 p dV$$

Essa expressão é utilizada para o cálculo do trabalho realizado por um sistema devido a um movimento de fronteira.

No SI, a **unidade de trabalho é o joule,  $1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$ .**

# Trabalho

$$W = \int_1^2 (F \cdot n) ds = - \int_1^2 p A ds$$

$$W = - \int_1^2 p dV$$

Essa expressão é utilizada para o cálculo do trabalho realizado por um sistema devido a um movimento de fronteira.

**COMPRESSÃO**

$$\Delta V = V_2 - V_1$$
$$\Delta V < 0$$

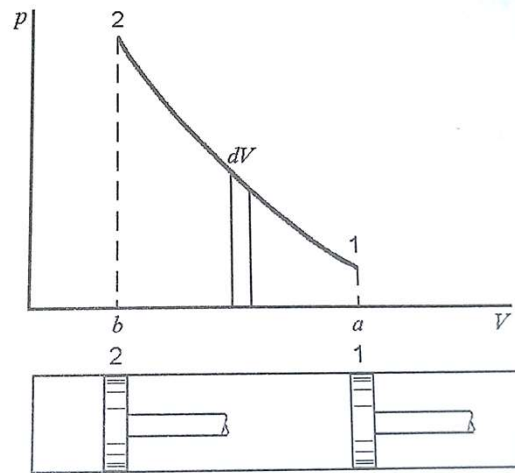
**EXPANSÃO**

$$\Delta V = V_2 - V_1$$
$$\Delta V > 0$$

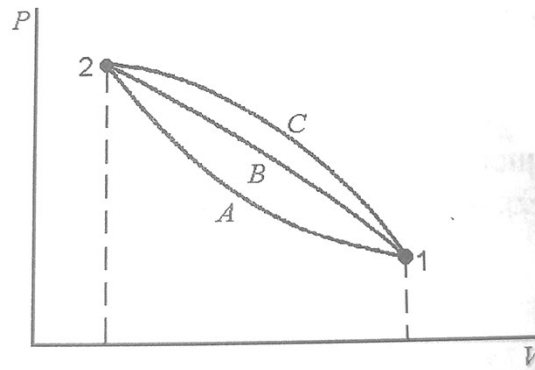
→ Se trabalho é realizado da vizinhança para o sistema → o trabalho é positivo.

→ Se trabalho é realizado do sistema para a vizinhança → o trabalho é negativo.

# Trabalho



$${}_1W_2 = - \int_1^2 \delta W = - \int_1^2 p dV$$



- Não é função apenas do estado inicial e final.
- Chamado função de linha ou diferencial inexata.

$$dV \neq \delta W$$

$$\cancel{W_2} \cancel{W_1}$$



$$\int_1^2 dV = V_2 - V_1$$


$$\int_1^2 \delta W = {}_1W_2$$



# Trabalho e Calor

$$\int_1^2 dV = V_2 - V_1$$

$$\int_1^2 \delta W = {}_1W_2$$


$$\int_1^2 \delta Q = {}_1Q_2$$

→ Assim com o W, é uma energia em trânsito

→ Se o calor é transferido da vizinhança para o sistema → o calor é positivo.

→ Se o calor é transferido do sistema para a vizinhança → o calor é negativo.

→ Quando uma energia em forma de calor é adicionada ao sistema, ela é armazenada não como calor e sim como energia cinética e potencial dos átomos e moléculas que formam o sistema.

$$Ec = \frac{mV^2}{2}$$

$$Ep = mgz$$

**Trabalho realizado em um processo isobárico:**

$${}_1W_2 = - \int_1^2 p dV = p_1(V_2 - V_1) = \boxed{-p_1 m(v_2 - v_1)}$$

# Aplicação

Um conjunto cilindro-pistão, montado na vertical (figura 3.1a, b e c), contém 5kg de água a 500 kPa e 500°C. Considere que o pistão pode se mover sem atrito. A água é resfriada até atingir título igual a 0,5. Determine o trabalho realizado pela água.



Figura Er3,1

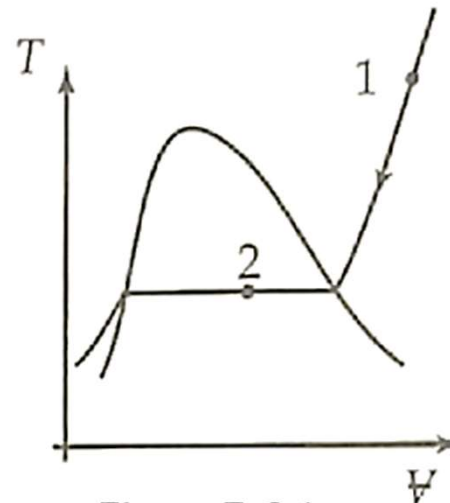


Figura Er3.1-a

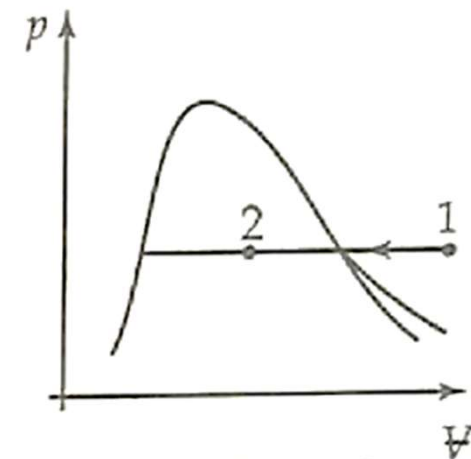


Figura Er3.1-b

# Aplicação

## Processo Isobárico

Sistema: Água  $\rightarrow m = 5\text{ kg}$

$E_1$

$$p_1 = 500 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 500^\circ\text{C}$$

$E_2$

$$p_2 = 500 \text{ kPa}$$

$$x_2 = 0,5$$

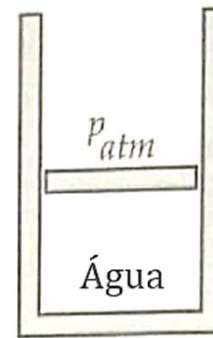


Figura Er3,1

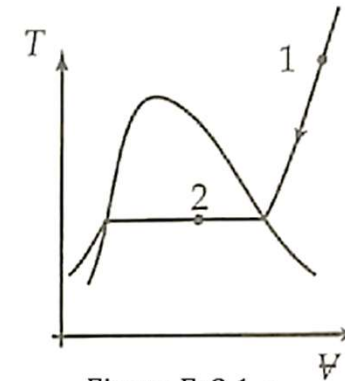


Figura Er3.1-a

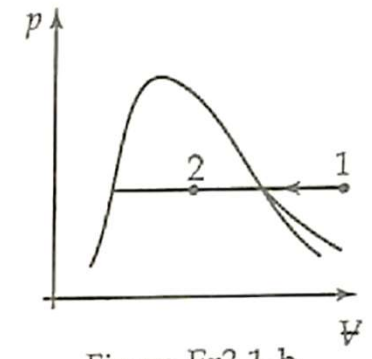


Figura Er3.1-b

$${}_1W_2 = - \int_1^2 p dV = - p_1 (V_2 - V_1) = - p_1 m (v_2 - v_1) \rightarrow \text{Tabela!}$$

$E_1$

$$p_1 = 500 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 500^\circ\text{C}$$

$$U_{1l} = 0,7109 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$E_2$

$$p_2 = 500 \text{ kPa}$$

$$x_2 = 0,5$$

$$U_{2l} = 0,001093 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$U_{2v} = 0,3742 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$U_2 = (1 - x) U_{2l} + x U_{2v}$$

$$U_2 = (1 - 0,5) 0,0011093 + 0,5 \cdot 0,3742$$

$$U_2 = 0,1876 \text{ m}^3/\text{kg}$$

# Aplicação

## Processo Isobárico

Sistema: Água  $\rightarrow m = 5\text{ kg}$

$E_1$

$$p_1 = 500 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 500^\circ\text{C}$$

$E_2$

$$p_2 = 500 \text{ kPa}$$

$$x_2 = 0,5$$

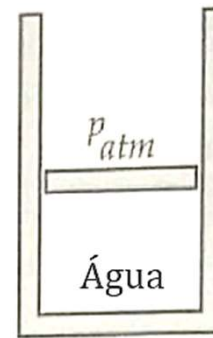


Figura Er3,1

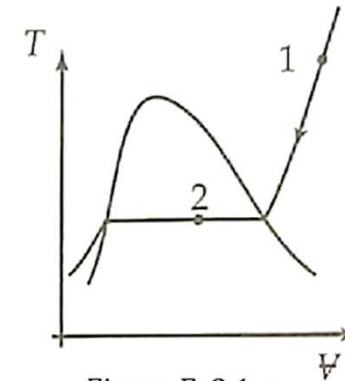


Figura Er3.1-a

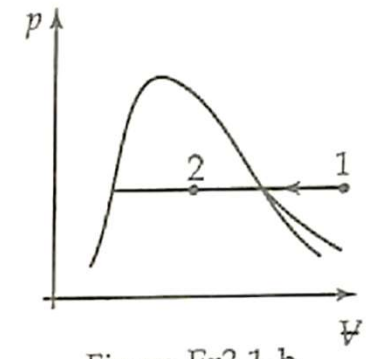


Figura Er3.1-b

$${}_1W_2 = - \int_1^2 p dV = - p_1 (V_2 - V_1) = - p_1 m (v_2 - v_1) \rightarrow \text{Tabela!}$$

$E_1$

$$p_1 = 500 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 500^\circ\text{C}$$

$$U_{1l} = 0,7109 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$E_2$

$$p_2 = 500 \text{ kPa}$$

$$x_2 = 0,5$$

$$U_{2l} = 0,001093 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$U_{2v} = 0,3742 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$U_2 = (1 - x) U_{2l} + x U_{2v}$$

$$U_2 = (1 - 0,5) 0,0011093 + 0,5 \cdot 0,3742$$

$$U_2 = 0,1876 \text{ m}^3/\text{kg}$$

# Aplicação

$${}_1W_2 = - \int_1^2 p dV = - p_1 (V_2 - V_1) = - p_1 m (v_2 - v_1) \longrightarrow \text{Tabela!}$$

$E_1$

$$p_1 = 500 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 500^\circ\text{C}$$

$$U_{1l} = 0,7109 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$E_2$

$$p_2 = 500 \text{ kPa}$$

$$x_2 = 0,5$$

$$U_{2l} = 0,001093 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$U_{2v} = 0,3742 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$U_2 = (1 - x) U_{2l} + x U_{2v}$$

$$U_2 = (1 - 0,5) 0,001093 + 0,5 \cdot 0,3742$$

$$U_2 = 0,1876 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$${}_1W_2 = - \int_1^2 p dV = - p_1 (V_2 - V_1) = - p_1 m (v_2 - v_1)$$

$$= - p_1 m (v_2 - v_1)$$

$$= - 500 \cdot 5 (0,1876 - 0,7109)$$

$${}_1W_2 = 1308 \text{ kJ}$$