

Ex. 3.1) Utilizando a Tabela A-1.1 ou A-1.2, determine se os estados da água são de líquido comprimido, líquido-vapor, vapor superaquecido ou se estão nas linhas de líquido saturado ou vapor saturado.

- a) $P=1,0 \text{ MPa}$; $T=207 \text{ }^\circ\text{C}$ → a) Vapor superaquecido
- b) $P=1,0 \text{ MPa}$; $T=107,5 \text{ }^\circ\text{C}$ → b) Líquido comprimido
- c) $P=1,0 \text{ MPa}$; $T=179,91 \text{ }^\circ\text{C}$; $x=0,0$ → c) Líquido saturado
- d) $P=1,0 \text{ MPa}$; $T=179,91 \text{ }^\circ\text{C}$; $x=0,45$ → d) Líquido-Vapor
- e) $T=340 \text{ }^\circ\text{C}$; $P=21,0 \text{ MPa}$ → e) Líquido comprimido
- f) $T=340 \text{ }^\circ\text{C}$; $P=2,1 \text{ MPa}$ → f) Vapor superaquecido
- g) $T=340 \text{ }^\circ\text{C}$; $P=14,586 \text{ MPa}$; $x=1,0$ → g) Vapor saturado
- h) $T=500 \text{ }^\circ\text{C}$; $P=25 \text{ MPa}$ → h) Vapor superaquecido - Fluido
- i) $P=50 \text{ MPa}$; $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$ → i) Líquido comprimido - Fluido

Ex. 3.2) Encontre o volume específico dos estados “b”, “d” e “h” do exercício anterior.

b) $P=1,0 \text{ MPa}$; $T=107,5 \text{ °C} \rightarrow v \approx v_1=0,001050$
(utilizar referência $T=107,5\text{°C}$)

d) $P=1,0 \text{ MPa}$; $T=179,91 \text{ °C}$; $x=0,45 \rightarrow v=0,08812$
[$v=(1-x)v_1+x(v_v)$]

h) $T=500 \text{ °C}$; $P=25 \text{ MPa} \rightarrow v=0,011123 \text{ m}^3/\text{kg}$
(Tabela A-1.3 Vapor Superaquecido)

Ex. 3.4) Amônia a $P=150$ kPa, $T=0$ °C se encontra na região de vapor superaquecido e tem um volume específico e entalpia de $0,8697$ m³/kg e $1469,8$ kJ/kg, respectivamente. Determine sua energia interna específica neste estado.

$$u = 1339,345 \text{ kJ/kg}$$
$$(u = h - P v)$$

Ex. 3.6) – Panela de pressão com $V=0,002\text{m}^3$ e $p=0,3\text{Mpa}$:

a) $m=1\text{g}$

À pressão de $0,3\text{Mpa}$, a temperatura de saturação é $133,55^\circ\text{C}$ (Tab. A-1.2) e o volume específico do vapor saturado (v_v) é $0,6058\text{ m}^3/\text{kg}$. Como $v > v_v$, o estado encontra-se à direita do domo, portanto o estado é *vapor superaquecido*

$$v = \frac{V}{m} \rightarrow v = \frac{0,002\text{m}^3}{0,001\text{kg}} = 2,0 \quad \text{m}^3 / \text{kg}$$

b) m=100g

$$v = \frac{V}{m} \rightarrow v = \frac{0,002m^3}{0,1kg} = 0,2 \quad m^3 / kg$$

Da Tab. A-1.2, o volume específico do líquido saturado à pressão de 0,3Mpa $v_l = 0,001073 \text{ m}^3/\text{kg}$. Portanto, $v_l < v < v_g$, ou seja, o estado encontra-se dentro do domo. Vamos determinar o título:

$$v = xv_g + (1-x)v_l \rightarrow 0,2 = x \cdot 0,6058 + (1-x)0,001073$$

$$\rightarrow x = 0,0313$$

Portanto, há na mistura com 3,13% em massa de vapor e o restante é líquido saturado.

c) Massa mínima de água para garantir que não haverá vaporização total

Para isso, o volume específico da mistura tem que ser menor que o do vapor saturado. Ou seja,

$$v = \frac{V}{m} < v_v = 0,6058 \rightarrow \frac{V}{m} < 0,6058 \rightarrow$$

$$m > \frac{0,002m^3}{0,6058m^3 / kg} \rightarrow m > 0,0033kg$$

Portanto, são necessários pelo menos 3,3g de água dentro da panela para que não ocorra vaporização total.

Ex. 3.9) Retirada de ar do recipiente fechado diminui a pressão do sistema, mantendo a temperatura constante

Situação inicial:

- $p=14,696$ psi (pressão atmosférica)
- $T=70^{\circ}\text{F}$

A água começará a vaporizar quando a pressão do sistema atingir a pressão de saturação para a temperatura dada, uma vez que o processo é isotérmico. Da tab. B-1.2, $p_{\text{sat}}(T=70^{\circ}\text{F})=0,3632\text{psi}$.

Ex. 3.16 – a) Calor liberado na fusão em um bloco de gelo.

O calor latente de fusão do gelo é, nas unidades inglesas dadas, 144 Btu/lb_m (libra-massa). Como a massa do bloco é 10 lb_m, tem-se:

$$Q_{\text{solidificação}} = -mL = -(10\text{lb}_m \cdot 144\text{Btu} / \text{lb}_m)$$

$$\Rightarrow Q_{\text{solidificação}} = -1440\text{Btu}$$

Ex. 3.16 – b) Massa de água que poderia ser aquecida por esta quantidade de energia de 70°F à temperatura de vaporização (212°F):

Em todo o processo, a água está na fase líquida, portanto o calor sensível deve ser utilizado ($c_p = 1\text{Btu}/\text{lb}_m\text{K}$)

$$Q = mc_p \Delta T \rightarrow 1440 = m \cdot 1 \cdot (212 - 70) \rightarrow m = 10,14\text{lb}_m$$

Ex. 3.16 – c) Em princípio, **não** é possível utilizar a energia térmica cedida pelo bloco de gelo durante a sua solidificação para aquecer uma certa massa de água líquida à pressão atmosférica porque a temperatura da água é maior que a do gelo. É **impossível** haver transferência espontânea de calor de um corpo com temperatura mais baixa para um com temperatura mais alta.

Ex. 3.32) Compressão politrópica de ar (gás ideal). $P_1=0,1\text{Mpa}$, $T_1=473\text{K}$, $V_1=10\text{m}^3$, $V_2=1,5\text{m}^3$

Vamos determinar primeiramente a massa de ar:

$$pv = RT \rightarrow p \frac{V}{m} = RT \rightarrow m = \frac{pV}{RT}$$

Essa equação é válida para qualquer estado em que a hipótese de gás ideal seja válida. Substituindo os dados do estado 1,

$$m = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{10^5 \cdot 10}{287 \cdot 473} = 7,366 \text{ kg de ar}$$

a) n=0

$$pv^0 = cte \rightarrow p = cte \rightarrow p_2 = p_1 = 0,1MPa$$

Assim,

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{mR} = \frac{10^5 \cdot 1,5}{7,366 \cdot 287} = 70,95K$$

b) n=1

$$pv^1 = cte \rightarrow p_1 v_1 = p_2 v_2 \rightarrow p_2 = p_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right) = 10^5 \left(\frac{10}{1,5} \right) = 6,67 \cdot 10^5 Pa$$

Assim,

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{mR} = \frac{6,67 \cdot 10^5 \cdot 1,5}{7,366 \cdot 287} = 473K$$

Este resultado era de se esperar, pois processos com n=1 são isotérmicos.

c)n=1,33

$$pv^{1,33} = cte \rightarrow p_1 v_1^{1,33} = p_2 v_2^{1,33}$$

$$\rightarrow p_2 = p_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{1,33} = 10^5 \left(\frac{10}{1,5} \right)^{1,33} = 1,247 \cdot 10^6 Pa$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{mR} = \frac{1,247 \cdot 10^6 \cdot 1,5}{7,366 \cdot 287} = 885K$$

O diagrama P-V para os três processos está representado no gráfico abaixo. Os três processos são da direita (maior volume) para a esquerda (menor volume).

