

Lista 2

Cap.2 -Propriedades de uma substância pura

TDQ1

Profª Drª Marivone Nunho Sousa

2.26 Determine a fase para as seguintes substâncias utilizando as tabelas do Apêndice B:

a. Água: 100 °C, 500 kPa

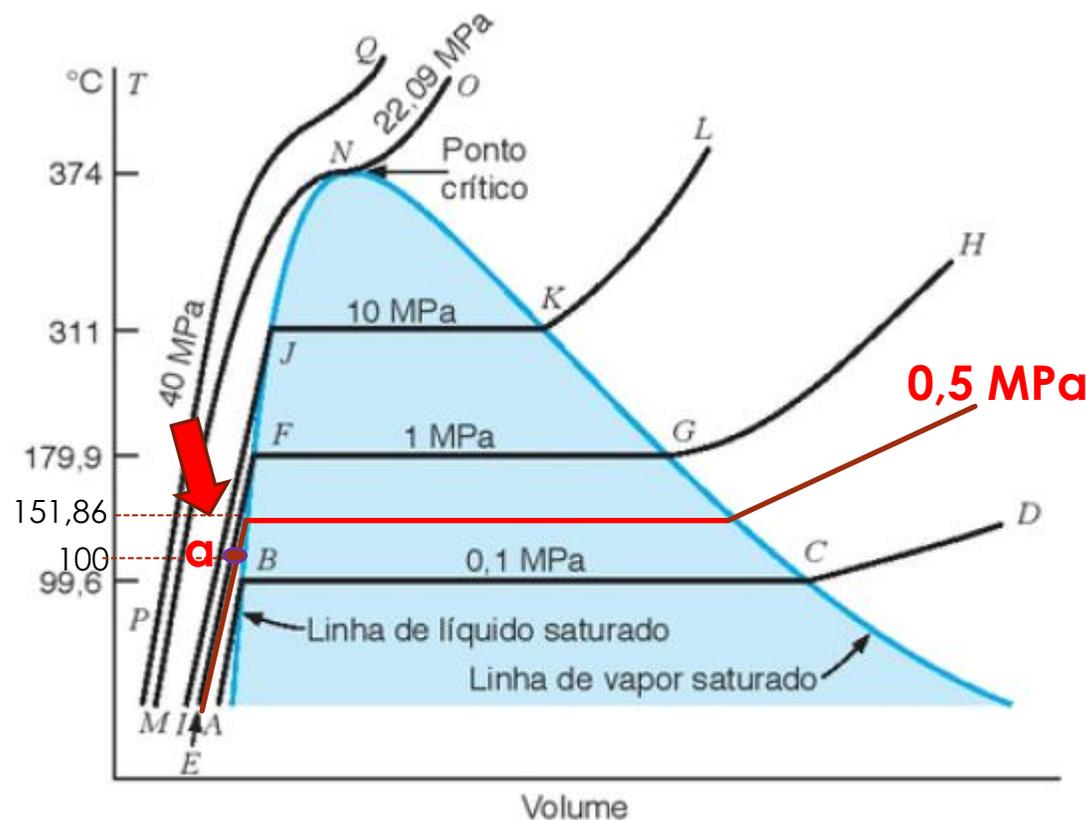


Figura 2.6

Diagrama temperatura-volume para a água mostrando as fases líquida e vapor.

Da Tabela B.1.1 – água saturada
 $T = 100^\circ\text{C}$ tem-se $P_{\text{sat}} = 101,3 \text{ kPa}$

Da Tabela B.1.2 – água saturada
 $P = 500 \text{ kPa}$ tem-se $T_{\text{sat}} = 151,86^\circ\text{C}$

Como a $T < T_{\text{sat}}$ a 0,5 Mpa tem-se

R: a água está no estado de LÍQUIDO COMPRIMIDO

Faça sempre um diagrama Tv ou Pv para ver o estado termodinâmico.

O estado termodinâmico precisa estar identificado "a" com uma bolinha em cima da curva, com os valores de T e P (nunca solto)

TABELAS DO APÊNDICE B – Tab. B.2.1 – Amônia saturada

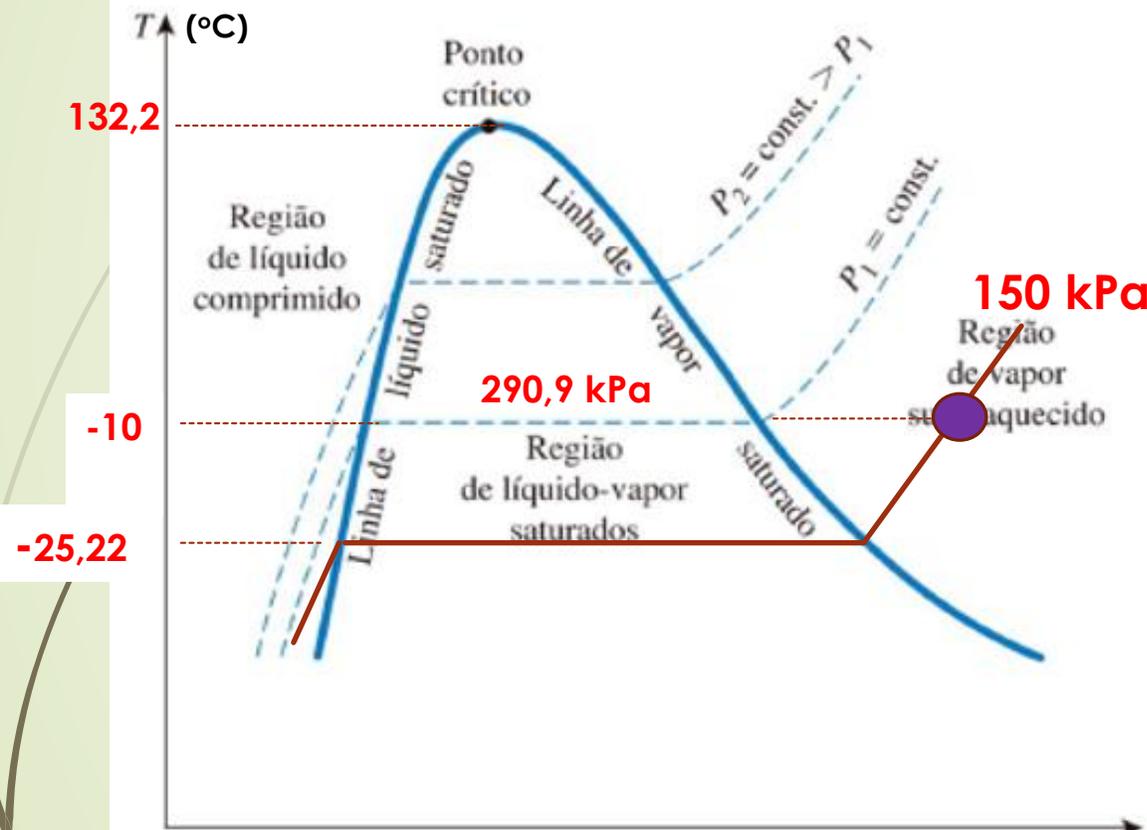
Constantes críticas da amônia

$T_c = 132,2^\circ\text{C}$

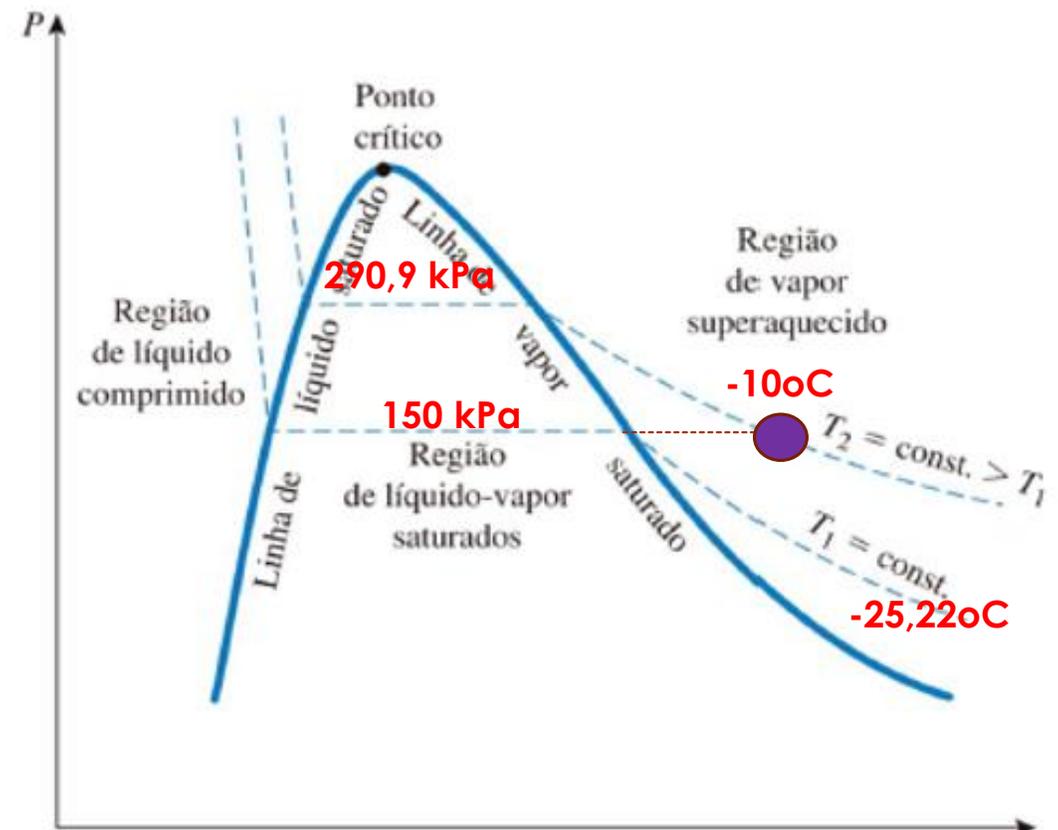
$P_c = 11333,2 \text{ kPa}$

$V_c = 0,004255 \text{ m}^3/\text{kg}$

b. Amônia: -10°C , 150 kPa



(a) Diagrama T-v de uma substância pura



(b) Diagrama P-v de uma substância pura

R: A amônia está Estado de Vapor Superaquecido

b. Amônia: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 150 kPa

$T_c = 132,2\text{ }^{\circ}\text{C}$

$P_c = 11333,2\text{ kPa}$

$V_c = 0,004255\text{ m}^3/\text{kg}$

Tabela B.2 – Propriedades termodinâmicas da amônia

Tabela B.2.1

Amônia saturada

| Temp. $^{\circ}\text{C}$ | Pressão kPa | Volume específico (m^3/kg) | | | Energia interna (kJ/kg) | | | Entalpia (kJ/kg) | | | Entropia (kJ/kg K) | | |
|-----------------------------|----------------|---|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|
| | | Líquido saturado v_f | Evap. v_{fg} | Vapor saturado v_g | Líquido saturado u_f | Evap. u_{fg} | Vapor saturado u_g | Líquido saturado h_f | Evap. h_{fg} | Vapor saturado h_g | Líquido saturado s_f | Evap. s_{fg} | Vapor saturado s_g |
| -50 | 40,9 | 0,001424 | 2,62557 | 2,62700 | -43,82 | 1309,1 | 1265,2 | -43,76 | 1416,3 | 1372,6 | -0,1916 | 6,3470 | 6,1554 |
| -45 | 54,5 | 0,001437 | 2,00489 | 2,00632 | -22,01 | 1293,5 | 1271,4 | -21,94 | 1402,8 | 1380,8 | -0,0950 | 6,1484 | 6,0534 |
| -40 | 71,7 | 0,001450 | 1,55111 | 1,55256 | -0,10 | 1277,6 | 1277,4 | 0 | 1388,8 | 1388,8 | 0,0000 | 5,9567 | 5,9567 |
| -35 | 93,2 | 0,001463 | 1,21466 | 1,21613 | 21,93 | 1261,3 | 1283,3 | 22,06 | 1374,5 | 1396,5 | 0,0935 | 5,7715 | 5,8650 |
| -30 | 119,5 | 0,001476 | 0,96192 | 0,96339 | 44,08 | 1244,8 | 1288,9 | 44,26 | 1359,8 | 1404,0 | 0,1856 | 5,5922 | 5,7778 |
| -25 | 151,6 | 0,001490 | 0,76970 | 0,77119 | 66,36 | 1227,9 | 1294,3 | 66,58 | 1344,6 | 1411,2 | 0,2763 | 5,4185 | 5,6947 |
| -20 | 190,2 | 0,001504 | 0,62184 | 0,62334 | 88,76 | 1210,7 | 1299,5 | 89,05 | 1329,0 | 1418,0 | 0,3657 | 5,2498 | 5,6155 |
| -15 | 236,3 | 0,001519 | 0,50686 | 0,50838 | 111,30 | 1193,2 | 1304,5 | 111,66 | 1312,9 | 1424,6 | 0,4538 | 5,0859 | 5,5397 |
| -10 | 290,9 | 0,001534 | 0,41655 | 0,41808 | 133,96 | 1175,2 | 1309,2 | 134,41 | 1296,4 | 1430,8 | 0,5408 | 4,9265 | 5,4673 |
| -5 | 354,9 | 0,001550 | 0,34493 | 0,34648 | 156,76 | 1157,0 | 1313,7 | 157,31 | 1279,4 | 1436,7 | 0,6266 | 4,7711 | 5,3977 |
| 0 | 429,6 | 0,001566 | 0,28763 | 0,28920 | 179,69 | 1138,3 | 1318,0 | 180,36 | 1261,8 | 1442,2 | 0,7114 | 4,6195 | 5,3309 |
| 5 | 515,9 | 0,001583 | 0,24140 | 0,24299 | 202,77 | 1119,2 | 1322,0 | 203,58 | 1243,7 | 1447,3 | 0,7951 | 4,4715 | 5,2666 |
| 10 | 615,2 | 0,001600 | 0,20381 | 0,20541 | 225,99 | 1099,7 | 1325,7 | 226,97 | 1225,1 | 1452,0 | 0,8779 | 4,3266 | 5,2045 |

O valor da $P = 150 \text{ kPa}$ não aparece na Tab. B.2.1 mas observa-se que está próxima da T de -25°C ,
 E indo na Tabela B.2.2. de Amônia superaquecida tem-se a T_{sat} da P desejada, $T = -25,22^\circ\text{C}$

Tabela B.2.2

Amônia superaquecida

| T $^\circ\text{C}$ | v (m^3/kg) | u (kJ/kg) | h (kJ/kg) | s ($\text{kJ}/\text{kg K}$) | v (m^3/kg) | u (kJ/kg) | h (kJ/kg) | s ($\text{kJ}/\text{kg K}$) | v (m^3/kg) | u (kJ/kg) | h (kJ/kg) | s ($\text{kJ}/\text{kg K}$) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 50 kPa ($-46,53^\circ\text{C}$) | | | | 100 kPa ($-33,60^\circ\text{C}$) | | | | 150 kPa ($-25,22^\circ\text{C}$) | | | | |
| Sat. | 2,1752 | 1269,6 | 1378,3 | 6,0839 | 1,1381 | 1284,9 | 1398,7 | 5,8401 | 0,7787 | 1294,1 | 1410,9 | 5,6983 |
| -30 | 2,3448 | 1296,2 | 1413,4 | 6,2333 | 1,1573 | 1291,0 | 1406,7 | 5,8734 | - | - | - | - |

$T_c = 71,3^\circ\text{C}$

$P_c = 4901,2 \text{ kPa}$

$V_c = 0,002180 \text{ m}^3/\text{kg}$

Tabela B.4 – Propriedades termodinâmicas de R-410A

Tabela B.4.1

R-410A saturado

| Temp. $^\circ\text{C}$ | Pressão kPa | Volume específico (m^3/kg) | | | Energia interna (kJ/kg) | | | Entalpia (kJ/kg) | | | Entropia (kJ/kg K) | | |
|---------------------------|----------------|---|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|
| | | Líquido saturado v_f | Evap. v_{fg} | Vapor saturado v_g | Líquido saturado u_f | Evap. u_{fg} | Vapor saturado u_g | Líquido saturado h_f | Evap. h_{fg} | Vapor saturado h_g | Líquido saturado s_f | Evap. s_{fg} | Vapor saturado s_g |
| -60 | 64,1 | 0,000727 | 0,36772 | 0,36845 | -27,50 | 256,41 | 228,91 | -27,45 | 279,96 | 252,51 | -0,1227 | 1,3135 | 1,1907 |
| -55 | 84,0 | 0,000735 | 0,28484 | 0,28558 | -20,70 | 251,89 | 231,19 | -20,64 | 275,83 | 255,19 | -0,0912 | 1,2644 | 1,1732 |
| -51,4 | 101,3 | 0,000741 | 0,23875 | 0,23949 | -15,78 | 248,59 | 232,81 | -15,70 | 272,78 | 257,08 | -0,0688 | 1,2301 | 1,1613 |
| -50 | 108,7 | 0,000743 | 0,22344 | 0,22418 | -13,88 | 247,31 | 233,43 | -13,80 | 271,60 | 257,80 | -0,0603 | 1,2171 | 1,1568 |
| -45 | 138,8 | 0,000752 | 0,17729 | 0,17804 | -7,02 | 242,67 | 235,64 | -6,92 | 267,27 | 260,35 | -0,0299 | 1,1715 | 1,1416 |
| -40 | 175,0 | 0,000762 | 0,14215 | 0,14291 | -0,13 | 237,95 | 237,81 | 0,00 | 262,83 | 262,83 | 0,0000 | 1,1273 | 1,1273 |
| -35 | 218,4 | 0,000771 | 0,11505 | 0,11582 | 6,80 | 233,14 | 239,94 | 6,97 | 258,26 | 265,23 | 0,0294 | 1,0844 | 1,1139 |
| -30 | 269,6 | 0,000781 | 0,09392 | 0,09470 | 13,78 | 228,23 | 242,01 | 13,99 | 253,55 | 267,54 | 0,0585 | 1,0428 | 1,1012 |
| -25 | 329,7 | 0,000792 | 0,07726 | 0,07805 | 20,82 | 223,21 | 244,03 | 21,08 | 248,69 | 269,77 | 0,0871 | 1,0022 | 1,0893 |
| -20 | 399,6 | 0,000803 | 0,06400 | 0,06480 | 27,92 | 218,07 | 245,99 | 28,24 | 243,65 | 271,89 | 0,1154 | 0,9625 | 1,0779 |
| -15 | 480,4 | 0,000815 | 0,05334 | 0,05416 | 35,08 | 212,79 | 247,88 | 35,47 | 238,42 | 273,90 | 0,1435 | 0,9236 | 1,0671 |
| -10 | 573,1 | 0,000827 | 0,04470 | 0,04553 | 42,32 | 207,36 | 249,69 | 42,80 | 232,98 | 275,78 | 0,1713 | 0,8854 | 1,0567 |
| -5 | 678,9 | 0,000841 | 0,03764 | 0,03848 | 49,65 | 201,75 | 251,41 | 50,22 | 227,31 | 277,53 | 0,1989 | 0,8477 | 1,0466 |
| 0 | 798,7 | 0,000855 | 0,03182 | 0,03267 | 57,07 | 195,95 | 253,02 | 57,76 | 221,37 | 279,12 | 0,2264 | 0,8104 | 1,0368 |

Interpolando
para 350 kPa
 $T = -23,68^\circ\text{C}$

2.27 Determine as propriedades que faltam em $P-v-T$ e x para água a:

a. 10 MPa; $0,003 \text{ m}^3/\text{kg}$ $T = ?$ $x = ?$

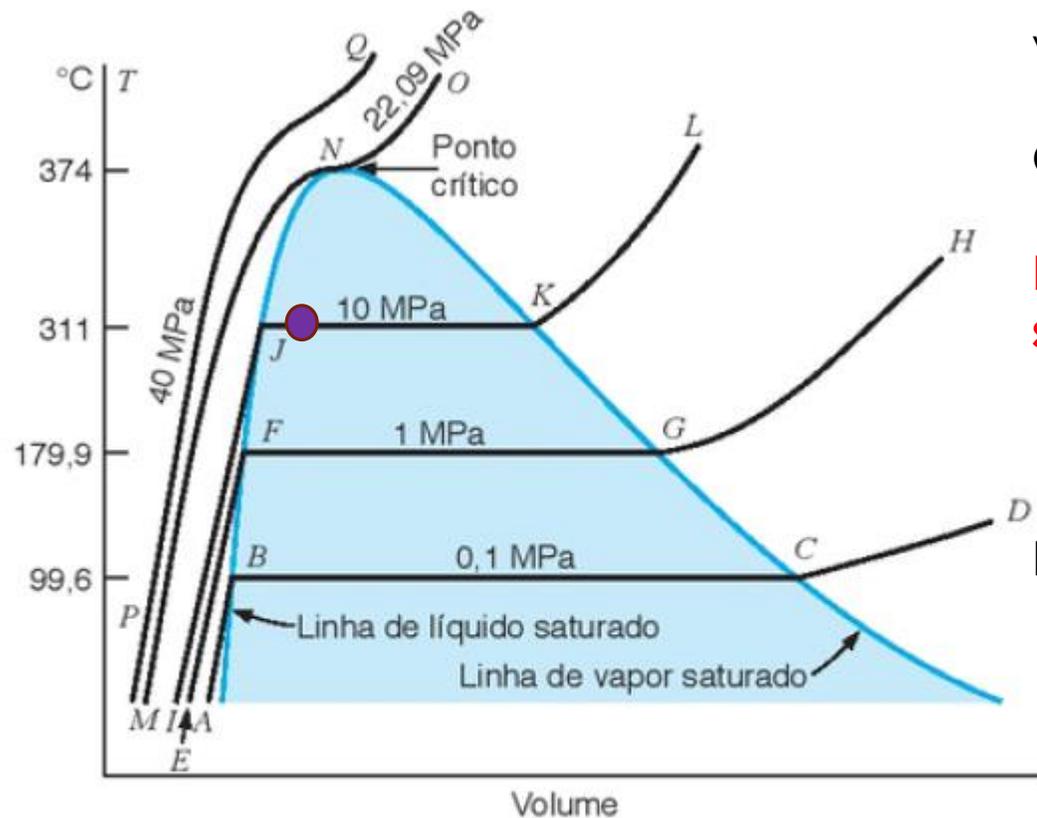


Figura 2.6

Diagrama temperatura-volume para a água mostrando as fases líquida e vapor.

Da Tabela B.1.2 para $P = 10.000 \text{ kPa}$ posso tirar os valores:

$T = 311,06^\circ\text{C}$

$v_l = 0,001452 \text{ m}^3/\text{kg}$

$v_v = 0,01803 \text{ m}^3/\text{kg}$

Comparando $v_l < v = 0,003 \text{ m}^3/\text{kg} < v_v$

R: A água está no Estado de mistura saturada ou seja tem título

$v = v_l + x \cdot (v_v - v_l) = 0,003$

R: $x = 0,0934$ (9,34%) e $T = 311,06^\circ\text{C}$

b. 1 MPa; 190 °C

$v = ?$ $x = ?$

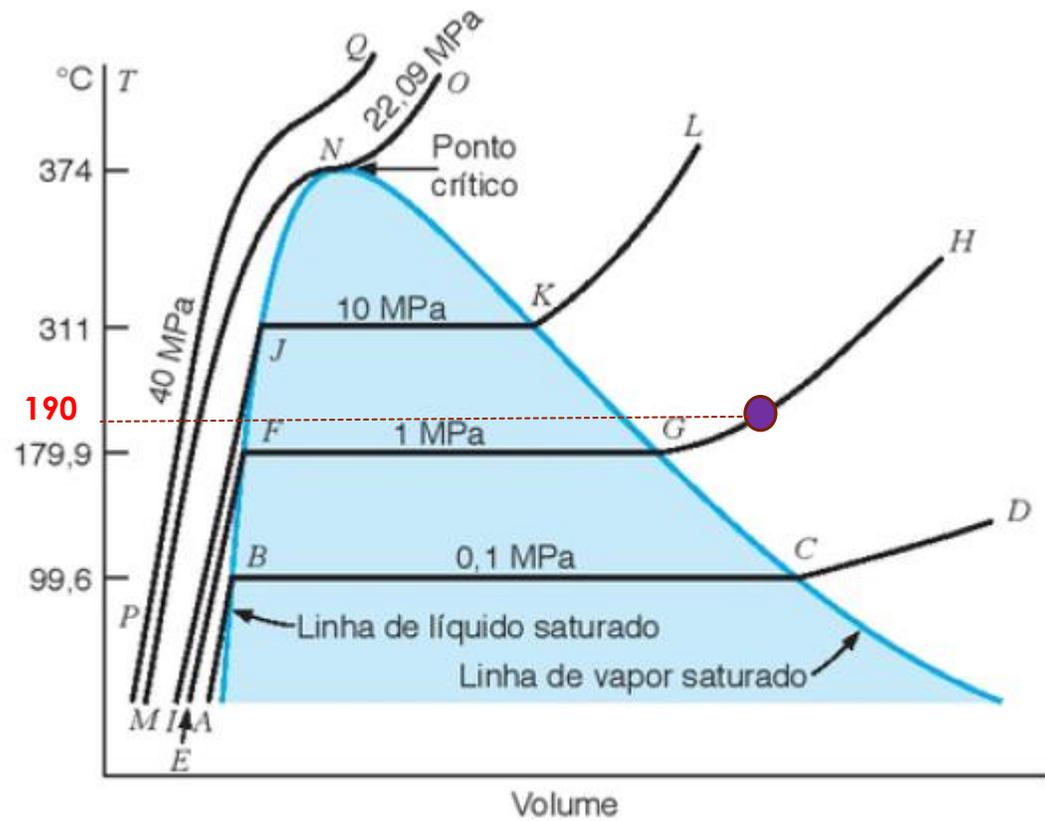


Figura 2.6
Diagrama temperatura-volume para a água mostrando as fases líquida e vapor.

A T de saturação é o valor entre parênteses, a 1000 kPa é 179,91°C

Tabela B.1.3 (continuação)

Vapor d'água superaquecido

| T | v (m ³ /kg) | u (kJ/kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/kg K) |
|-----------------------|------------------------|-----------|-----------|-------------|
| P = 1000 kPa (179,91) | | | | |
| Sat. | 0,19444 | 2583,64 | 2778,08 | 6,5864 |
| 190 | v | | | |
| 200 | 0,20596 | 2621,90 | 2827,86 | 6,6939 |

R: A água está no Estado de vapor superaquecido e $v = 0,2002 \text{ m}^3/\text{kg}$ (valor interpolado da Tab. B.1.3 – vapor superaquecido)

OBS.:fora da região de mistura saturada não existe título!

c. 200 °C; 0,1 m³/kg

P = ? x = ?

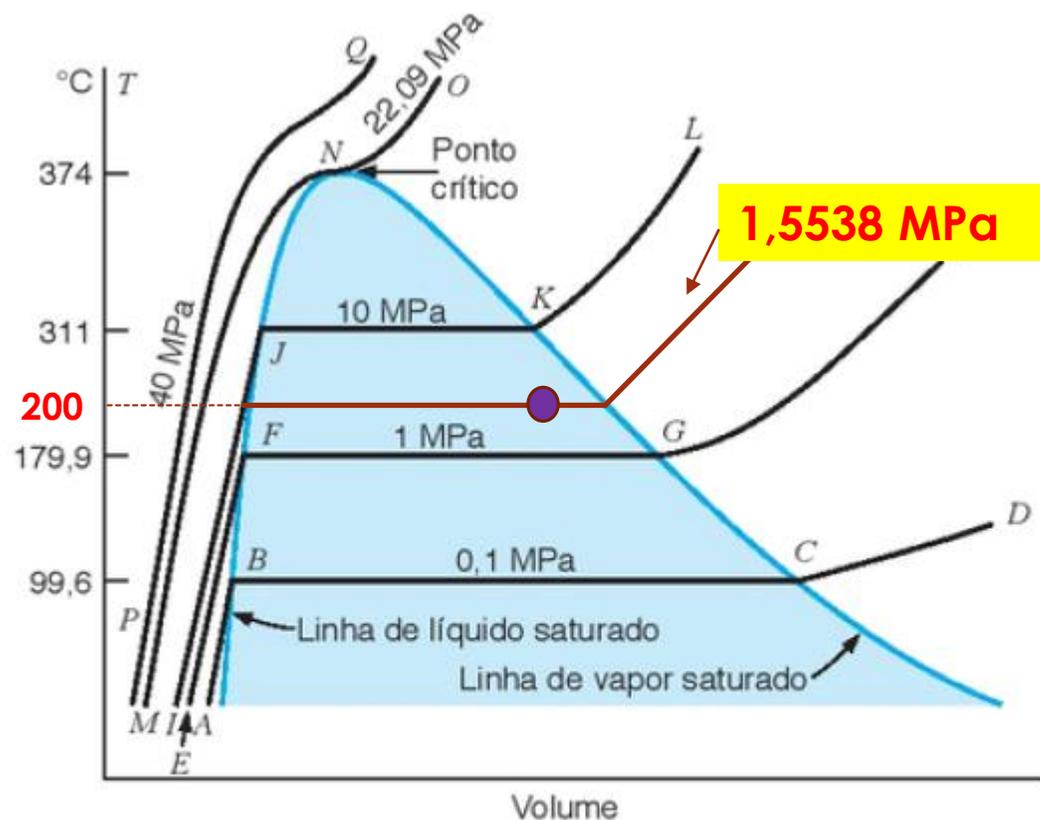


Figura 2.6

Diagrama temperatura-volume para a água mostrando as fases líquida e vapor.

Tabela B.1.1 (continuação)

Água saturada: tabela em função da

| Temp. °C | Pressão kPa | Volume específico (m ³ /kg) | |
|-------------|----------------|---|----------------|
| | | Líquido sat. | Vapor sat. |
| T | P | v _l | v _v |
| 185 | 1122,7 | 0,001134 | 0,17409 |
| 190 | 1254,4 | 0,001141 | 0,15654 |
| 195 | 1397,8 | 0,001149 | 0,14105 |
| 200 | 1553,8 | 0,001156 | 0,12736 |

Como $v_l < v = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg} < v_v$

R: A água está no Estado de mistura saturada ou seja tem título

$$v = v_l + x \cdot (v_v - v_l) = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$$

x = 0,7832 (78,32%) e P = 1553,8 kPa

Tabela B.1.1 (continuação)

Água saturada: tabela em função da temperatura

| Temp. °C | Pressão kPa | Volume específico (m ³ /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. |
| T | P | v_f | v_g | u_f | u_{fg} | u_g | h_f | h_{fg} | h_g | s_f | s_{fg} | s_g |
| 185 | 1122,7 | 0,001134 | 0,17409 | 784,08 | 1802,90 | 2586,98 | 785,36 | 1997,07 | 2782,43 | 2,1878 | 4,3586 | 6,5464 |
| 190 | 1254,4 | 0,001141 | 0,15654 | 806,17 | 1783,84 | 2590,01 | 807,61 | 1978,76 | 2786,37 | 2,2358 | 4,2720 | 6,5078 |
| 195 | 1397,8 | 0,001149 | 0,14105 | 828,36 | 1764,43 | 2592,79 | 829,96 | 1959,99 | 2789,96 | 2,2835 | 4,1863 | 6,4697 |
| 200 | 1553,8 | 0,001156 | 0,12736 | 850,64 | 1744,66 | 2595,29 | 852,43 | 1940,75 | 2793,18 | 2,3308 | 4,1014 | 6,4322 |
| 205 | 1723,0 | 0,001164 | 0,11521 | 873,02 | 1724,49 | 2597,52 | 875,03 | 1921,00 | 2796,03 | 2,3779 | 4,0172 | 6,3951 |
| 210 | 1906,3 | 0,001173 | 0,10441 | 895,51 | 1703,93 | 2599,44 | 897,75 | 1900,73 | 2798,48 | 2,4247 | 3,9337 | 6,3584 |
| 215 | 2104,2 | 0,001181 | 0,09479 | 918,12 | 1682,94 | 2601,06 | 920,61 | 1879,91 | 2800,51 | 2,4713 | 3,8507 | 6,3221 |
| 220 | 2317,8 | 0,001190 | 0,08619 | 940,85 | 1661,49 | 2602,35 | 943,61 | 1858,51 | 2802,12 | 2,5177 | 3,7683 | 6,2860 |

d. 10 kPa; 10 °C

$v = ?$ $x = ?$

Resposta:

$v = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$

Não existe título

A água está no Estado de líquido comprimido.

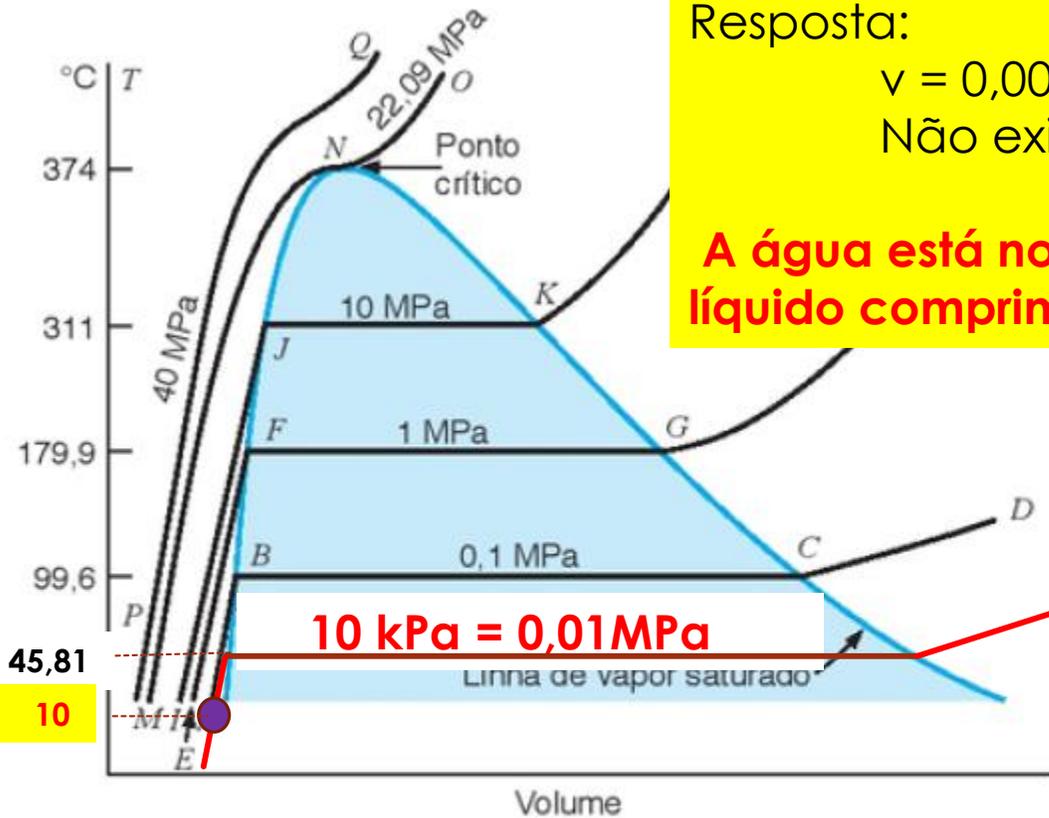


Figura 2.6

Diagrama temperatura-volume para a água mostrando as fases líquida e vapor.

Tabela B.1.2

Água saturada: tabela em função da pressão

| Pressão kPa | Temp. °C | Volume específico (m ³ /kg) | |
|----------------|-------------|---|----------------------|
| | | Líquido sat. | Vapor sat. |
| <i>P</i> | <i>T</i> | <i>v_l</i> | <i>v_v</i> |
| 0,6113 | 0,01 | 0,001000 | 206,132 |
| 1 | 6,98 | 0,001000 | 129,20802 |
| 1,5 | 13,03 | 0,001001 | 87,99013 |
| 2 | 17,50 | 0,001001 | 67,00385 |
| 2,5 | 21,08 | 0,001002 | 54,25385 |
| 3 | 24,08 | 0,001003 | 45,66502 |
| 4 | 28,96 | 0,001004 | 34,80015 |
| 5 | 32,88 | 0,001005 | 28,19251 |
| 7,5 | 40,29 | 0,001008 | 19,23775 |
| 10 | 45,81 | 0,001010 | 14,67355 |
| 15 | 53,97 | 0,001014 | 10,02218 |

Como na Tab. B.1.4 como a P de 10kPa está abaixo da P = 500kPa logo precisa interpolar para 10°C e depois extrapolar para 10 kPa.

Tabela B.1.4

Água líquida comprimida

| T °C | v (m ³ /kg) | u (kJ/kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/kg K) | v (m ³ /kg) | u (kJ/kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/kg K) | v (m ³ /kg) | u (kJ/kg) | h (kJ/kg) | s (kJ/kg K) |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|------------------|---------------------------------|----------------|----------------|------------------|---------------------------------|----------------|----------------|------------------|
| $P = 500 \text{ kPa (151,86)}$ | | | | | $P = 2000 \text{ kPa (212,42)}$ | | | | $P = 5000 \text{ kPa (263,99)}$ | | | |
| Sat, | 0,001093 | 639,66 | 640,21 | 1,8606 | 0,001177 | 906,42 | 908,77 | 2,4473 | 0,001286 | 1147,78 | 1154,21 | 2,9201 |
| 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,000998 | 0,03 | 5,02 | 0,0001 |
| 0,01 | 0,000999 | 0,01 | 0,51 | 0,0000 | 0,000999 | 0,03 | 2,03 | 0,0001 | - | - | - | - |
| 20 | 0,001002 | 83,91 | 84,41 | 0,2965 | 0,001001 | 83,82 | 85,82 | 0,2962 | 0,001000 | 83,64 | 88,64 | 0,2955 |
| 40 | 0,001008 | 167,47 | 167,98 | 0,5722 | 0,001007 | 167,29 | 169,30 | 0,5716 | 0,001006 | 166,93 | 171,95 | 0,5705 |

A água líquida comprimida a 10°C e 10kPa está abaixo da $P = 500\text{kPa}$, sendo assim precisa extrapolar com os valores de v a 500 kPa e 2000 kPa, porém antes interpolar para ter os valores de v 10°C nestas pressões.

Em casos assim pode ser usado o valor da Tab. B.1.2 porque v é muito próximo do valor de $v_l = 0,001010\text{m}^3/\text{kg}$ (evita-se assim as interpolações e a extrapolação)

Resposta: $v = v_l = 0,001010 \text{ m}^3/\text{kg}$