



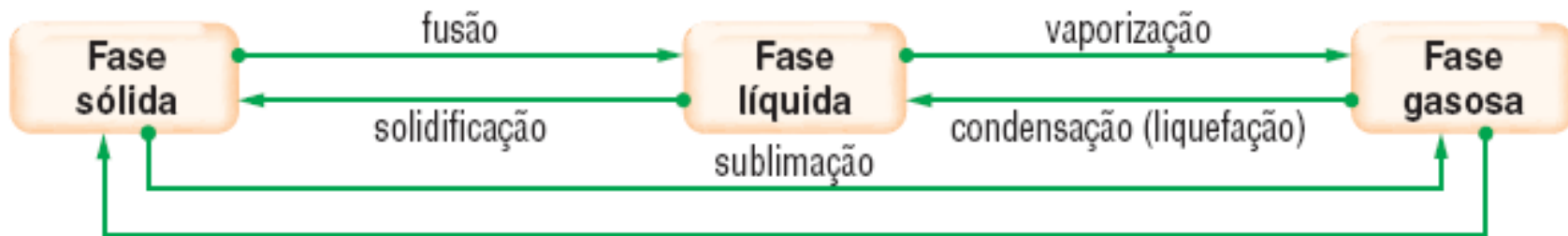
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
*Campus São Paulo*

# ***Diagrama de Fases***

*1º ano FIS EMI*

***André Cipoli***

# Estados físicos da matéria e mudanças de fase



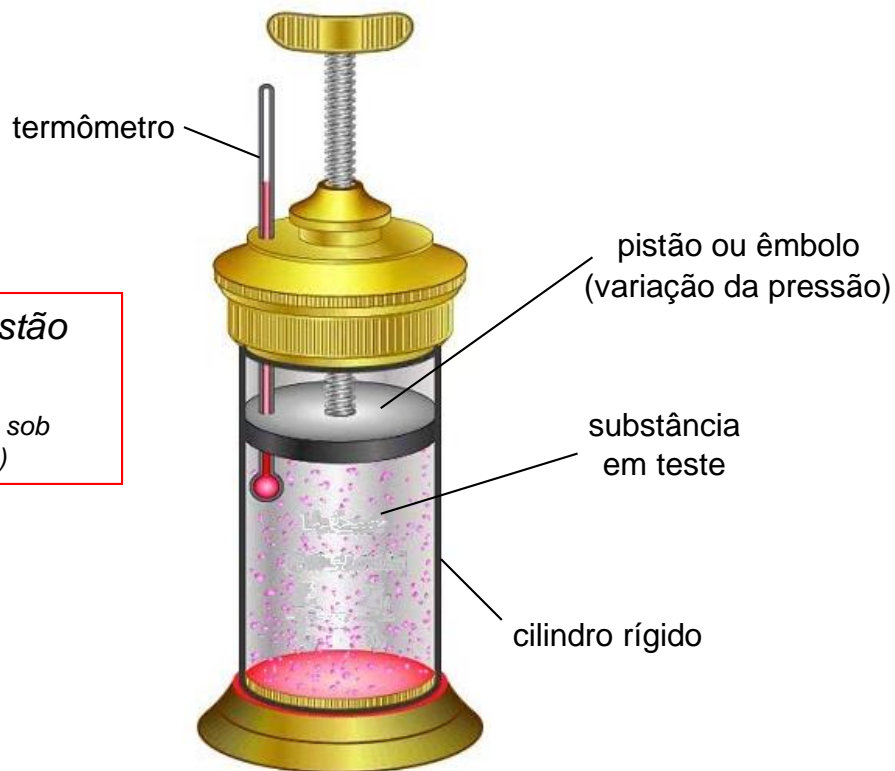
Ligações entre átomos muito fortes

Ligações entre átomos muito fracas

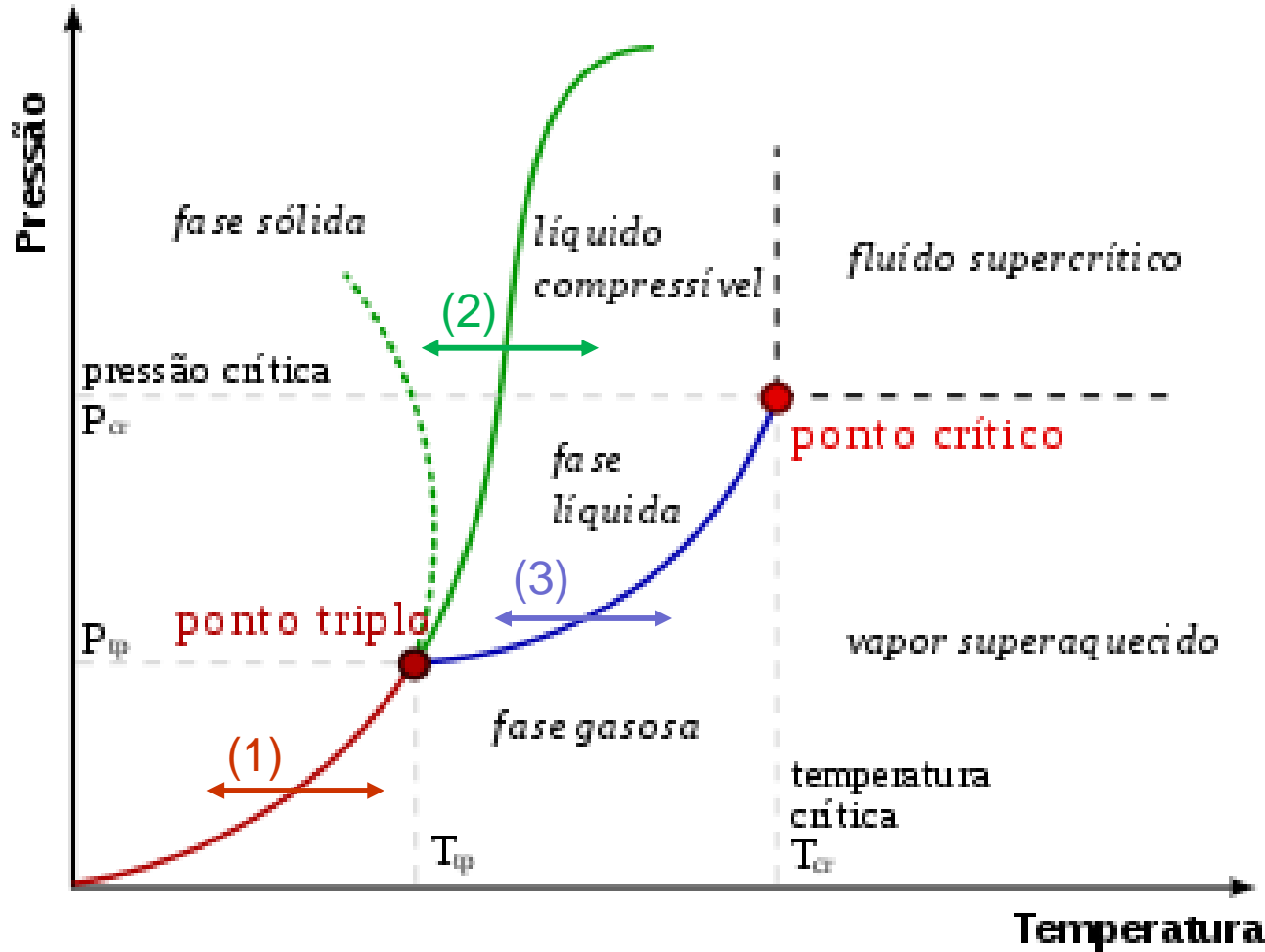
Ligações entre átomos inexistem

**Conjunto Cilindro-Pistão e termômetro**

*(mergulhado em um banho sob temperatura controlada)*



# Diagrama de Fases



## Ponto Importante:

“Em toda mudança de fase, pressão e temperatura permanecem constantes.”

(1) → Sólido ↔ Gasoso: Sublimação

(2) → Sólido para Líquido: Fusão

(2) → Líquido para Sólido: Solidificação

(3) → Líquido para Gasoso: Vaporização  
(*Evaporação, Calefação e Ebulição*)

(3) → Gasoso para Líquido: Liquefação  
ou Condensação

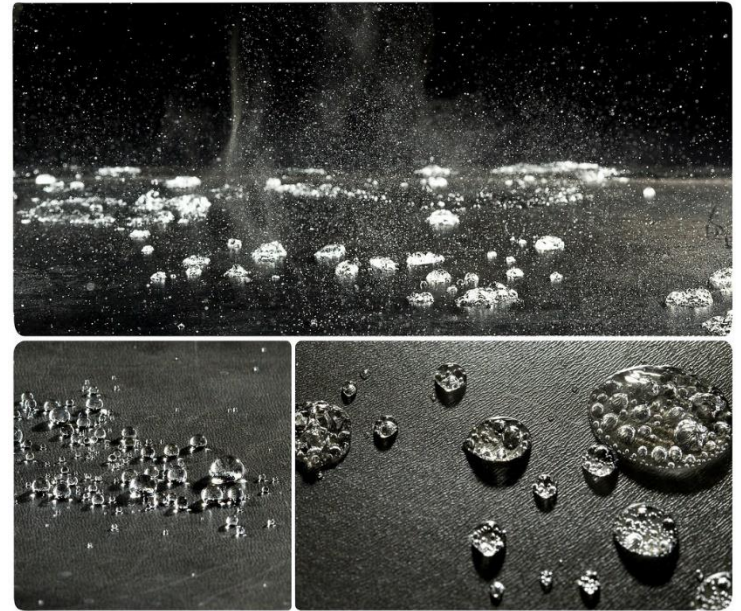
- **Vaporização**



**Evaporação**  
(Vaporização espontânea)



**Ebulição**  
(Vaporização forçada)



**Calefação**  
(Vaporização extrema)

## Tabela com pontos triplos de algumas substâncias ([https://en.wikipedia.org/wiki/Triple\\_point](https://en.wikipedia.org/wiki/Triple_point))

**Ponto Triplo** é um estado particular de uma substância, determinado por valores de temperatura e pressão, no qual as **três** fases de agregação da substância (sólida, líquida e gasosa) coexistem em equilíbrio.



Célula de ponto triplo (água)

Substance	T [K] (°C)	p [kPa]* (atm)
Acetylene	192.4 K (-80.7 °C)	120 kPa (1.2 atm)
Ammonia	195.40 K (-77.75 °C)	6.060 kPa (0.05981 atm)
Argon	83.81 K (-189.34 °C)	68.9 kPa (0.680 atm)
Arsenic	1,090 K (820 °C)	3,628 kPa (35.81 atm)
Butane <sup>[9]</sup>	134.6 K (-138.6 °C)	7 × 10 <sup>-4</sup> kPa (6.9 × 10 <sup>-6</sup> atm)
Carbon (graphite)	4,765 K (4,492 °C)	10,132 kPa (100.00 atm)
Carbon dioxide	216.55 K (-56.60 °C)	517 kPa (5.10 atm)
Carbon monoxide	68.10 K (-205.05 °C)	15.37 kPa (0.1517 atm)
Chloroform <sup>[10]</sup>	175.43 K (-97.72 °C)	0.870 kPa (0.00859 atm)
Deuterium	18.63 K (-254.52 °C)	17.1 kPa (0.169 atm)
Ethane	89.89 K (-183.26 °C)	8 × 10 <sup>-4</sup> kPa (7.9 × 10 <sup>-6</sup> atm)
Ethanol <sup>[11]</sup>	150 K (-123 °C)	4.3 × 10 <sup>-7</sup> kPa (4.2 × 10 <sup>-9</sup> atm)
Ethylene	104.0 K (-169.2 °C)	0.12 kPa (0.0012 atm)
Formic acid <sup>[12]</sup>	281.40 K (8.25 °C)	2.2 kPa (0.022 atm)
Helium-4 (lambda point) <sup>[13]</sup>	2.1768 K (-270.9732 °C)	5.048 kPa (0.04982 atm)
Helium-4 (hcp-bcc-He-II) <sup>[14]</sup>	1.463 K (-271.687 °C)	26.036 kPa (0.25696 atm)
Helium-4 (bcc-He-I-He-II) <sup>[14]</sup>	1.762 K (-271.388 °C)	29.725 kPa (0.29336 atm)
Helium-4 (hcp-bcc-He-I) <sup>[14]</sup>	1.772 K (-271.378 °C)	30.016 kPa (0.29623 atm)
Hexafluoroethane <sup>[15]</sup>	173.08 K (-100.07 °C)	26.60 kPa (0.2625 atm)
Hydrogen	13.84 K (-259.31 °C)	7.04 kPa (0.0695 atm)
Hydrogen chloride	158.96 K (-114.19 °C)	13.9 kPa (0.137 atm)
Iodine <sup>[16]</sup>	386.65 K (113.50 °C)	12.07 kPa (0.1191 atm)
Isobutane <sup>[17]</sup>	113.55 K (-159.60 °C)	1.9481 × 10 <sup>-5</sup> kPa (1.9226 × 10 <sup>-7</sup> atm)
Krypton	115.76 K (-157.39 °C)	74.12 kPa (0.7315 atm)
Mercury	234.2 K (-39.0 °C)	1.65 × 10 <sup>-7</sup> kPa (1.63 × 10 <sup>-9</sup> atm)

Water<sup>[4][5]</sup>

273.16 K (0.01 °C)

0.611657 kPa (0.00603659 atm)

## Tabela com pontos críticos de algumas substâncias

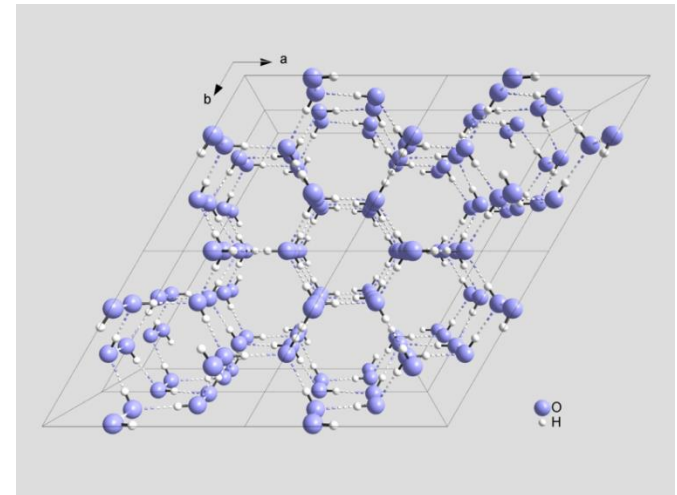
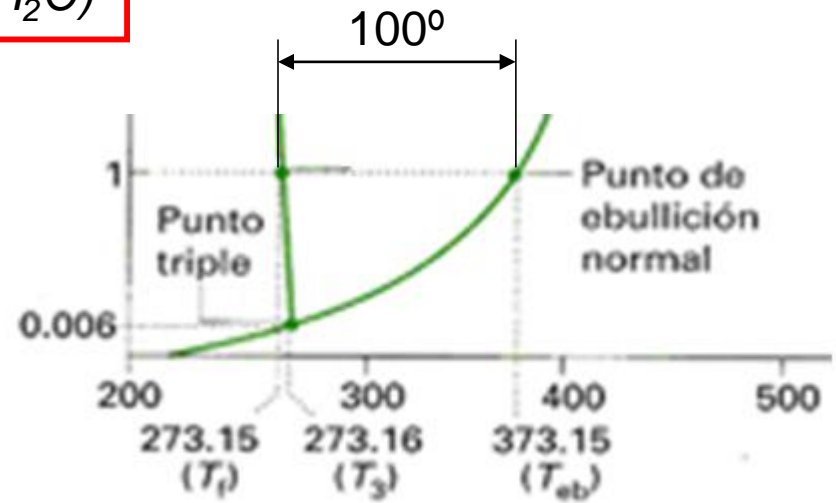
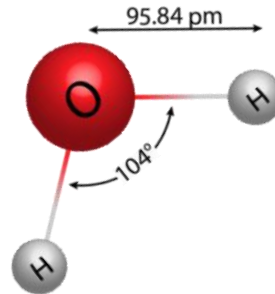
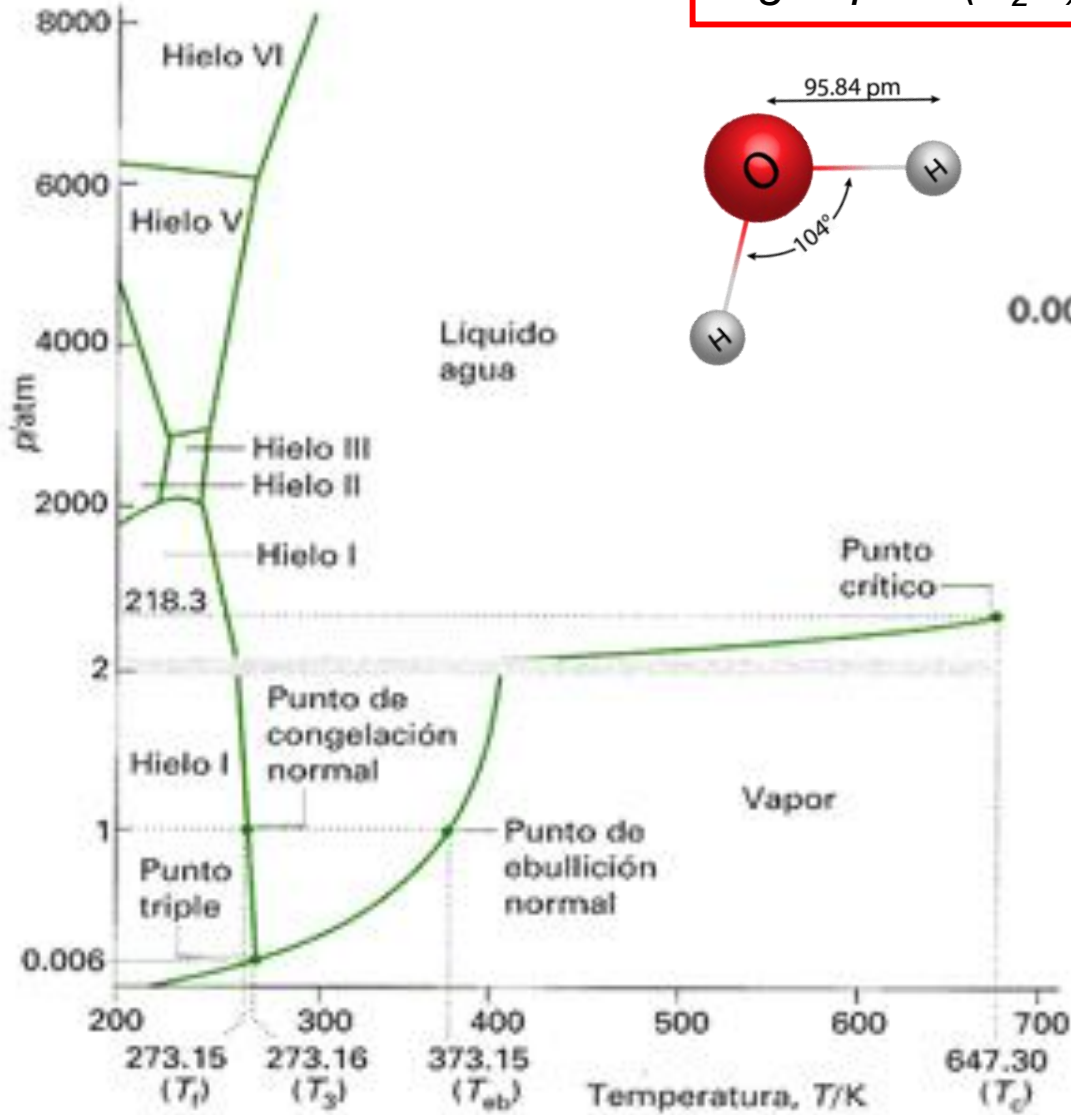
([https://en.wikipedia.org/wiki/Critical\\_point\\_\(thermodynamics\)#Table\\_of\\_liquid%E2%80%93vapor\\_critical\\_temperature\\_and\\_pressure\\_for\\_selected\\_substances](https://en.wikipedia.org/wiki/Critical_point_(thermodynamics)#Table_of_liquid%E2%80%93vapor_critical_temperature_and_pressure_for_selected_substances))

Substance <sup>[16][17]</sup> ↕	Critical temperature ↕	Critical pressure (absolute) ↕
Argon	−122.4 °C (150.8 K)	48.1 atm (4,870 kPa)
Ammonia (NH <sub>3</sub> ) <sup>[18]</sup>	132.4 °C (405.5 K)	111.3 atm (11,280 kPa)
R-134a	101.06 °C (374.21 K)	40.06 atm (4,059 kPa)
R-410A	72.8 °C (345.9 K)	47.08 atm (4,770 kPa)
Bromine	310.8 °C (584.0 K)	102 atm (10,300 kPa)
Caesium	1,664.85 °C (1,938.00 K)	94 atm (9,500 kPa)
Chlorine	143.8 °C (416.9 K)	76.0 atm (7,700 kPa)
Ethanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	241 °C (514 K)	62.18 atm (6,300 kPa)
Fluorine	−128.85 °C (144.30 K)	51.5 atm (5,220 kPa)
Helium	−267.96 °C (5.19 K)	2.24 atm (227 kPa)
Hydrogen	−239.95 °C (33.20 K)	12.8 atm (1,300 kPa)
Krypton	−63.8 °C (209.3 K)	54.3 atm (5,500 kPa)
Methane (CH <sub>4</sub> )	−82.3 °C (190.8 K)	45.79 atm (4,640 kPa)
Neon	−228.75 °C (44.40 K)	27.2 atm (2,760 kPa)
Nitrogen	−146.9 °C (126.2 K)	33.5 atm (3,390 kPa)
Oxygen (O <sub>2</sub> )	−118.6 °C (154.6 K)	49.8 atm (5,050 kPa)
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	31.04 °C (304.19 K)	72.8 atm (7,380 kPa)
Nitrous oxide (N <sub>2</sub> O)	36.4 °C (309.5 K)	71.5 atm (7,240 kPa)
Water (H <sub>2</sub> O) <sup>[2][19]</sup>	373.946 °C (647.096 K)	217.7 atm (22,060 kPa)

**Ponto Crítico** é um estado particular de uma substância determinado por valores de temperatura e pressão, no qual as fases líquida e gasosa ainda coexistem. Sob temperaturas mais altas, o gás **não** pode ser liquefeito por um simples aumento de pressão. No ponto crítico, definido por uma temperatura crítica  $T_c$  e uma pressão crítica  $p_c$ , as fronteiras das fases desaparecem.

# Diagrama de Fases

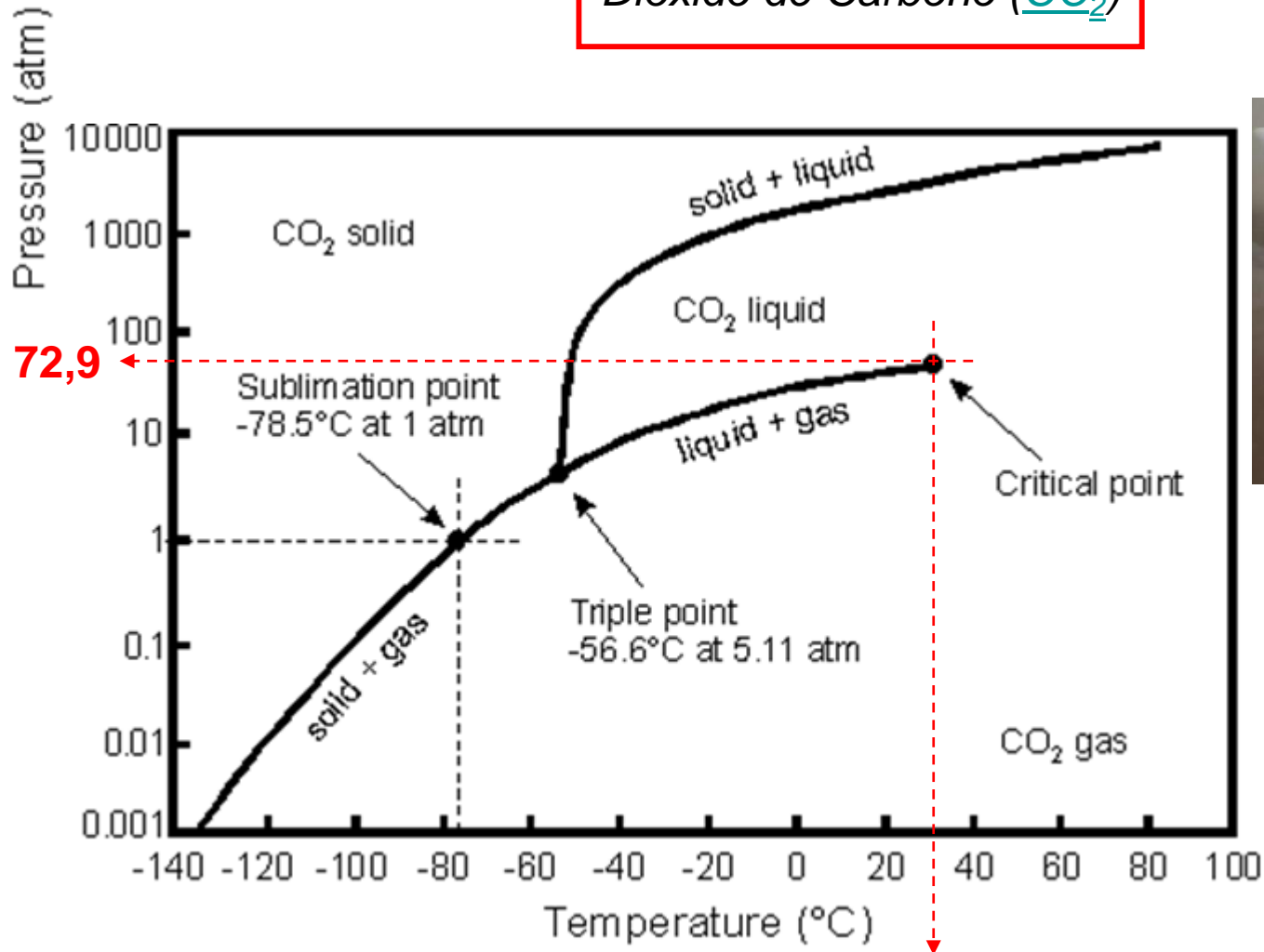
Água pura ( $H_2O$ )



$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273$$

# Diagrama de Fases

Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )



72,9

31,1



$\text{CO}_2 \rightarrow 0,039\%$

Pressure-Temperature phase diagram for  $\text{CO}_2$ .

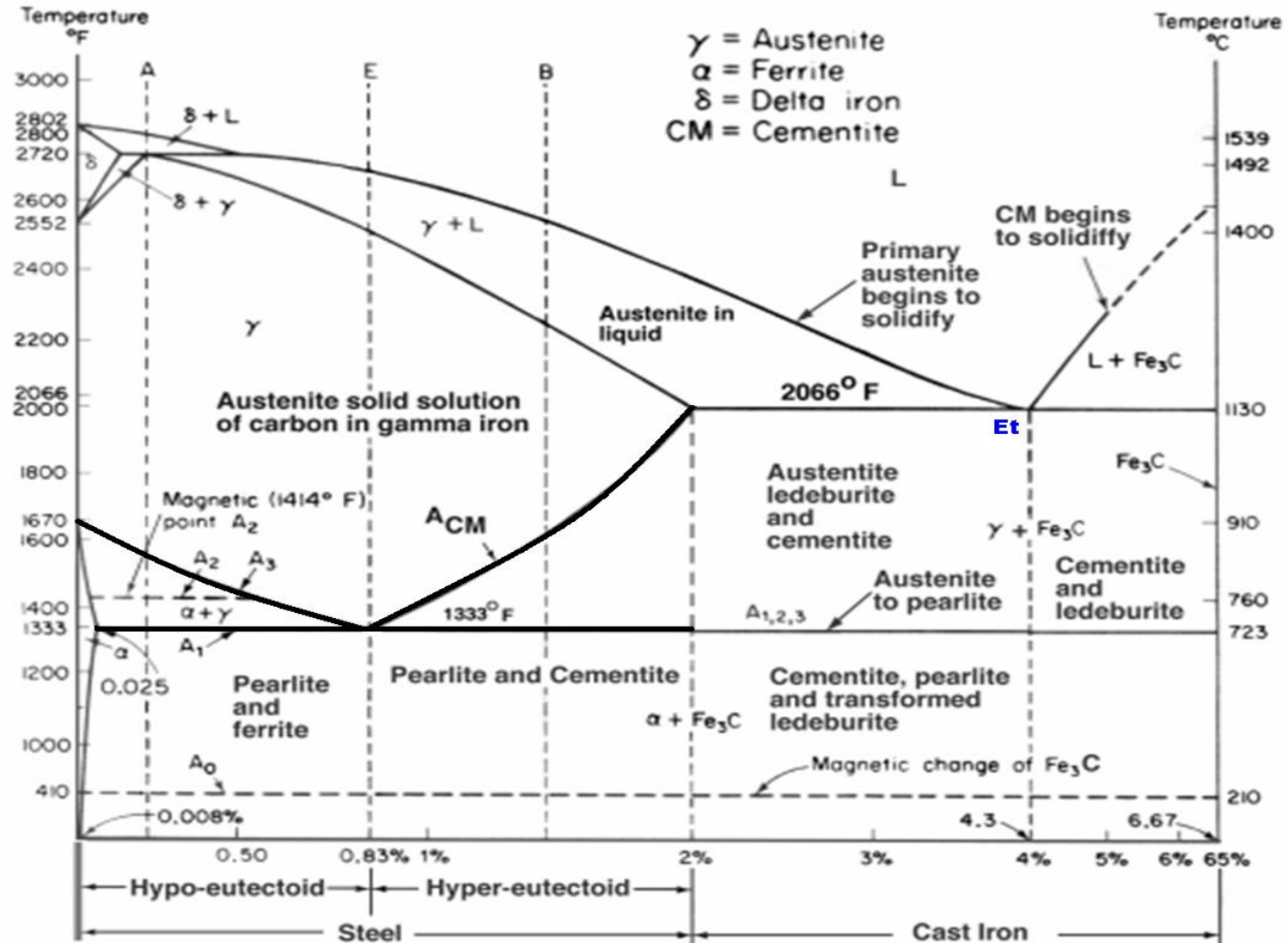


# Diagrama de Fases

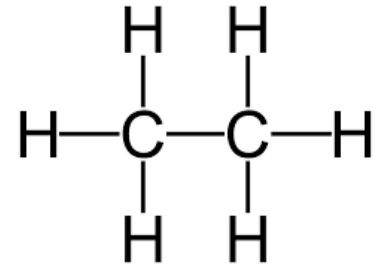
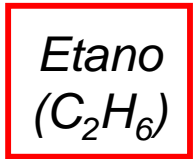
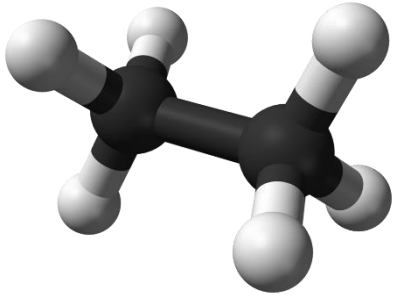
Fe - C



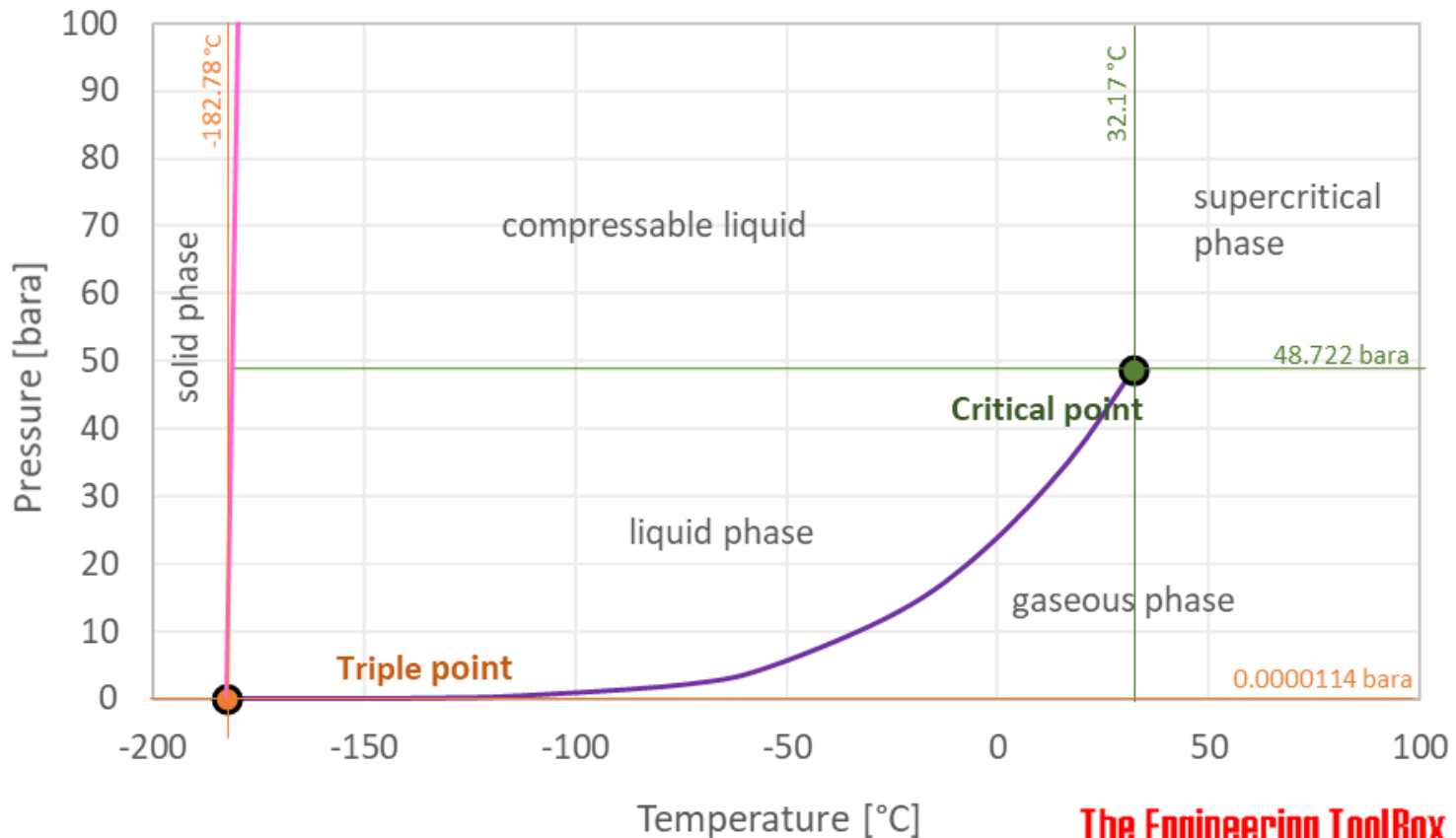
Aço



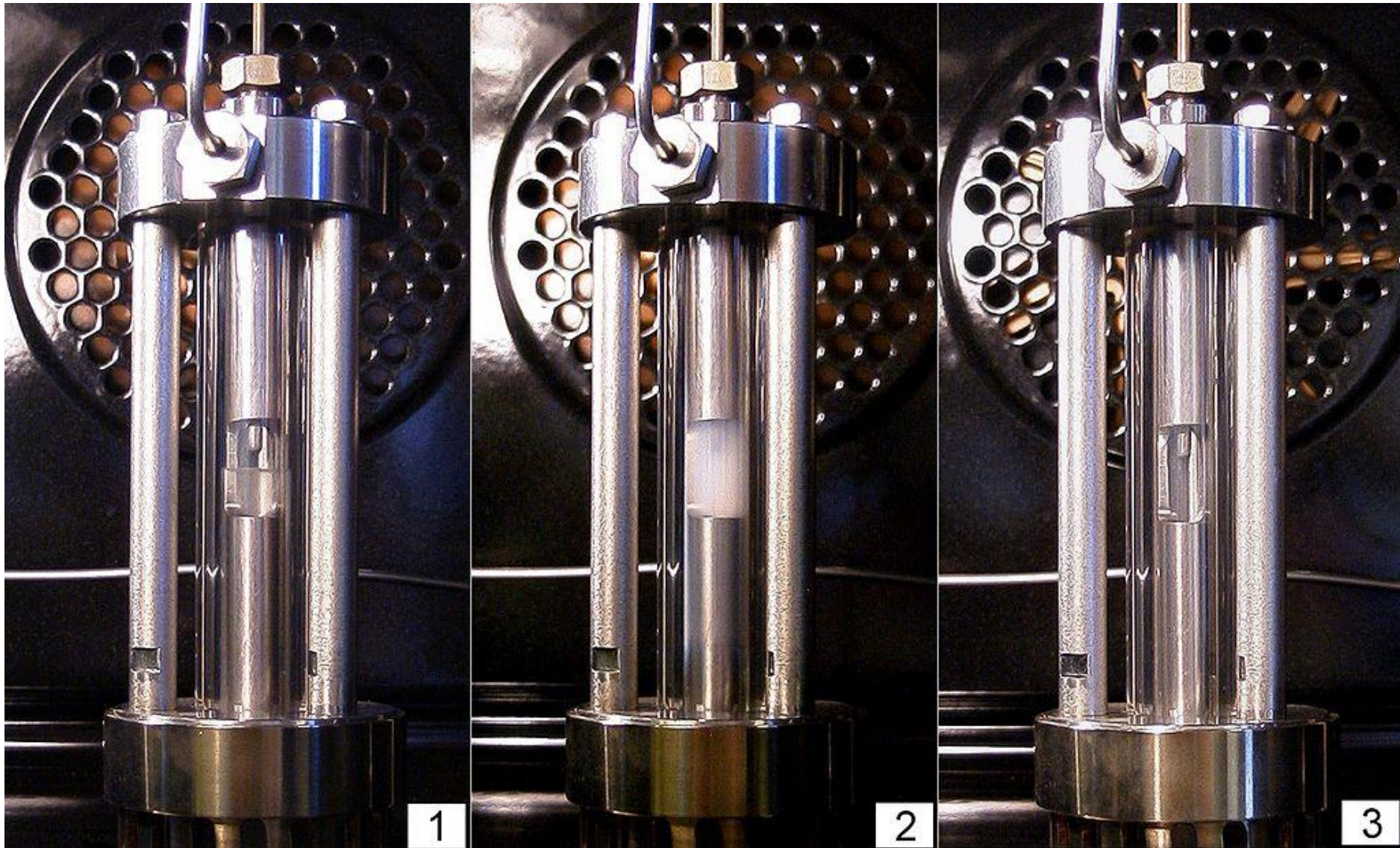
# Diagrama de Fases



Ethane phase diagram



## Exemplo



*Etano subcrítico*  
(fases líquida e gasosa coexistem)

*Etano crítico*  
(aparência enevoada)

*Etano supercrítico*  
(fluido exótico)

# Exercícios de aplicação

1. Veja na tabela abaixo as temperaturas de fusão e ebulição de algumas substâncias:

Material	Temperatura de fusão °C	Temperatura de ebulição °C
Água	0	100
Álcool	-114	78
Ácido acético (presente no vinagre)	17	118
Fenol	41	182
Clorofórmio	-63	61

À temperatura de 80°C, quais dessas substâncias estarão no estado líquido (*considerar que as substâncias estejam sob pressão atmosférica ao nível do mar - 1 atm*)?

- a) Álcool, Água e Clorofórmio;
- b) Água, Ácido Acético e Clorofórmio;
- c) Água, Ácido Acético e Fenol;
- d) Ácido Acético, Fenol e Clorofórmio;
- e) Álcool, Fenol e Água

2. Sobre as mudanças de fase da matéria, assinale a alternativa incorreta:

- a) A pressão externa à qual uma substância é submetida interfere em sua mudança de fase;
- b) O aumento da superfície livre ocupada por um líquido favorece a sua evaporação;
- c) A velocidade em que uma substância evapora depende de sua temperatura;
- d) O fato de uma substância em estado líquido estar em ambiente fechado ou aberto não interfere em sua evaporação.

3. Para combater traças e baratas, era comum colocar algumas bolinhas de naftalina no guarda-roupa. Com o passar do tempo, essas bolinhas diminuía de tamanho. Esse fenômeno é uma mudança de estado físico chamada de:

- 1. Solidificação.
- 2. Condensação.
- 3. Fusão.
- 4. Sublimação.
- 5. Evaporação.



4. (Unifor - CE) Considere a tabela de pontos de fusão e de ebulição das substâncias a seguir, a 1 atm de pressão.

A 50°C, encontram-se no estado líquido:

- a) cloro e flúor.
- b) cloro e iodo.
- c) mercúrio e iodo.
- d) flúor e bromo.
- e) bromo e mercúrio.

Material	PF (°C)	PE (°C)
Cloro	-101,0	-34,6
Flúor	-219,6	-188,1
Bromo	-7,2	58,8
Mercúrio	-38,8	356,6
Iodo	113,5	184

5. (Facimpa - MG ) Observe:

I - Uma pedra de naftalina deixada no armário;

II - Uma vasilha de água deixada no freezer;

III - Uma vasilha de água deixada no fogo;

IV - O derretimento de um pedaço de chumbo quando aquecido;

Nesses fatos estão relacionados corretamente os seguintes fenômenos:

a) I. Sublimação; II. Solidificação; III. Evaporação; IV. Fusão.

b) I. Sublimação; II. Sublimação; III. Evaporação; IV. Solidificação.

c) I. Fusão; II. Sublimação; III. Evaporação; IV. Solidificação.

d) I. Evaporação; II. Solidificação; III. Fusão; IV. Sublimação.

e) I. Evaporação; II. Sublimação; III. Fusão; IV. Solidificação.

6. (UNICAMP) Icebergs flutuam na água do mar, assim como o gelo em um copo com água potável. Imagine a situação inicial de um copo com água e gelo, em equilíbrio térmico à temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Com o passar do tempo o gelo vai derretendo. Enquanto houver gelo, a temperatura do sistema

a) permanece constante, mas o volume do sistema aumenta.

b) permanece constante, mas o volume do sistema diminui.

c) diminui e o volume do sistema aumenta.

d) diminui, assim como o volume do sistema.



7. (ENEM) O ciclo da água é fundamental para a preservação da vida no planeta. As condições climáticas da Terra permitem que a água sofra mudanças de fase, e a compreensão dessas transformações é fundamental para se entender o ciclo hidrológico. Numa dessas mudanças, a água ou a umidade da terra absorve o calor do sol e dos arredores. Quando já foi absorvido calor suficiente, algumas das moléculas do líquido podem ter energia necessária para começar a subir para a atmosfera. A transformação mencionada no texto é a:

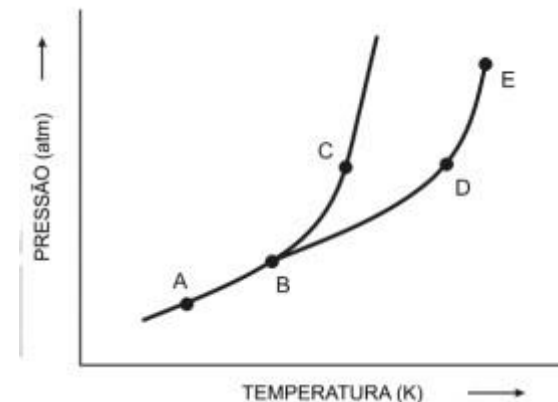
- a) fusão;
- b) liquefação;
- c) evaporação;
- d) solidificação;
- e) condensação.

8. (UFSM) Quando se está ao nível do mar, observa-se que a água ferve a uma temperatura de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Subindo uma montanha de  $1.000\text{ m}$  de altitude, observa-se que:

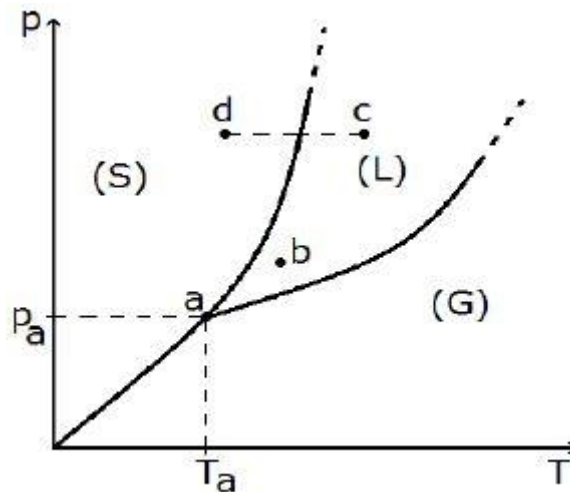
- a) a água ferve numa temperatura maior, pois seu calor específico aumenta.
- b) a água ferve numa temperatura maior, pois a pressão atmosférica é maior.
- c) a água ferve numa temperatura menor, pois a pressão atmosférica é menor.
- d) a água ferve na mesma temperatura de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , independente da pressão atmosférica.
- e) a água não consegue ferver nessa altitude.

9. (ITA - 2013) Considere o diagrama de fase hipotético representado esquematicamente na figura ao lado:

O que representam os pontos A, B, C, D e E?



10. (UFRGS 2017) Qualquer substância pode ser encontrada nos estados (ou fases) sólido (S), líquido (L) ou gasoso (G), dependendo das condições de pressão ( $p$ ) e temperatura ( $T$ ) a que está sujeita. Esses estados podem ser representados em um gráfico  $p \times T$ , conhecido como diagrama de fases, como o mostrado na figura abaixo, para uma substância qualquer.



As regiões de existência de cada fase estão identificadas por (S), (L) e (G), e os pontos a, b, c e d indicam quatro estados distintos de ( $p, T$ ). Considere as seguintes afirmações.

- I - A substância não pode sublimar, se submetida a pressões constantes maiores do que  $p_a$ .
- II - A substância, se estiver no estado b, pode ser vaporizada por transformações isotérmicas ou isobáricas.
- III - A mudança de estado  $c \rightarrow d$  é isobárica e conhecida como solidificação.

Quais estão corretas?



# **Referências Sitigráficas**

<https://www.portalsaofrancisco.com.br/quimica/fluido-supercritico>

[https://www.engineeringtoolbox.com/ethane-d\\_1417.html#phases](https://www.engineeringtoolbox.com/ethane-d_1417.html#phases)

<https://exercicios.mundoeducacao.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-mudancas-fase.htm>

<https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-quimica/exercicios-sobre-as-mudancas-estado-fisico.htm>

[https://web.archive.org/web/20091007073915/http://atom.me.gatech.edu/zhut/Courses/Courses\\_HarvardCollection/caiwei/phasesofice.pdf](https://web.archive.org/web/20091007073915/http://atom.me.gatech.edu/zhut/Courses/Courses_HarvardCollection/caiwei/phasesofice.pdf)

<https://www.london-nano.com/research/new-forms-ice>

<https://ergodic.ugr.es/termo/lecciones/water1.html>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Ice\\_Ih](https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_Ih)