

Capítulo

20

# Mudanças de estado



# Mudanças de estado

## Estados físicos da matéria

A matéria pode se apresentar, basicamente, em três estados de agregação, também **chamados estados físicos** ou **fases**.

**Estado sólido**



Apresenta forma e volume bem definidos.

**Estado líquido**



Apresenta forma indefinida e volume bem definido.

**Estado gasoso**



Apresenta forma e volume indefinidos.

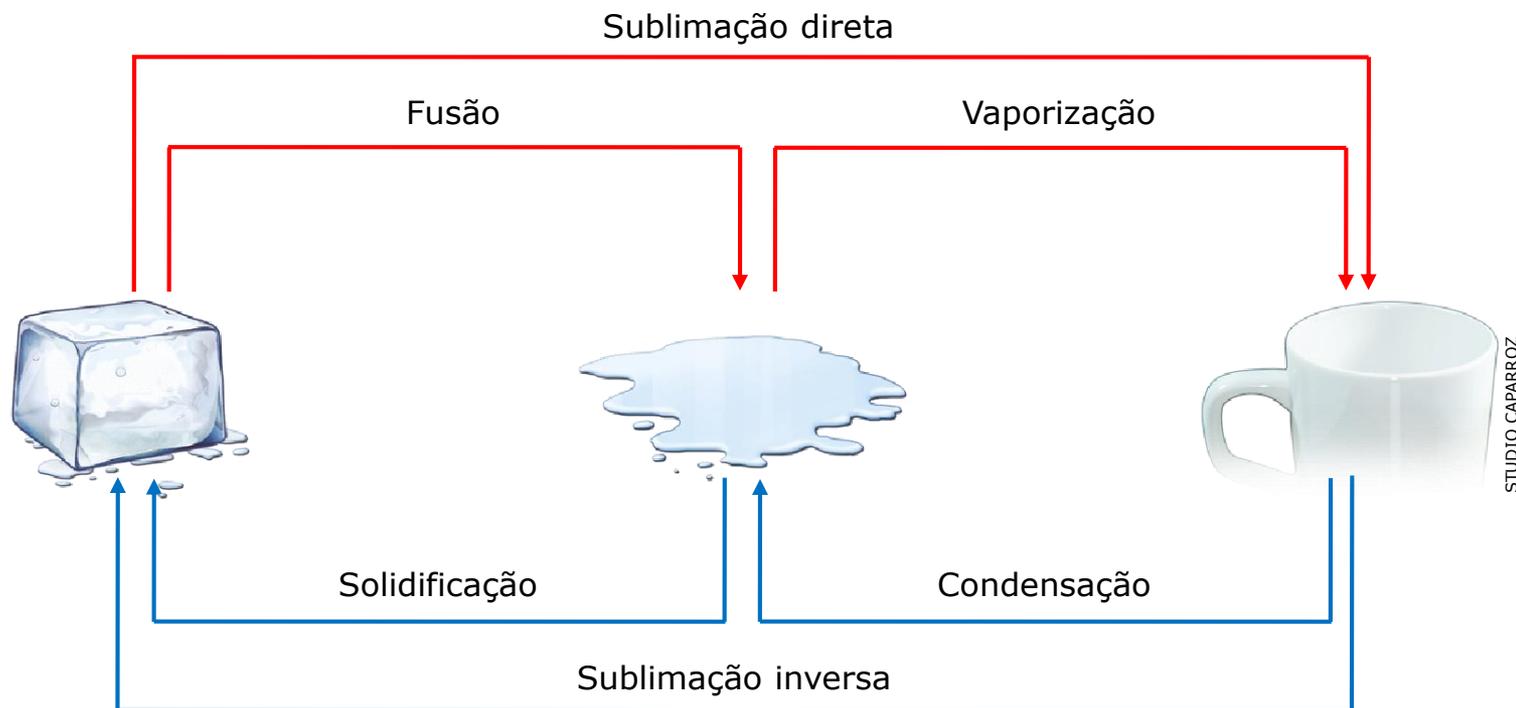
# Mudanças de estado

## Estados físicos da matéria

As mudanças de um estado para outro recebem nomes específicos.

# Mudanças de estado

## Estados físicos da matéria



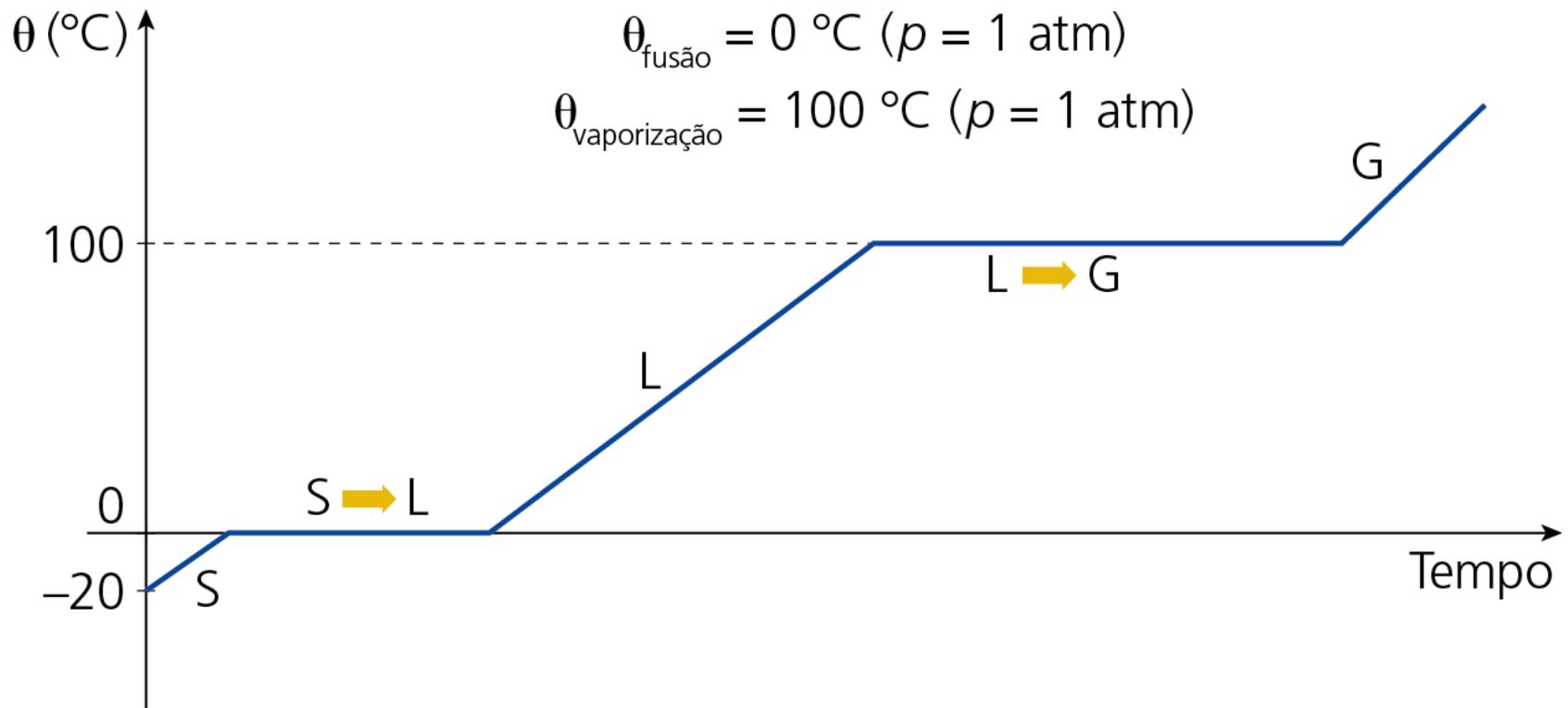
→ Mudanças que ocorrem com recebimento de calor

→ Mudanças que ocorrem com rejeição (perda) de calor

# Curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância pura

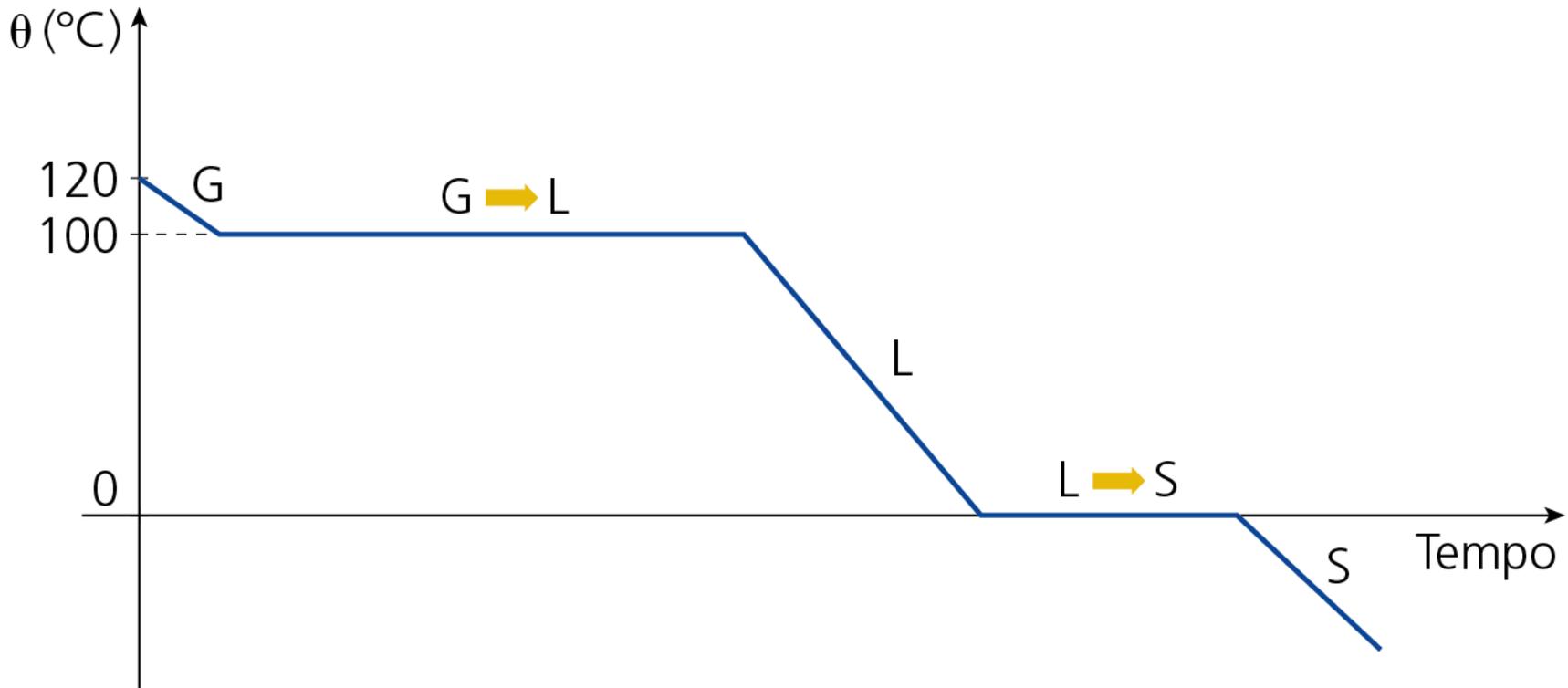
Para cada valor de pressão, as substâncias puras possuem ponto de fusão e ponto de ebulição constantes e definidos. Por exemplo, para a água, temos as seguintes curvas de aquecimento e resfriamento:

# Curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância pura



Curva de aquecimento

# Curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância pura



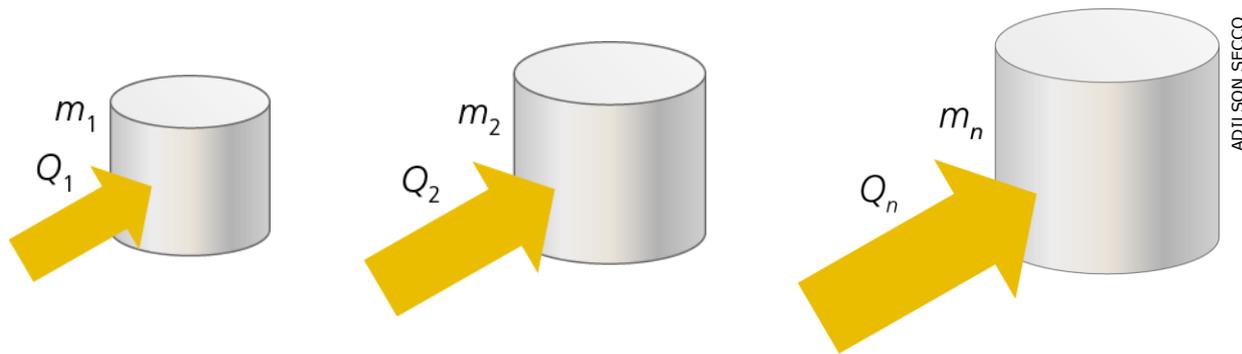
Curva de resfriamento

É importante ressaltar que as duas curvas apresentadas não foram desenhadas em escala.

# Calor latente

O calor que, recebido ou cedido por um corpo, provoca apenas a mudança de estado físico é chamado **calor latente**.

A quantidade de calor  $Q$  que provoca a mudança de estado físico de um material é diretamente proporcional à massa  $m$  que sofre a mudança de estado.



# Calor latente

Em linguagem matemática:

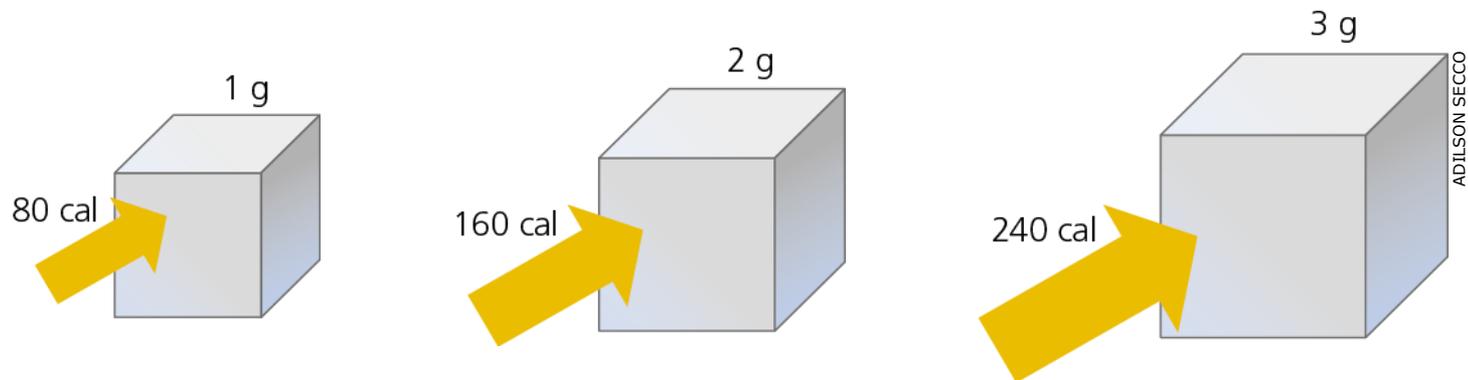
$$Q = m \cdot L$$

Na expressão acima, o coeficiente de proporcionalidade  $L$  é denominado **calor latente de mudança de estado do material**.

# Calor latente

Se dissermos, por exemplo, que o calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g, significa que, para derreter 1 g de gelo, a 0 °C, é necessário fornecer 80 cal.

Então, se  $L_{\text{fusão(gelo)}} = 80 \text{ cal/g}$ , temos, para gelo a 0 °C:



# Trocas de calor com mudanças de estado físico

No capítulo anterior, vimos como aplicar o princípio geral das trocas de calor em situações em que ocorriam apenas variações de temperatura.

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0 \quad (\text{Princípio geral das trocas de calor})$$

# Trocas de calor com mudanças de estado físico

Vamos analisar agora como aplicar esse mesmo princípio em situações em que, além da variação de temperatura, ocorrem também mudanças de estado físico.

Vamos considerar uma situação bastante comum.

# Trocas de calor com mudanças de estado físico

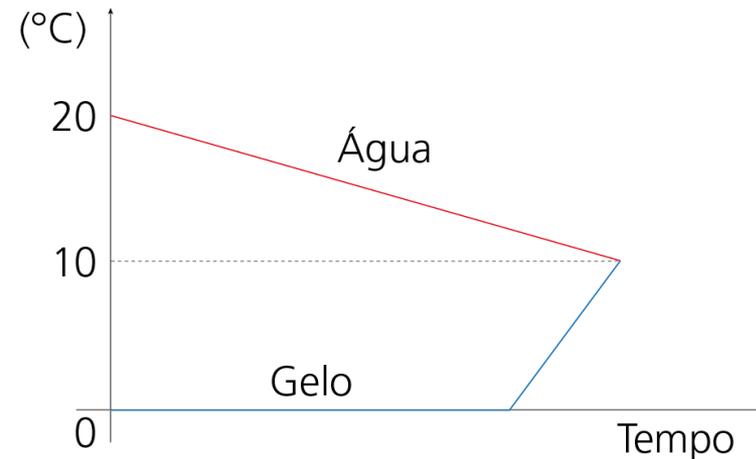
Um copo contém 300 g de água a 20 °C. Quantos gramas de gelo a 0 °C devemos colocar nessa água para que, no final, tenhamos apenas água a 10 °C?

Dados:

$$c_{\text{água}} = 1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$L_{f(\text{gelo})} = 80 \text{ cal/g}$$

# Trocas de calor com mudanças de estado físico



$$Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{água}} = 0$$

$$m_{\text{gelo}} \cdot 80 + m_{\text{gelo}} \cdot 1 \cdot (10 - 0) + 300 \cdot 1 \cdot (10 - 20) = 0$$

$$m_{\text{gelo}} \cdot 90 - 3.000 = 0 \Rightarrow m_{\text{gelo}} \approx 33,3 \text{ g}$$

# Diagrama de fases

O estado físico de uma substância depende da temperatura e da pressão a que a substância está submetida.

Assim, existem infinitos pares de valores de temperatura  $\theta$  e de pressão  $p$  que determinam se a substância está no estado sólido; outros infinitos pares  $(\theta, p)$  que determinam se ela está no estado líquido; e, ainda, mais infinitos pares  $(\theta, p)$  que determinam se ela está no estado gasoso.

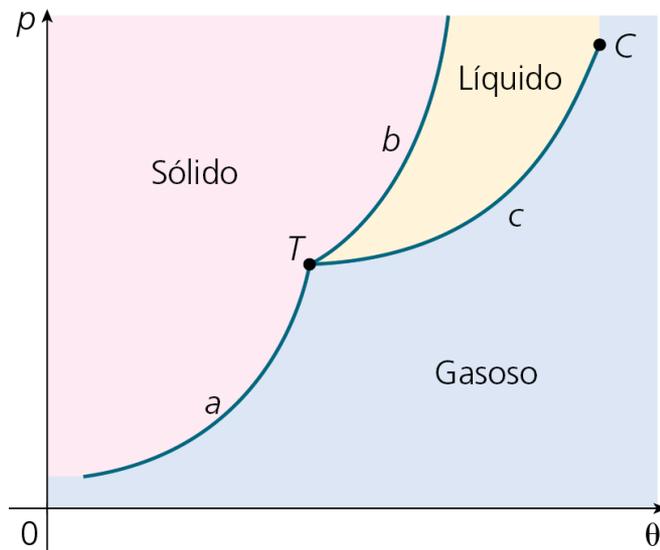
# Diagrama de fases

O conjunto de todos os pontos de temperatura  $\theta$  e de pressão  $p$  que mostra o correspondente estado físico da substância é denominado **diagrama de fases**.

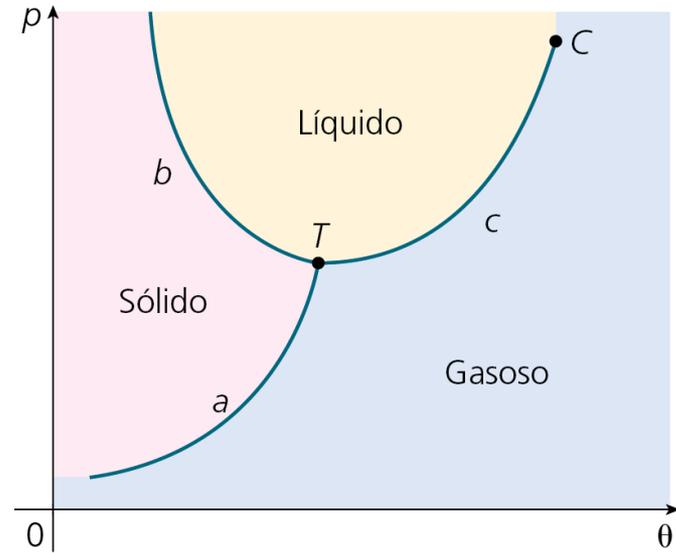
# Diagrama de fases

As figuras do *slide* seguinte mostram o diagrama de fases típico para a maioria das substâncias puras e o diagrama de fases para algumas exceções, como a água, o ferro, o bismuto e o antimônio.

# Diagrama de fases



Maioria das substâncias



ADILSON SECCO

Exceções

Curva  $a$ : Curva da sublimação-sublimação inversa

Curva  $b$ : Curva da fusão-solidificação

Curva  $c$ : Curva da vaporização-condensação

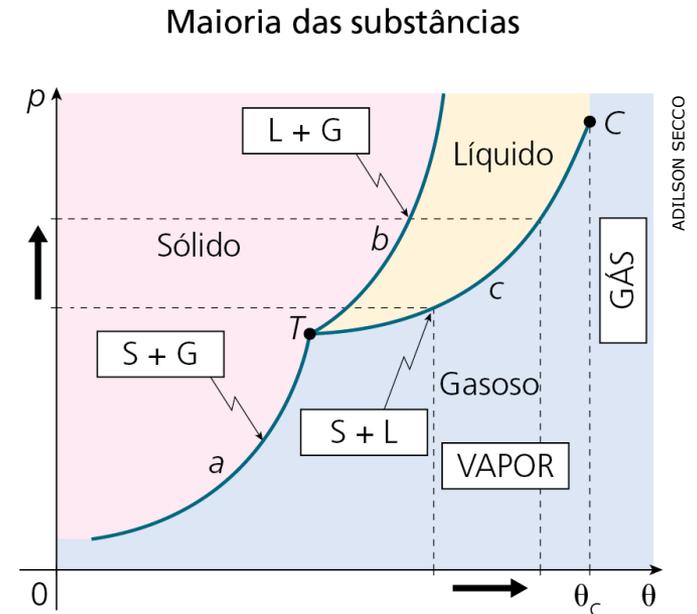
Ponto  $T$ : ponto triplo

Ponto  $C$ : ponto crítico

Vamos analisar cada um desses diagramas.

# Diagrama de fases

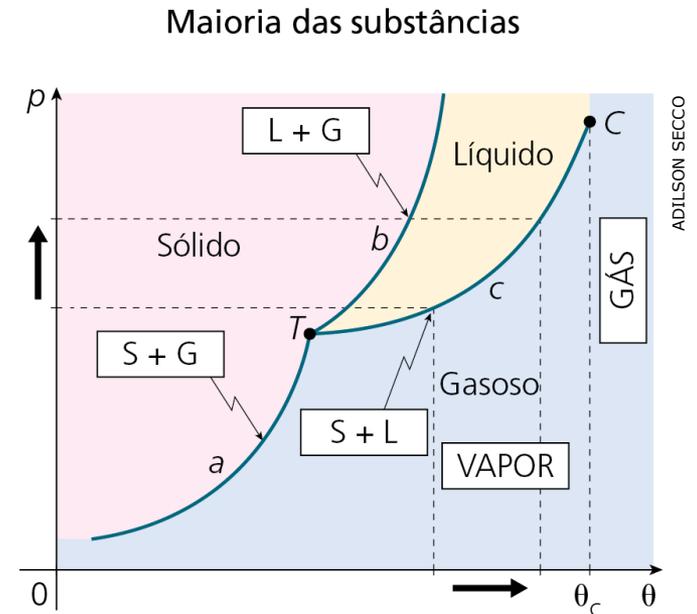
Um ponto sobre a curva ( $a$ ,  $b$  ou  $c$ ) indica a existência de duas fases simultaneamente. No ponto  $T$ , temos as três fases simultaneamente.





# Diagrama de fases

O ponto C define, para cada substância, uma temperatura crítica ( $\theta_c$ ), acima da qual a substância no estado gasoso é chamada **gás**. Abaixo da temperatura crítica, a substância no estado gasoso é chamada **vapor**.

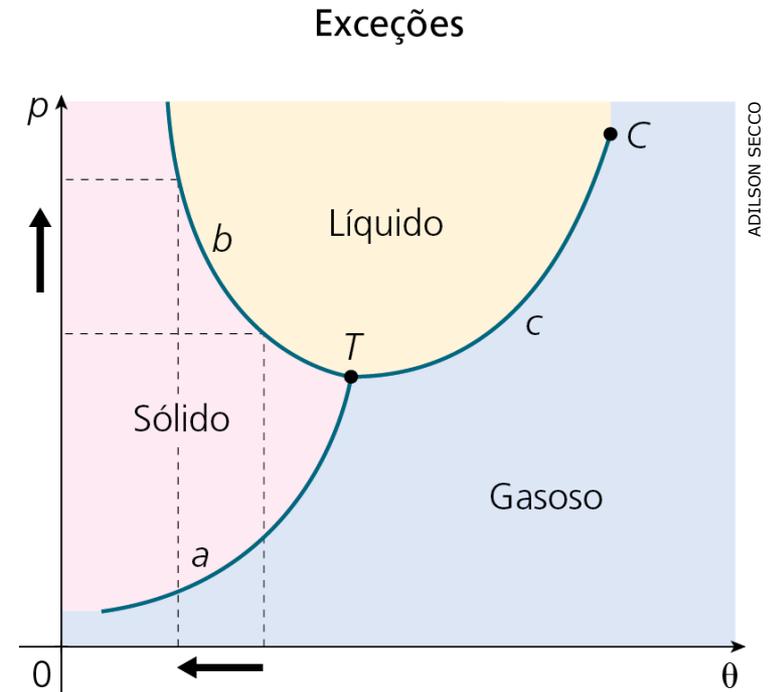


# Diagrama de fases

Como vimos, para a maioria das substâncias, um aumento da pressão exercida sobre a substância implica um aumento da temperatura de mudança de estado físico.

# Diagrama de fases

Entretanto, para substâncias que diminuem de volume ao sofrer fusão (caso da água, do ferro, do bismuto e do antimônio, por exemplo), um aumento de pressão favorece a mudança de estado, passando a mudança de estado a ocorrer em uma temperatura mais baixa.



## **ANOTAÇÕES EM AULA**

**Coordenação editorial:** Juliane Matsubara Barroso

**Elaboração de originais:** Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Cesar M. Penteado

**Edição de texto:** Eugênio Dalle Olle, Fabio Ferreira Rodrigues, Fernando Savoia Gonzalez, João Batista Silva dos Santos, Livia Santa Clara de Azevedo Ferreira, Lucas Maduar Carvalho Mota, Luiz Alberto de Paula e Silvana Sausmikat Fortes

**Preparação de texto:** Silvana Cobucci Leite

**Coordenação de produção:** Maria José Tanbellini

**Iconografia:** Daniela Baraúna, Érika Freitas, Fabio Yoshihito Matsuura, Flávia Aline de Moraes e Monica de Souza

**Diagramação:** Mamute Mídia

## **EDITORA MODERNA**

**Diretoria de Tecnologia Educacional**

**Editora executiva:** Kelly Mayumi Ishida

**Coordenadora editorial:** Ivonete Lucirio

**Editores:** Andre Jun e Natália Coltri Fernandes

**Assistentes editoriais:** Ciça Japiassu Reis e Renata Michelin

**Editor de arte:** Fabio Ventura

**Editor assistente de arte:** Eduardo Bertolini

**Assistentes de arte:** Ana Maria Totaro, Camila Castro e Valdeí Prazeres

**Revisores:** Antonio Carlos Marques, Diego Rezende e Ramiro Moraes Torres

© Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.  
Todos os direitos reservados.

## **EDITORA MODERNA**

Rua Padre Adelino, 758 – Belenzinho

São Paulo – SP – Brasil – CEP: 03303-904

Vendas e atendimento: Tel. (0\_\_11) 2602-5510

Fax (0\_\_11) 2790-1501

[www.moderna.com.br](http://www.moderna.com.br)

2012