

BCJ0205-15

# Fenômenos Térmicos

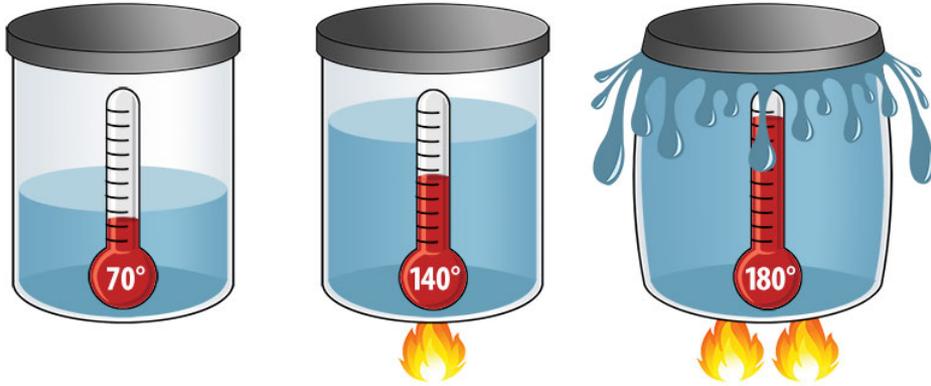
**Prof. Paramita Barai**

## **Modulo 2: Temperatura e a Teoria Cinética dos Gases**

Capítulo 16 do livro texto  
(Princípios de Física, Serway, Vol. 2)

Unidade 16.3 (páginas 134-139)

# 2.3 – Expansão Térmica de Sólidos e Líquidos



- **Expansão Térmica** = Fenômeno de aumento de volume da maioria das substâncias sólidas e líquidas quando sua temperatura aumenta.

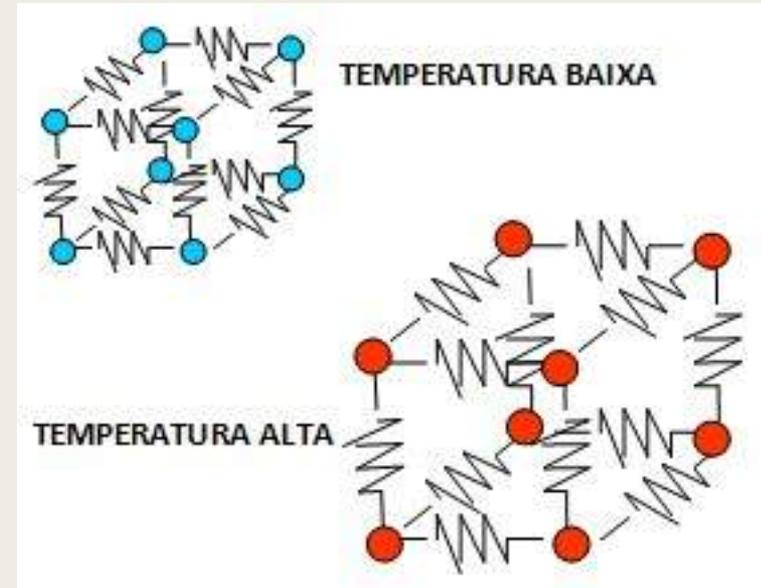
- Aplicações de engenharia onde isso deve ser levado em consideração:

- *Juntas de dilatação térmica incluídas*
  - Edifícios,
  - Estradas de concreto,
  - Trilhos de ferrovia,
  - Pontes, ...,
- *para compensar as mudanças dimensionais causadas por variações de temperatura.*



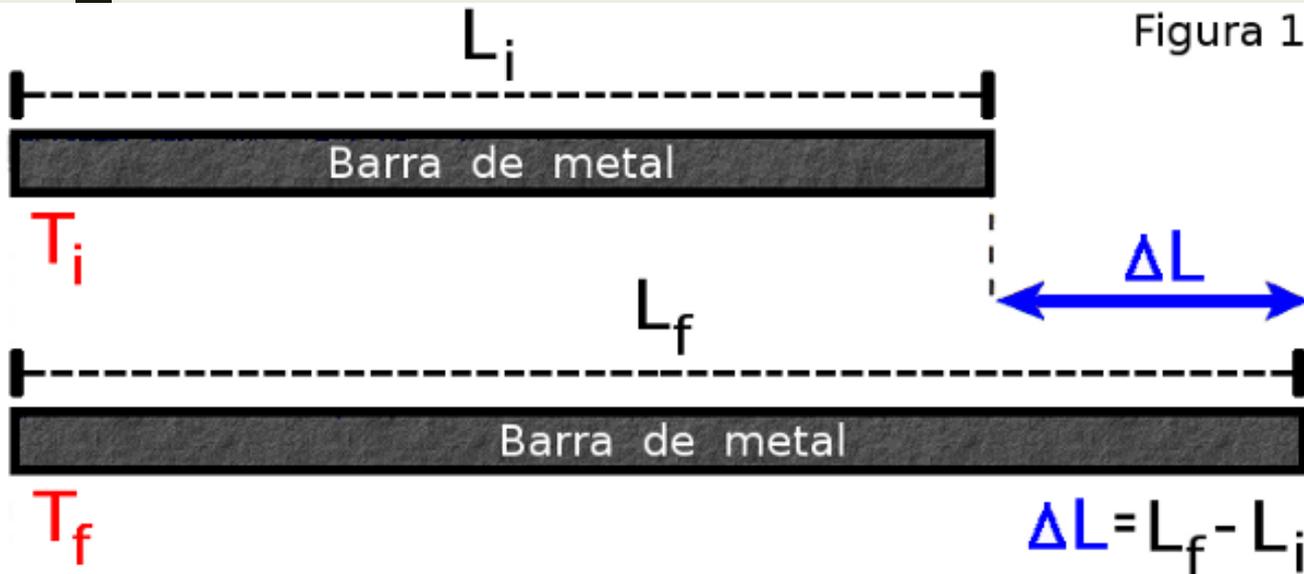
# Modelo Estrutural de Átomos em Sólido

- ❑ Átomos são partículas esféricas localizadas em suas posições de equilíbrio
- ❑ Forças interatômicas são elásticas
  - *Podemos assumir que os átomos estão conectados por molas entre átomos vizinhos*
- ❑ Se um átomo for movido para longe de sua posição de equilíbrio, a distorção das molas fornece uma força restauradora.
- ❑ Quando o átomo é liberado, ele oscila
  - *Podemos aplicar o modelo de partícula em movimento harmônico.*



- Quando a temperatura do sólido aumenta, a distância média entre os átomos aumenta.
  - ***Expansão Térmica***
- É o resultado de um colapso no modelo de movimento harmônico simples.

# Dilatação Linear



- Se a expansão térmica de um corpo é pequena em relação às suas dimensões iniciais, a mudança em qualquer dimensão é aproximadamente proporcional à mudança de temperatura.

- Se o objeto tem um comprimento inicial =  $L_i$ , a uma temperatura inicial =  $T_i$
- Para uma mudança de temperatura  $\Delta T$ , o comprimento aumenta  $\Delta L$

Os experimentos demonstram →

- $L_f$  = Comprimento final
- $T_f$  = Temperatura final

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T$$

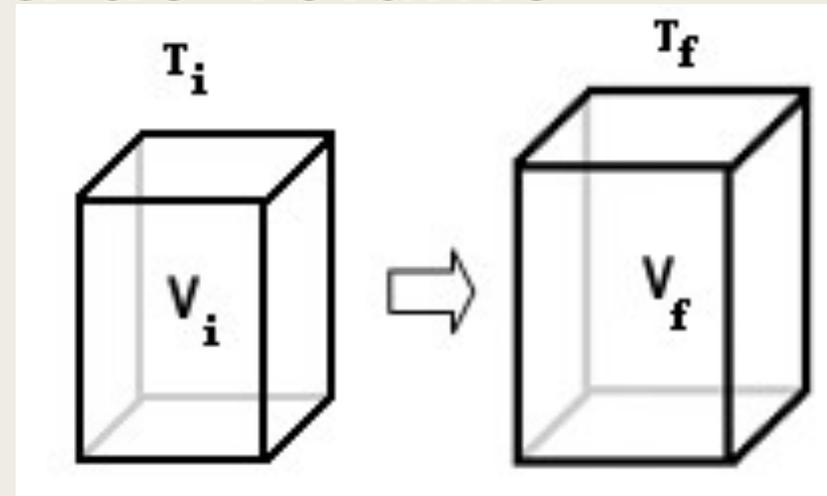
ou,

$$L_f - L_i = \alpha L_i (T_f - T_i)$$

- Constante de proporcionalidade =  $\alpha$  = Coeficiente Médio de Expansão Linear
  - Unidade de  $\alpha$  = graus Celsius invertidos =  $(^\circ \text{C})^{-1}$

# Expansão Térmica de Volume

- Caixa cúbica sólida, cada lado  $L_i$
- Volume inicial do cubo:  $V_i = L_i^3$
- Quando a temperatura aumenta, cada lado do cubo aumenta para:  
 $L_f = L_i + \alpha L_i \Delta T$



- Novo Volume:

$$V_f = L_f^3 = (L_i + \alpha L_i \Delta T)^3$$
$$= L_i^3 + 3L_i^3 \alpha \Delta T + 3L_i^3 (\alpha \Delta T)^2 + L_i^3 (\alpha \Delta T)^3$$

$\because \alpha \Delta T \ll 1, \rightarrow (\alpha \Delta T)^2 \ll \ll 1, (\alpha \Delta T)^3 \ll \ll 1$

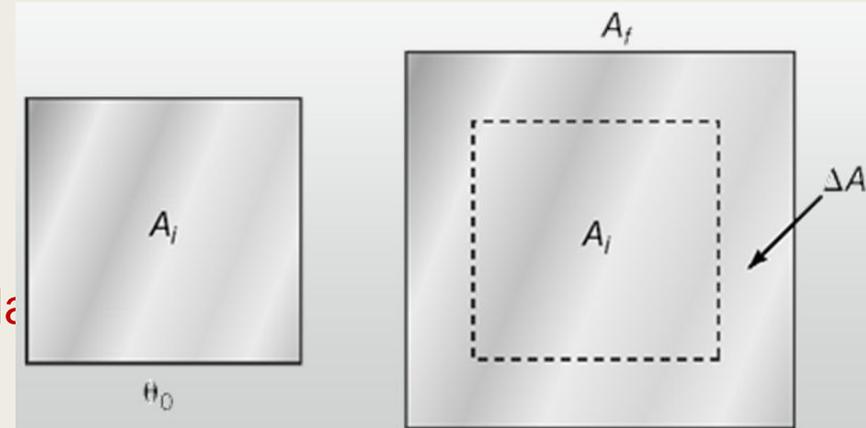
$$\rightarrow V_f = L_f^3 = L_i^3 + 3L_i^3 \alpha \Delta T = V_i + 3\alpha V_i \Delta T$$

ou,  $\Delta V = V_f - V_i = \beta V_i \Delta T$

- ✓  $\beta =$  Coeficiente Médio de Expansão Volumétrica
- ✓  $\beta = 3\alpha$

# Expansão Térmica de Área

- Quadrado, cada lado  $L_i$
- Área inicial:  $A_i = L_i^2$
- Quando a temperatura aumenta, cada lado do quadrado aumenta:  
 $L_f = L_i + \alpha L_i \Delta T$



- Novo Área:

$$A_f = L_f^2 = (L_i + \alpha L_i \Delta T)^2$$
$$= L_i^2 + 2L_i^2 \alpha \Delta T + L_i^2 (\alpha \Delta T)^2$$

$\because \alpha \Delta T \ll 1, \rightarrow (\alpha \Delta T)^2 \ll \ll 1$

$$\rightarrow A_f = L_f^2 = L_i^2 + 2L_i^2 \alpha \Delta T = A_i + 2\alpha A_i \Delta T$$

$$\text{ou, } \Delta A = A_f - A_i = \gamma A_i \Delta T$$

✓  $\gamma =$  Coeficiente Médio da Expansão de Área

✓  $\gamma = 2\alpha$

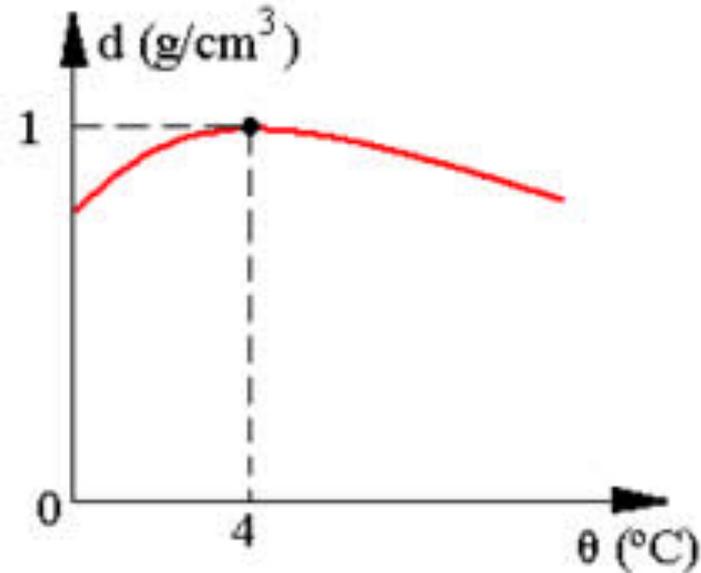
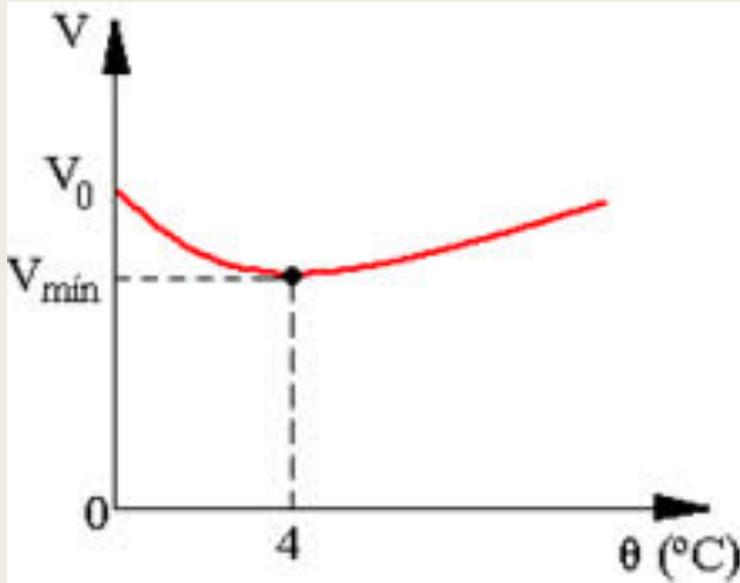
## A Tabela mostra o coeficiente médio de expansão linear de vários materiais

Para esses materiais,  $\alpha$  é positivo, indicando um acréscimo no comprimento com o aumento da temperatura

substância	Coeficiente de expansão linear ( $\alpha$ ) em $^{\circ}\text{C}^{-1}$
aço	$1,1 \times 10^{-5}$
alumínio	$2,4 \times 10^{-5}$
chumbo	$2,9 \times 10^{-5}$
cobre	$1,7 \times 10^{-5}$
ferro	$1,2 \times 10^{-5}$
latão	$2,0 \times 10^{-5}$
ouro	$1,4 \times 10^{-5}$
prata	$1,9 \times 10^{-5}$
vidro comum	$0,9 \times 10^{-5}$
vidro pirex	$0,3 \times 10^{-5}$
zinco	$6,4 \times 10^{-5}$

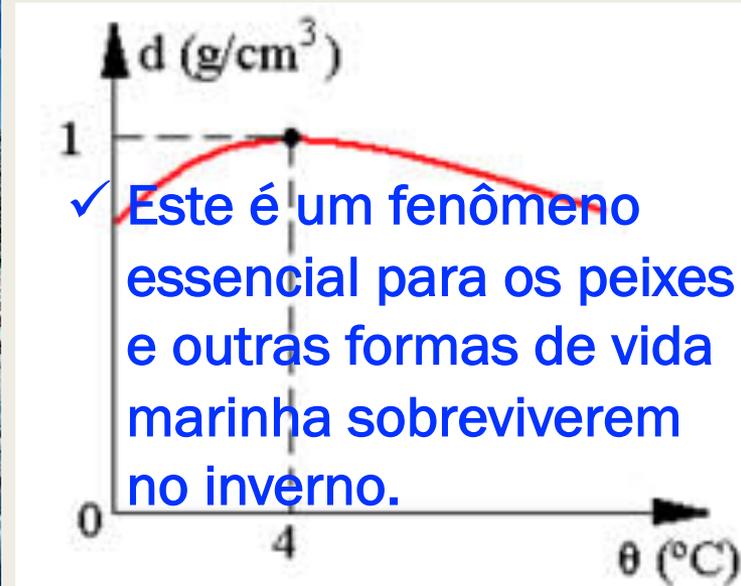
A calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), expande-se ao longo de uma dimensão ( $\alpha$  positivo) e contraem ao longo de outra ( $\alpha$  é negativo) com o aumento da temperatura.

# Comportamento Incomum da Água



- ❖ Líquidos geralmente aumentam de volume com o aumento da temperatura.
  - *Mas, a água fria é uma exceção.*
- **A densidade máxima da água ( $= 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) ocorre a  $4^{\circ}\text{C}$**
- Quando a temperatura aumenta de  $0^{\circ}\text{C}$  para  $4^{\circ}\text{C}$ , a água se contrai e sua densidade aumenta.
- Acima de  $4^{\circ}\text{C}$ , a água exibe a expansão esperada com o aumento da  $T$ .

# Esta Expansão Incomum da Água é Essencial para a Vida Marinha na Terra



- Isso explica por que um lago congela só na superfície.
  - *Quando a temperatura do ar cai de 4° C para 0° C, a água se expande.*
  - *Tornando-se menos densa do que a água abaixo, e não afunda.*
  - *A água congela, o gelo continua a se acumular na superfície, enquanto a água perto do fundo permanece a 4° C.*