



# Física [na pandemia]

## Aula 10

...

Prof. Dr. José Rafael Bordin  
Departamento de Física  
UFPel



# Sumário

→ Estados da Matéria

→ Temperatura

→ Calor





# Estados da Matéria

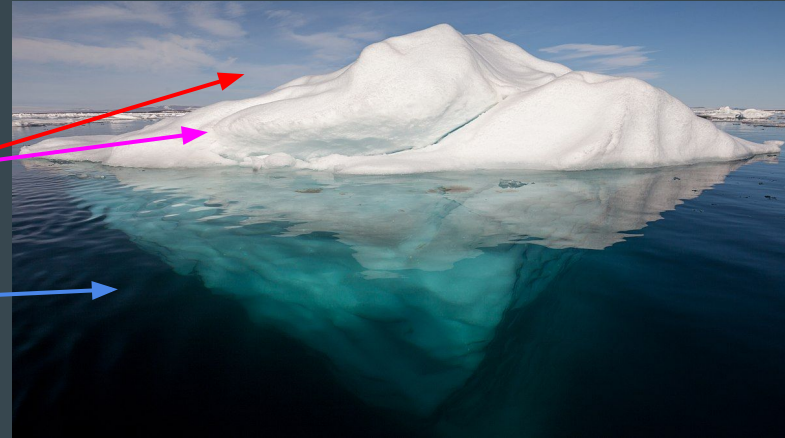
→ A matéria pode ser encontrada em diferentes fases

→ No nosso dia a dia estamos acostumados a ver a matéria em três fases:

**sólida**

**líquida**

**gasosa**



→ Outras fases “comuns”: plasma, cristal líquido (dos liquid crystal display, ou LCD), vidro

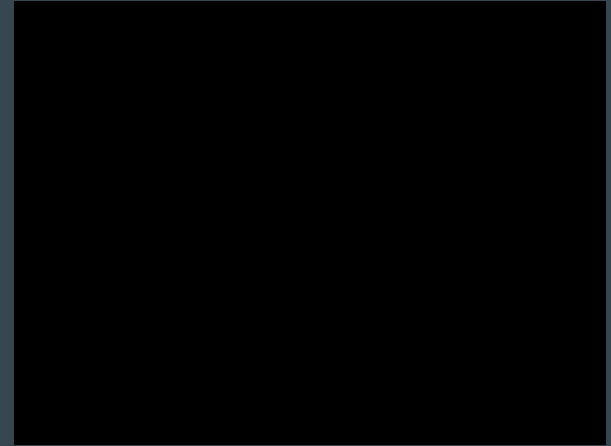


# Estados da Matéria

→ Um **sólido** apresenta uma estrutura molecular ordenada, com as partículas fixas (ou oscilando muito pouco). Macroscopicamente, possui forma e volumes bem definidos

→ Um líquido não possui moléculas ordenadas como o sólido. A ligação molecular é forte o suficiente para que o volume ocupado seja bem definido - mas a forma não

→ Um gás se caracteriza pela alta mobilidade das moléculas. Não possui forma nem volume definidos



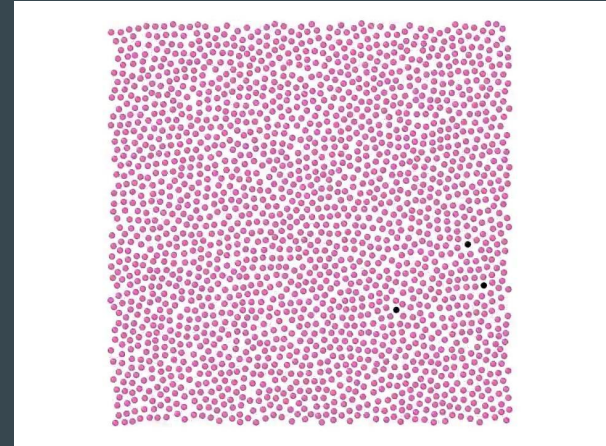


# Estados da Matéria

→ Um sólido apresenta uma estrutura molecular ordenada, com as partículas fixas (ou oscilando muito pouco). Macroscopicamente, possui forma e volumes bem definidos

→ Um **líquido** não possui moléculas ordenadas como o sólido. A ligação molecular é forte o suficiente para que o volume ocupado seja bem definido - mas a forma não

→ Um gás se caracteriza pela alta mobilidade das moléculas. Não possui forma nem volume definidos



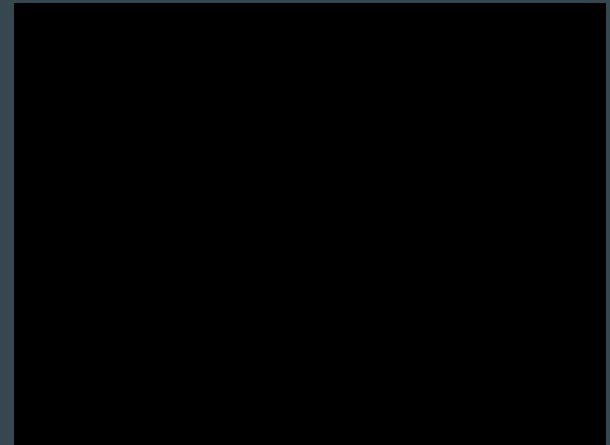


# Estados da Matéria

→ Um sólido apresenta uma estrutura molecular ordenada, com as partículas fixas (ou oscilando muito pouco). Macroscopicamente, possui forma e volumes bem definidos

→ Um líquido não possui moléculas ordenadas como o sólido. A ligação molecular é forte o suficiente para que o volume ocupado seja bem definido - mas a forma não

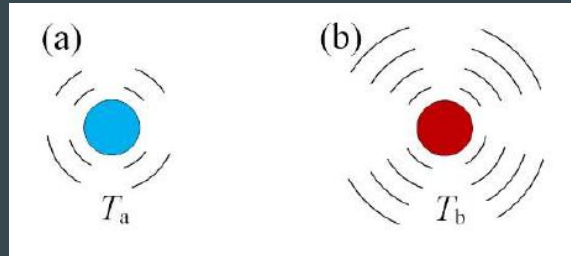
→ Um **gás** se caracteriza pela alta mobilidade das moléculas. Não possui forma nem volume definidos





# Temperatura

- Variando grandezas físicas, como pressão e densidade, é possível mudar a fase da matéria
- Contudo, no nosso dia a dia a forma mais usual de provocar uma mudança de fase - como fazer gelo - é variando a **TEMPERATURA**
- A Temperatura está ligada ao grau de agitação das moléculas. Quanto maior, mais agitada elas estão





# Temperatura

- Existe um limite inferior pra Temperatura - o limite onde não existe nenhum movimento
- Este limite é chamado de **ZERO ABSOLUTO**
- Na escala Celsius (que usamos para medir a temperatura no dia a dia), este valor é **-273,16 °C**
- A escala Celsius é baseada na água: o 0°C é a temperatura onde a água congela, e a 100°C evapora





# Temperatura Absoluta

→ Do ponto de vista termodinâmico, temperatura negativa não faz sentido - NÃO EXISTE MOVIMENTO NEGATIVO

→ Por isso que utilizamos a escala Kelvin, que é uma escala ABSOLUTA, tal que o zero absoluto equivale ao 0 K (sem o símbolo de graus!)

→ Na verdade, a escala Kelvin é um shift na escala Celsius

$$T_K = T_C + 273 \text{ (K).}$$

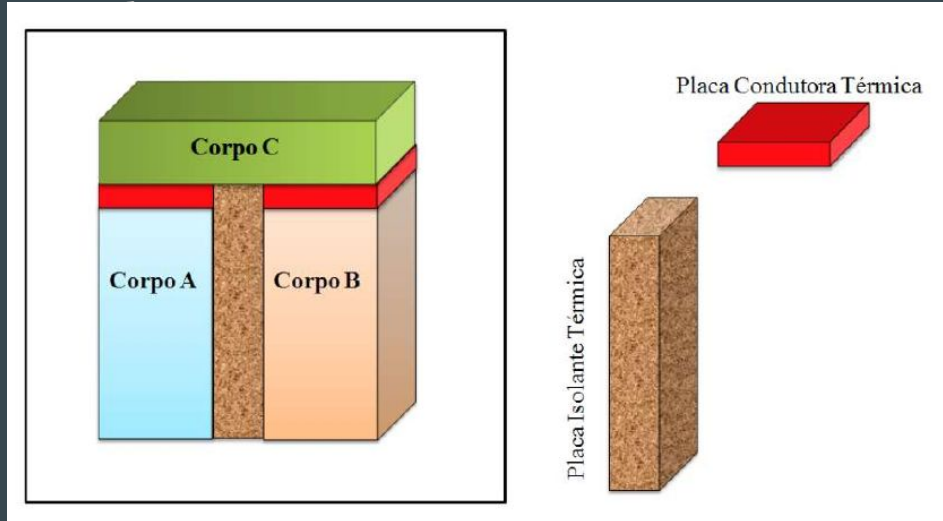
$$\Delta T_K = \Delta T_C$$



# Equilíbrio Térmico - Lei Zero da Termodinâmica

“DOIS CORPOS EM EQUILÍBRIO TÉRMICO POSSUEM A MESMA TEMPERATURA”

Ou seja, se A está em equilíbrio térmico com C, e C está em equilíbrio térmico com B,



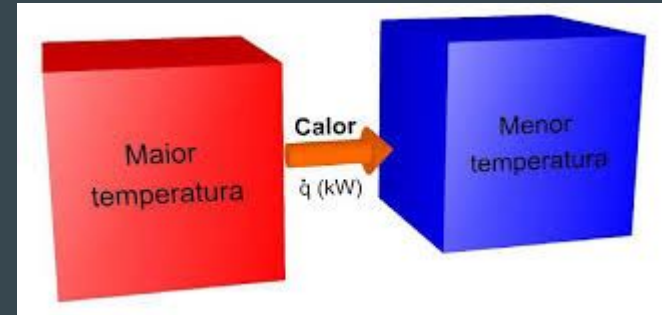


# Equilíbrio Térmico e Calor

- Se dois corpos com temperaturas diferentes são colocados em contatos eles irão trocar energia até atingirem o equilíbrio térmico [por isso a cerveja aquece na mesa]
- A troca de energia entre dois corpos a temperaturas diferentes recebe o nome de

## CALOR (Q)

- Ele sempre flui do corpo quente para o frio
- Unidades de energia: Joule, caloria, ...





# Calor e Variação de Temperatura

→ Um corpo que recebe ou perde uma quantidade de calor  $Q$  irá sofrer uma variação de temperatura  $\Delta T$  que depende da **CAPACIDADE TÉRMICA**  $C$  deste corpo

$$Q = C \cdot \Delta T \quad (\text{cal ou J})$$

→  $C$  depende da massa do corpo recebendo/cedendo calor e do material que este corpo é feito:  $C = c \cdot m$

→  $c$  é o CALOR ESPECÍFICO do material - é uma propriedade da matéria, não do corpo

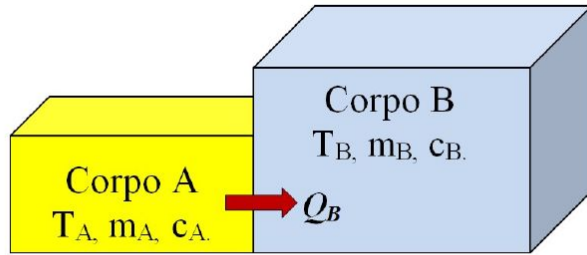
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T, \quad (\text{cal ou J})$$



Substância	Calor Específico [c]=cal/(g·°C)	Estado
Água doce	1,0	Líquido
Água do mar	0,93	Líquido
Etanol	0,58	Líquido
Gelo (-10°C)	0,55	Sólido
Madeira	0,42	Sólido
Alumínio	0,215	Sólido
Vidro	0,2	Sólido
Granito	0,19	Sólido
Cobre	0,0923	Sólido
Latão	0,092	Sólido
Prata	0,0564	Sólido
Mercúrio	0,033	Líquido
Tungstênio	0,0321	Sólido
Chumbo	0,0305	Sólido

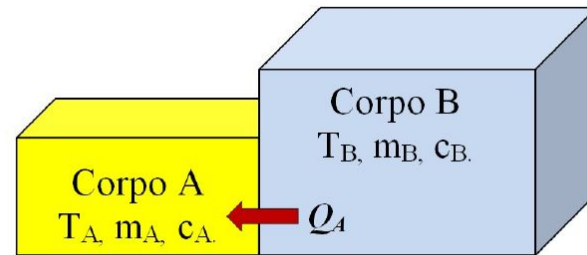


Isolamento térmico



Se  $T_A > T_B$  o calor irá fluir do corpo A para o corpo B. O calor que o corpo B ganha é igual ao calor que o corpo A perde. Ou seja:  $Q_B = -Q_A$  ou  $Q_A + Q_B = 0$ .

Isolamento térmico



Se  $T_A < T_B$  o calor irá fluir do corpo B para o corpo A. O calor que o corpo A ganha é igual ao calor que o corpo B perde. Ou seja:  $Q_A = -Q_B$  ou  $Q_A + Q_B = 0$ .

$$Q_A + Q_B = 0$$

$$m_A \cdot c_A \cdot (\underbrace{T_{eq}}_{final} - \underbrace{T_A}_{inicial}) + m_B \cdot c_B \cdot (\underbrace{T_{eq}}_{final} - \underbrace{T_B}_{inicial}) = 0$$

$$T_{eq} = \frac{m_A \cdot c_A \cdot T_A + m_B \cdot c_B \cdot T_B}{m_A \cdot c_A + m_B \cdot c_B},$$

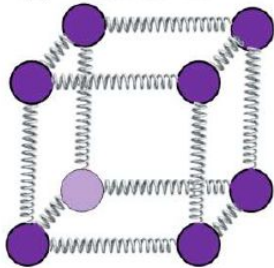


# Calor e Mudança de Fase

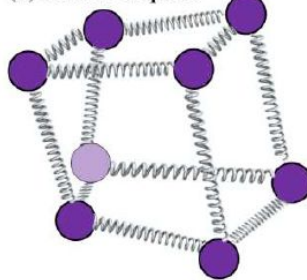
→ O que acontece quando eu resfrio água líquida até chegar em  $0^{\circ}\text{C}$  e sigo removendo calor? Ela solidifica!

→ Quando um corpo chega na temperatura de **transição de fase** e segue recebendo/perdendo calor, a variação de temperatura cessa e toda a energia recebida/perdida é utilizada no rearranjo molecular do corpo

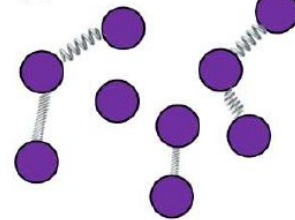
(a) Estado Sólido



(b) Estado Líquido



(c) Estado Gasoso





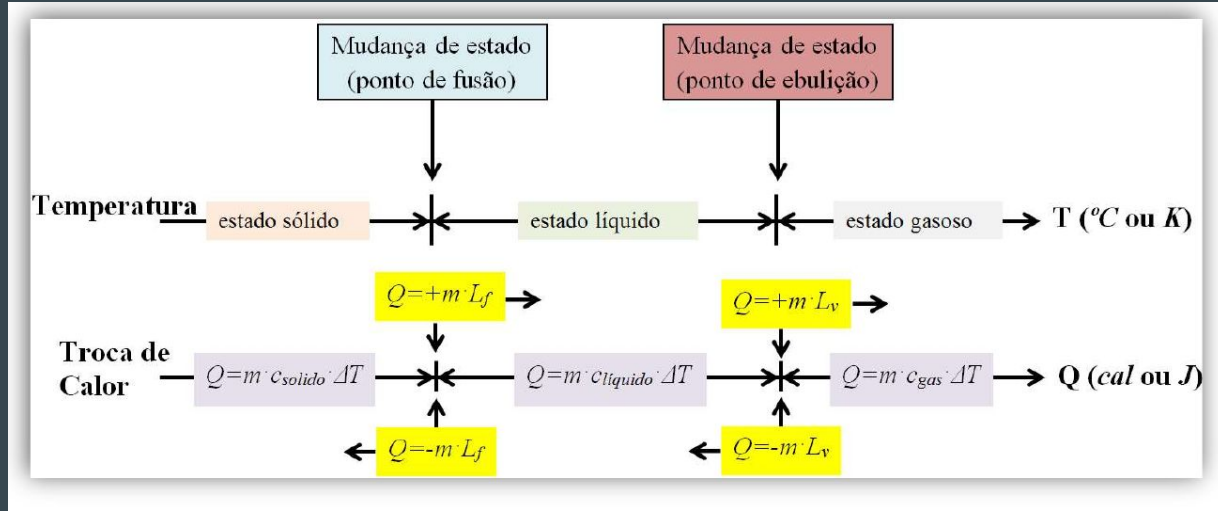
# Calor Latente

→ O Calor associado com a transição de fase ganha o nome de Calor Latente de Transformação  $L$ : ele é a quantidade de energia necessária pra romper/formar as ligações moleculares por unidade de massa, e é uma propriedade de cada material

$$Q = \pm m \cdot L$$

→ O sinal é positivo se o corpo recebe calor, e negativo se perde



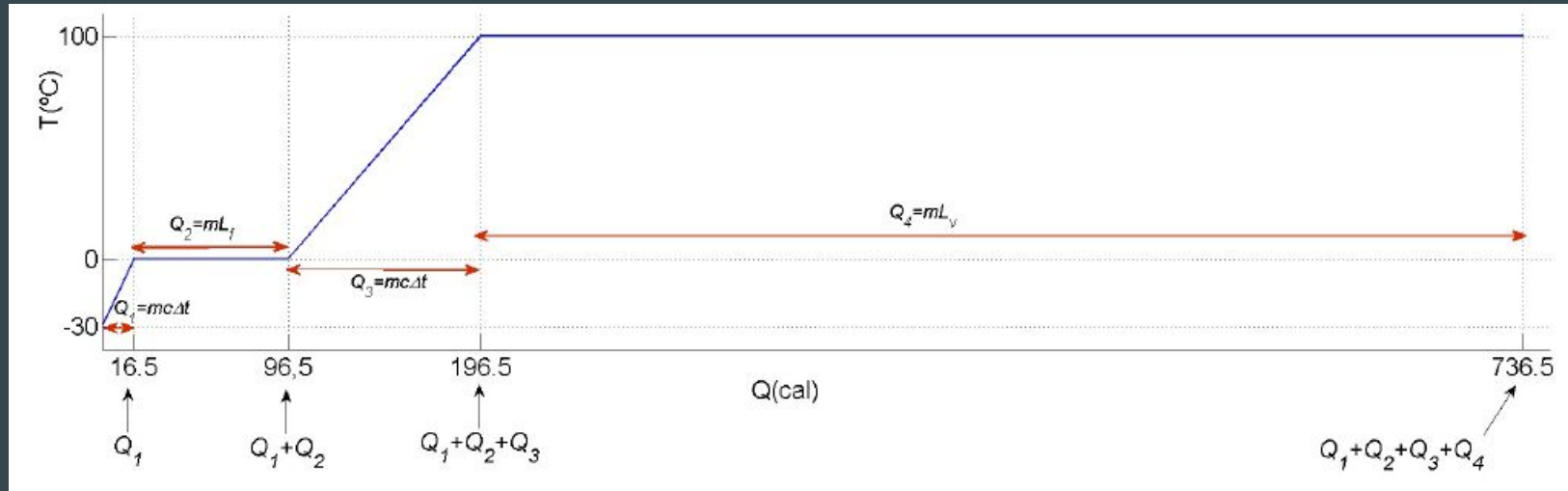


Substância	Ponto de fusão ( $^{\circ}\text{C}$ )	Calor Latente de Fusão $L_f$ (cal/g)	Ponto de ebulição ( $^{\circ}\text{C}$ )	Calor Latente de vaporização $L_v$ (cal/g)
Água $\text{H}_2\text{O}$	0	79,50	100	538,42
Mercúrio $\text{Hg}$	-39	2,72	357	70,64
Oxigênio $\text{O}_2$	-218	3,32	-182	50,84
Nitrogênio $\text{N}_2$	-210	6,1	-196	48,0
Hidrogênio $\text{H}_2$	-259	13,84	-252,7	108,59
Chumbo $\text{Pb}$	328	5,54	1744	204,77
Cobre $\text{Cu}$	108	49,4	2595	1128,87



# Caso especial: água

Calcular o calor necessário para vaporizar completamente 1g de gelo, estando inicialmente a temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$ .





*Primeiro passo:* aquecer o gelo de  $-30^{\circ}\text{C}$  até a temperatura final de  $0^{\circ}\text{C}$  para então, derretê-lo.

$$Q_1 = m_{\text{gelo}} \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta T \Rightarrow Q_1 = 1 \cancel{\text{g}} \cdot 0,55 \frac{\text{cal}}{\cancel{\text{g}} \cdot ^{\circ}\cancel{\text{C}}} \cdot (0^{\circ}\cancel{\text{C}} - (-30^{\circ}\cancel{\text{C}})) = \underline{16,5\text{cal}}$$

*Segundo passo:* derreter completamente o gelo:

$$Q_2 = +m_{\text{gelo}} \cdot L_f \Rightarrow Q_2 = 1 \cancel{\text{g}} \cdot 80 \frac{\text{cal}}{\cancel{\text{g}}} = \underline{80\text{cal}}$$

*Terceiro passo:* com o gelo derretido, agora vamos aquecer a água de  $0^{\circ}\text{C}$  até a temperatura final de  $100^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_3 = m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T \Rightarrow Q_3 = 1 \cancel{\text{g}} \cdot 1,0 \frac{\text{cal}}{\cancel{\text{g}} \cdot ^{\circ}\cancel{\text{C}}} \cdot (100^{\circ}\cancel{\text{C}} - 0^{\circ}\cancel{\text{C}}) = \underline{100,0\text{cal}}$$

*Quarto passo:* com a água na temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ , agora vamos vaporizá-la completamente.

$$Q_4 = +m_{\text{agua}} \cdot L_v \Rightarrow Q_4 = 1 \cancel{\text{g}} \cdot 540 \frac{\text{cal}}{\cancel{\text{g}}} = \underline{540\text{cal}}$$

A energia total é a soma do calor usado em cada passo:

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 16,5\text{cal} + 80\text{cal} + 100\text{cal} + 540\text{cal} = \underline{736,5\text{cal}}. \text{ Este é o calor necessário para vaporizar } 1\text{g de gelo, inicialmente na temperatura de } -30^{\circ}\text{C}.$$