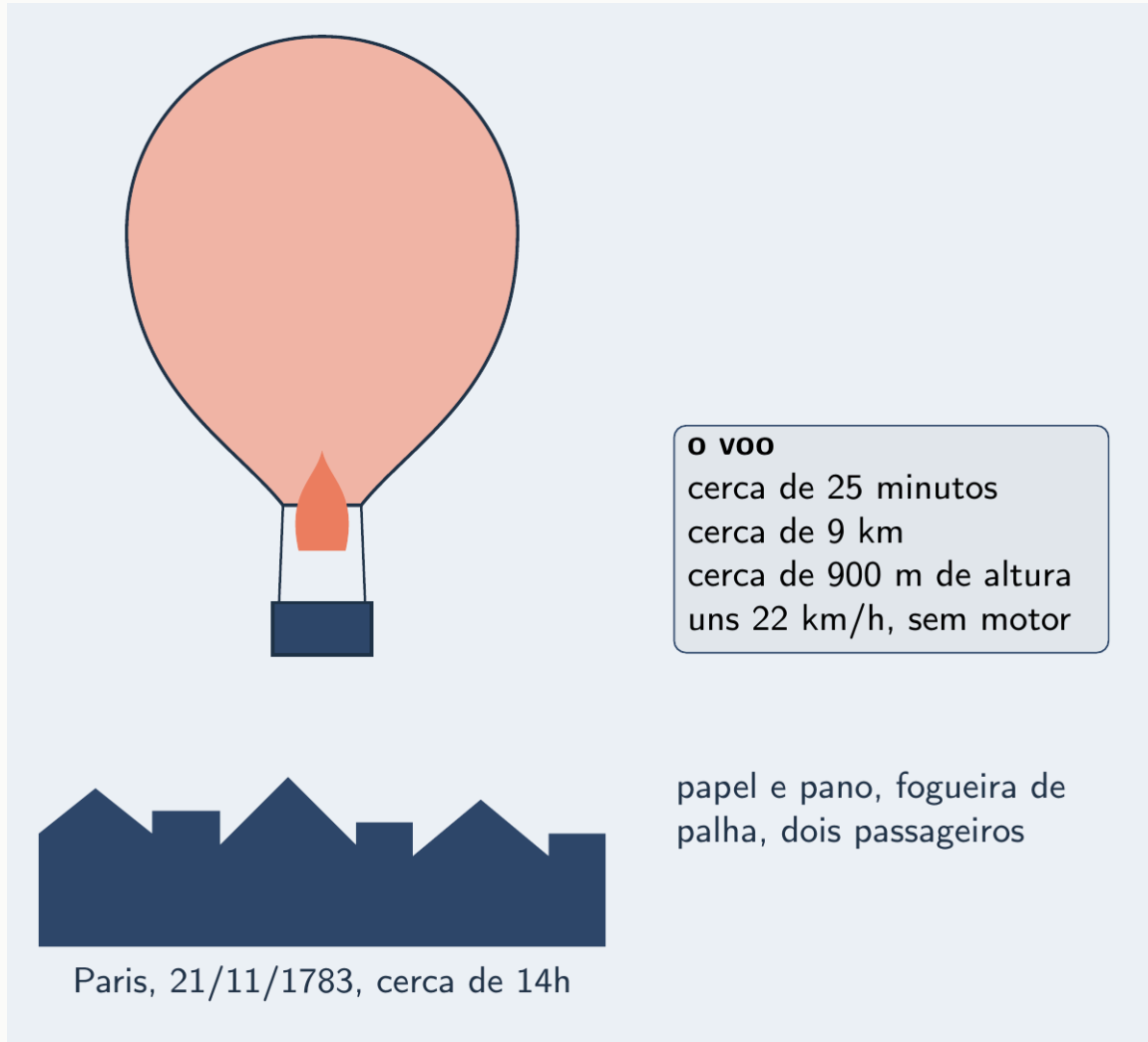


Termodinâmica I · Episódio 11

O balão que subiu sobre Paris

Convecção e correntes

O caso

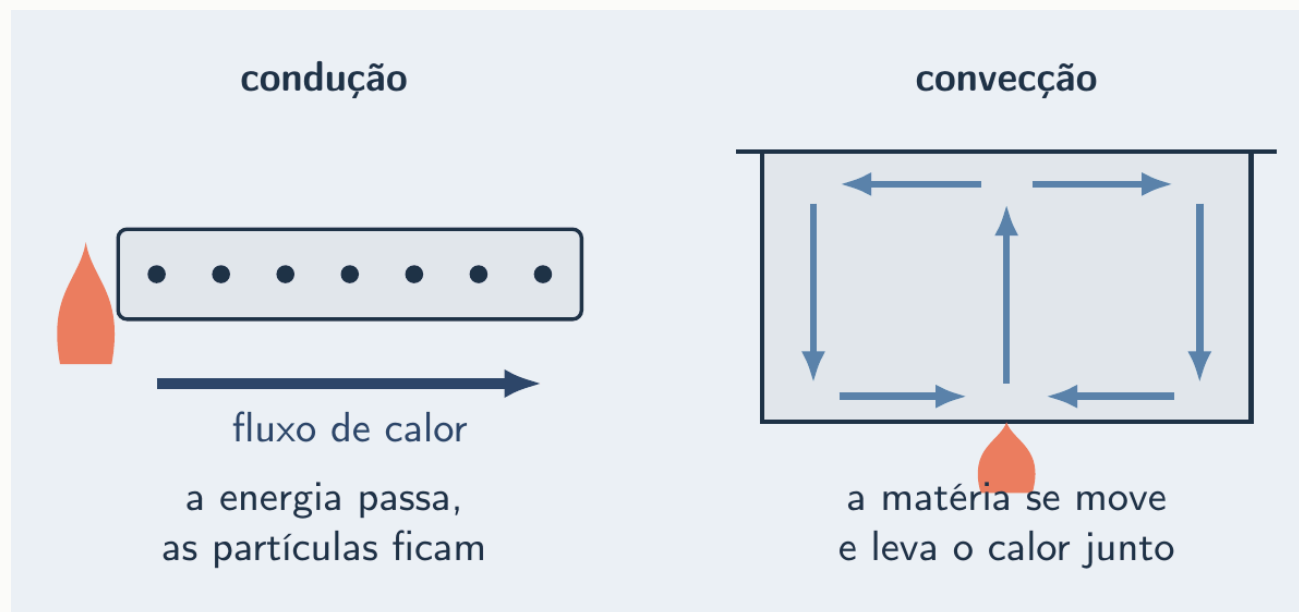


- Paris · 21/11/1783 · Pilâtre de Rozier e d'Arlandes
- ~**25 min** de voo · ~**9 km** · ~**900 m** de altura
- ~22 km/h, só com o vento · sem motor, sem asa
- Montgolfier: "a fumaça sobe sozinha" — efeito certo, motivo errado

Pergunta do episódio

Por que ar quente sobe — e quanto peso ele levanta?

Conceito 1 – O segundo caminho



- **convecção**: fluido quente se desloca e leva a energia
- só líquido e gás · sólido não faz
- motor: **diferença de densidade** · **X** "o calor sobe" ·
✓ o ar quente sobe

Exemplo resolvido – a velocidade do voo

Balão percorre 9 km em 25 min, arrastado pelo ar

Fórmula:

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

Substituição:

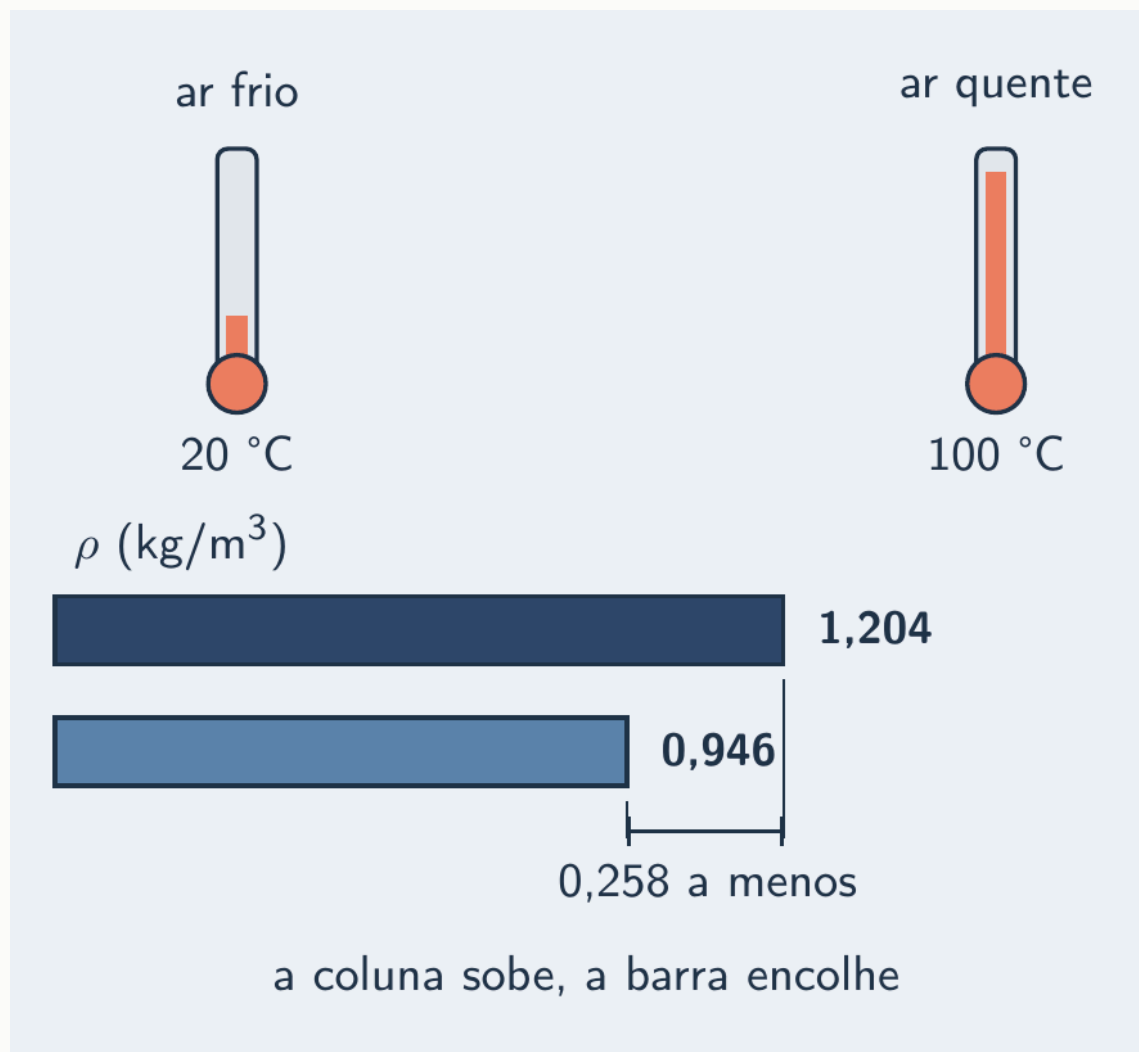
$$v = \frac{9 \text{ km}}{0,417 \text{ h}}$$

Resultado:

$$v \approx \mathbf{22 \text{ km/h}}$$

- 25 min são 0,417 h · ritmo de bicicleta

Conceito 2 – Ar quente, menos denso



- esquentando → expande → mesma massa, mais volume
- pressão fixa: $\rho \propto \frac{1}{T} \cdot T$ em **kelvin** (°C + 273)
- 20 °C: 1,204 kg/m³ · 100 °C: 0,946 kg/m³

Exemplo resolvido – ar a cem graus

Ar a 20 °C com 1,204 kg/m³; densidade a 100 °C?

Fórmula:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 T_1}{T_2}$$

Substituição:

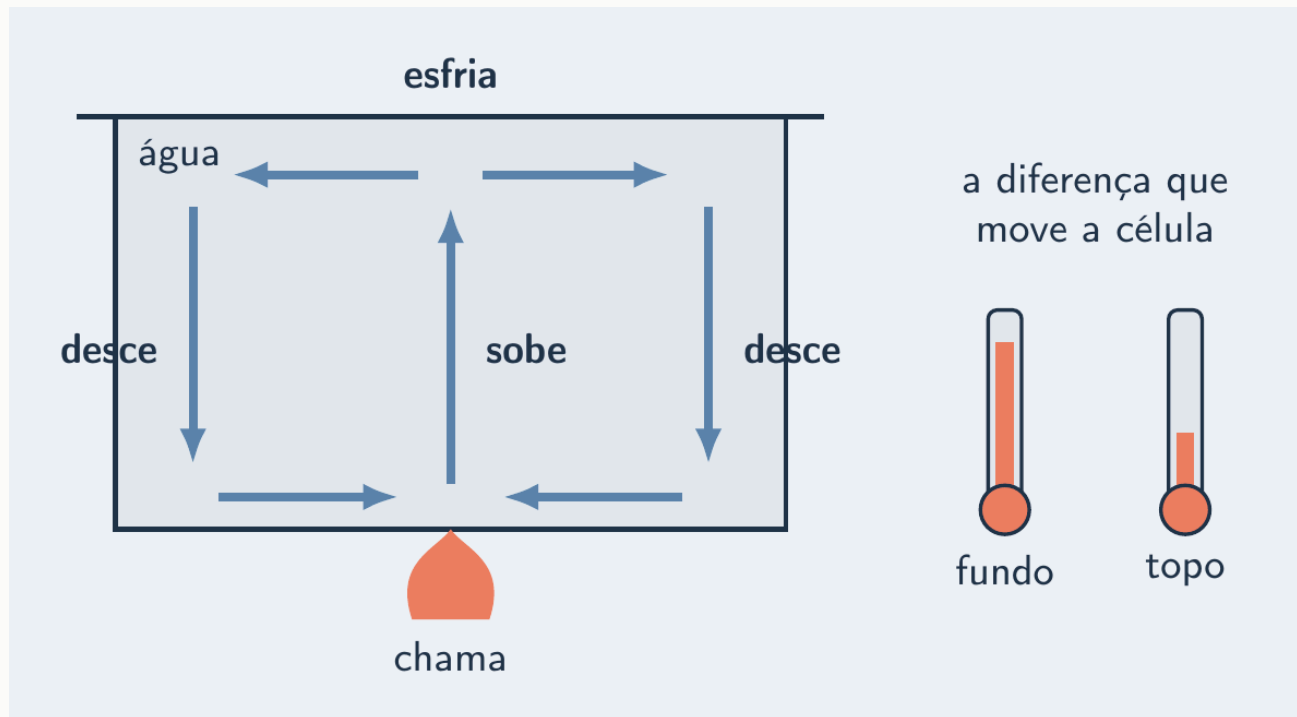
$$\rho_2 = \frac{1,204 \cdot 293}{373}$$

Resultado:

$$\rho_2 \approx \mathbf{0,946 \text{ kg/m}^3}$$

- T em kelvin

Conceito 3 – A célula de convecção



- três tempos: **sobe** · **esfria** · **desce**
- setas: velocidade do fluido · calor não tem seta
- sem ΔT entre fundo e topo, a célula para

Exemplo resolvido – fundo da panela de ar

Ar no fundo a 80 °C (2); em cima, 20 °C (1), com 1,204 kg/m³

Fórmula:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 T_1}{T_2}$$

Substituição:

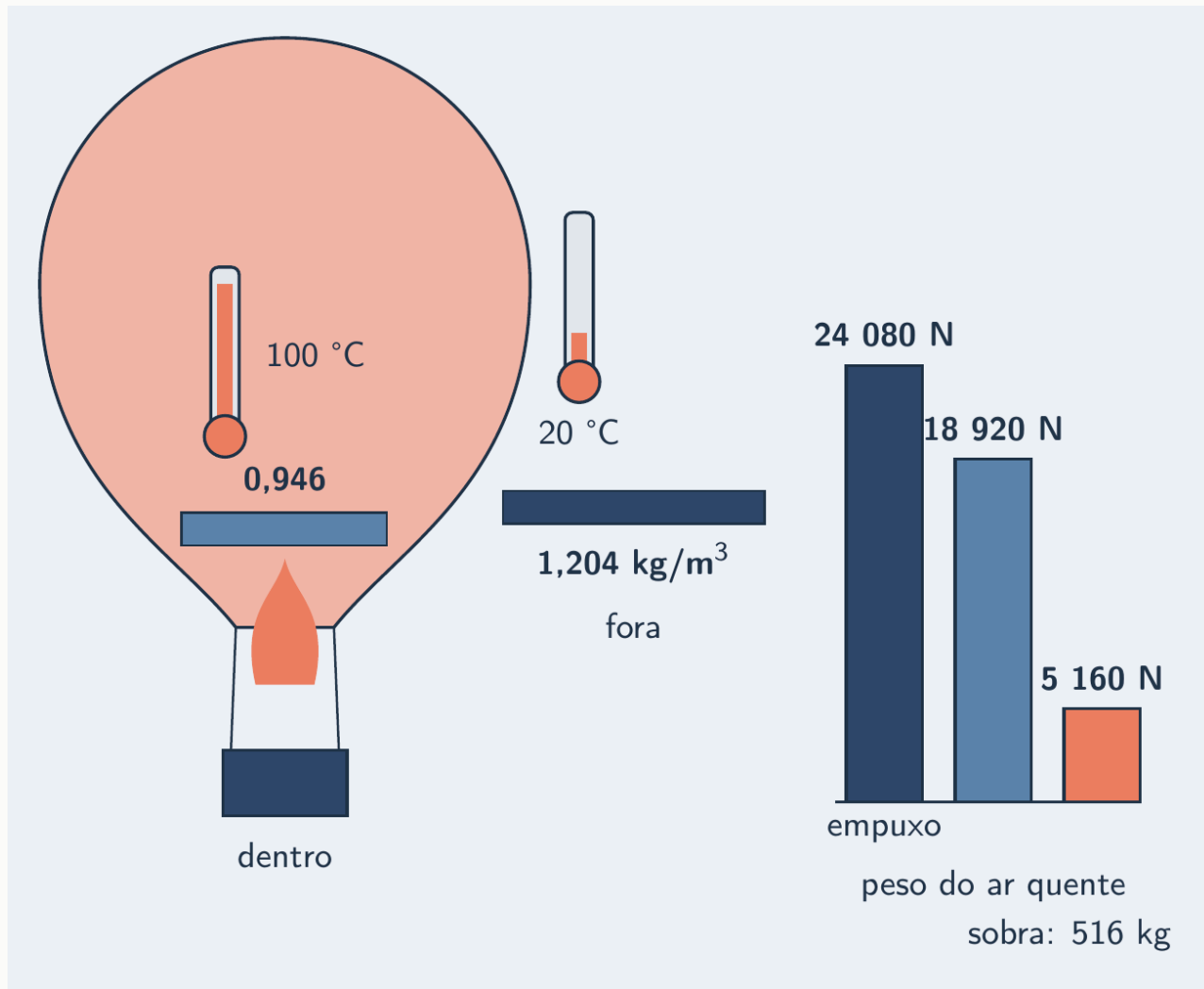
$$\rho_2 = \frac{1,204 \cdot 293}{353}$$

Resultado:

$$\rho_2 \approx \mathbf{0,999 \text{ kg/m}^3}$$

- mais leve, sobe

Conceito 4 – Balão e empuxo



- empuxo:

$$E = \rho_{\text{frio}} V g$$

- ar de dentro pesa:

$$P = \rho_{\text{quente}} V g$$

- carga:

$$E - P = (\rho_{\text{frio}} - \rho_{\text{quente}}) V g$$

Exemplo resolvido – balão de 2 000 m³

Balão de 2 000 m³ (didático) · dentro 100 °C · fora 20 °C · $g = 10 \text{ m/s}^2$

Fórmula:

Substituição:

Resultado:

$$E = \rho_{\text{frio}} V g$$

$$E = 1,204 \cdot 2\,000 \cdot 10$$

$$E = 24\,080 \text{ N}$$

$$P = \rho_{\text{quente}} V g$$

$$P = 0,946 \cdot 2\,000 \cdot 10$$

$$P = 18\,920 \text{ N}$$

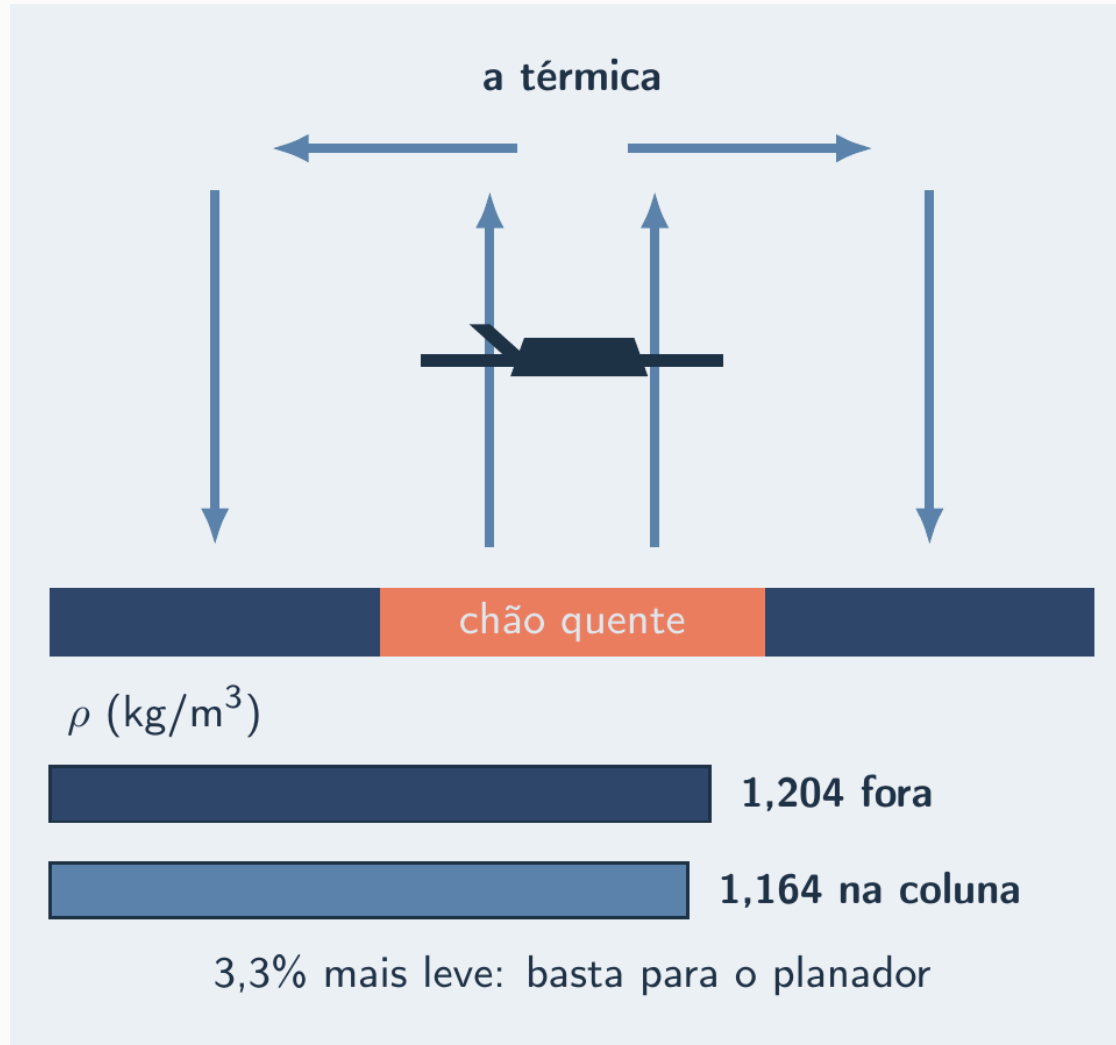
$$\text{carga} = E - P$$

$$\text{carga} = 24\,080 - 18\,920$$

$$\text{carga} = \mathbf{5\,160 \text{ N}}$$

- peso de cerca de **516 kg**

Conceito 5 – Térmicas



- chão escuro esquentando → coluna de ar sobe
- célula com o **chão** no papel da chama
- planador, asa-delta, urubu: sobem sem motor

Exemplo resolvido – bolha do planador

Bolha a 30 °C sobe no ar de 20 °C, com $1,204 \text{ kg/m}^3 \cdot d$: quanto mais leve

Fórmula:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 T_1}{T_2}$$

$$d = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Substituição:

$$\rho_2 = \frac{1,204 \cdot 293}{303}$$

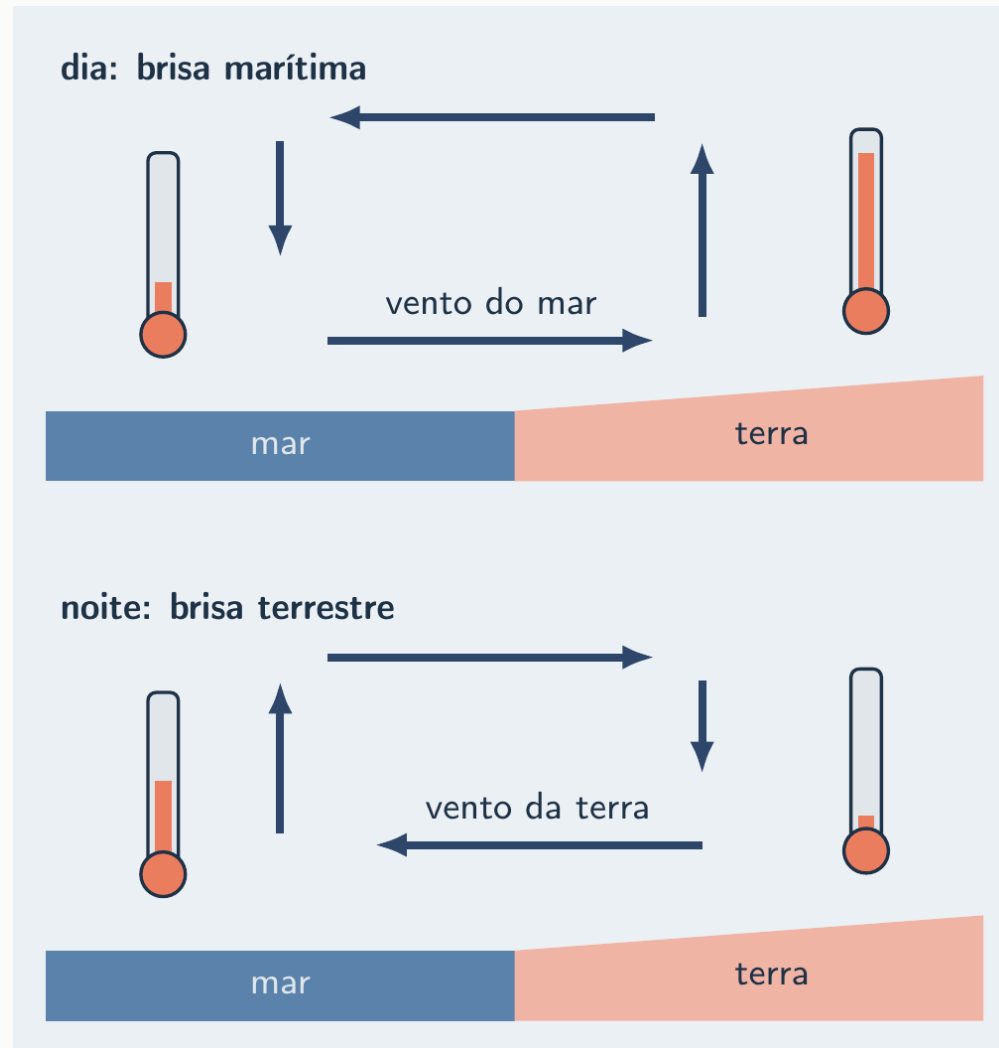
$$d = 1 - \frac{293}{303}$$

Resultado:

$$\rho_2 \approx \mathbf{1,164 \text{ kg/m}^3}$$

$$d \approx \mathbf{3,3 \%}$$

Conceito 6 – Brisa do mar, brisa da terra



- c da água: cerca de $1\,000 \cdot c$
da rocha: cerca de 200
 $\text{cal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
- dia: terra mais quente →
vento **do mar**
- noite: terra esfria antes →
vento **para o mar**

Exemplo resolvido – areia × mar

1 kg de água e 1 kg de rocha recebem 1 000 cal cada

Fórmula:

$$\Delta T = \frac{Q}{m c}$$

Substituição:

$$\Delta T_{\text{água}} = \frac{1\,000}{1 \cdot 1\,000}$$

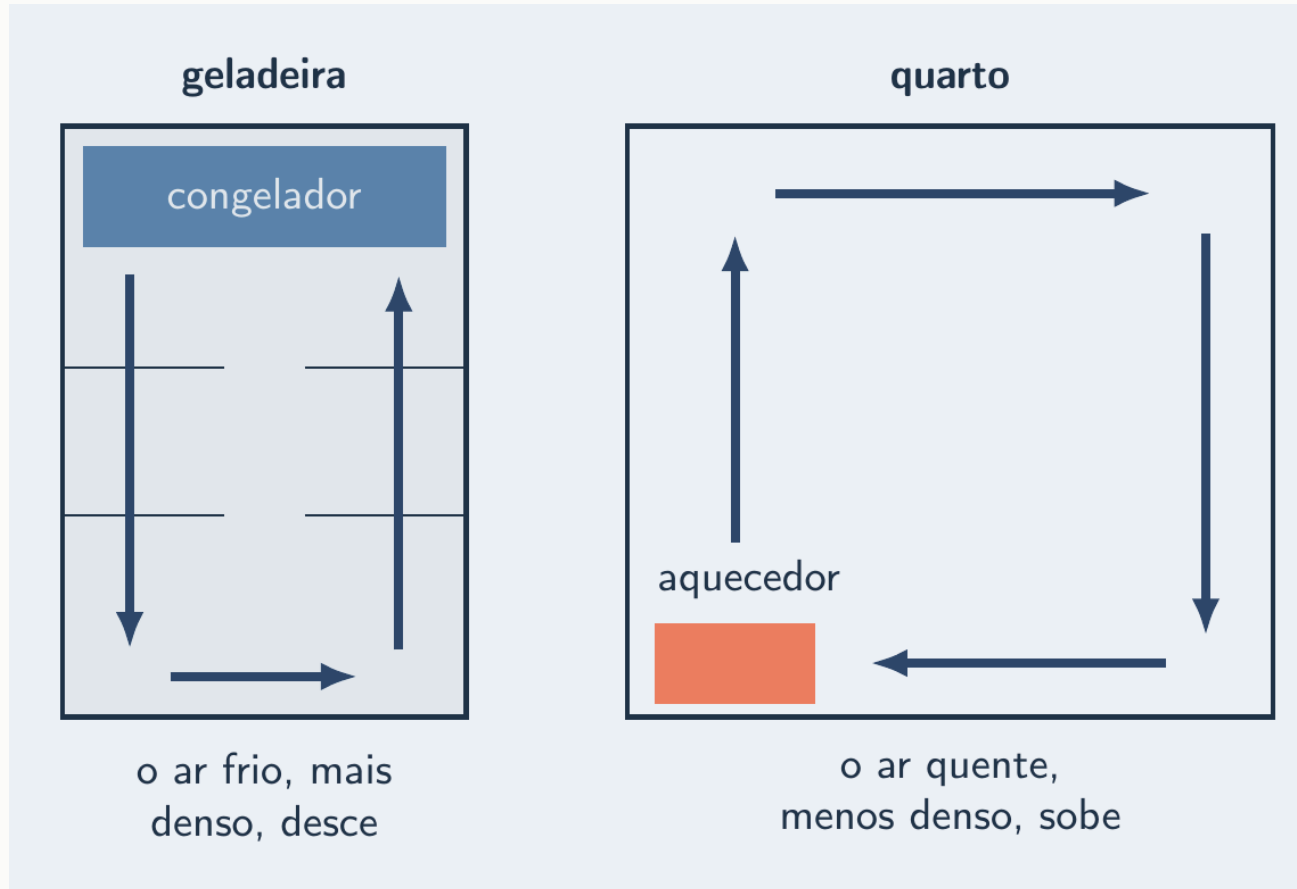
$$\Delta T_{\text{rocha}} = \frac{1\,000}{1 \cdot 200}$$

Resultado:

$$\Delta T_{\text{água}} = 1^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{rocha}} = 5^{\circ}\text{C}$$

Conceito 7 – Dentro de casa



- frio no **topo** (congelador, ar-condicionado) · quente no **chão** (aquecedor)
- panela: metal **conduz**, água faz **convecção**
- três caminhos: condução · convecção · irradiação

Exemplo resolvido – ar do congelador

Ar junto ao congelador a 4 °C (2); resto da geladeira a 20 °C (1), com 1,204 kg/m³

Fórmula:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 T_1}{T_2}$$

Substituição:

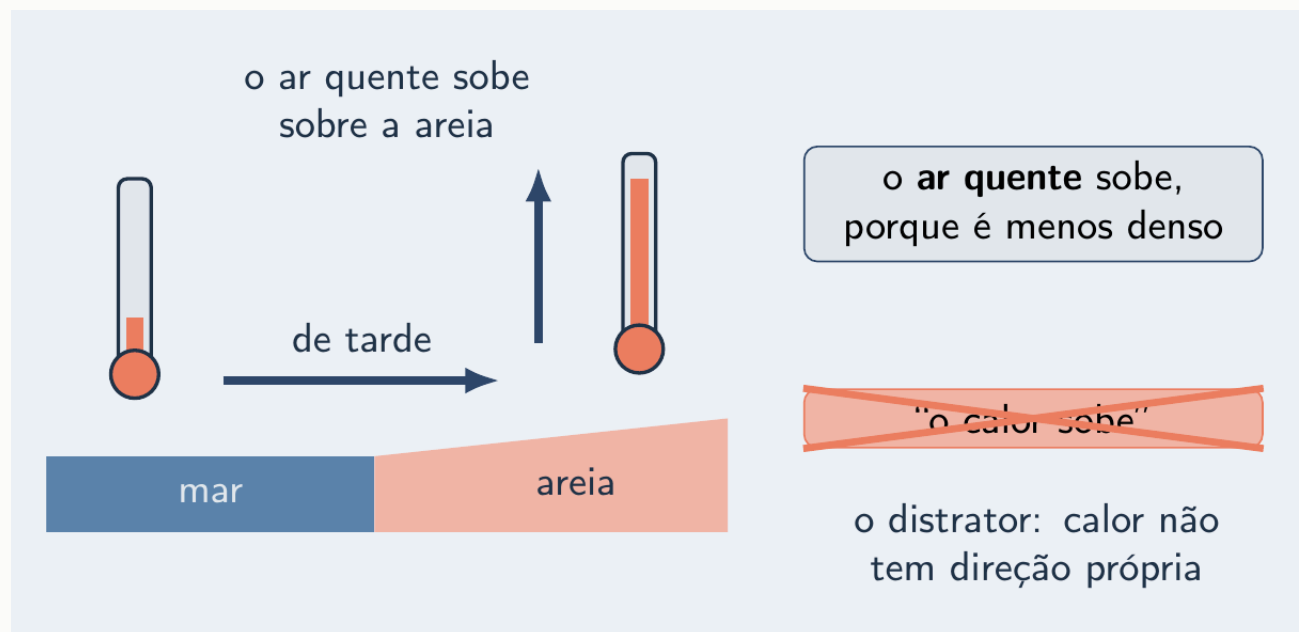
$$\rho_2 = \frac{1,204 \cdot 293}{277}$$

Resultado:

$$\rho_2 \approx \mathbf{1,274 \text{ kg/m}^3}$$

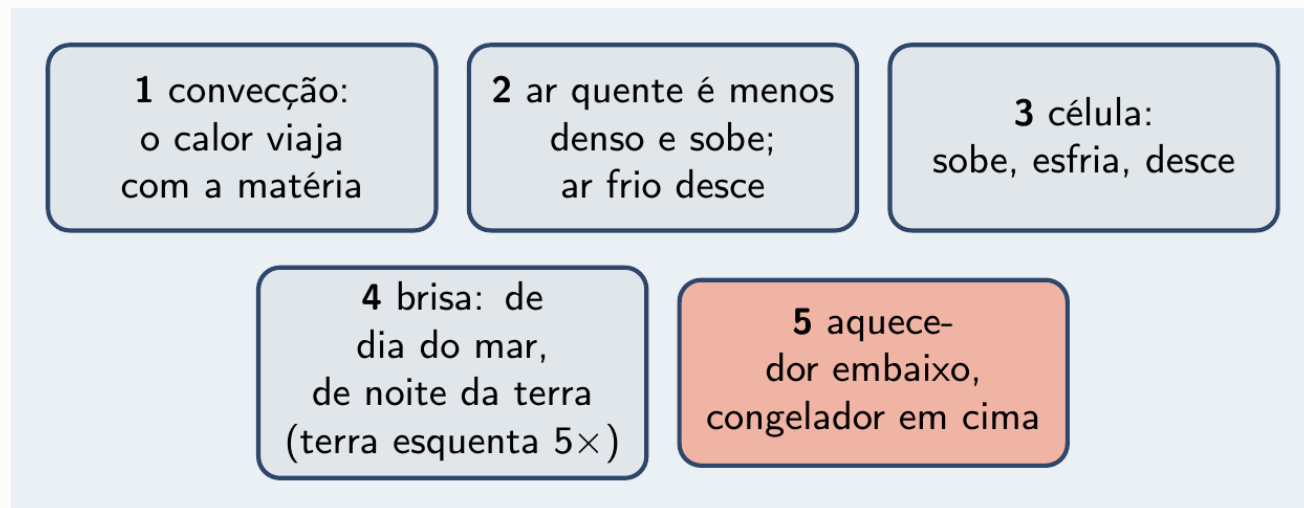
- mais denso, desce

Radar ENEM



- ✗ "o calor sobe" → ✓ o ar quente sobe
- ✗ $\frac{20}{100}$ em Celsius → ✓ $\frac{293}{373}$
- ✗ brisa invertida → ✓ dia: do mar · noite: da terra
- ✗ carga: empuxo inteiro → ✓ carga: $E - P$
- ✗ 5 160 N lidos como 5 160 kg → ✓ divida por g: 516 kg

Resumo em cinco peças



1. convecção: fluido leva a energia
2. quente: menos denso, sobe
3. célula: sobe, esfria, desce
4. brisa segue a terra mais quente
5. aquecedor baixo, congelador alto

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/t1/c11/lista>

Canarinho · lista do Episódio 11

Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/t1/c11/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/t1/c11/lista>

Livro da minissérie



Com QR em cada capítulo, que
leva ao vídeo e à lista daquele
tema.

<https://professorcanario.com.br/termodinamica1/livro/>