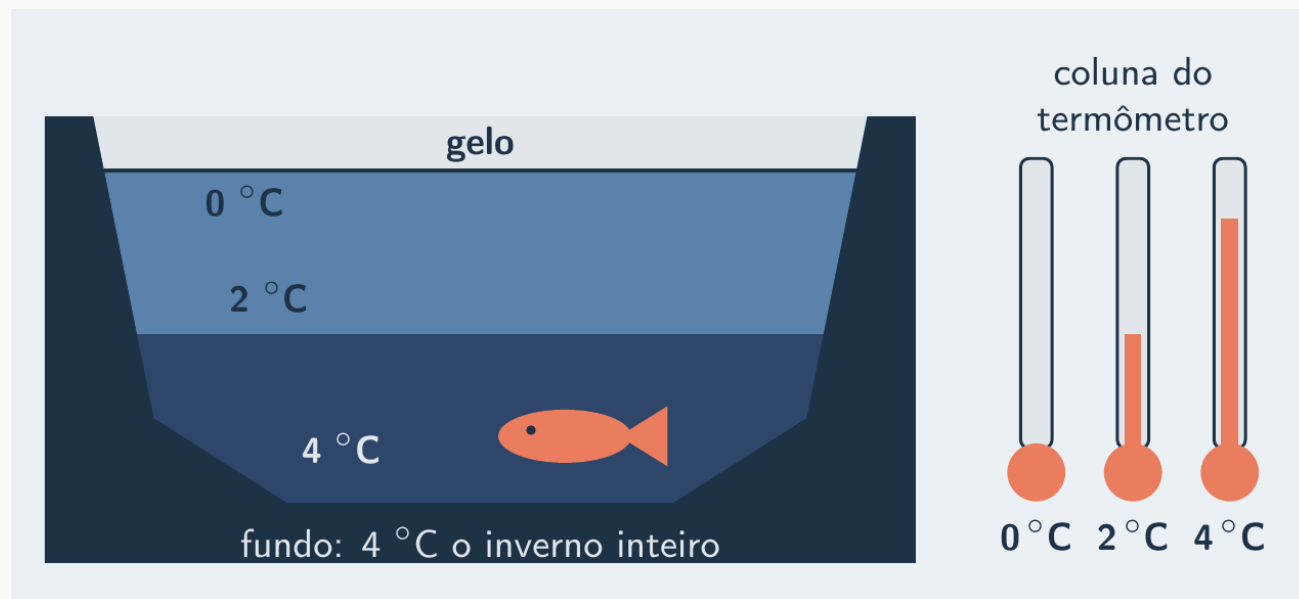


**Termodinâmica I · Episódio 5**

# **O lago que congela por cima**

A dilatação anômala da água

# O caso



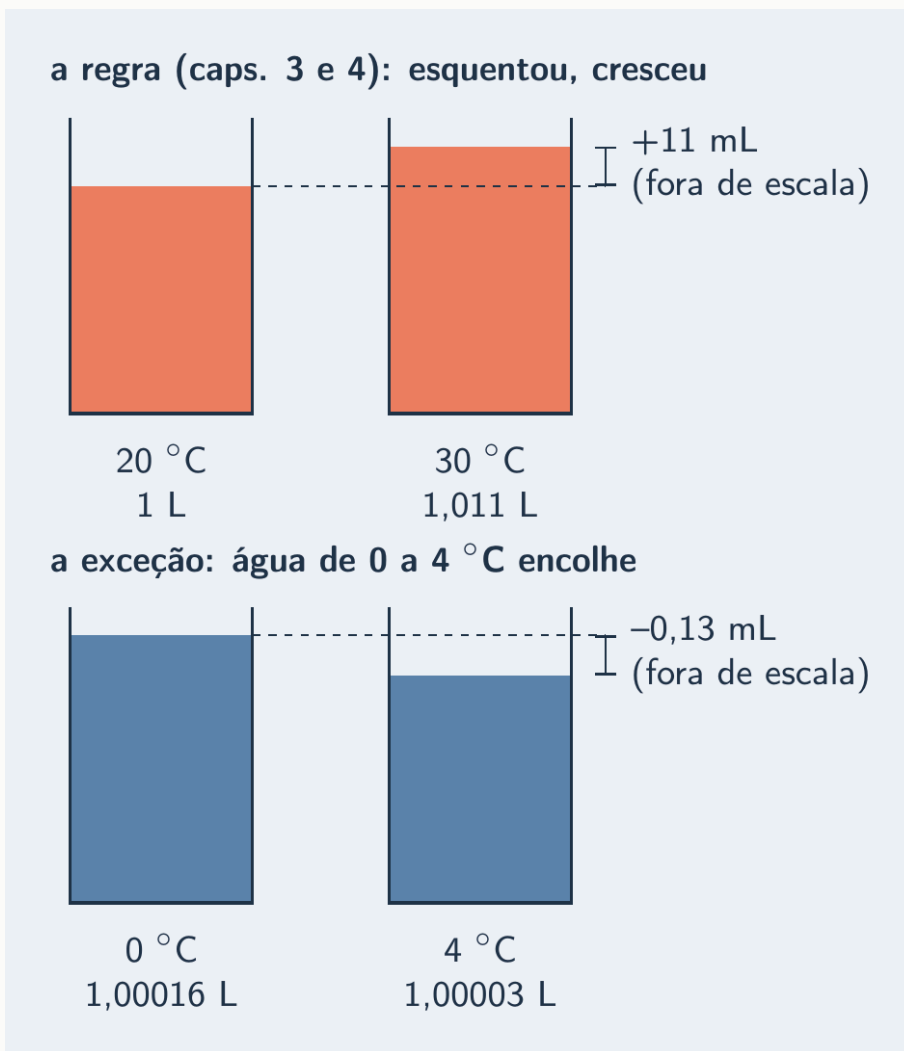
- lago no inverno: gelo **só na superfície**
- logo abaixo do gelo:  **$0\text{ }^{\circ}\text{C}$**  · no fundo:  **$4\text{ }^{\circ}\text{C}$**
- densidade máxima da água:  **$3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$**  ·  $0,99997\text{ g/cm}^3$
- gelo:  $0,9168\text{ g/cm}^3$  · cerca de **9%** mais volume

## Pergunta do episódio

---

**Por que o lago fecha por cima e o peixe sobrevive embaixo?**

# Conceito 1 – A regra e a exceção



- regra, com  $\gamma > 0$ :  
$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$$
- água entre 0 e 4 °C:  $\gamma < 0$ .  
aquece e encolhe
- acima de 4 °C: volta ao normal

## Exemplo resolvido – o quilo que encolhe

---

1 kg de água vai de 0 °C (1,00016 L) a 4 °C (1,00003 L); índice em °C

Fórmula:

$$\Delta V = V_4 - V_0$$

Substituição:

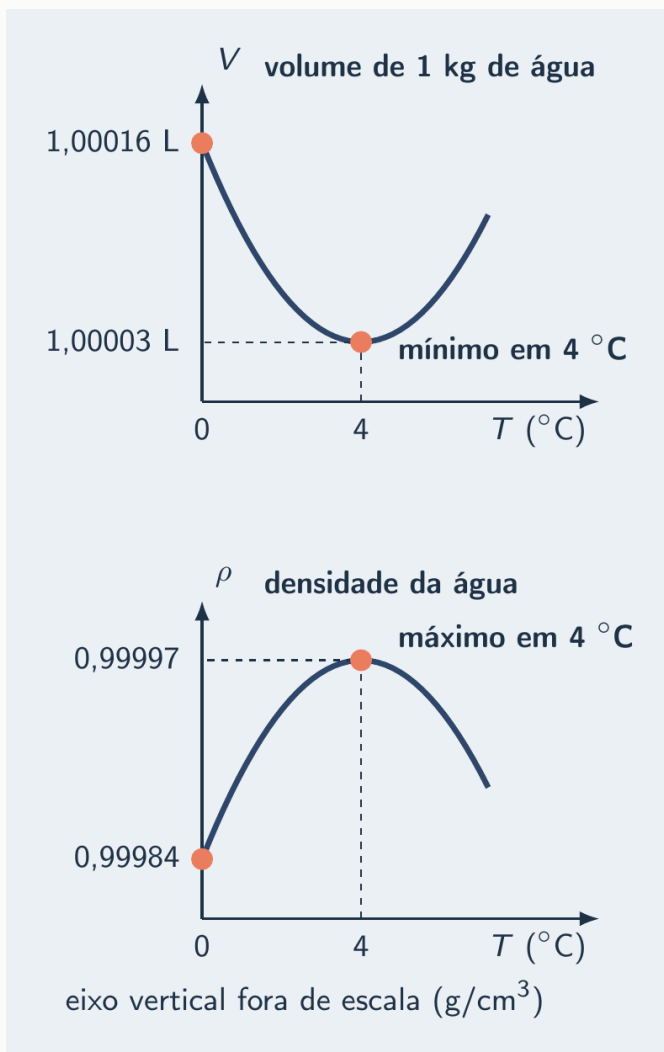
$$\begin{aligned}\Delta V &= 1,00003 \\ &\quad - 1,00016\end{aligned}$$

Resultado:

$$\Delta V = -0,00013 \text{ L}$$

- -0,13 mL · aqueceu e diminuiu

## Conceito 2 – Densidade máxima



$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1\,000 \text{ kg/m}^3$$

- massa fixa: volume mínimo  
 $\Leftrightarrow$  **densidade máxima**
- extremo das duas curvas:  **$4^{\circ}\text{C}$**  (não  $0^{\circ}\text{C}$ )

## Exemplo resolvido – de 4 °C para 0 °C

---

1 kg de água esfria de 4 °C para 0 °C, ainda líquida; índice em °C

Fórmula:

$$V_4 = \frac{m}{\rho_4}$$

$$V_0 = \frac{m}{\rho_0}$$

Substituição:

$$V_4 = \frac{1}{0,99997}$$

$$V_0 = \frac{1}{0,99984}$$

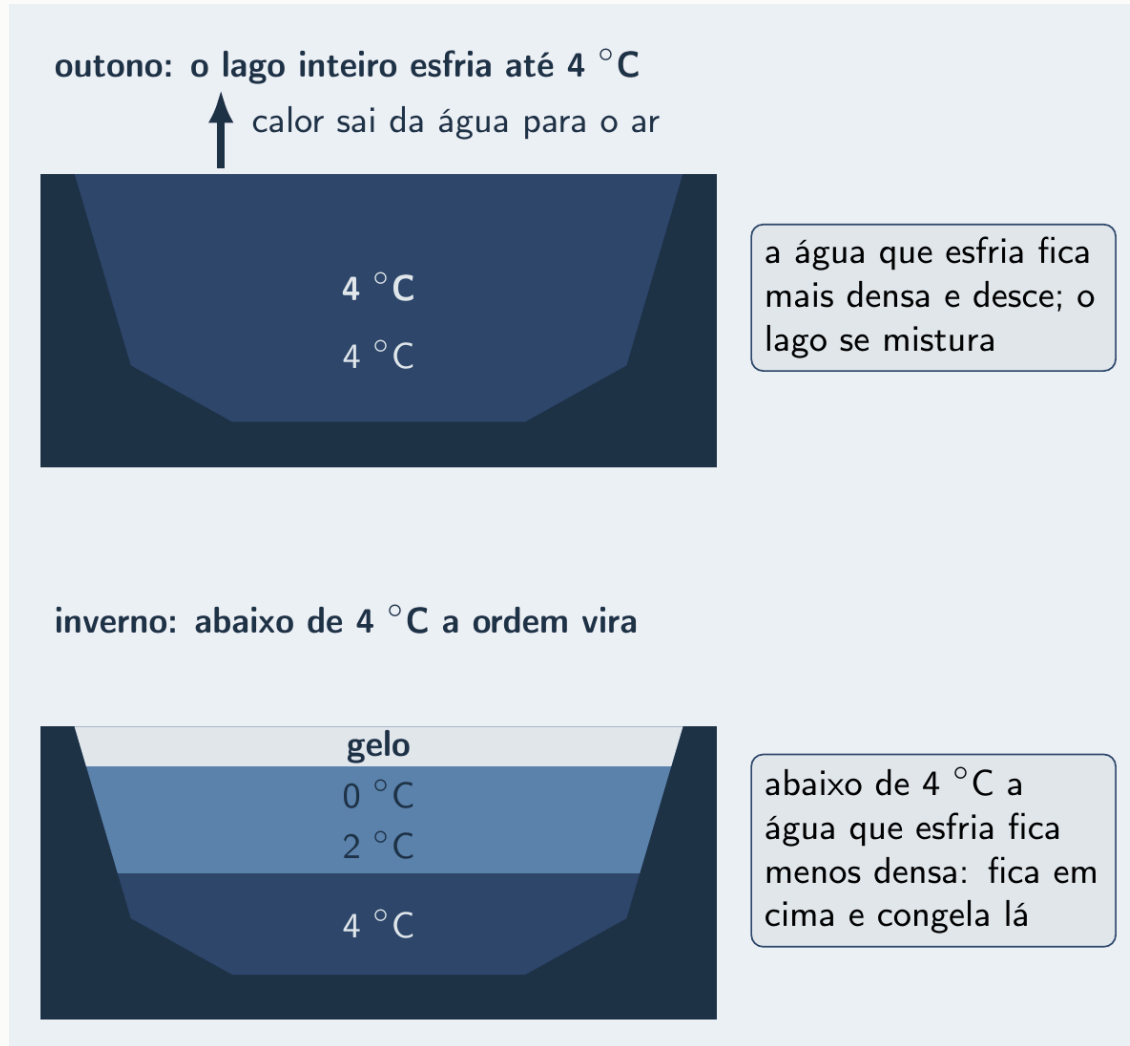
Resultado:

$$V_4 = \mathbf{1,00003 \text{ L}}$$

$$V_0 = \mathbf{1,00016 \text{ L}}$$

- massa em kg, densidade em kg/L · esfriou e cresceu

# Conceito 3 – O lago em camadas



- outono: superfície **cede calor** ao ar, afunda, mistura tudo até 4 °C
- abaixo de 4 °C: água fria fica **em cima** · mistura para
- gelo isola · fundo segue a **4 °C**

## Exemplo resolvido – quem vai para o fundo

---

Água a 4 °C (0,99997 g/cm<sup>3</sup>) contra água a 0 °C (0,99984 g/cm<sup>3</sup>)

Fórmula:

$$\Delta\rho = \rho_4 - \rho_0$$

Substituição:

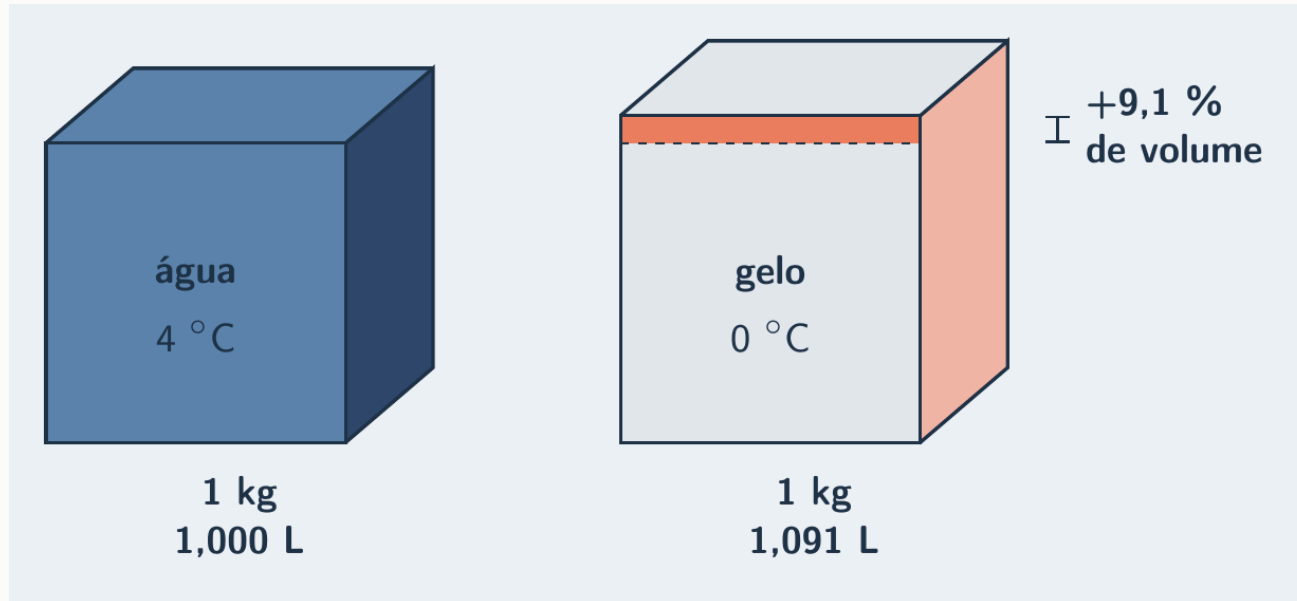
$$\Delta\rho = 0,99997 \\ - 0,99984$$

Resultado:

$$\Delta\rho = +0,00013 \text{ g/cm}^3$$

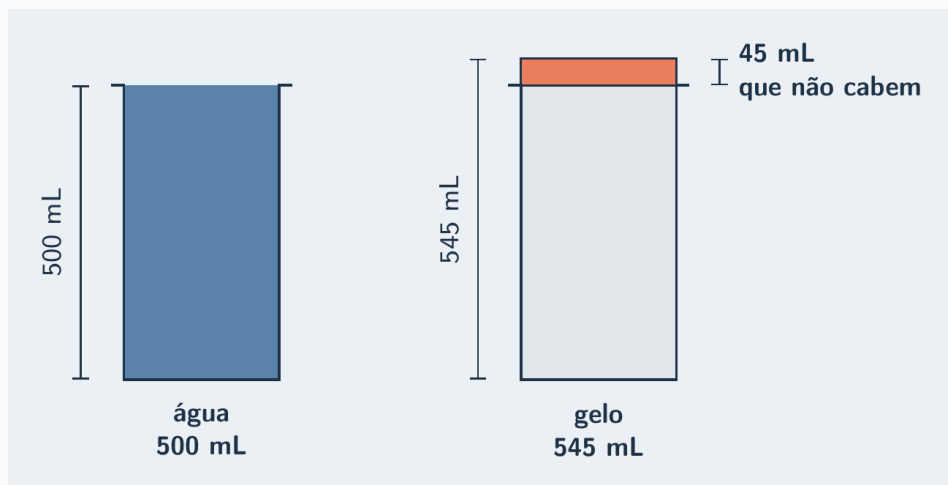
- a de 4 °C desce

# Conceito 4 – Gelo: 9% maior



- mesma massa, **mais volume** · menos densidade
- gelo menos denso que a água → **flutua**
- espaço fechado: cano, garrafa, rocha **racham**

# Exemplo resolvido – garrafa no freezer



Garrafa de 500 mL cheia de água até a boca congela

Fórmula:

$$m = \rho V$$

$$V_{\text{gelo}} = \frac{m}{\rho_{\text{gelo}}}$$

Substituição:

$$m = 1 \cdot 500$$

$$V_{\text{gelo}} = \frac{500}{0,9168}$$

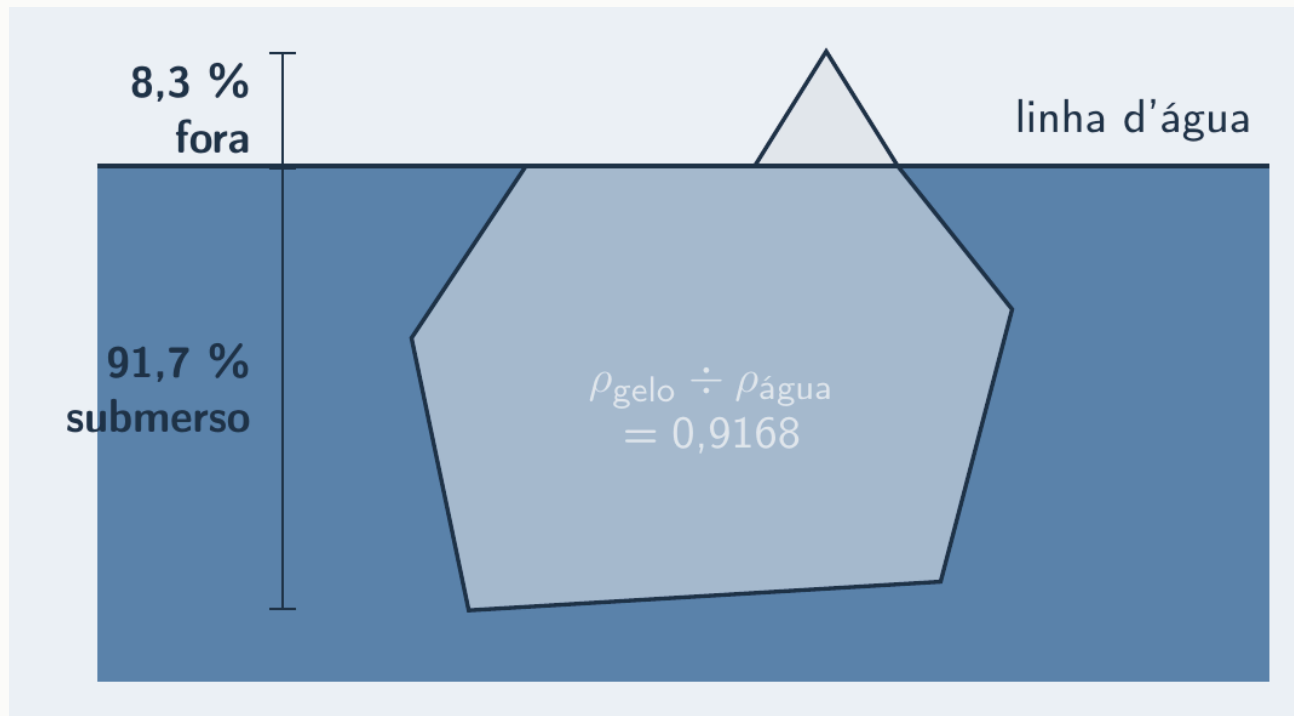
Resultado:

$$m = \mathbf{500 \text{ g}}$$

$$V_{\text{gelo}} \approx \mathbf{545 \text{ mL}}$$

- sobram **45 mL**

# Conceito 5 – A ponta do iceberg



- flutua: massa deslocada igual à do bloco
- **fração submersa:**
$$\frac{V_{\text{sub}}}{V} = \frac{\rho_{\text{corpo}}}{\rho_{\text{líquido}}}$$
- gelo na água: só **8,3%** à vista

# Exemplo resolvido – quanto afunda

---

Bloco de gelo flutuando em água a cerca de 4 °C

**Fórmula:**

$$\frac{V_{\text{sub}}}{V} = \frac{\rho_{\text{gelo}}}{\rho_{\text{água}}}$$

**Substituição:**

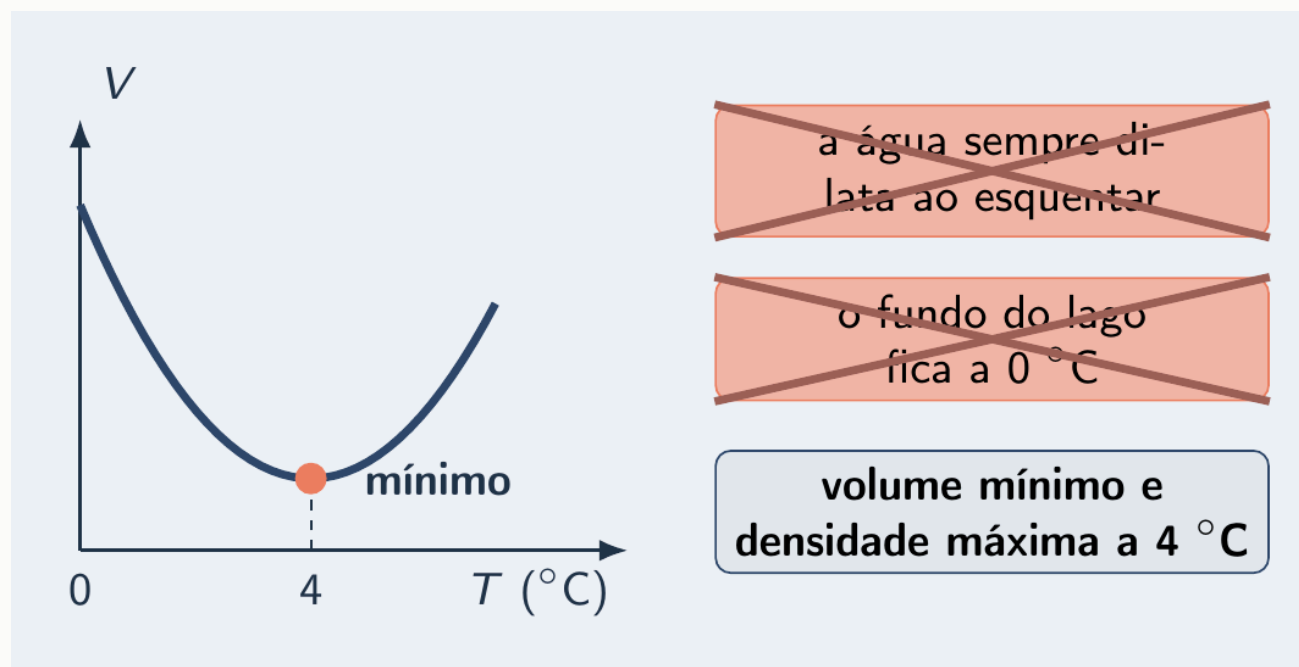
$$\frac{V_{\text{sub}}}{V} = \frac{0,9168}{1,000}$$

**Resultado:**

$$\frac{V_{\text{sub}}}{V} \approx \mathbf{91,7 \%}$$

- **8,3%** fora

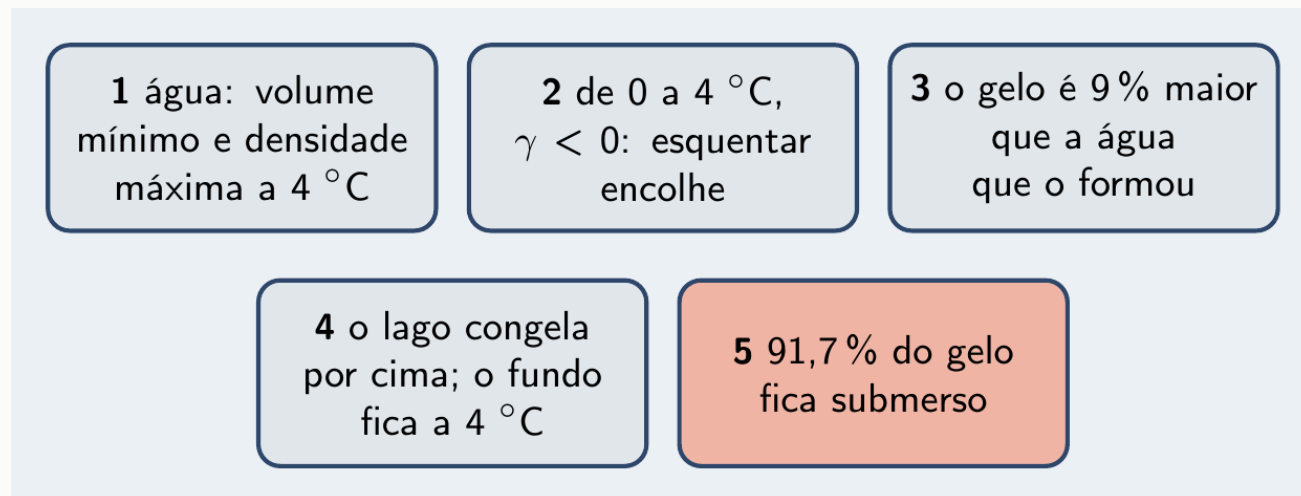
# Radar ENEM



- ~~X~~ "esquentou, dilatou" entre  $0$  e  $4^{\circ}\text{C}$
- ~~X~~ fundo do lago congelado a  $0^{\circ}\text{C}$
- ~~X~~ volume mínimo como densidade mínima
- ~~X~~ gelo "tem mais massa"
- ~~X~~ iceberg metade fora
- $\checkmark$   $4^{\circ}\text{C}$ : volume mínimo, densidade máxima

# Resumo em cinco peças

---



1. 4 °C: água no mais denso
2. 0 a 4 °C: aquece e encolhe
3. gelo: 9% mais volume
4. lago fecha por cima
5. iceberg: 91,7% escondido

# Treine no jogo

---



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/t1/c5/lista>

Canarinho · lista do Episódio 5

# Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

## Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/t1/c5/video>

## Lista no app



As questões deste episódio,  
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/t1/c5/lista>

## Livro da minissérie



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

<https://professorcanario.com.br/termodinamica1/li>  
[vro/](#)