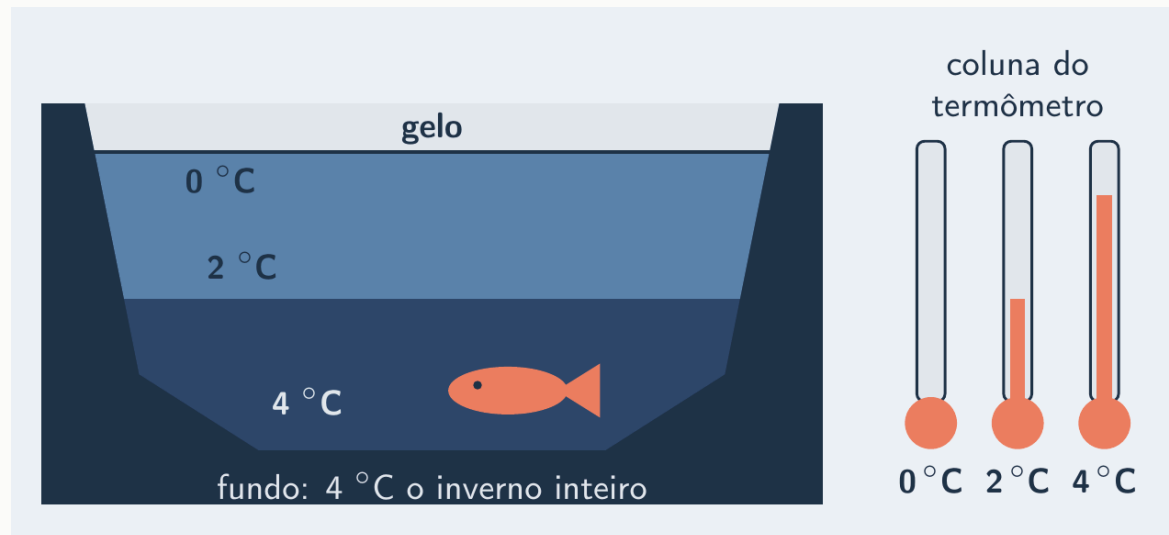


Termodinâmica I · Episódio 5

O lago que congela por cima

A dilatação anômala da água

Um lago congela por cima e o peixe sobrevive no fundo

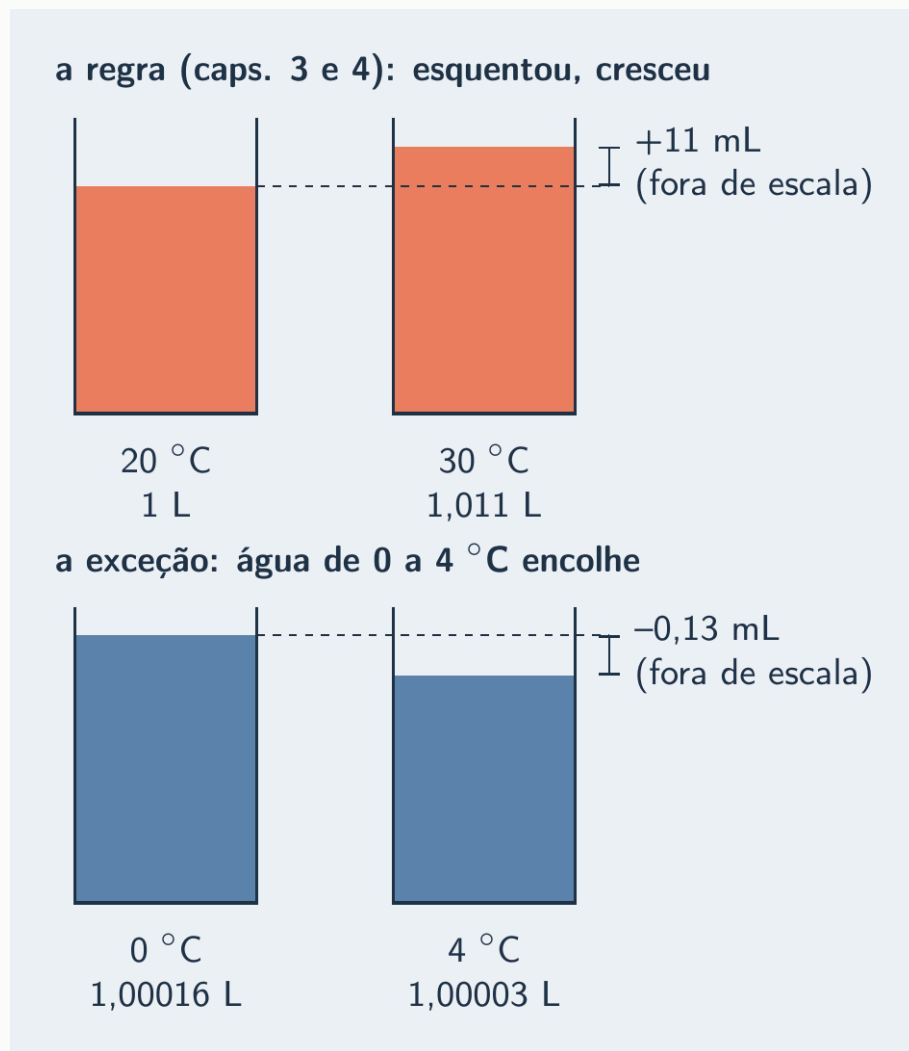


- No inverno, o gelo cobre **só a superfície** do lago.
- Logo abaixo do gelo a água está a **0 °C**; no fundo, a **4 °C**.
- A água é mais densa a **3,98 °C**, com $0,99997 \text{ g/cm}^3$.
- O gelo tem $0,9168 \text{ g/cm}^3$ e ocupa cerca de **9%** mais volume que a água.

Pergunta do episódio

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

Entre 0 e 4 °C, a água encolhe ao esquentar



- Para quase todo líquido vale a regra: esquentou, **cresceu**.
- $$\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$$
- A gasolina segue a regra, com $\gamma > 0$, e sobe 11 mL ao esquentar 10 °C.
 - A água, entre 0 e 4 °C, faz o contrário: esquentar e **encolhe**, com $\gamma < 0$.
 - Acima de 4 °C, a água volta à regra de todo mundo.

Exemplo resolvido – o quilo que encolhe

Um quilo de água vai de 0 °C, com 1,00016 L, para 4 °C, com 1,00003 L, sem congelar. Quanto o volume dele muda?

Fórmula:

$$\Delta V = V_4 - V_0$$

Substituição:

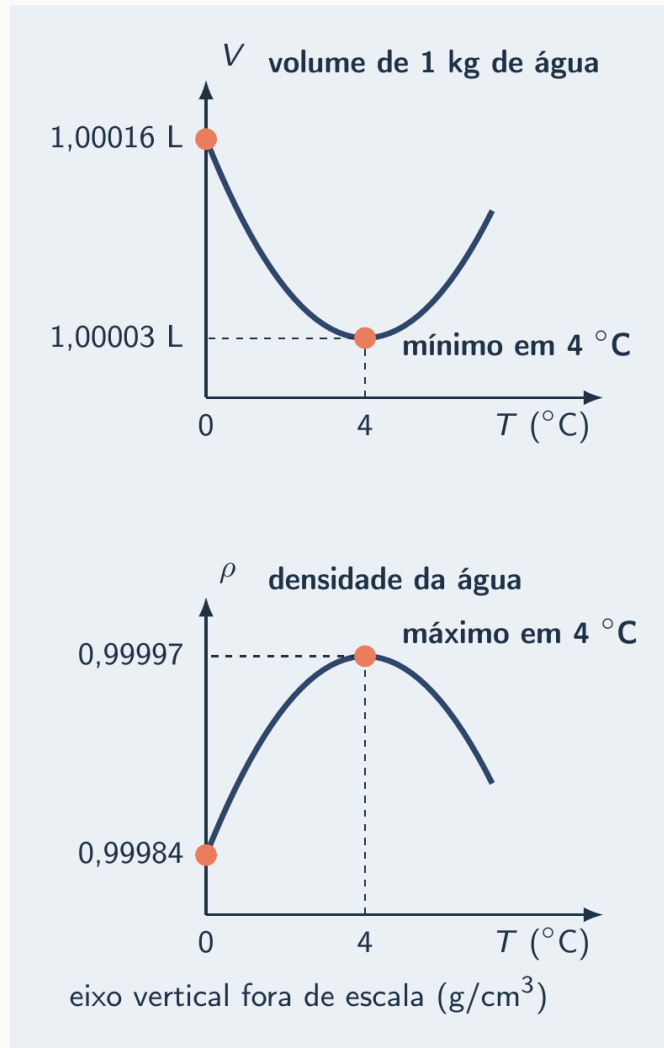
$$\Delta V = 1,00003 \\ - 1,00016$$

Resultado:

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

- Por isso a água **encolheu** ao esquentar: sumiram 0,13 mL de um litro inteiro.

A 4 °C, a água tem o volume mínimo e a densidade máxima



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

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

- A **massa** de um quilo de água não muda com a temperatura; só o **volume** muda.
- Volume mínimo significa **densidade máxima**, porque a densidade é a massa dividida pelo volume.
- As duas curvas têm o extremo em **4 °C**, e não em 0°C .

Exemplo resolvido – de 4 °C para 0 °C

Um quilo de água esfria de 4 °C para 0 °C e continua líquido. Qual é o volume dele antes e depois?

Fórmula:

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

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

Substituição:

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

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

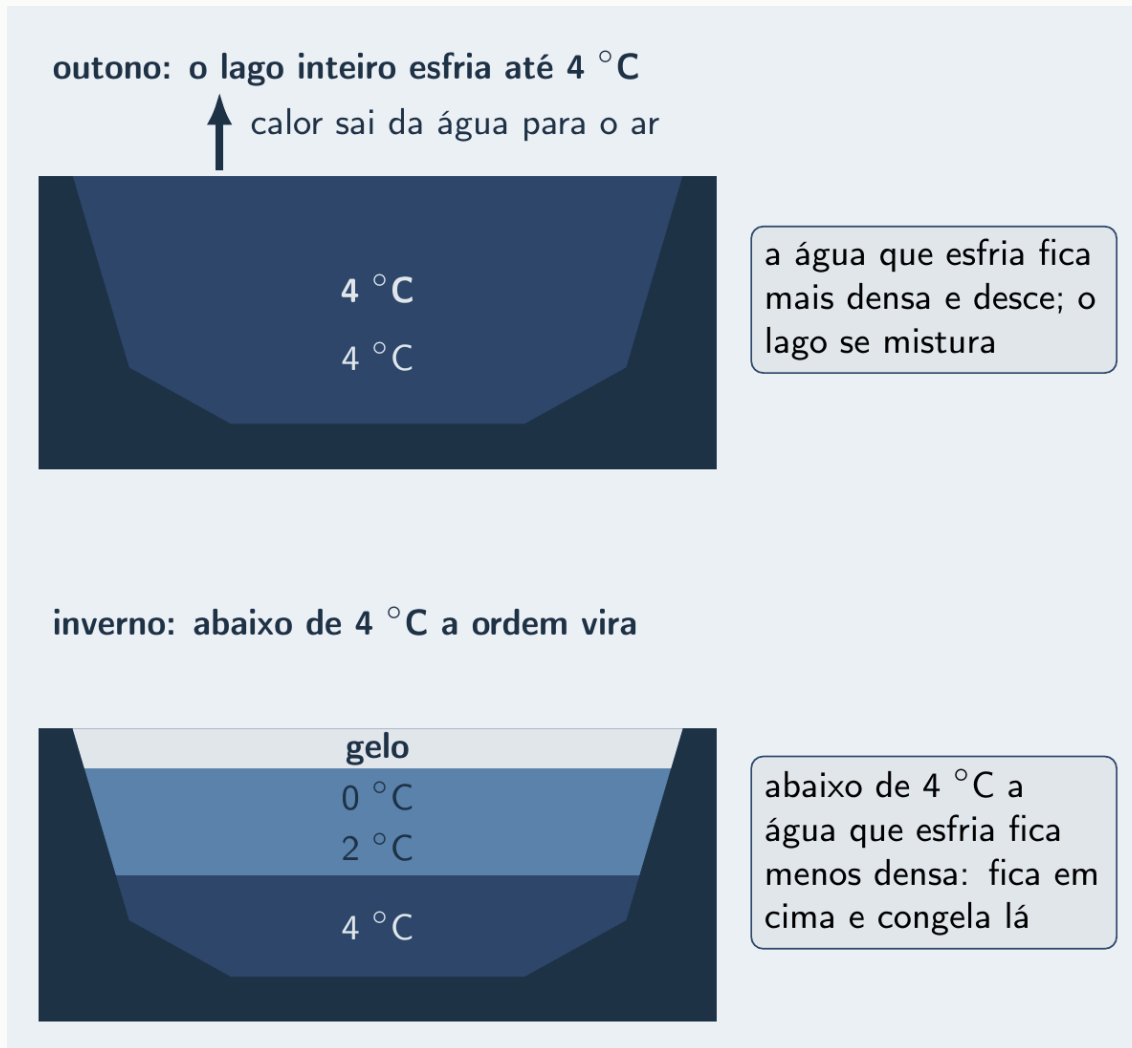
Resultado:

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

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

- Por isso a água **cresceu** ao esfriar: a densidade caiu, e a mesma massa passou a ocupar mais espaço.

Abaixo de 4 °C, a água fria fica em cima



- No outono, a superfície **cede calor** ao ar, fica mais densa e afunda.
- Essa circulação mistura o lago inteiro até que tudo chegue a **4 °C**.
- Abaixo de 4 °C, a água mais fria é a **menos densa**: ela fica por cima e congela lá.
- O gelo **isola** a água de baixo, e o fundo passa o inverno a 4 °C.

Exemplo resolvido – quem vai para o fundo

Água a 4 °C, com 0,99997 g/cm³, encontra água a 0 °C, com 0,99984 g/cm³. Qual das duas afunda?

Fórmula:

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

Substituição:

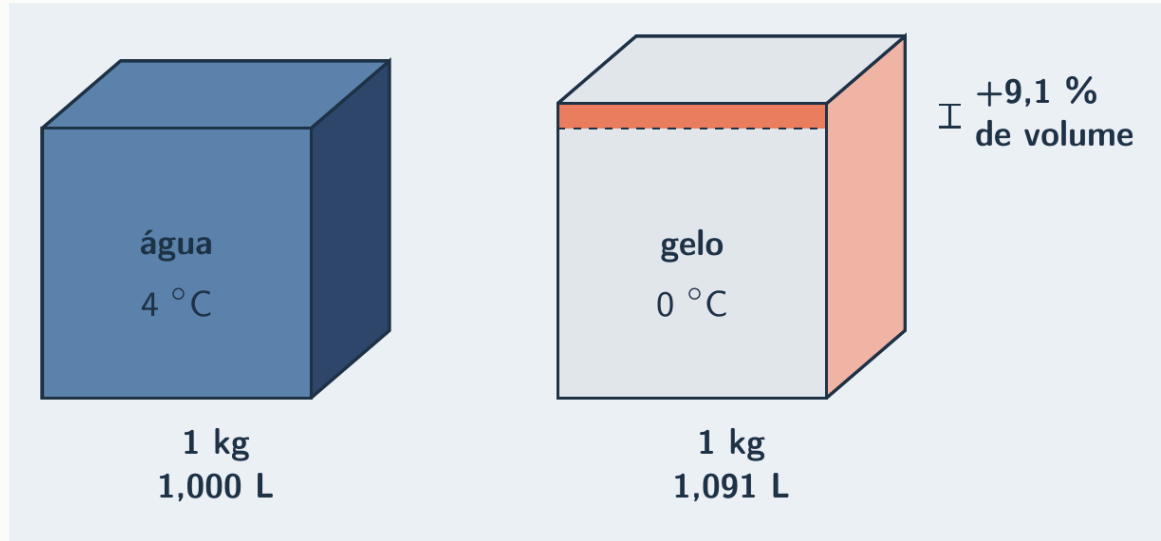
$$\Delta\rho = 0,99997 \\ - 0,99984$$

Resultado:

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

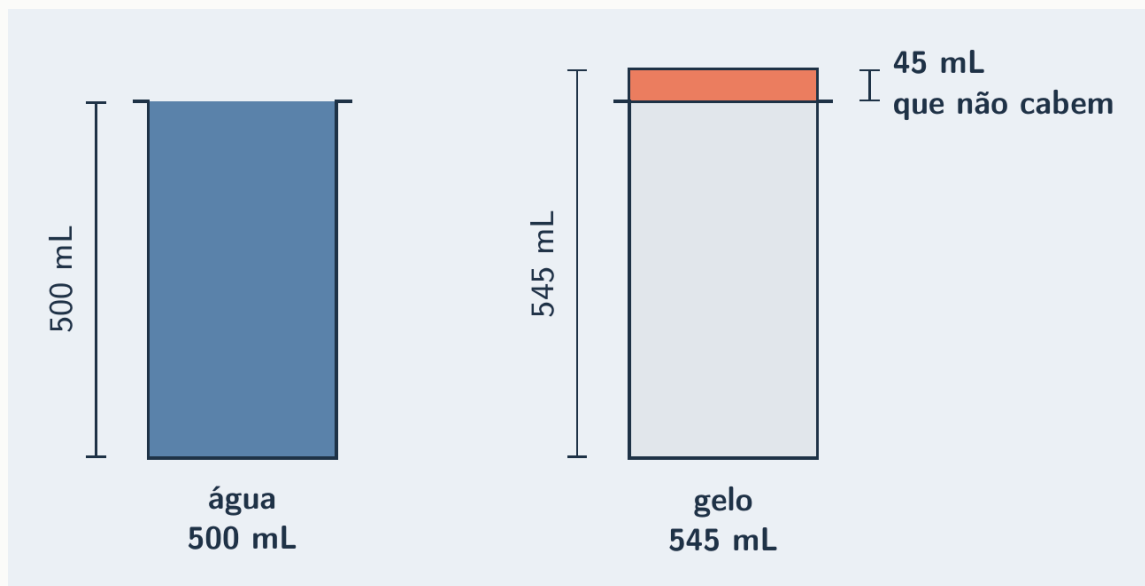
- Por isso a água de 4 °C **desce** para o fundo: ela é mais densa, mesmo que por pouco.

O gelo ocupa 9% a mais de espaço que a água que o formou



- Congelar não cria massa: um quilo de água vira um quilo de gelo.
- O que cresce é o **volume**, cerca de **9%**, e por isso a densidade cai.
- Menos denso que a água, o gelo **flutua**.
- Em espaço fechado o gelo não cabe, e o cano, a garrafa e a rocha **racham**.

Exemplo resolvido – garrafa no freezer



Uma garrafa de 500 mL, cheia de água até a boca, vai ao freezer e congela por inteiro. Que volume o gelo ocupa, e quanto não cabe?

Fórmula:

$$m = \rho_{\text{água}} V$$

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

Substituição:

$$m = 1 \cdot 500$$

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

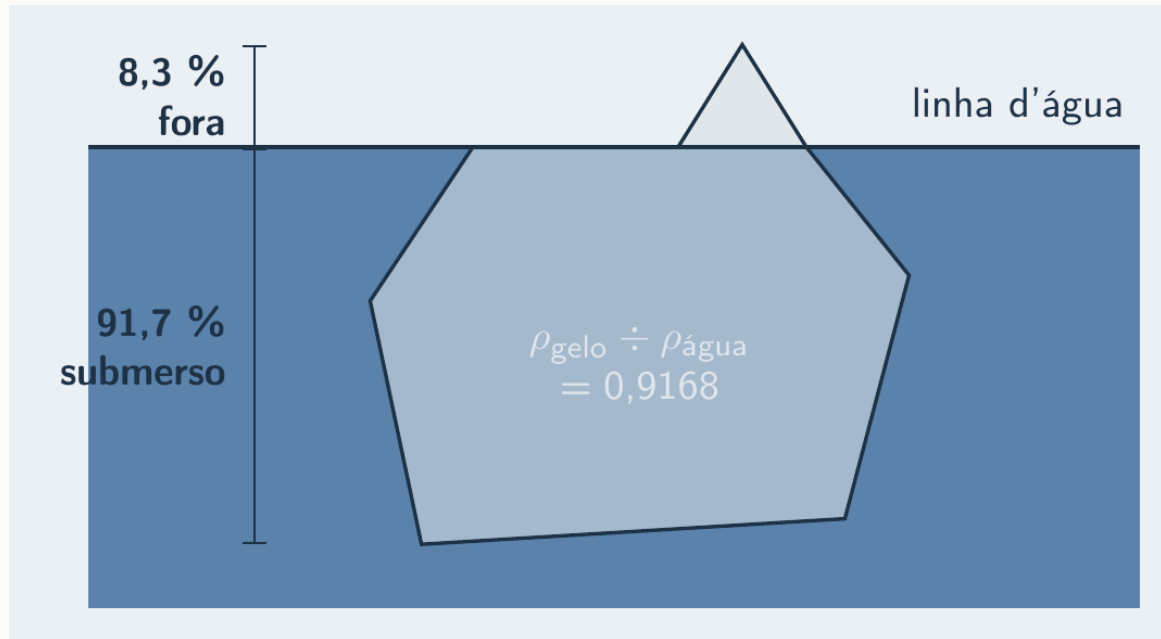
Resultado:

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

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

- Por isso a garrafa estoura: **45 mL** de gelo não têm onde ficar.

Um iceberg esconde 91,7% do volume embaixo d'água



- Um bloco que flutua desloca uma massa de água **igual à própria massa**.
- A **fração submersa** é a razão entre a densidade do corpo e a do líquido.
$$\frac{V_{\text{sub}}}{V} = \frac{\rho_{\text{corpo}}}{\rho_{\text{líquido}}}$$
- Para o gelo na água, só **8,3%** do volume fica à vista.

Exemplo resolvido – quanto afunda

Um bloco de gelo flutua em água a cerca de 4 °C. Que fração do volume dele fica submersa, e que fração fica fora?

Fórmula:

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

Substituição:

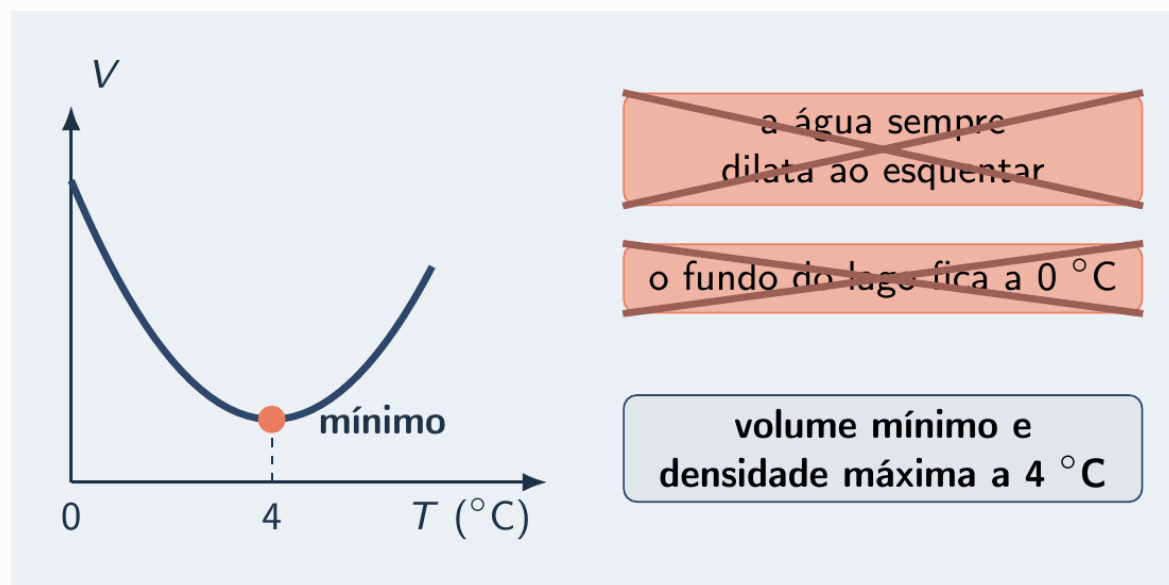
$$\frac{V_{\text{sub}}}{V} = \frac{0,9168}{1,000}$$

Resultado:

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

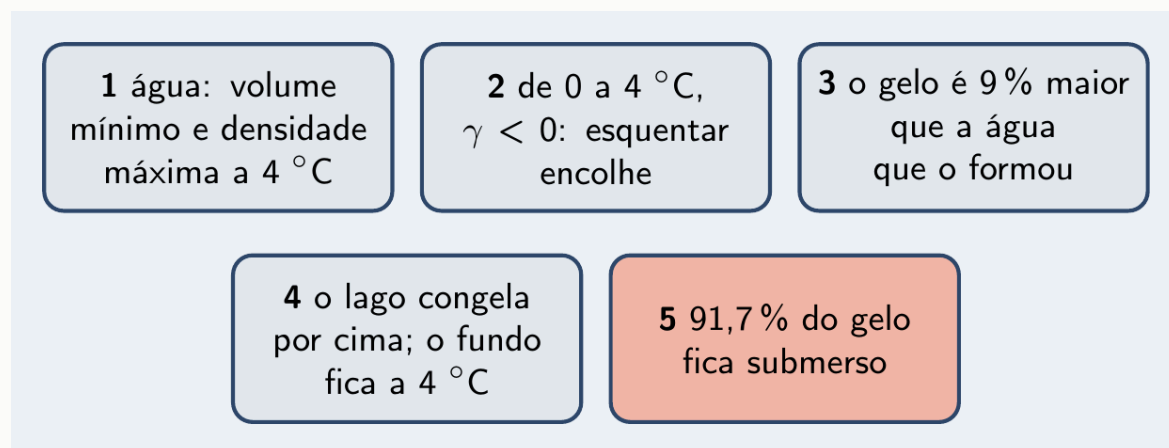
- Por isso a ponta do iceberg é só **8,3%**: a parte que importa está embaixo d'água.

Radar ENEM



- ✗ "A água sempre dilata": de 0 a 4°C ela **encolhe**.
- ✗ "O fundo do lago fica a 0°C ": o fundo fica a **4°C** .
- ✗ "O gelo tem mais massa": ele tem mais **volume**.
- ✗ "Metade do iceberg fica fora": só **$8,3\%$** aparece.
- ✓ A régua é uma só: a 4°C o volume é **mínimo** e a densidade, **máxima**.

Resumo em cinco peças



1. A água fica mais densa a 4 °C, com $0,99997 \text{ g/cm}^3$.
2. De 0 a 4 °C, esquentar encolhe a água e esfriar faz a água crescer.
3. Um quilo de gelo ocupa 1,091 L, cerca de 9% a mais que a água que o formou.
4. O lago fecha por cima, e o fundo passa o inverno a 4 °C.
5. Do gelo que flutua, 91,7% fica submerso e 8,3% fica à vista.

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/](#)