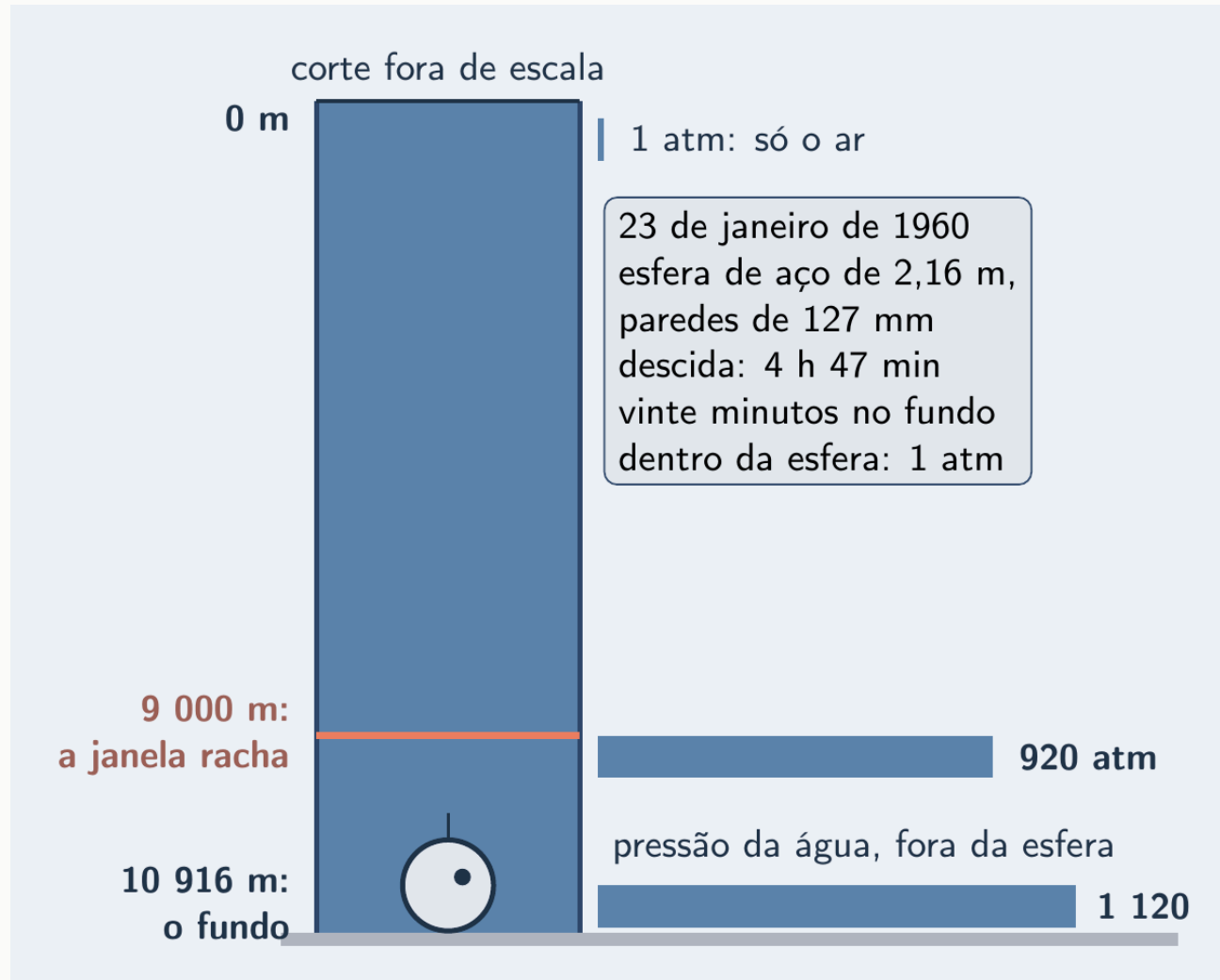


Mecânica IV · Episódio 6

A esfera que desceu a mil atmosferas

A lei de Stevin

0 caso



- 23/01/1960 · Trieste na Fossa das Marianas
- esfera de aço: 2,16 m de diâmetro · parede de 127 mm
- 4 h 47 min de descida · fundo a 10 916 m · 20 min lá
- janela de acrílico racha após 9 000 m

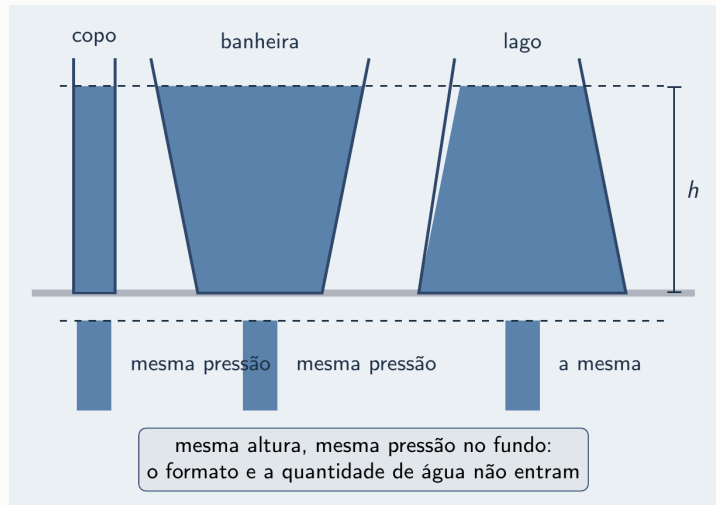
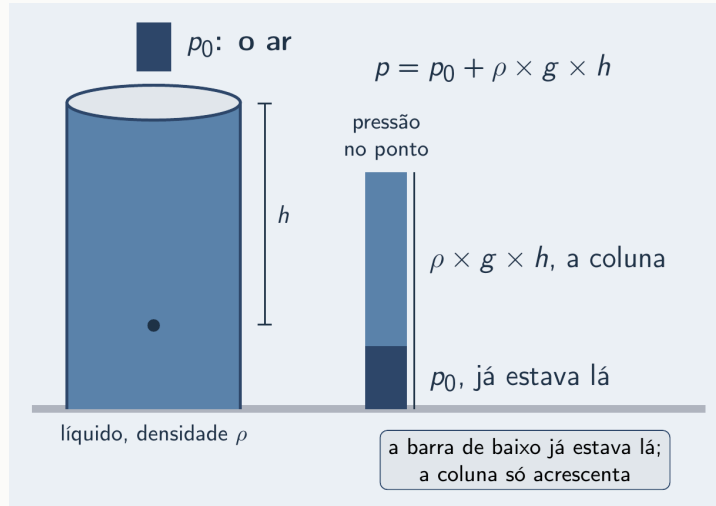
O caso — a conta da margem

- fora, no fundo: mais de **1 000 atm**
- dentro: **1 atm**, o ar da superfície
- projeto: $1\,250 \text{ kgf/cm}^2$ · folga de cerca de 12%

Pergunta do episódio

**Quanto apertada a água a 11 km de fundo — e
por que o casco aguentou?**

Conceito 1 – Lei de Stevin



$$p = p_0 + \rho g h$$

$$\Delta p = \rho g \Delta h$$

- h a partir da superfície livre · mesmo nível, mesma pressão
- formato e volume de líquido: irrelevantes

Exemplo resolvido – ponto no tanque

Tanque de 8 m de água; ponto a 2 m do fundo (10^5 Pa na superfície, $g = 10 \text{ m/s}^2$)

Fórmula:

$$h = H - d$$

$$p = p_0 + \rho g h$$

Substituição:

$$h = 8 - 2$$

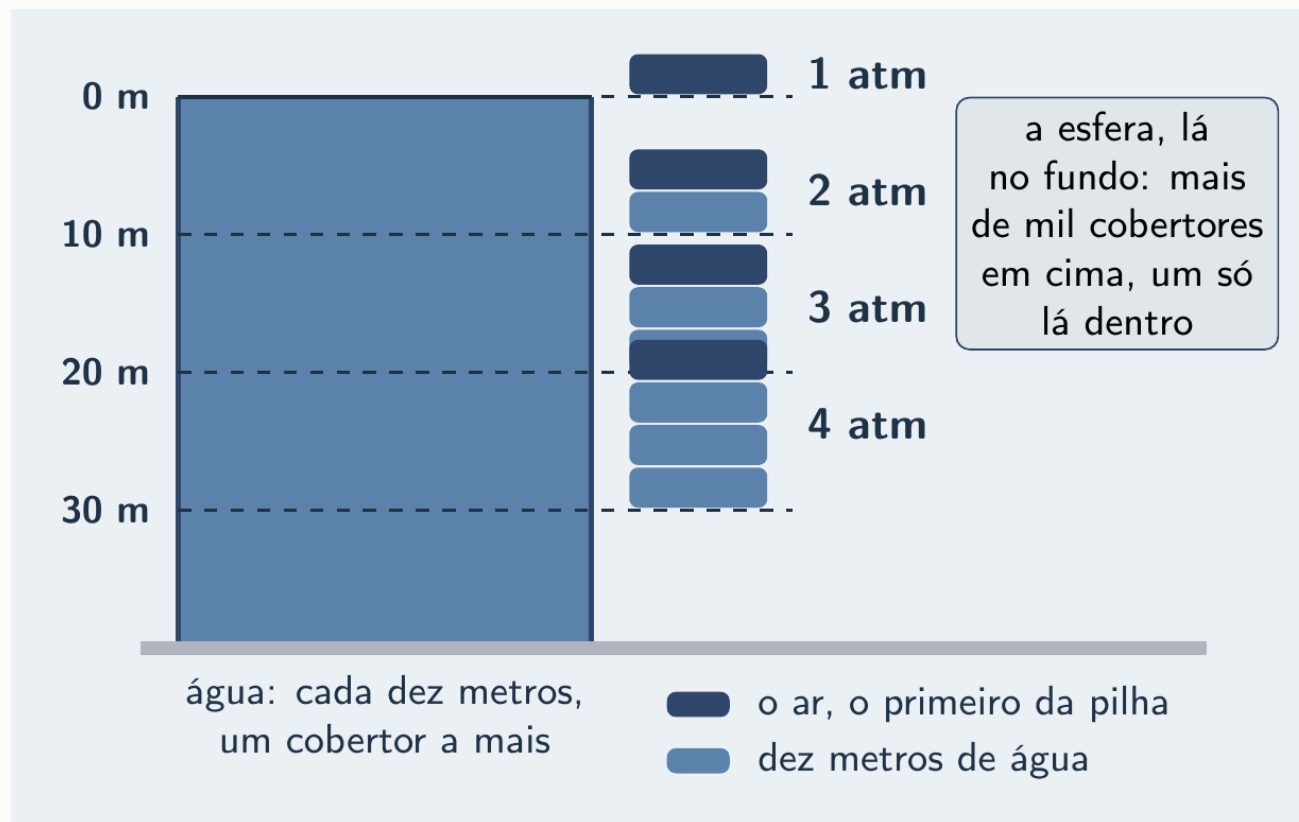
$$p = 10^5 + 1\,000 \cdot 10 \cdot 6$$

Resultado:

$$h = \mathbf{6 \text{ m}}$$

$$p = \mathbf{1,6 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

Conceito 2 – Régua dos dez metros



- 10 m de água: cerca de **1 atm**
• mar: $1\,025\text{ kg/m}^3$
- em atm (h em metros):
$$p = 1 + \frac{h}{10}$$
- vale para líquido • no ar, não é linear

Exemplo resolvido – mar e piscina

10 m de mar ($1\,025\text{ kg/m}^3$) e 3 m de água doce: quanto somam?

Fórmula:

$$\Delta p_1 = \rho g \Delta h$$

$$\Delta p_2 = \rho g \Delta h$$

Substituição:

$$\Delta p_1 = 1\,025 \cdot 10 \cdot 10$$

$$\Delta p_2 = 1\,000 \cdot 10 \cdot 3$$

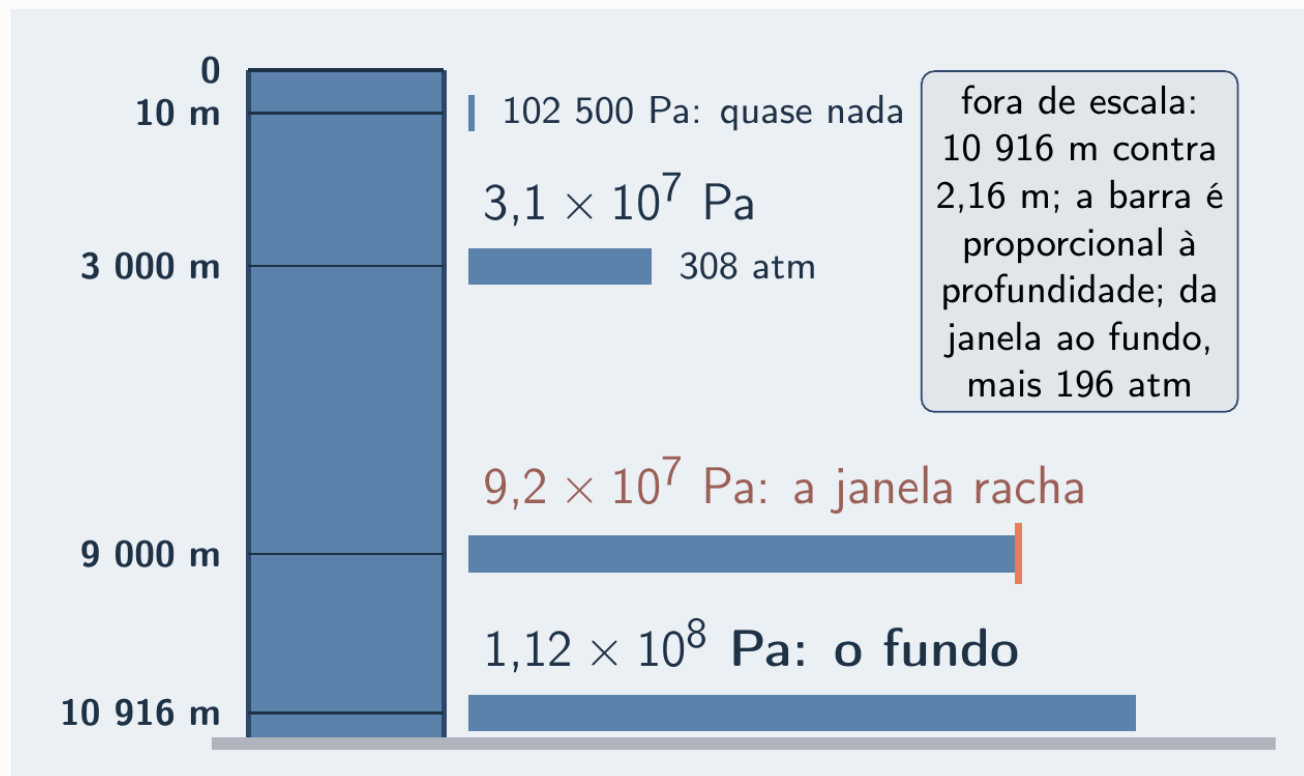
Resultado:

$$\Delta p_1 = \mathbf{102\,500\ Pa}$$

$$\Delta p_2 = \mathbf{3 \times 10^4\ Pa}$$

- 1: mar, cerca de 1 atm · 2: água doce, 0,3 atm

Conceito 3 – A descida



- pressão cresce em reta com h
- 9 000 m: cerca de 920 atm ·
fundo: cerca de 1 120 atm
- últimos 1 916 m: +21% ·
quase +200 atm

Exemplo resolvido – o fundo da fossa

10 916 m de mar ($1\,025\text{ kg/m}^3$), 10^5 Pa na superfície, $g = 10\text{ m/s}^2$

Fórmula:

$$p_c = \rho g h$$

$$p = p_0 + p_c$$

Substituição:

$$p_c = 1\,025 \cdot 10 \cdot 10\,916$$

$$p = 10^5 + p_c$$

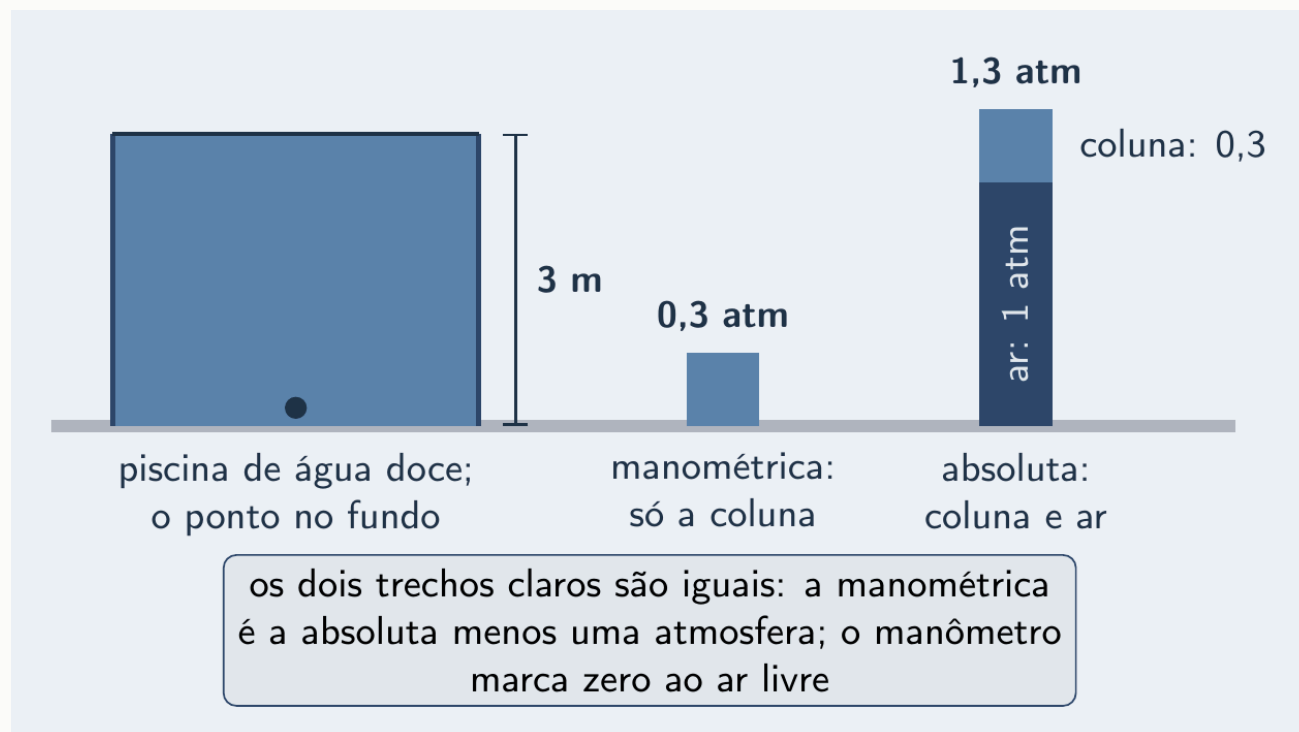
Resultado:

$$p_c \approx 1,12 \times 10^8\text{ Pa}$$

$$p \approx \mathbf{1,12 \times 10^8\text{ Pa}}$$

- cerca de 1 120 atm · o ar de cima quase não conta

Conceito 4 – Absoluta × manométrica



- absoluta: $p_0 + \rho g h$
- manométrica: $\rho g h$ · zero ao ar livre
- absoluta menos manométrica: **1 atm**, sempre

Exemplo resolvido – manômetro no tanque

Tanque com 5 m de água doce: leitura do manômetro (p_m) e pressão absoluta (p_a) no fundo

Fórmula:

$$p_m = \rho g h$$

$$p_a = p_0 + p_m$$

Substituição:

$$p_m = 1\,000 \cdot 10 \cdot 5$$

$$p_a = 10^5 + 5 \times 10^4$$

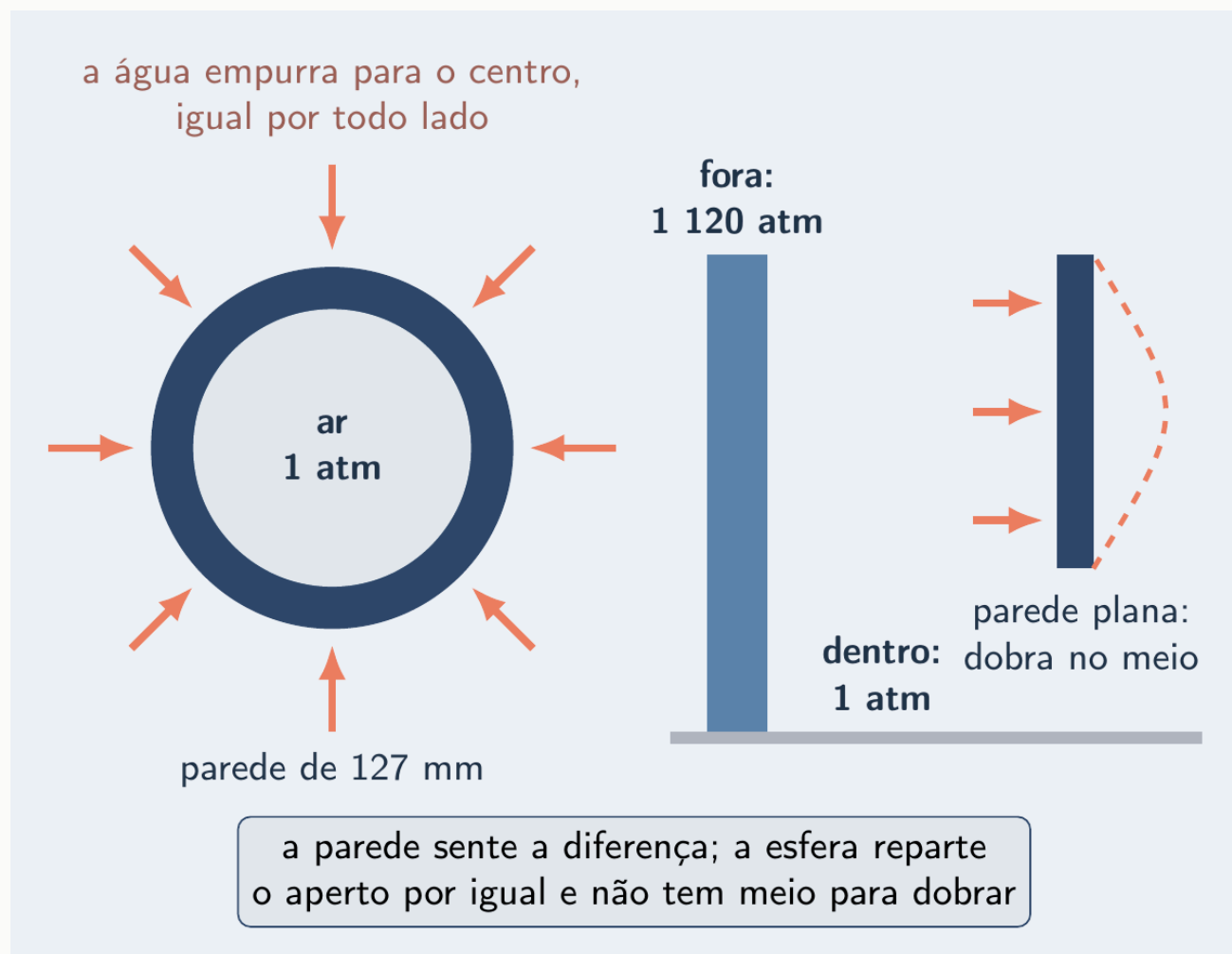
Resultado:

$$p_m = 5 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$p_a = 1,5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

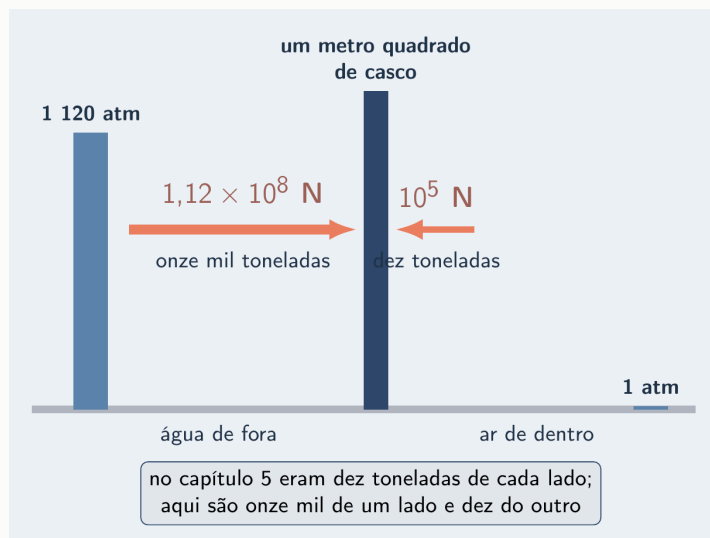
- 0,5 atm · 1,5 atm

Conceito 5 – A diferença esmaga



- parede sente $p_{\text{fora}} - p_{\text{dentro}}$
- esfera: aperto igual, sem meio para dobrar
- peixe do fundo: mesma pressão dentro → nada sente

Exemplo resolvido — 1 m^2 de casco



Parede de 1 m^2 no fundo: fora
 $1,12 \times 10^8 \text{ Pa}$ · dentro 10^5 Pa

Fórmula:

$$F_{\text{fora}} = p_{\text{fora}} A$$

$$F_{\text{dentro}} = p_{\text{dentro}} A$$

Substituição:

$$F_{\text{fora}} = 1,12 \times 10^8 \cdot 1$$

$$F_{\text{dentro}} = 10^5 \cdot 1$$

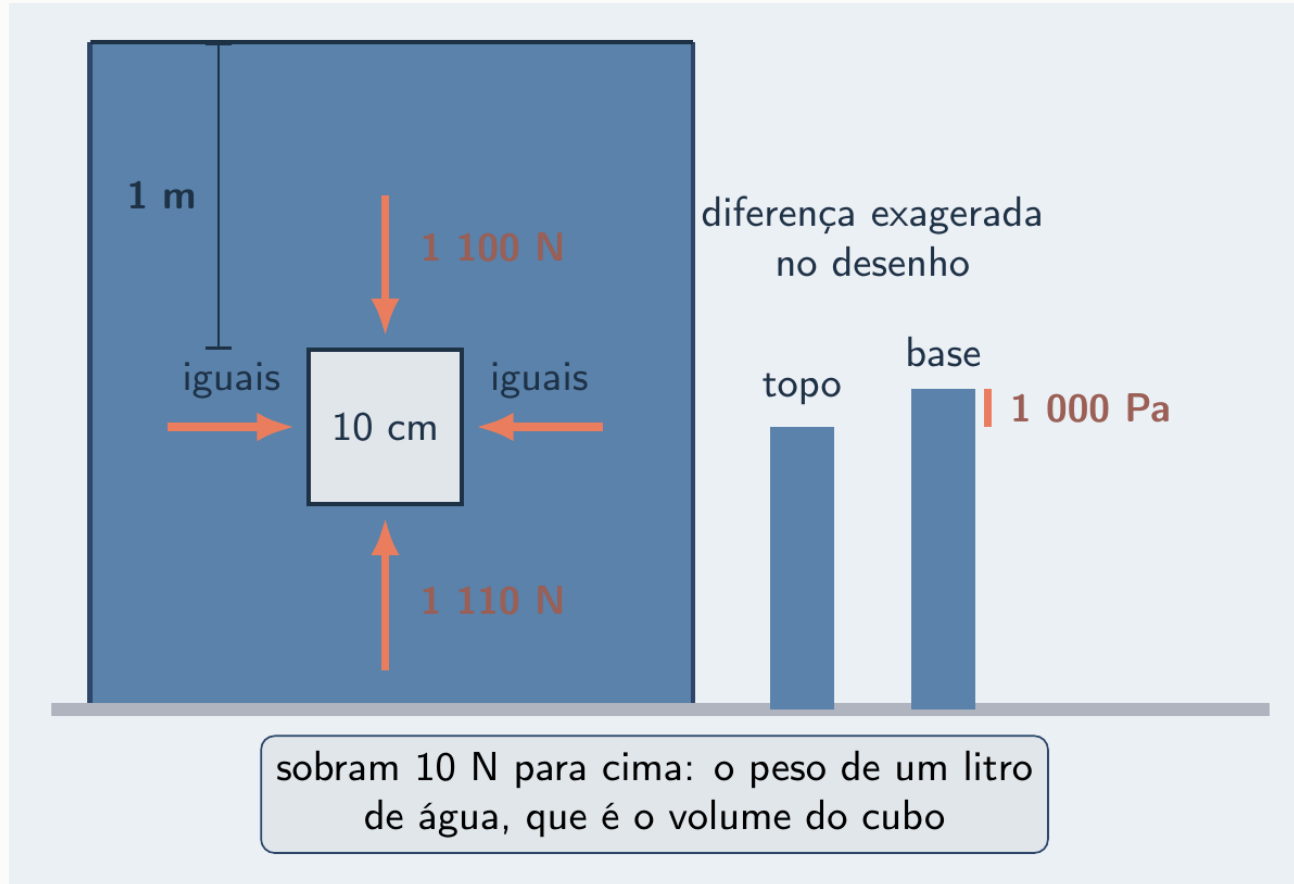
Resultado:

$$F_{\text{fora}} = \mathbf{1,12 \times 10^8 \text{ N}}$$

$$F_{\text{dentro}} = \mathbf{10^5 \text{ N}}$$

- cerca de 11 200 t contra 10 t

Conceito 6 – O cubo submerso



- face de baixo mais funda → pressão maior
- sobra força para cima: o peso do líquido deslocado
- independe da profundidade · semente do empuxo

Exemplo resolvido – cubo de 20 cm

Cubo de 20 cm de aresta totalmente imerso em água doce ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Fórmula:

$$\Delta p = \rho g a$$

$$F = \Delta p a^2$$

Substituição:

$$\Delta p = 1\,000 \cdot 10 \cdot 0,2$$

$$F = 2\,000 \cdot 0,04$$

Resultado:

$$\Delta p = \mathbf{2\,000\ Pa}$$

$$F = \mathbf{80\ N}$$

- para cima · peso de 8 L de água

Radar ENEM

~~"a pressão no fundo
depende da quantidade
de água do recipiente"~~

distrator

a pressão depende só da
profundidade e da densidade:
 $p = p_0 + \rho \times g \times h$

resposta

10 m: 1 atm de coluna; 20 m: 3 absolutas

manométrica = absoluta – 1 atm

pediu a total? some o ar; pediu o manômetro? tire-o;
profundidade sempre em metros

- ~~X~~ 20 m: 2 atm totais · ✓ **3 atm**
- ~~X~~ p_0 na "pressão da água" · ✓ só $\rho g h$
- ~~X~~ h em cm · ✓ h em metros
- ~~X~~ mais água, mais pressão · ✓ só a profundidade
- ~~X~~ manômetro é a absoluta · ✓ manômetro + 1 atm
- ~~X~~ parede sente 1 000 atm · ✓ só a diferença

Resumo em cinco peças

1 Stevin:
 $p = p_0 + \rho \times g \times h$
a pressão de cima
mais a coluna

2 dez metros de água,
uma atmosfera; só a
profundidade manda,
nunca o formato

3 absoluta conta o ar
de cima; manométrica,
só a coluna:
a diferença
é sempre 1 atm

4 o que esmaga é a
diferença entre fora
e dentro: por isso
a esfera é esfera

5 embaixo
de um corpo
a pressão é maior que
em cima: o empuxo
nasce aqui

1. $p = p_0 + \rho g h$

2. cada 10 m, +1 atm

3. absoluta: manométrica + 1 atm

4. parede segura só a diferença

5. embaixo empurra mais:
empuxo

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m4/c6/lista>

Canarinho · lista do Episódio 6

Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/m4/c6/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m4/c6/lista>

Livro da minissérie



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

<https://professorcanario.com.br/mecanica4/livro/>