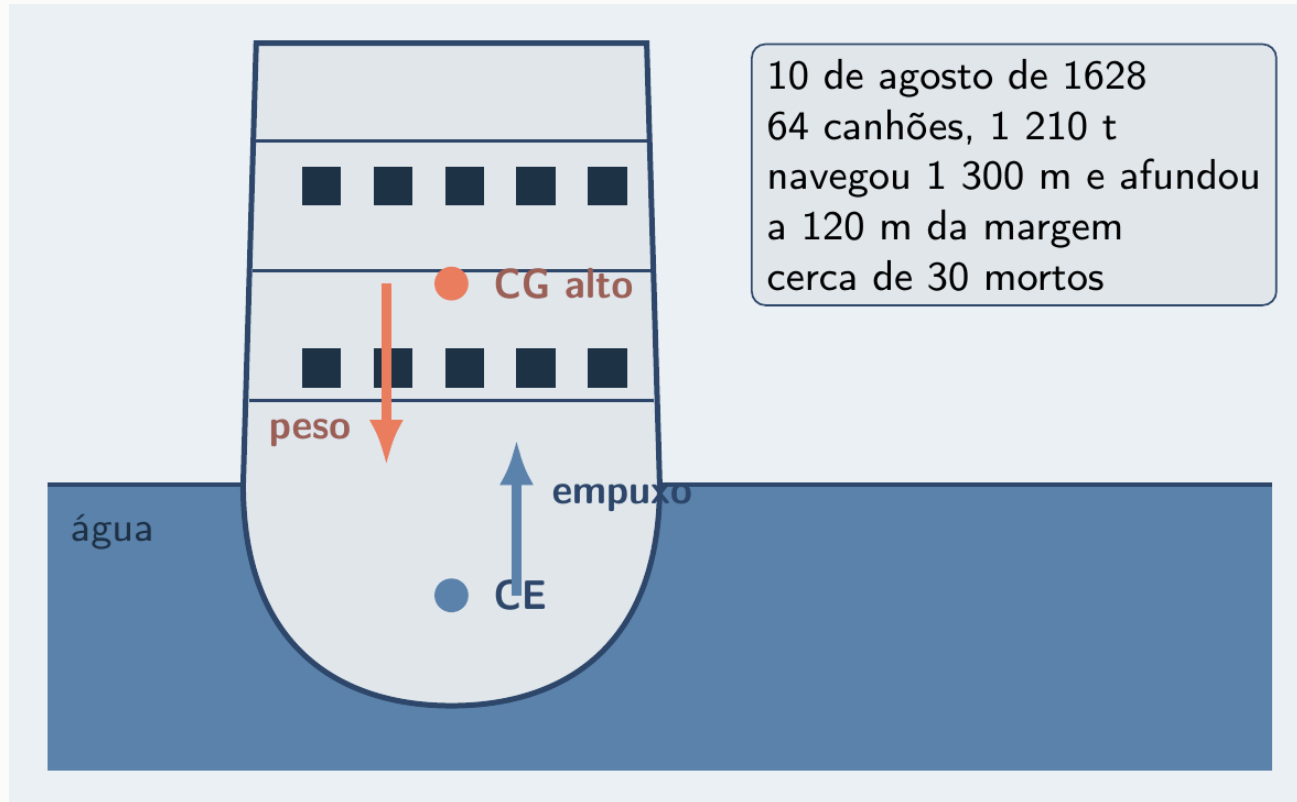


**Mecânica IV · Episódio 8**

# **O navio que afundou a mil e trezentos metros do cais**

Empuxo, Arquimedes e estabilidade

# O caso



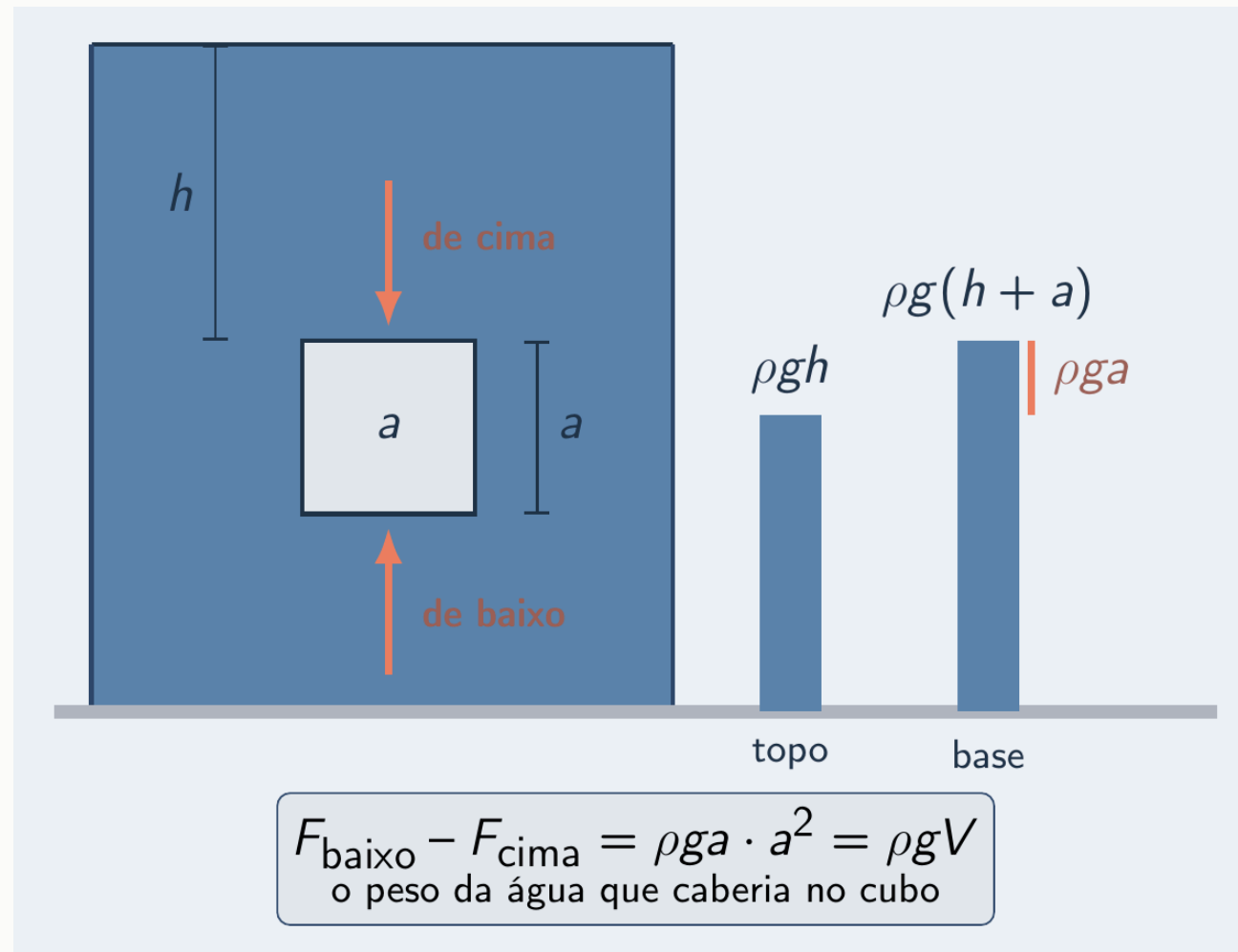
- Estocolmo, 10 de agosto de 1628 · navio de 64 canhões, 1 210 t
- 1 300 m navegados · rajada · aderna
- água pelas portinholas · afunda a 120 m da margem
- cerca de 30 mortos · casco resgatado em 1961

## Pergunta do episódio

---

**Um navio que flutua pode, mesmo assim,  
virar?**

# Conceito 1 – Empuxo



- embaixo, mais fundo → **mais pressão** que em cima
- sobra para cima:  
$$E = \rho g a^3 = \rho g V$$
- força em newton: seta, não barra

## Exemplo resolvido – o cubo de 10 cm

---

Cubo de aresta 0,1 m, todo dentro de água doce

Fórmula:

Substituição:

Resultado:

$$V = a^3$$

$$V = 0,1^3$$

$$V = \mathbf{0,001 \, m^3}$$

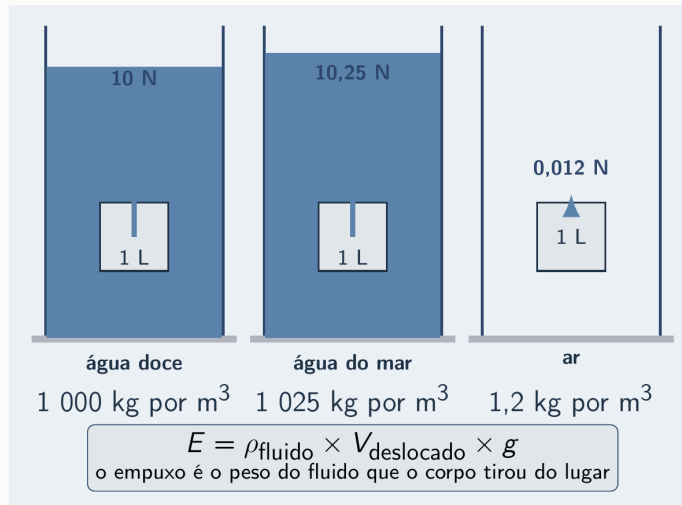
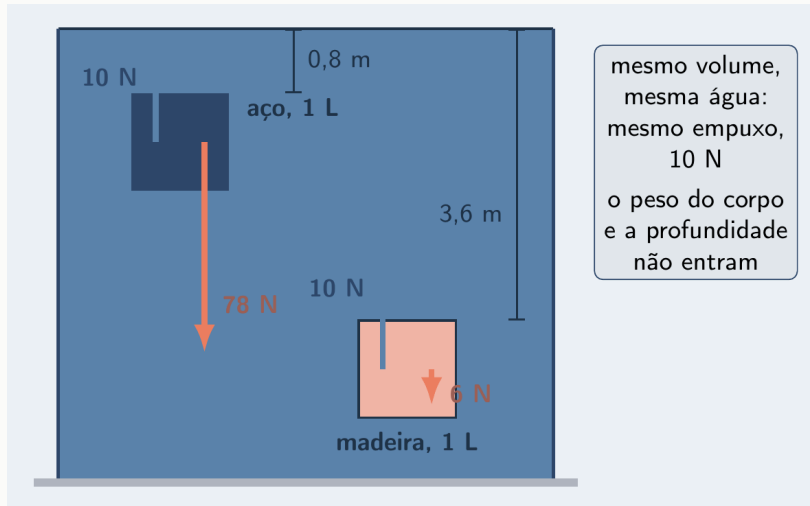
$$E = \rho V g$$

$$E = 1\,000 \cdot 0,001 \cdot 10$$

$$E = \mathbf{10 \, N}$$

- a 1 m ou a 5 m de fundo

# Conceito 2 – Lei de Arquimedes



$$E = \rho_{\text{fluido}} V_{\text{desl}} g$$

- entra: fluido e volume · não entra: peso, material, fundura
- litro  $\rightarrow 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{cm}^3 \rightarrow 10^{-6} \text{ m}^3$

## Exemplo resolvido – dois litros no mar

---

Pedra de 2 L, toda submersa em água do mar ( $1\,025\text{ kg/m}^3$ )

Fórmula:

$$E = \rho V g$$

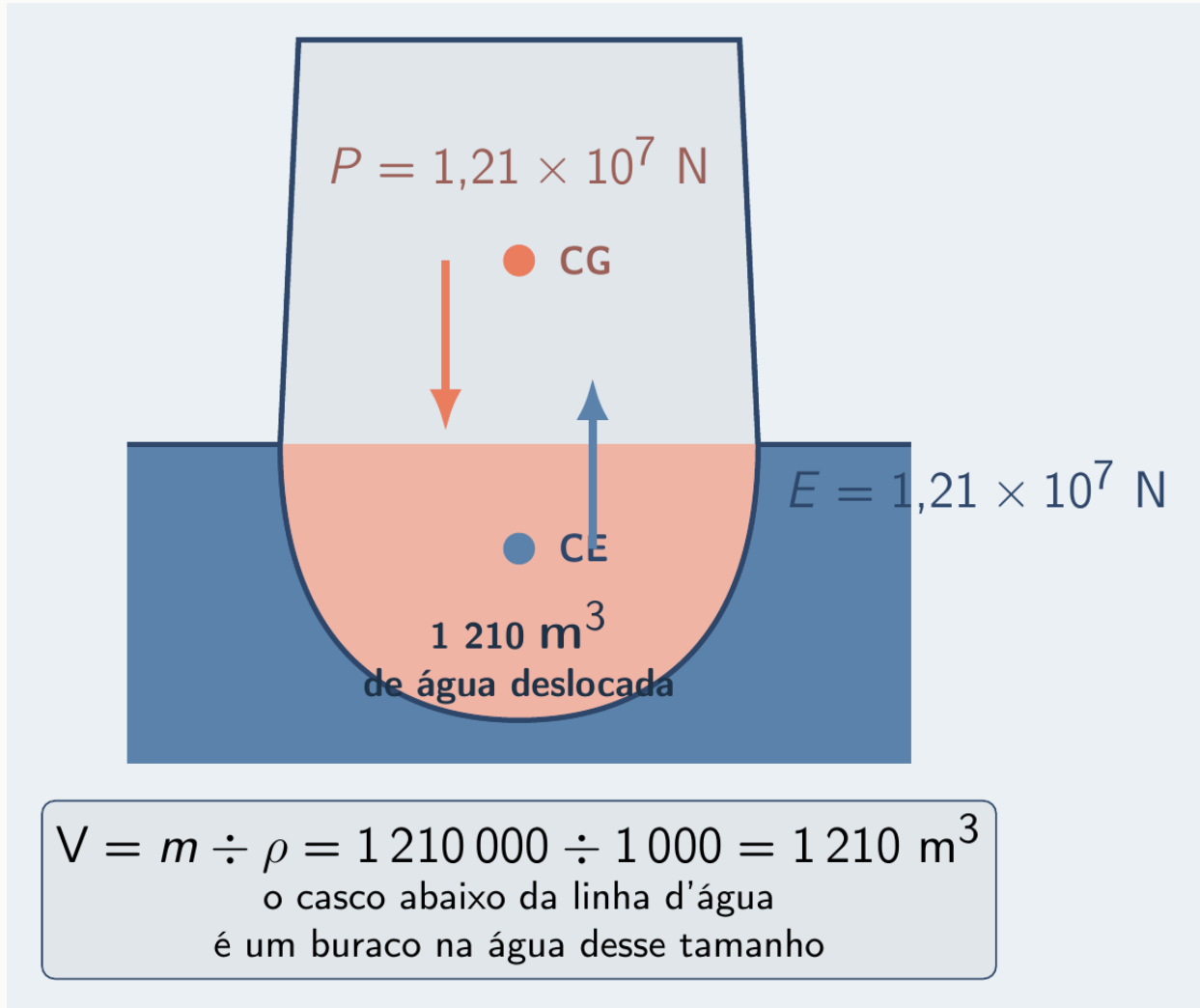
Substituição:

$$E = 1\,025 \cdot 2 \times 10^{-3} \cdot 10$$

Resultado:

$$E = \mathbf{20,5\text{ N}}$$

# Conceito 3 – Flutuar



- equilíbrio:

$$E = P$$

- volume submerso:

$$V_{\text{sub}} = \frac{m}{\rho_{\text{fluido}}}$$

- "deslocamento": massa medida pela água deslocada

## Exemplo resolvido – o Vasa na água

---

1 210 t flutuando · água doce, 1 000 kg/m<sup>3</sup>

Fórmula:

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

Substituição:

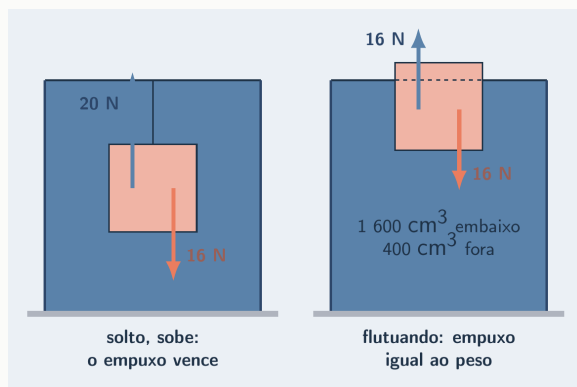
$$V = \frac{1\,210\,000}{1\,000}$$

Resultado:

$$V = 1\,210 \text{ m}^3$$

- no mar, cerca de 1 180 m<sup>3</sup>

# Exemplo resolvido – sobe ou afunda?



Bloco de  $2\,000\text{ cm}^3$  e  $1,6\text{ kg}$ , preso embaixo d'água e solto

Fórmula:

Substituição:

Resultado:

$$E = \rho V g$$

$$E = 1\,000 \cdot 2 \times 10^{-3} \cdot 10$$

$$E = \mathbf{20\text{ N}}$$

$$P = m g$$

$$P = 1,6 \cdot 10$$

$$P = \mathbf{16\text{ N}}$$

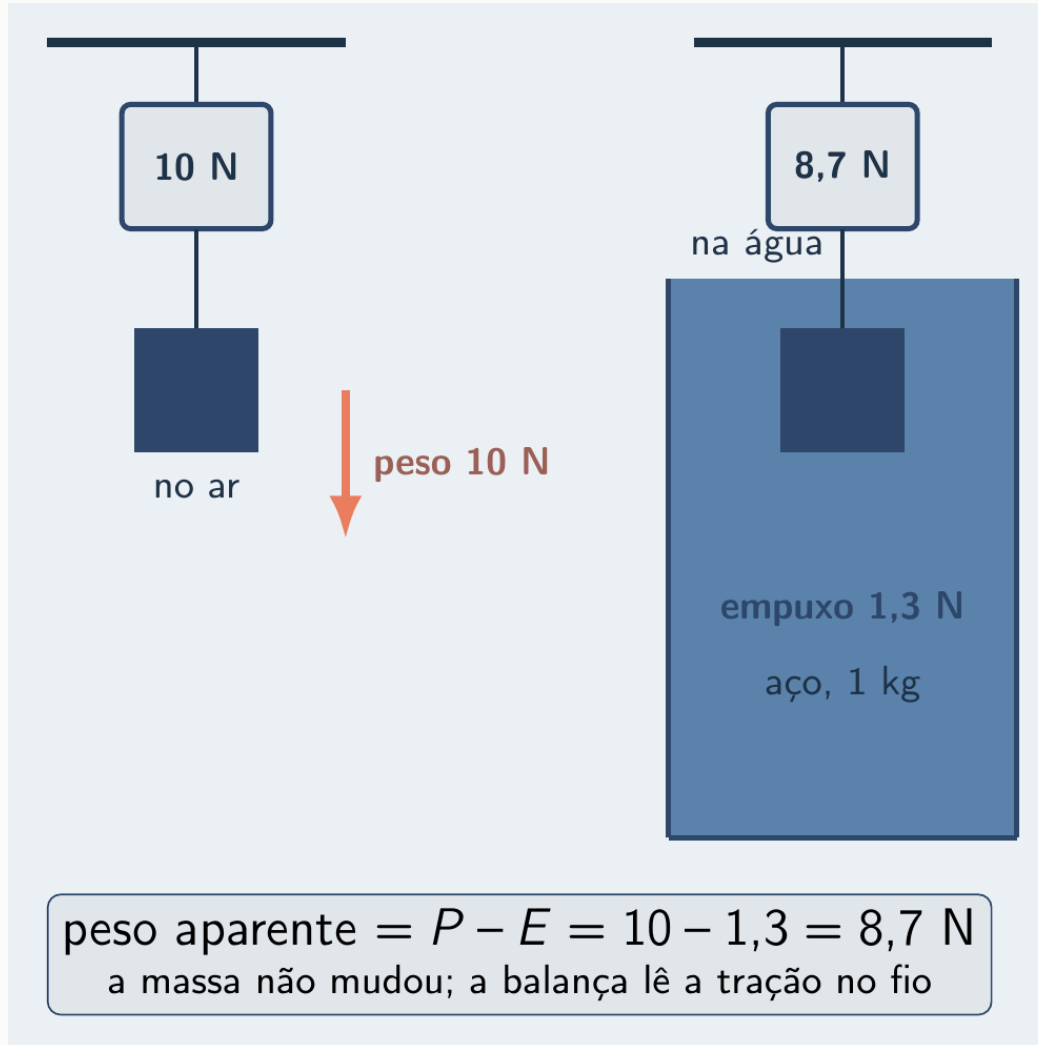
$$V_{\text{sub}} = \frac{m}{\rho}$$

$$V_{\text{sub}} = \frac{1,6}{1\,000}$$

$$V_{\text{sub}} = \mathbf{1\,600\text{ cm}^3}$$

- $E > P$ : sobe e para com 80% dentro

# Conceito 4 – Peso aparente



- leitura da mola:  
$$P_{\text{ap}} = P - E$$
- massa e peso verdadeiros: iguais
- aparente zero  $\rightarrow$  flutua

## Exemplo resolvido – aço na balança

---

Bloco de aço de 1 kg (10 N no ar) mergulhado em água doce

- volume do aço ( $7\,800\text{ kg/m}^3$ ):

$$V = \frac{1}{7\,800} \approx 1,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Fórmula:

$$E = \rho_{\text{água}} V g$$

$$P_{\text{ap}} = P - E$$

Substituição:

$$E = 1\,000 \cdot 1,28 \times 10^{-4} \cdot 10$$

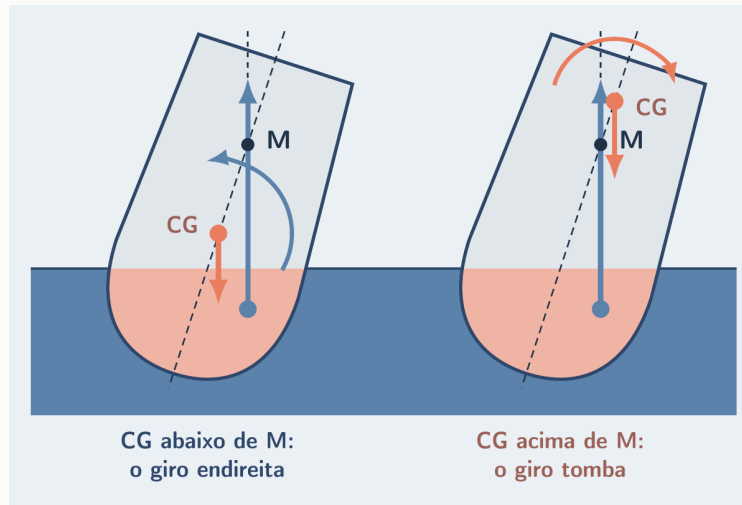
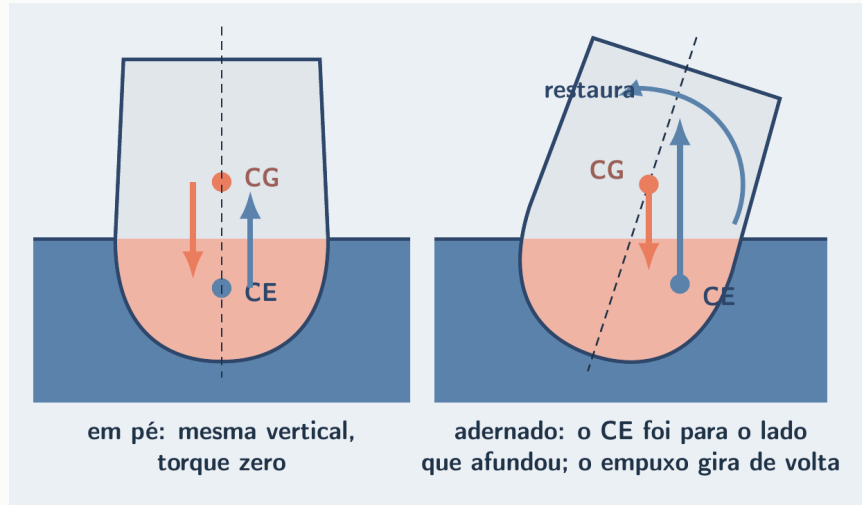
$$P_{\text{ap}} = 10 - 1,3$$

Resultado:

$$E \approx \mathbf{1,3\text{ N}}$$

$$P_{\text{ap}} = \mathbf{8,7\text{ N}}$$

# Conceito 5 – Estabilidade



- peso no **CG** · empuxo no **centro do volume submerso**
- CG abaixo de M → endireita · acima → tomba
- flutuar não é ficar em pé

## Exemplo resolvido – o torque que endireita

---

Casco adernado · empuxo de  $1,21 \times 10^7 \text{ N}$  passa 0,1 m ao lado do CG

Fórmula:

Substituição:

Resultado:

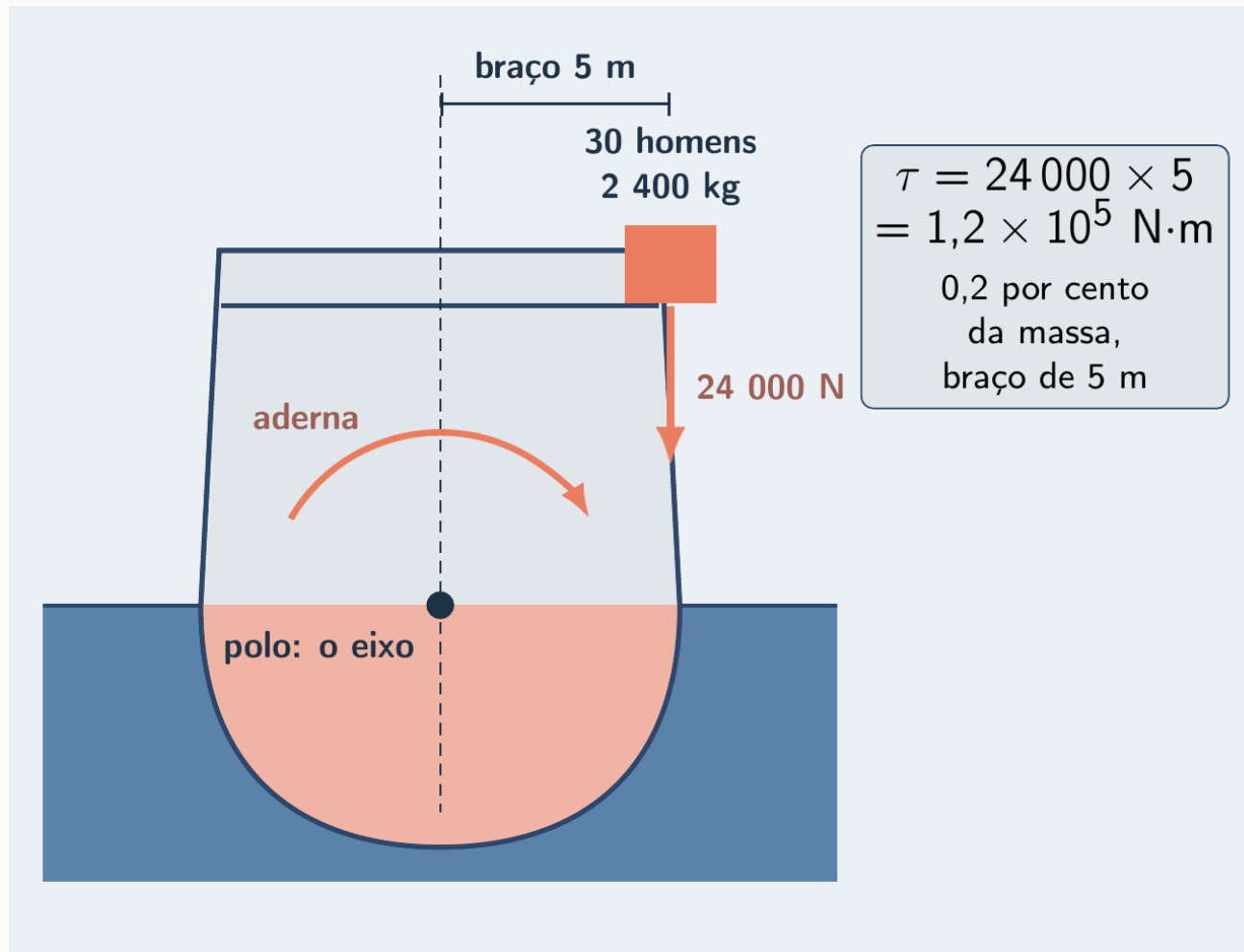
$$\tau = E b$$

$$\tau = 1,21 \times 10^7 \cdot 0,1$$

$$\tau \approx \mathbf{1,2 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

- polo no CG · de volta, se o CG está abaixo de M

# Conceito 6 – O teste dos trinta homens



- peso deslocado vira força nova no diagrama
- braço: do eixo até a linha de ação
- pouca massa · braço grande · torque enorme

## Exemplo resolvido – o teste de 1628

---

30 homens de 80 kg a 5 m do eixo · navio de 1 210 t

Fórmula:

$$\tau = m g d$$

$$f = \frac{m}{M}$$

Substituição:

$$\tau = 2\,400 \cdot 10 \cdot 5$$

$$f = \frac{2\,400}{1\,210\,000}$$

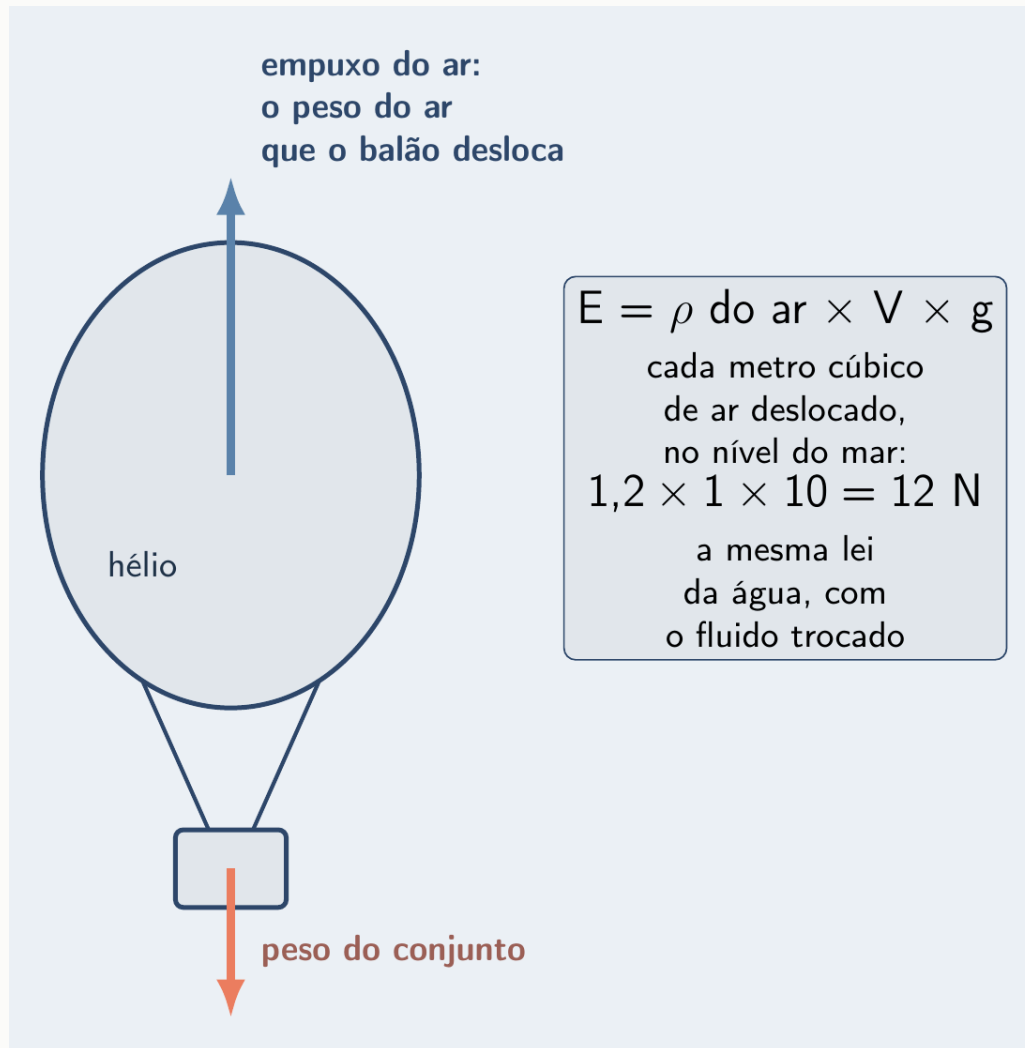
Resultado:

$$\tau = 1,2 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$f \approx 0,002$$

- só 0,2% da massa do navio

# Conceito 7 – O balão



- ar também é fluido:  
$$E = \rho_{\text{ar}} V g$$
- $1 \text{ m}^3$  de ar ao nível do mar  $\rightarrow 12 \text{ N}$
- no alto, ar rarefeito: a subida para

## Exemplo resolvido — balão de $500 \text{ m}^3$

---

Balão desloca  $500 \text{ m}^3$  de ar a  $1,2 \text{ kg/m}^3$

Fórmula:

$$E = \rho V g$$

Substituição:

$$E = 1,2 \cdot 500 \cdot 10$$

Resultado:

$$E = \mathbf{6\ 000\ N}$$

- sobe se o conjunto pesa menos

# Radar ENEM

$$E = \rho_{\text{fluido}} \times V_{\text{submerso}} \times g$$

**E maior que P**  
sobe até flutuar

**E igual a P**  
flutua parado

**E menor que P**  
afunda

~~o empuxo depende do peso do corpo~~

V é o volume **submerso**, em  $\text{m}^3$  ( $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$ )  
corpo todo submerso: a profundidade não entra  
peso aparente = peso menos empuxo

- ✗ mais pesado, mais empuxo
- ✗ empuxo crescendo com a fundura
- ✗ volume inteiro se flutua
- ✗ unidade de volume sem converter
- ✗ "flutua, logo é estável"
- ✓ empuxo comparado com o peso

# Resumo em cinco peças

---

**1** o empuxo é a diferença das pressões de Stevin: embaixo, maior que em cima

**2** Arquimedes:  
 $E = \rho_f V_d g$   
do fluido e do volume, não do peso do corpo

**3** flutua quando  $E = P$ ; na água, a balança marca o peso aparente

**4** o empuxo age no centro do volume submerso, o peso no CG: CG alto tomba

**5** o Vasa: alto e pesado em cima, lastro de menos embaixo

1. empuxo: diferença de pressões

2.  $E = \rho_{\text{fluido}} V g$

3. flutua:  $E = P$

4. CG alto demais tomba

5. Vasa: pesado em cima

# Treine no jogo

---



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m4/c8/lista>

Canarinho · lista do Episódio 8

# Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

## Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/m4/c8/video>

## Lista no app



As questões deste episódio,  
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m4/c8/lista>

## Livro da minissérie



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

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