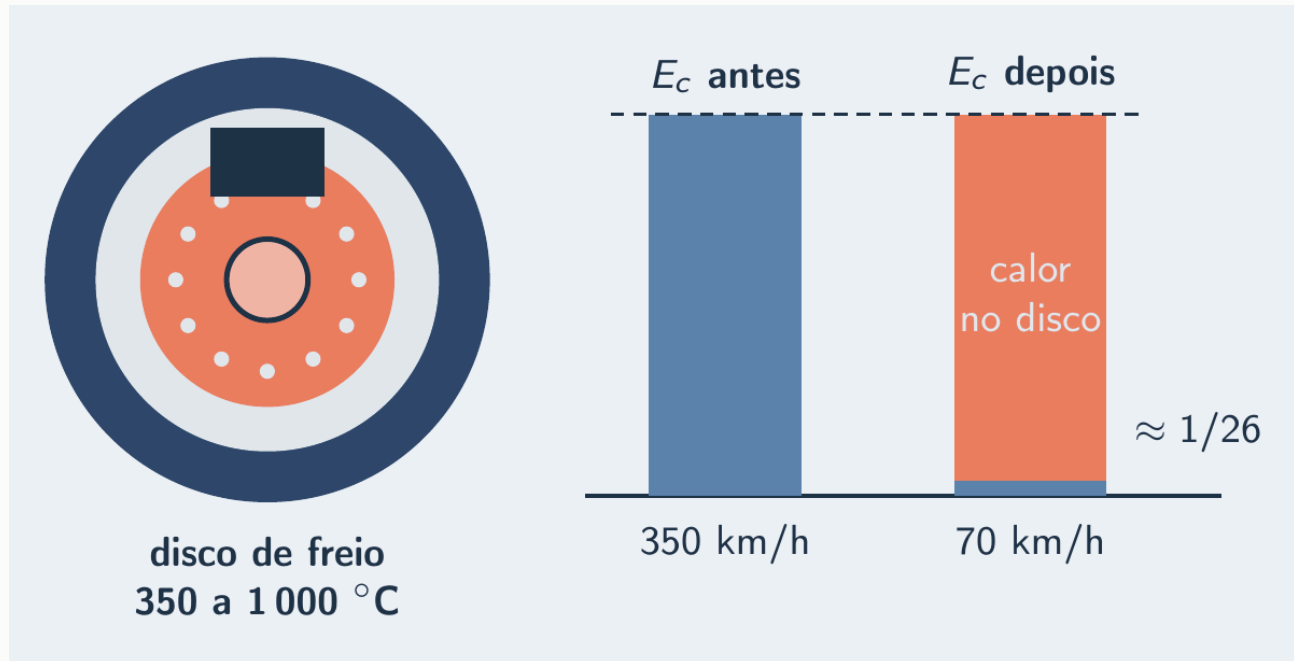


Mecânica II · Episódio 7

Para onde foi a energia do carro que freou

Forças dissipativas e energia térmica

0 caso

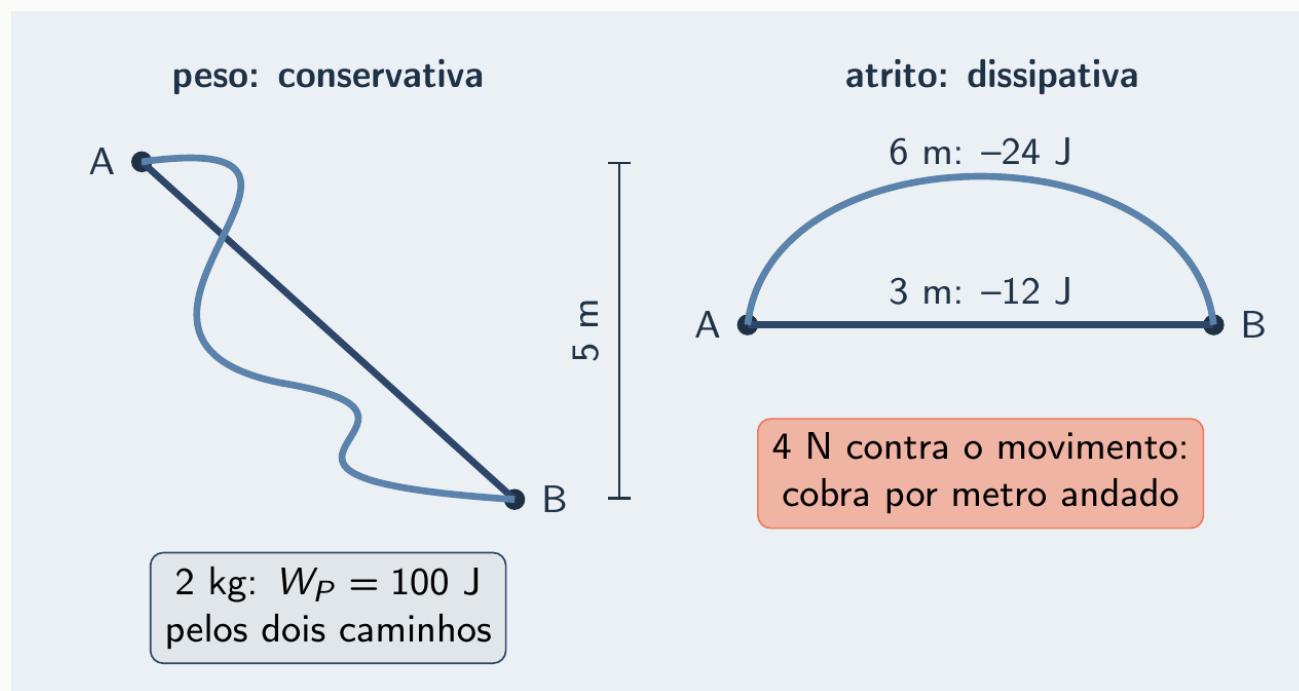


- reta: cerca de 350 km/h → curva: cerca de 70 km/h, em poucos segundos
- disco de carbono: 350 °C a 1 000 °C · frenagem forte: acima de 1 000 °C
- energia cinética na saída: quase 26 vezes menor que na entrada
- à noite: quatro discos acesos

Pergunta do episódio

Se a energia não some, onde está a que o carro perdeu?

Conceito 1 – Conservativa × dissipativa



- **conservativa**: trabalho não depende do caminho · tem E_p (peso, elástica)
- **dissipativa**: depende do caminho · sempre negativo (atrito, ar)
- o atrito não devolve: na volta, cobra de novo

Exemplo resolvido – atrito e caminho

Atrito de 5 N: caminho reto de 4 m contra desvio de 8 m

Fórmula:

$$W_{\text{reto}} = -F d_{\text{reto}}$$

$$W_{\text{desvio}} = -F d_{\text{desvio}}$$

Substituição:

$$W_{\text{reto}} = -5 \cdot 4$$

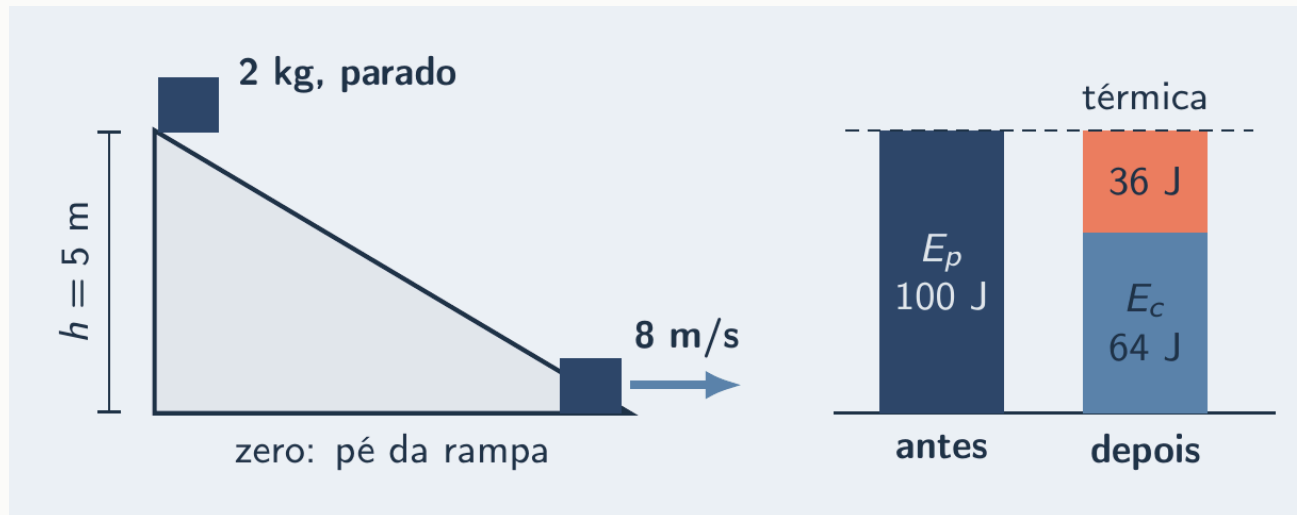
$$W_{\text{desvio}} = -5 \cdot 8$$

Resultado:

$$W_{\text{reto}} = -20 \text{ J}$$

$$W_{\text{desvio}} = -40 \text{ J}$$

Conceito 2 – Balanço com atrito



- antes de tudo: **sistema + dois instantes + nível zero**

$$E_m^{\text{depois}} = E_m^{\text{antes}} + W_{\text{at}}$$

- com $W_{\text{at}} < 0$
- $W_{\text{at}} = 0 \rightarrow$ volta a conservação

Exemplo resolvido – bloco na rampa

2 kg, rampa de 5 m, chega a 8 m/s · zero no pé

Fórmula:

$$E_p = m g h$$

$$E_c = \frac{m v^2}{2}$$

$$W_{\text{at}} = E_m^{\text{depois}} - E_m^{\text{antes}}$$

Substituição:

$$E_p = 2 \cdot 10 \cdot 5$$

$$E_c = \frac{2 \cdot 8^2}{2}$$

$$W_{\text{at}} = 64 - 100$$

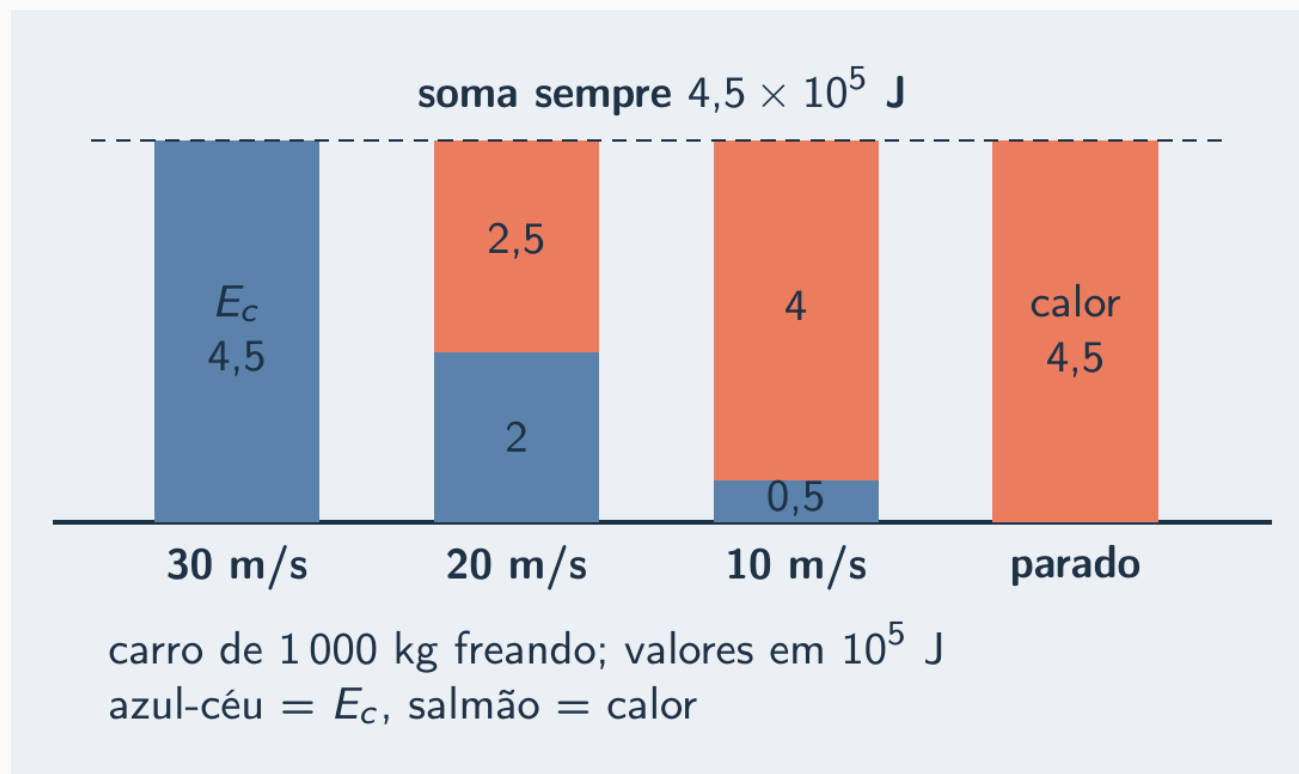
Resultado:

$$E_p = \mathbf{100 \text{ J}}$$

$$E_c = \mathbf{64 \text{ J}}$$

$$W_{\text{at}} = \mathbf{-36 \text{ J}}$$

Conceito 3 – A coluna calor



- energia não se cria nem se destrói: **muda de forma**
- térmica: agitação das partículas → temperatura sobe
- extrato: cinética · potencial · **térmica** — soma constante
- energia é escalar: barra ou número, nunca seta

Exemplo resolvido – carro até parar

1 000 kg a 108 km/h, pista plana, até parar: toda a E_c vira térmica

Fórmula:

$$v = \frac{v_{\text{km/h}}}{3,6}$$

$$E_{\text{térm}} = \frac{m v^2}{2}$$

Substituição:

$$v = \frac{108}{3,6}$$

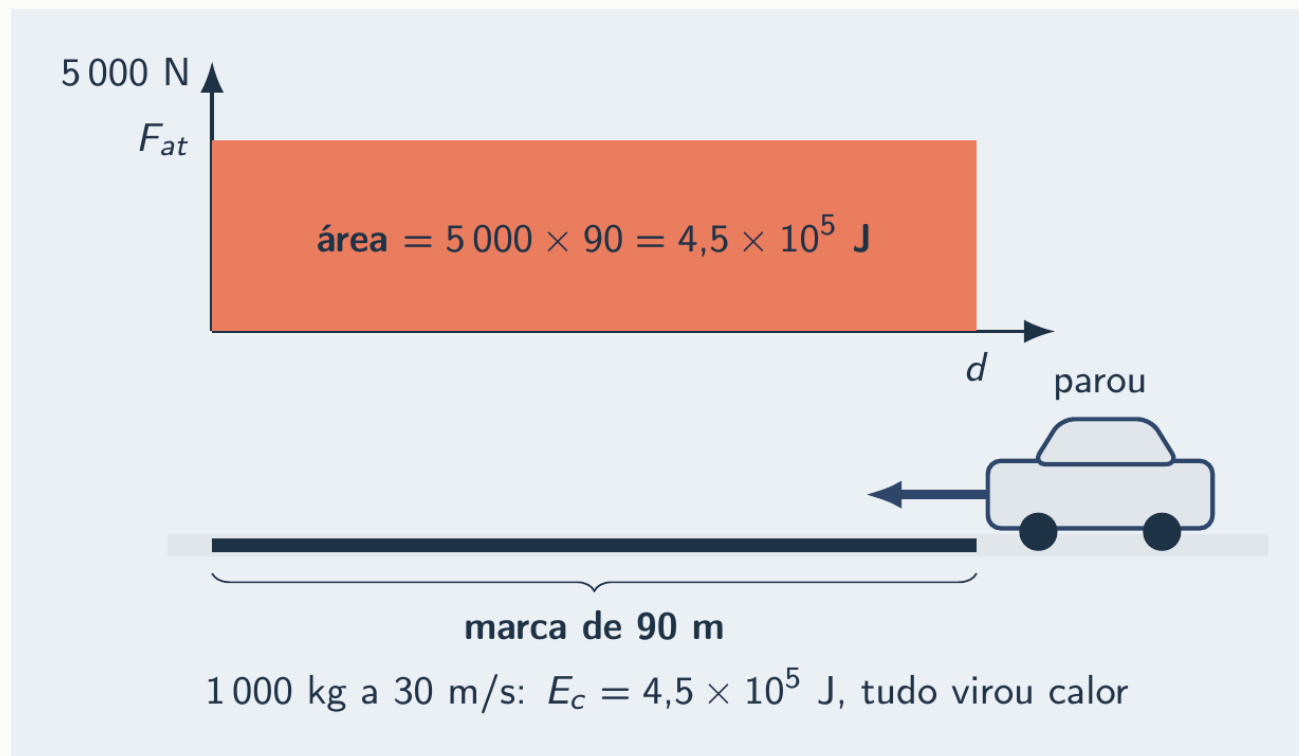
$$E_{\text{térm}} = \frac{1\,000 \cdot 30^2}{2}$$

Resultado:

$$v = \mathbf{30\,m/s}$$

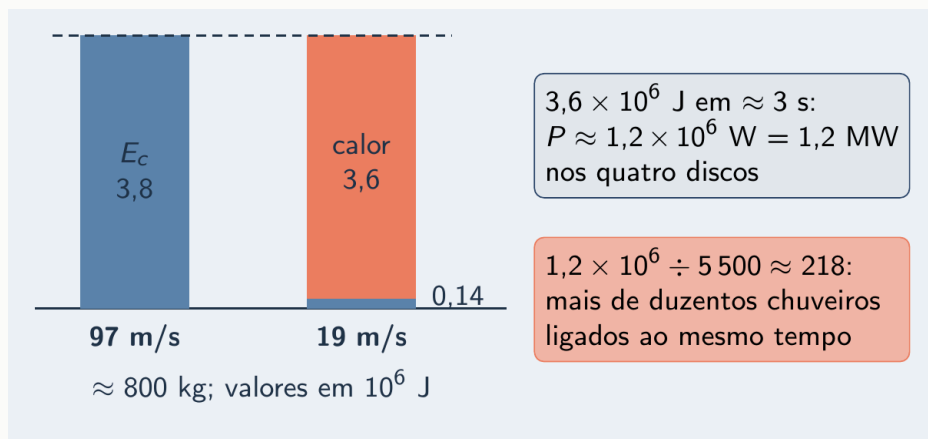
$$E_{\text{térm}} = \mathbf{4,5 \times 10^5\,J}$$

Conceito 4 – O freio



- pastilha contra disco: cinética
→ calor, de propósito
- área do retângulo $F d$:
trabalho do atrito, calor
gerado
- marca de 90 m a 108 km/h →
 $F_{at} = 5\,000\text{ N}$
- freio quente demais → atrito
cai → área de escape

Exemplo resolvido – o disco de corrida



Cerca de $800 \text{ kg} \cdot 350 \rightarrow 70 \text{ km/h}$
(cerca de 97 e 19 m/s) em cerca de 3
S

Fórmula:

$$E_{\text{tér}} = \frac{m(v_1^2 - v_2^2)}{2}$$

$$P = \frac{E_{\text{tér}}}{t}$$

Substituição:

$$E_{\text{tér}} \approx 400 \cdot (9\,400 - 360)$$

$$P \approx \frac{3,6 \times 10^6}{3}$$

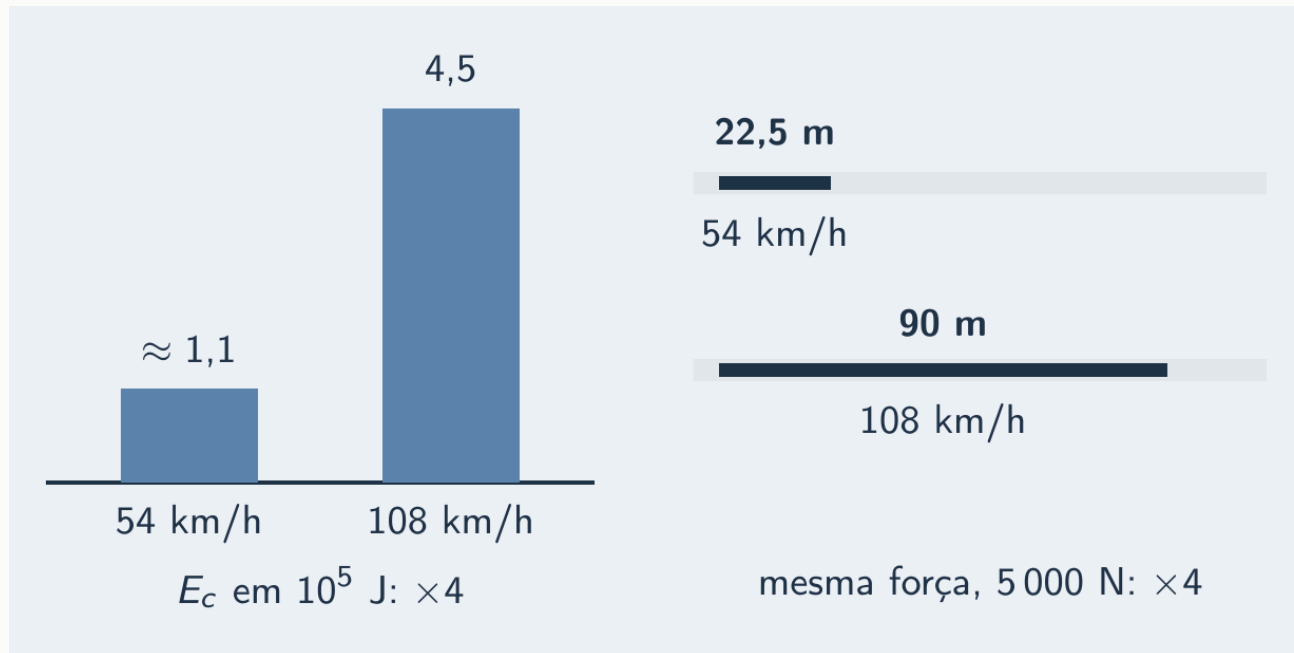
Resultado:

$$E_{\text{tér}} \approx \mathbf{3,6 \times 10^6 \text{ J}}$$

$$P \approx \mathbf{1,2 \text{ MW}}$$

- cerca de 218 chuveiros de 5 500 W

Conceito 5 – O quadrado dói



- calor a gerar: a E_c toda

$$E_c \propto v^2$$

- dobro da velocidade $\rightarrow$ **4 vezes** o calor e a marca (mesma força)
- triplo da velocidade $\rightarrow$ 9 vezes

Exemplo resolvido – 54 contra 108

1 000 kg a 54 km/h (15 m/s) · atrito de 5 000 N · até parar

Fórmula:

$$E_{\text{tér}} = \frac{m v^2}{2}$$

$$d = \frac{E_{\text{tér}}}{F_{\text{at}}}$$

Substituição:

$$E_{\text{tér}} = \frac{1\,000 \cdot 15^2}{2}$$

$$d = \frac{1,125 \times 10^5}{5\,000}$$

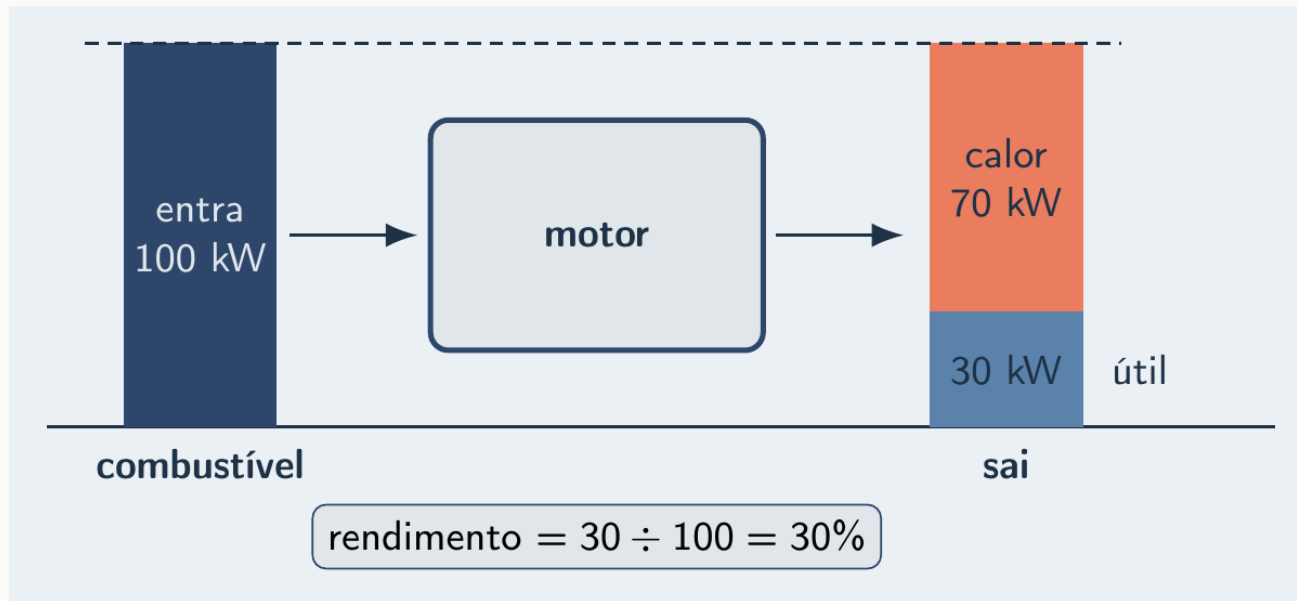
Resultado:

$$E_{\text{tér}} = 1,125 \times 10^5 \text{ J}$$

$$d = 22,5 \text{ m}$$

- um quarto dos 90 m

Conceito 6 – Rendimento



$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}}$$

- o resto não some: vira calor
- freio: rendimento zero ·
nenhum motor real chega a 100%
- rendimento maior: desperdiça menos (não é "mais forte")

Exemplo resolvido – motor

Motor recebe 60 kW e entrega 21 kW na roda

Fórmula:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}}$$

Substituição:

$$\eta = \frac{21}{60}$$

Resultado:

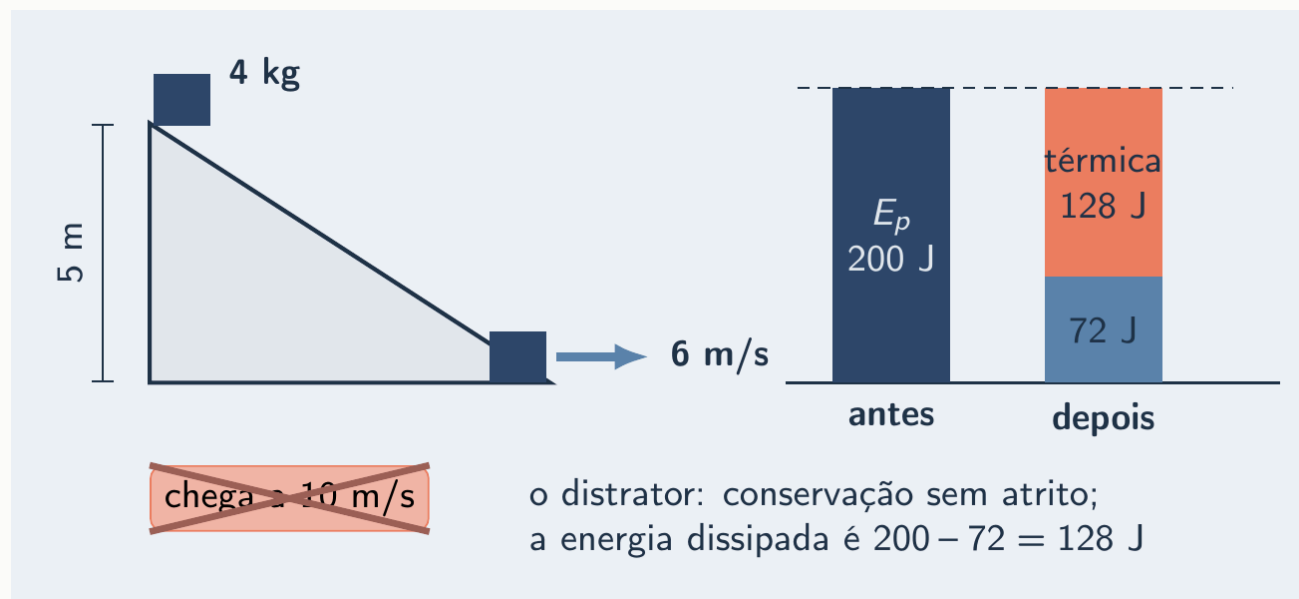
$$\eta = 0,35 = \mathbf{35 \%}$$

$$P_{\text{calor}} = P_{\text{total}} - P_{\text{útil}}$$

$$P_{\text{calor}} = 60 - 21$$

$$P_{\text{calor}} = \mathbf{39 \text{ kW}}$$

Radar ENEM



- ✗ conservação pura com atrito (o " 10 m/s ")
- ✗ energia "destruída" ou "gasta"
- ✗ W_{at} positivo
- ✗ esquecer o quadrado
- ✗ rendimento como fração que vira calor
- ✓ dissipada: antes – depois

Resumo em cinco peças

1 atrito é dissipativo:
 $W_{at} < 0$, e depende
do caminho

2 com atrito, E_m cai
exatamente $|W_{at}|$

3 a diferença é
energia térmica:
nada se perde

4 frear a 108 dissipa
 $4\times$ mais que a 54

5 rendimento:
o mesmo
fato visto pelo motor

1. atrito: dissipativo, W sempre negativo
2. E_m cai $|W_{at}|$
3. o que falta vira térmica
4. dobro da velocidade, quádruplo do calor
5. rendimento: útil sobre total

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m2/c7/lista>

Canarinho · lista do Episódio 7

Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/m2/c7/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m2/c7/lista>

Livro da minissérie



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

<https://professorcanario.com.br/mecanica2/livro/>