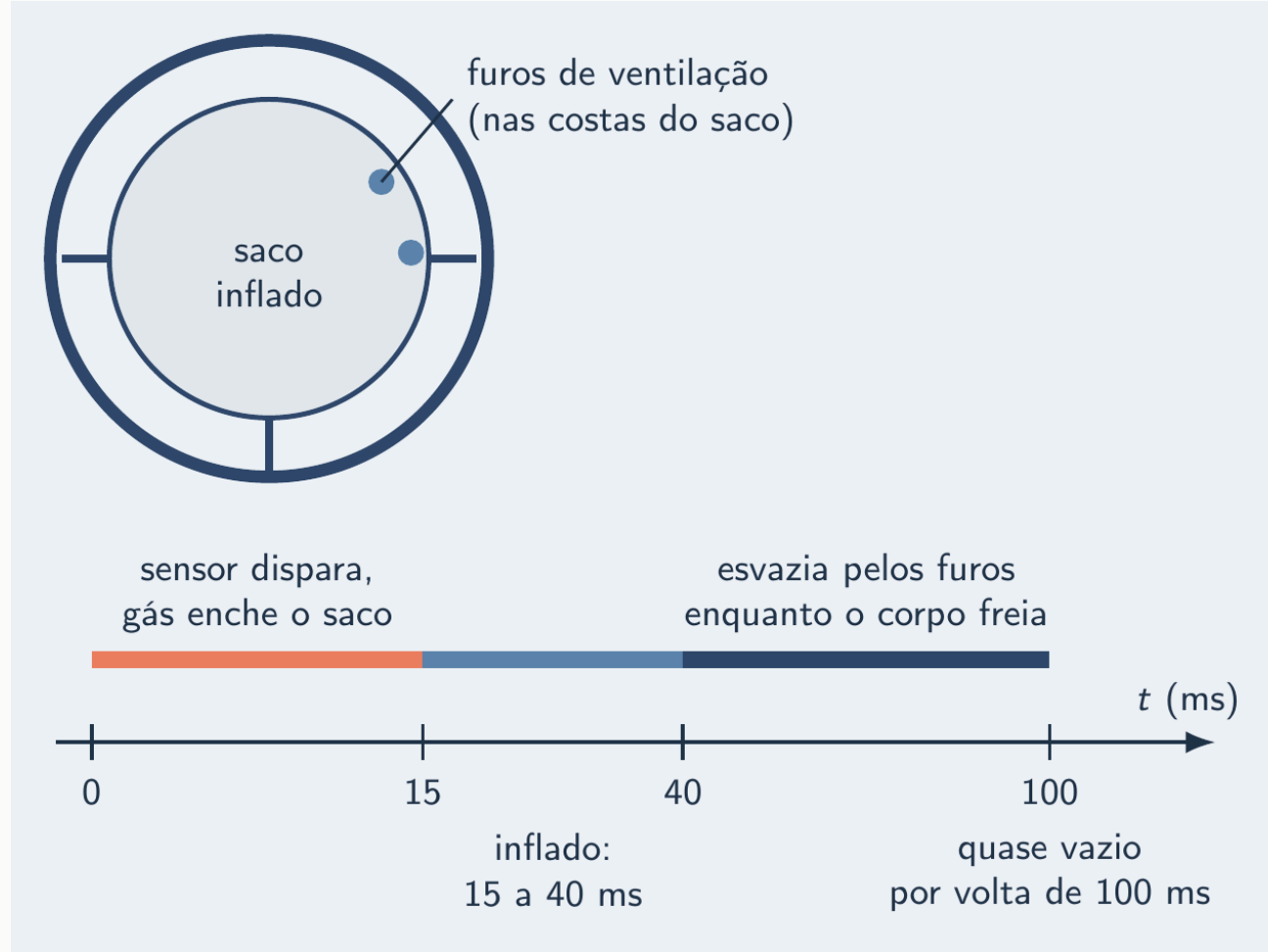


Mecânica II · Episódio 8

O airbag tem furos de propósito

Impulso e quantidade de movimento

O caso



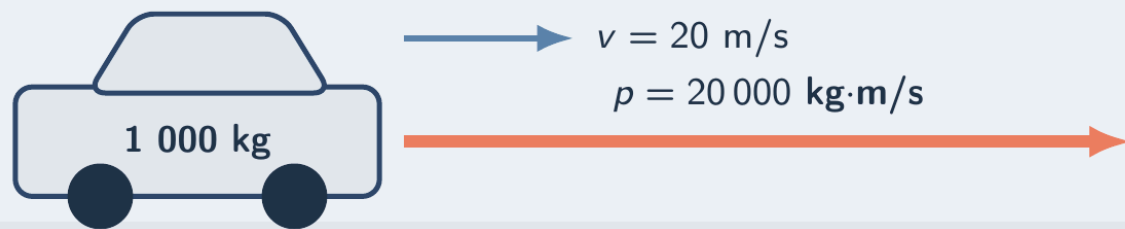
- sensor dispara → saco cheio em 15 a 40 ms
- furos de ventilação: quase vazio por volta de 100 ms
- saco duro: parede a mais · saco que esvazia: freio demorado
- o corpo vai a zero de qualquer jeito: muda só **o tempo**

Pergunta do episódio

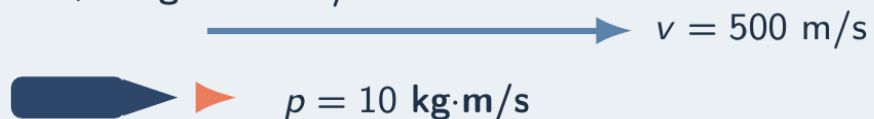
**Por que um saco que murcha protege mais
que um saco cheio?**

Conceito 1 – Quantidade de movimento

carro: 1 000 kg a 20 m/s



bala: 0,02 kg a 500 m/s



setas de p fora de escala: em escala, a do carro seria 2 000 vezes mais comprida que a da bala

$$\vec{p} = m \vec{v}$$

- unidade: $\text{kg} \cdot \text{m/s}$
- **vetor**: mesma direção e sentido de $\vec{v}$
- manda o produto, não só a massa · caminhão parado:
 $p = 0$

Exemplo resolvido – carro contra bala

Carro de 1 000 kg a 20 m/s · bala de 0,02 kg a 500 m/s

Fórmula:

$$p_{\text{carro}} = m v$$

$$p_{\text{bala}} = m v$$

$$r = \frac{p_{\text{carro}}}{p_{\text{bala}}}$$

Substituição:

$$p_{\text{carro}} = 1\,000 \cdot 20$$

$$p_{\text{bala}} = 0,02 \cdot 500$$

$$r = \frac{20\,000}{10}$$

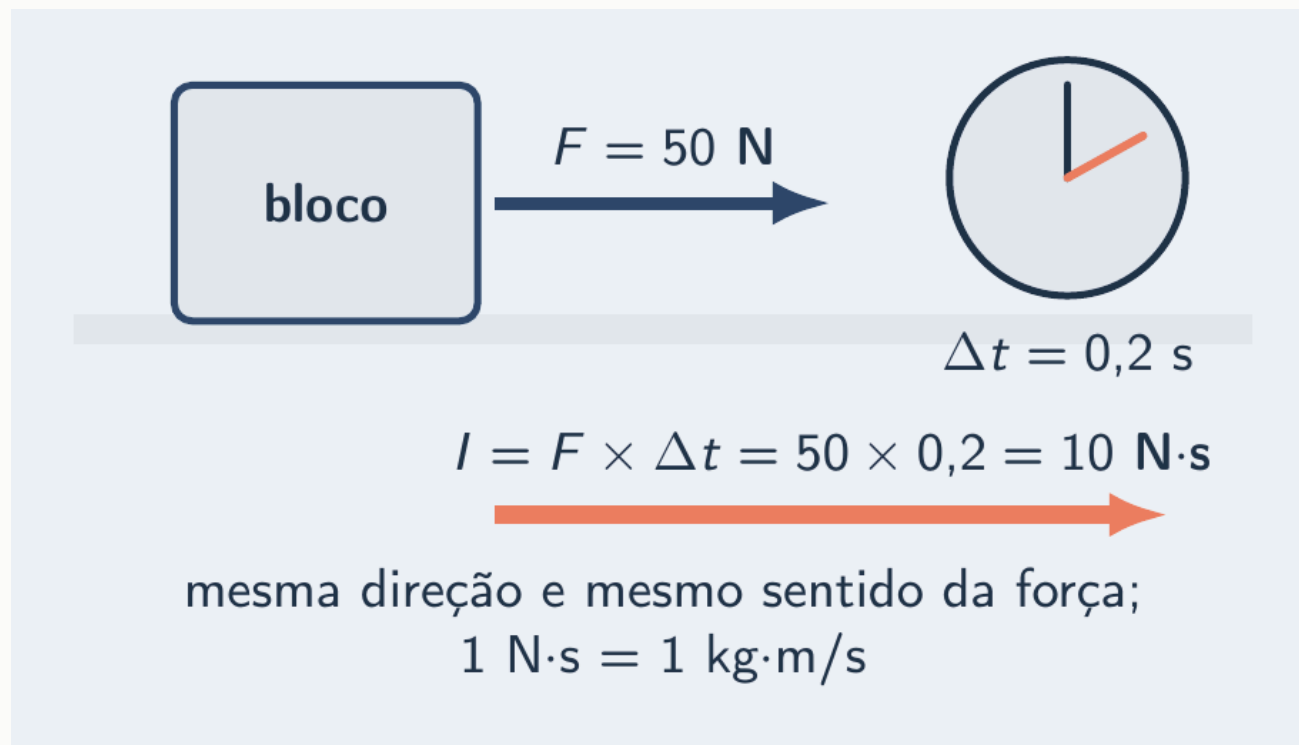
Resultado:

$$p_{\text{carro}} = \mathbf{2 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}$$

$$p_{\text{bala}} = \mathbf{10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}$$

$$r = \mathbf{2\,000}$$

Conceito 2 – Impulso



$$\vec{I} = \vec{F} \Delta t$$

- vetor, no sentido da força
- unidade: $\text{N} \cdot \text{s} = \text{kg} \cdot \text{m/s}$ (a mesma de p)
- impulso não é força: falta o tempo

Exemplo resolvido – empurrão

Força constante de 30 N durante 0,5 s

Fórmula:

Substituição:

Resultado:

$$I = F \Delta t$$

$$I = 30 \cdot 0,5$$

$$I = \mathbf{15 \text{ N} \cdot \text{s}}$$

- no sentido da força (15 kg · m/s)

Conceito 3 – Teorema do impulso

parede

sentido positivo: para longe da parede ←

antes

0,5 kg

$p = -5 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$

$v = -10 \text{ m/s}$ (vai para a parede)

F da parede ←

depois

$p = +5 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$

$v = +10 \text{ m/s}$ (volta)

0,5 kg

$\Delta p = p_{\text{depois}} - p_{\text{antes}} = 5 - (-5) = 10 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$, para longe da parede

$F = \Delta p \div \Delta t = 10 \div 0,02 = 500 \text{ N}$, no mesmo sentido

- da segunda lei, com $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$:

$$F \Delta t = m \Delta v$$

$$I = \Delta p = p_{\text{depois}} - p_{\text{antes}}$$

- declare o **sentido positivo** antes de subtrair

Exemplo resolvido – bola na parede

0,5 kg · 10 m/s na ida (v_1) e na volta (v_2) · contato de 0,02 s

Fórmula:

$$\Delta v = v_2 - v_1$$

$$\Delta p = m \Delta v$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Substituição:

$$\Delta v = 10 - (-10)$$

$$\Delta p = 0,5 \cdot 20$$

$$F = \frac{10}{0,02}$$

Resultado:

$$\Delta v = \mathbf{20 \text{ m/s}}$$

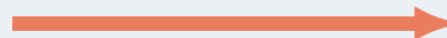
$$\Delta p = \mathbf{10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}$$

$$F = \mathbf{500 \text{ N}}$$

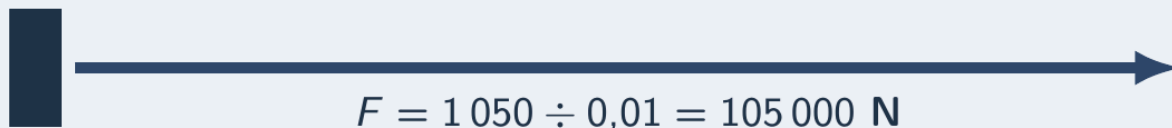
- (+) longe da parede: os dois apontam para fora

Conceito 4 – Mais tempo, menos força

peessoa de 70 kg a 15 m/s (54 km/h) até parar:
 $\Delta p = 70 \times 15 = 1050 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ nos dois casos

 Δp : a conta a pagar

painel rígido: $\Delta t = 0,01 \text{ s}$ (valor didático)


 $F = 1050 \div 0,01 = 105\,000 \text{ N}$

airbag + cinto: $\Delta t = 0,1 \text{ s}$ (valor didático)

 $F = 1050 \div 0,1 = 10\,500 \text{ N}$

dez vezes mais tempo, dez vezes menos força:
a seta de baixo tem um décimo do comprimento da de cima

- Δp já está decidido antes da batida
- projeto só escolhe Δt :
$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$
- impulso é a conta · força é a parcela
- cinto, capacete, colchão, joelho dobrado: mesma ideia

Exemplo resolvido – o airbag (1/2)

70 kg a 54 km/h até parar: a conta a pagar

Fórmula:

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

$$\Delta p = m v$$

Substituição:

$$v = \frac{54}{3,6}$$

$$\Delta p = 70 \cdot 15$$

Resultado:

$$v = \mathbf{15 \text{ m/s}}$$

$$\Delta p = \mathbf{1\,050 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}$$

Exemplo resolvido – o airbag (2/2)

Tempo didático: 0,01 s (painel) contra 0,1 s (airbag e cinto)

Fórmula:

$$F_{\text{painel}} = \frac{\Delta p}{\Delta t_{\text{painel}}}$$

$$F_{\text{airbag}} = \frac{\Delta p}{\Delta t_{\text{airbag}}}$$

Substituição:

$$F_{\text{painel}} = \frac{1\ 050}{0,01}$$

$$F_{\text{airbag}} = \frac{1\ 050}{0,1}$$

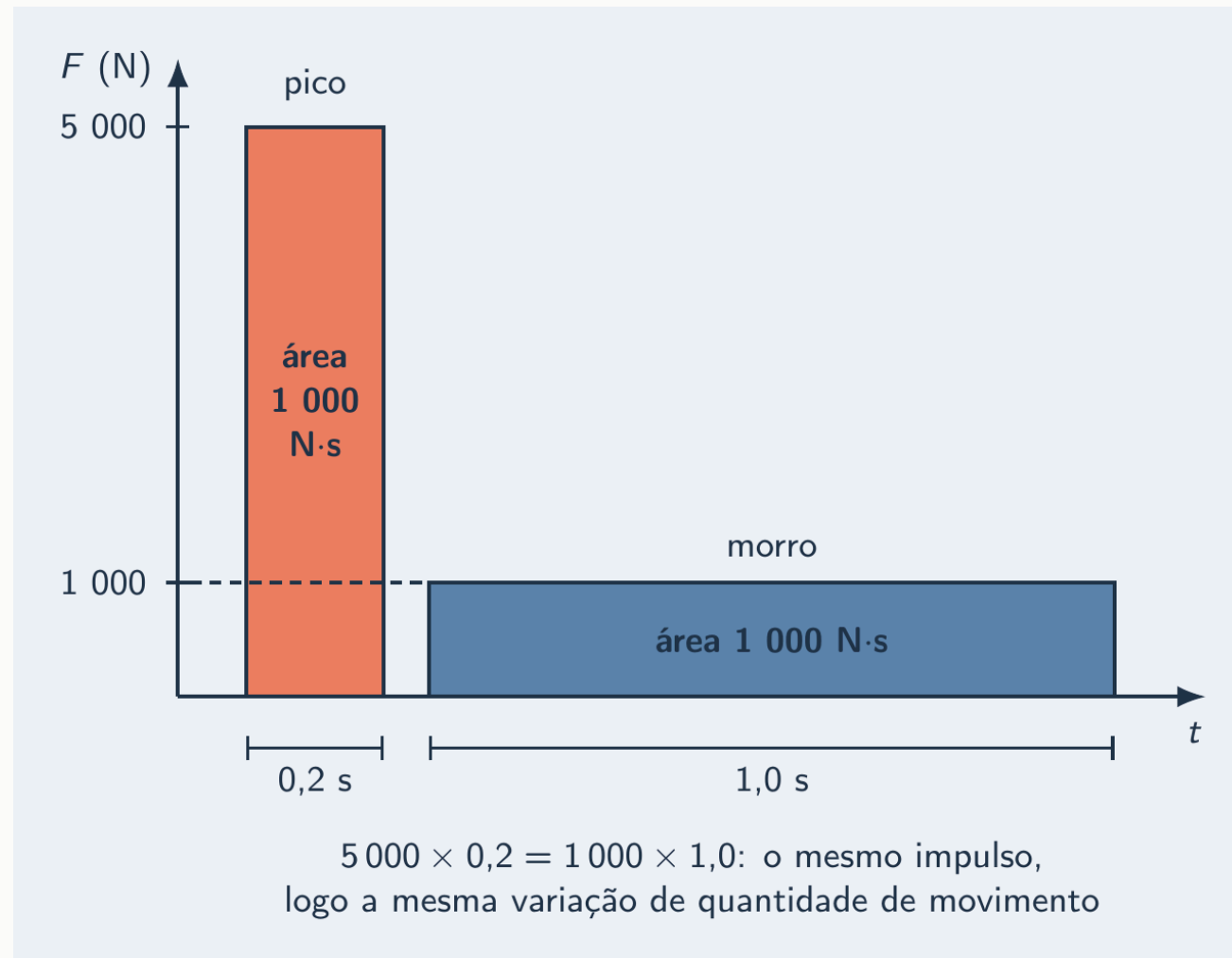
Resultado:

$$F_{\text{painel}} = \mathbf{105\ 000\ N}$$

$$F_{\text{airbag}} = \mathbf{10\ 500\ N}$$

- dez vezes menos

Conceito 5 – Área sob $F \times t$



- impulso: **área** entre a curva e o eixo t
- retângulo: $F \Delta t$ · triângulo: metade
- mesma área $\rightarrow$ mesmo Δp , formas diferentes

Exemplo resolvido – pico e morro

Pico de 5 000 N por 0,2 s · morro de 1 000 N por 1,0 s · carrinho de 50 kg parado

Fórmula:

$$I_{\text{pico}} = F \Delta t$$

$$I_{\text{morro}} = F \Delta t$$

$$v = \frac{I}{m}$$

Substituição:

$$I_{\text{pico}} = 5\,000 \cdot 0,2$$

$$I_{\text{morro}} = 1\,000 \cdot 1,0$$

$$v = \frac{1\,000}{50}$$

Resultado:

$$I_{\text{pico}} = \mathbf{1\,000\,N \cdot s}$$

$$I_{\text{morro}} = \mathbf{1\,000\,N \cdot s}$$

$$v = \mathbf{20\,m/s}$$

- mesma velocidade nos dois

Radar ENEM

Diagram illustrating momentum change during a collision with a wall.

antes (before): $p = -1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$, $0,2 \text{ kg}$

depois (after): $p = +1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$, $0,2 \text{ kg}$

sentido positivo (positive direction)

Correct impulse calculation: $\Delta p = 1 - (-1) = 2 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$

Incorrect calculation (crossed out): $\Delta p = 1 - 1 = 0$ "não mudou nada"

o distrator: subtrair módulos e esquecer que a seta virou; quem vai e volta com o mesmo módulo mudou duas vezes o valor

- ✗ subtrair módulos quando a seta virou (o "zero")
- ✗ airbag reduz Δp ou o impulso
- ✗ impulso tratado como força
- ✗ ler a altura do gráfico, não a área
- ✓ airbag: mais tempo, mesma conta

Resumo em cinco peças

1 $p = m \cdot v$
vetor, no sentido
da velocidade

2 $I = F \cdot \Delta t$
vetor, no sentido
da força

3 $I = \Delta p$
impulso é
a variação de p

4 mesmo Δp em
mais tempo:
menos força

5 impulso é a área
sob o gráfico $F \times t$

1. $p = m v$, vetor

2. $I = F \Delta t$, em $\text{N} \cdot \text{s}$

3. impulso: variação de p

4. mais tempo, menos força

5. impulso: área de $F \times t$

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m2/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/m2/c8/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m2/c8/lista>

Livro da minissérie



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

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