

### A esfera pára-quedista

Quando um objecto se move num fluido (um líquido ou um gás) sofre a acção de uma força de resistência devido à viscosidade do fluido. É o que sucede ao pára-quedista em queda livre, a uma pedra a cair na água, a uma bolha de gás a subir num refrigerante ou mesmo a nós próprios quando corremos ou andamos de bicicleta.

Para esferas em queda num fluido, com pequena velocidade, Stokes (cientista inglês do séc. XIX) obteve a seguinte expressão para aquela força:

$$\vec{F}_R = -6\pi r \eta \vec{v}$$

em que  $r$  é o raio da esfera,  $\eta$  é a viscosidade do fluido e  $\vec{v}$  é a velocidade da esfera. No SI a viscosidade exprime-se em Pa·s.

À medida que a esfera cai num fluido, partindo do repouso, a sua velocidade aumenta e, portanto, também aumenta a força de resistência, até que essa força iguala, em grandeza, a resultante das outras forças que actuam na esfera. A partir desse instante a esfera move-se com velocidade constante: atingiu a **velocidade terminal**.

Designamos por  $\rho_{\text{esfera}}$  a massa volúmica (ou densidade) da esfera e por  $\rho_{\text{fluido}}$  a do fluido onde a esfera está imersa.

- a) Escreve as expressões do peso da esfera e da força de impulsão, e mostra que o valor algébrico da resultante apenas destas duas forças é dada pela expressão:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_{\text{esfera}} - \rho_{\text{fluido}})g$$

- b) Determina experimentalmente a velocidade terminal de cada esfera, indicando numa tabela os valores medidos e identificando a esfera a que corresponde cada valor. O facto de a proveta não ser muito larga influencia o movimento da esfera – a velocidade terminal medida não é igual à que a esfera teria se caísse num tubo muito largo. Pode-se ter em conta o efeito dos bordos do tubo, corrigindo os valores medidos usando a expressão:

$$v_{t,\text{corrigido}} = \frac{v_{t,\text{medido}}}{\left(1 - \frac{r}{R}\right)^{2,3}}$$

em que  $r$  é o raio da esfera e  $R$  é o raio interno da proveta. Apresenta os valores corrigidos na mesma tabela.

- c) Pode mostrar-se que a velocidade terminal é dada por

$$v_t = \frac{2gr^2}{9\eta} (\rho_{\text{esfera}} - \rho_{\text{fluido}})$$

Representa graficamente a velocidade terminal corrigida em função do quadrado do raio de cada esfera. Determina a viscosidade do fluido ( $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ).

- d) Deduz a expressão anterior para a velocidade terminal aplicando a Segunda Lei de Newton.

**NOTA:** Assegura-te que cada esfera já atingiu a velocidade terminal quando medires a sua velocidade. Não tires as esferas do líquido (para não criar bolhas no fluido que alterariam as condições experimentais).

#### Material Fornecido:

- esferas de aço com diversos diâmetros ( $\rho_{\text{esfera}} = 7,85 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )
- proveta com líquido ( $\rho_{\text{fluido}} = 1,05 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )
- elásticos para marcar pontos de referência na proveta
- cronómetro
- papel milimétrico
- régua