

# AL — Queda livre: determinação experimental de g e teste da dependência da massa

11.º Ano   Física e Química A   3 páginas   Atividade laboratorial

**Objetivo:** Determinar experimentalmente a **aceleração da gravidade** num movimento de **queda livre**, investigando se **depende da massa** dos corpos — avaliando procedimentos, identificando fontes de erro e comunicando resultados (com gráfico  $h$  vs  $t^2$ ).

## Material e reagentes

| Material                                                                              | Função / nota                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 2 corpos de massas diferentes (ex.: esferas de aço de 20 g e 60 g, de igual diâmetro) | variável «massa» controlada                   |
| Suporte/firme (bancada + clamp) e régua de 1 m                                        | largar do repouso; medir $h$                  |
| Cronómetro (ou sensor de movimento/fotocélula, se disponível)                         | medir $t$ — sensor elimina erro de reação     |
| Bloco de madeira/manta no chão                                                        | receber o corpo (segurança + ruído de timing) |

## Normas de segurança

- **Largar, nunca lançar** — o corpo cai só; mão afastada da trajetória.
- Ninguém sob o ponto de queda; **calçado fechado**.
- Suporte firme e régua bem fixa; recolher as esferas sempre à mão (não rolar para o chão).
- Se usar sensor: respeitar as instruções do equipamento (não ultrassons ao rosto de ninguém).

## Procedimento

1. Montar o suporte; medir a **altura de queda  $h$**  (do centro do corpo ao ponto de apanha): ex.  $h = 1,00\text{ m}$  (precisão  $\pm 1\text{ cm}$ ).
  2. Largar o **corpo A** (20 g) do repouso e cronometrar a queda — **5 repetições**.
  3. Repetir com o **corpo B** (60 g), mesma  $h$  — **5 repetições**.
  4. Repetir com **duas alturas** adicionais (ex.: 0,60 m e 1,40 m) com o corpo A (para o gráfico).
  5. Calcular médias  $\bar{t}$  e, para cada  $h$ ,  $\bar{t}^2$ ; conferir que as quedas de A e B dão  $\bar{t}$  **iguais dentro do erro**.
  6. Construir o gráfico  **$h$  vs  $\bar{t}^2$**  e obter o declive.
  7. Comunicar: tabela + gráfico + conclusão com **incerteza** e comparação com  $g = 9,8\text{ m/s}^2$ .
- Hipótese a testar:** se a queda é «livre», a aceleração é **a mesma para qualquer massa** ( $a = P/m = mg/m = g$ ) — logo, os tempos de A e B devem coincidir dentro do erro experimental.

Registo de dados

Tabela 1 — Igual altura, massas diferentes ( $h = 1,00\text{ m}$ )

| Corpo | m (g) | t <sub>1</sub> (s) | t <sub>2</sub> (s) | t <sub>3</sub> (s) | t <sub>4</sub> (s) | t <sub>5</sub> (s) | $\bar{t}$ (s) |
|-------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| A     | 20    | .....              | .....              | .....              | .....              | .....              | .....         |
| B     | 60    | .....              | .....              | .....              | .....              | .....              | .....         |

Tabela 2 — Várias alturas (corpo A)

| h (m) | $\bar{t}$ (s) | $\bar{t}^2$ (s <sup>2</sup> ) |
|-------|---------------|-------------------------------|
| 0,60  | .....         | .....                         |
| 1,00  | .....         | .....                         |
| 1,40  | .....         | .....                         |

Gráfico: eixo Y =  $h$  (m) · eixo X =  $\bar{t}^2$  (s<sup>2</sup>) · ajustar a reta pela origem (em queda livre,  $h = 0$  quando  $t = 0$ ).

Tratamento de resultados

Da cinemática da queda livre (partindo do repouso,  $v_0 = 0$ ):

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \rightarrow t^2 = (2/g) \cdot h \cdot \text{ forma linear } h = (g/2) \cdot t^2$$

Do gráfico: o declive da reta  $h$  vs  $t^2$  é  $g/2 \rightarrow$

$$g = 2 \times \text{declive} \text{ (unidades: m/s}^2\text{ — conferir!)}$$

Verificação por ponto (corpo A,  $h = 1,00\text{ m}$ ): se  $\bar{t} = 0,45\text{ s} \rightarrow$

$$g = 2h/\bar{t}^2 = 2 \times 1,00 / 0,2025 \approx 9,9\text{ m/s}^2$$

Erro relativo:  $Er = |g_{exp} - 9,8|/9,8 \times 100\%$  (ex.:  $9,9 \rightarrow \approx 1\%$ ; se der  $9,0 \rightarrow \approx 8\%$ : sinal de erro sistemático no timing).

Dependência da massa: comparar  $\bar{t}(A)$  e  $\bar{t}(B)$  a mesma  $h$  — se  $|\bar{t}_A - \bar{t}_B|$  não ultrapassa a dispersão das repetições, a hipótese mantém-se.

## Análise e conclusão

1. Os tempos de A (20 g) e B (60 g) coincidem dentro do erro? O que se conclui sobre a **dependência da massa** — e porque é que a teoria prevê isso (mostra com  $a = P/m$ )?
2. O gráfico  $h$  vs  $t^2$  deu reta? O que a linearidade prova sobre a relação usada ( $h \propto t^2$ )? E o facto de passar pela origem?
3. Compara  $g_{exp}$  com  $9,8 \text{ m/s}^2$ : erro relativo e **sentido** do desvio (para mais? para menos?). Que desvio esperarias do método do cronómetro manual?
4. Se a queda fosse sempre de  $h$  maior, o erro **relativo** do tempo aumentava ou diminuía? Porque (pensa no erro de reacção  $\approx 0,1 \text{ s}$  fixo)?
5. Propor **duas melhorias** ao procedimento (ex.: sensor de movimento/fotocélula; mais repetições;  $h$  maior) e dizer que **tipo de erro** cada uma reduz.
6. Comunicação dos resultados: escreve a **conclusão** da atividade em 4–5 linhas (hipótese, método,  $g$  obtido  $\pm$  erro, decisão), como «comunicar os resultados» das AE.

## Fontes de erro sistemático

- **Reacção do cronómetro** ( $\approx 0,1\text{--}0,2 \text{ s}$ ):  $t_{\text{medido}} > t_{\text{real}} \rightarrow g = 2h/t^2$  fica **subestimado** — é o dominante neste método.
- **Resistência do ar**: pequena para esferas densas em  $1,4 \text{ m}$  ( $a$  = ligeiramente menor que  $g$ ), mas existe — notar-se-ia com corpos leves/de grande área (penal!).
- Medida de  $h$  com folga na posição do corpo  $\rightarrow$  erro na altura.
- Corpo não largado exatamente do repouso (rotação, deslize).

**Conclusão-chave:** a queda livre tem **aceleração constante  $\approx 9,8 \text{ m/s}^2$ , independente da massa** — confirmado se  $\bar{t}(A) \approx \bar{t}(B)$  e o gráfico der  $g = 2 \times \text{slope}$  com erro baixo. O desvio sistemático do cronómetro (para  $g$  menor) é a lição de método: **medir melhor vale mais que repetir mais** — e é por isso que a ficha 3 e os satélites usam a mesma  $g$  com confiança.

**Nota:** AL das AE de FQ-A 11.º ano — domínio «Interações e seus efeitos» («determinar experimentalmente a aceleração da gravidade... investigando se depende da massa»). Liga: fichas 2 e 3 (queda livre, gravitação) · cronologia: Galileu (Pisa/lendas documentadas)  $\rightarrow$  Newton (*Principia* 1687)  $\rightarrow$  Cavendish (1798, G).